



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

Aspectos biológicos e potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico e resistência de híbridos de coqueiro à *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae)

JÉSSICA FONTES VASCONCELOS



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

JÉSSICA FONTES VASCONCELOS

Aspectos biológicos e potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico e resistência de híbridos de coqueiro à *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae)

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutora em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro
Coorientador
Prof. Dr. Leandro Bacci

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2025

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

V331a Vasconcelos, Jéssica Fontes.
Aspectos biológicos e potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico e resistência de híbridos de coqueiro à *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) / Jéssica Fontes Vasconcelos; orientador Adenir Vieira Teodoro. – São Cristóvão, SE, 2025.
78 f.; il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2025.

1. Agrobiodiversidade. 2. Ácaro no controle biológico de pragas. 3. Coqueiro. I. *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang. II. Teodoro, Adenir Vieira, orient. III. Título.

CDU 632.951

JÉSSICA FONTES VASCONCELOS

Aspectos biológicos e potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico e resistência de híbridos de coqueiro à *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae)

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutora em Ciências”.

APROVADA em 30 de maio de 2025.

Dr. Adriano Soares Rêgo	UEMA
Dra. Crislaine Costa Calazans	UFS
Dr. Emiliano Fernandes Nassau Costa	EMBRAPA
Dr. José Oliveira Dantas	IFS

Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro
(Orientador)
Prof. Dr. Leandro Bacci
(Coorientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

À minha mãe, Edilde, meu alicerce em todos os momentos. À minha irmã, Jailde, por seu carinho e inspiração constante. À minha irmã, Jackeline, por sua força, resiliência e alegria que tanto admiro. E aos meus sobrinhos, Rebeka e Miguel, por iluminarem meus dias com amor e felicidade!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a todos os santos pela fé, esperança e coragem que encontrei ao longo da minha jornada, elementos que me mantiveram firme mesmo diante dos inúmeros obstáculos da vida. Essa força interior foi e sempre será a maior fonte de luz e motivação em minha caminhada. Sou grata a mim mesma por persistir, por acreditar no meu potencial e por seguir em frente, mesmo nas situações mais desafiadoras. Essa caminhada é fruto da resiliência que encontrei em mim.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, à Universidade Federal de Sergipe – UFS, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade – PPGAGRI e à Embrapa Tabuleiros Costeiros pela oportunidade de contribuir com a ciência brasileira, acreditando no poder transformador da pesquisa. A seriedade e a competência dessas instituições mantêm viva a chama da pesquisa e me proporcionam a chance de aprender, crescer e desenvolver minha formação profissional, o que tem sido essencial para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Adenir Vieira Teodoro, por todo o apoio desde a graduação, pelas valiosas orientações e pela confiança em meu potencial, que foram fundamentais para minha formação. Ao meu coorientador, Dr. Leandro Bacci, sou grata pelas orientações essenciais, pelo apoio constante e pelas contribuições que enriqueceram este trabalho. Aos membros da banca avaliadora, Dr. Adriano Soares Rêgo, Dra. Crislaine Costa Calazans, Dr. Emiliano Fernandes Nassau Costa e Dr. José Oliveira Dantas, e aos membros suplentes, Dr. José Guedes de Sena Filho e Dr. Wenner Vinícius Araújo Saraiva, registro meu sincero agradecimento por aceitarem meu convite e pelas contribuições científicas construtivas, que serão recebidas com gratidão e respeito. Ao professor Dr. José Wagner da Silve Melo, por desde meu mestrado acadêmico vim me auxiliando na construção e enriquecimento dos meus trabalhos.

Aos amigos que compartilharam momentos e experimentos no laboratório, Edu, Karol, Janice, Samuel, Paulo e Carolina Calderón, meu sincero agradecimento por todas as conversas, risadas, estudos e pela parceria que tornou essa jornada mais leve e enriquecedora. Cada um, à sua maneira, contribuiu para esse período, e sou grata por ter dividido essa etapa com vocês. Aos vários amigos que tive a oportunidade de conhecer no Programa de Pós-Graduação, um agradecimento especial à Gilmara, que esteve ao meu lado, ajudando-me a lembrar prazos, compartilhando dúvidas, anseios e conselhos. Sua amizade é um presente, e eu admiro muito sua força e dedicação como pessoa e profissional. Também agradeço à Emília, com quem compartilhei o início dessa jornada acadêmica. Sua determinação sempre foi marcante, e desejo sucesso em sua trajetória profissional.

À minha mãe, Edilde Fontes Vasconcelos, que sempre foi meu porto seguro e meu maior exemplo de força e amor incondicional. Sem você, eu mal saberia falar e caminhar. Sou eternamente grata por todo esforço e dedicação, dados a mim com a maior doçura que um ser humano pode oferecer. Ao meu pai, Jário Menezes Costa Vasconcelos, que, mesmo diante dos desafios, me ensinou o quanto sou forte e capaz. Cuidar de você me mostrou que, apesar dos traumas, minha dedicação e empatia sempre prevaleceram, e isso levarei comigo para sempre. Às minhas irmãs, Jailde e Jackeline, por serem um ponto de apoio em todos os momentos, amigas e confidentes. Vocês me inspiram profundamente e são fundamentais para minha vida. Aos meus sobrinhos, Rebeka e Miguel, e aos meus afilhados, Emilly e Nicolas, que são fontes de luz e alegria nos meus dias, motivando-me a crescer e a ser melhor a cada dia. Aos meus

familiares, que sempre estiveram ao meu lado. Como a família é grande, não consigo citar todos, mas minha eterna gratidão vai para cada um de vocês.

Sou imensamente grata aos meus filhos pets, Mioko, Victória, Sebastião e Pandora, que trouxeram alegria e leveza para minha vida, cada um com seu jeito único de me fazer sorrir. Sou igualmente grata por toda a companhia, afeto e energia positiva que compartilham comigo a cada dia. Também guardo com carinho a memória de Miuki, que me acompanhou com amor e lealdade, e de Cristal, cuja presença iluminou minha vida, mesmo que por um tempo mais breve. Quero expressar minha gratidão às minhas amigas de longa data, que têm um lugar especial em minha vida, em especial a duas. Nathaly, sua amizade é um verdadeiro presente de Deus. Pessoas como você são raras nos dias de hoje, e sou profundamente grata por ter você ao meu lado. Sua bondade e lealdade iluminam meu caminho. Dayanne Ferreira, outra dádiva em minha vida, minha amiga e terapeuta, não consigo imaginar o que seria de mim sem você. Você me ajudou a me reconectar comigo mesma, enfrentar meus medos, superar minhas dores e celebrar minhas conquistas. Combinando a firmeza necessária com o carinho genuíno, você me fez crescer de forma que nunca achei possível. Sou eternamente grata por sua presença.

Por fim, sou grata a todos que, de alguma forma, contribuíram para essa jornada, direta ou indiretamente. Levo um pouco de cada um de vocês na minha história e na construção da profissional que me tornei.

BIOGRAFIA

Jéssica Fontes Vasconcelos nasceu em Aracaju, Sergipe, Brasil, no dia 8 de abril de 1992, filha de Edilde Fontes Vasconcelos e Jário Menezes Costa Vasconcelos. Desde a infância, enfrentou desafios de saúde, superando um câncer renal (tumor de Wilms) aos três anos de idade. Com o amor incondicional de seus pais, irmãs, familiares e amigos, encontrou força para seguir em frente, desenvolvendo desde cedo uma resiliência que refletiria em sua trajetória acadêmica e profissional.

Desde cedo, gostava de ir com sua mãe para o seu trabalho. Ela saía de madrugada, vendia roupas na feira e, de forma linda e honesta, criou suas três filhas, todas formadas e bem encaminhadas. Estudou o ensino infantil e fundamental e passou um ano do ensino superior no Colégio Lavoisier, na rede privada, onde formou grande parte de sua base educacional, com eterna gratidão e respeito por todo o acolhimento das suas tias e donas do colégio Dora, Sônia, Tânia e Vera.

No segundo ano, decidiu ir para o Gonçalo Rollemberg Leite, na rede pública, e iniciou como jovem aprendiz, trabalhando como office girl no Tribunal de Justiça do Estado de Sergipe, onde permaneceu até concluir o ensino médio e obteve grandes experiências agregadoras. No terceiro ano, estudou no Colégio Santa Fé, rede privada. Logo depois, trabalhou como atendente em uma loja de roupas, até passar no vestibular da UFS para o curso de Engenharia Florestal. No terceiro período, optou por uma transferência interna para Engenharia Agrônoma, buscando uma área que mais se alinhava aos seus interesses profissionais. Assim, participou efetivamente de vários estágios voluntários e outros como bolsista.

É engenheira agrônoma, formada pela Universidade Federal de Sergipe em 2017, mestre em Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará em 2020 e doutoranda no Programa de Agricultura e Biodiversidade na UFS. Sua trajetória acadêmica e profissional é marcada pelo compromisso com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no manejo agrícola, com ênfase no controle alternativo e biológico de artrópodes fitófagos, na recuperação de ecossistemas e na promoção da agroecologia.

Durante a graduação, Jéssica desenvolveu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "Potencial do óleo de algodão no controle do ácaro-da-necrose (*Aceria guerreronis* Keifer - Acari Eriophyidae) em coqueiro", sob a orientação do Dr. Adenir Vieira Teodoro. Este trabalho destacou o uso de óleos vegetais como uma alternativa sustentável ao manejo de ácaros fitófagos em culturas importantes para o Nordeste brasileiro, como o coqueiro.

No mestrado, sua dissertação intitulada "Mecanismos químicos de resistência em meloeiro à mosca-minadora, *Liriomyza sativae* Blanchard 1938 (Diptera: Agromyzidae)" foi orientada pela Dra. Nívia da Silva Dias-Pini, com coorientação do Dr. José Wagner da Silva Melo. Nessa pesquisa, Jéssica explorou aspectos de ecologia química e comportamental de insetos, investigando compostos químicos associados à resistência de plantas ao ataque de pragas, contribuindo para o avanço de estratégias integradas de manejo em sistemas agrícolas.

Atualmente, no doutorado, está desenvolvendo sua tese com foco no manejo biológico de ácaros fitófagos, investigando tecnologias sustentáveis, como o uso de ácaros predadores no manejo de ácaros fitófagos. Sob orientação do Dr. Adenir Vieira Teodoro, com coorientação do Dr. Leandro Bacci, seu trabalho busca soluções inovadoras para desafios da agricultura contemporânea, considerando a sustentabilidade como eixo central.

Além disso, Jéssica publicou artigos científicos em periódicos renomados, capítulos de livros e participou ativamente de eventos acadêmicos e projetos de extensão. Sua atuação reflete um profundo compromisso com a aplicação prática da ciência para promover uma agricultura mais resiliente e ecologicamente responsável.

Além da vida acadêmica e profissional, ela valoriza sua família, sempre incluindo como parte dela seus filhos pets.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1-3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4-13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13-22
4. ARTICLE 1: Stage preference and life table of <i>Lasioseius barbensiensis</i> (Acari: Blattisociidae) feeding on <i>Tyrophagus putrescentiae</i> (Acari: Acaridae)	24
Abstract	24
4.1. Introduction	24-26
4.2. Materials and Methods	26-28
4.3. Results	28-29
4.4. Discussion	29-31
4.5. References	31-34
5. ARTICLE 2: Potential of <i>Lasioseius barbensiensis</i> (Acari: Blattisociidae) in the control of two coconut pest mites	40
Abstract	40
5.1. Introduction	40-42
5.2. Materials and Methods	42-43
5.3. Results	43-44
5.4. Discussion	44-45
5.5. References	45-47
6. ARTICLE 3: Susceptibility of <i>Cocos nucifera</i> (Arecaceae) hybrids to <i>Raoiella indica</i> Hirst (Acari: Tenuipalpidae)	49
Resumo	49
6.1. Introduction	49-50
6.2. Materials and Methods	50-52
6.3. Results	52-53
6.4. Discussion	53-54
6.5. References	55-56

LIST OF FIGURES

ARTICLE 1

Figure		Page
1	Daily consumption of eggs, larvae, nymphs and adults of <i>Tyrophagus putrescentiae</i> by females of the predatory mite <i>Lasioseius barbensiensis</i> over 48h.	36
2	Two-choice preference for the developmental stages of <i>Tyrophagus putrescentiae</i> by females of the predatory mite <i>Lasioseius barbensiensis</i> .	36
3	Daily egg laying and egg viability (%) of the predatory mite <i>Lasioseius barbensiensis</i> fed <i>ad libitum</i> on the egg, larval, nymph and adult stages of <i>Tyrophagus putrescentiae</i> for five days.	37
4	Age-specific survival curves (l_x) of the different life stages of <i>Lasioseius barbensiensis</i> fed <i>ad libitum</i> on all developmental stages of <i>Tyrophagus putrescentiae</i>	37
5	Age-specific survival (l_x), age-specific fecundity (m_x), and net reproductive contribution ($l_x m_x$) curves of <i>Lasioseius barbensiensis</i> fed <i>ad libitum</i> on all developmental stages of <i>Tyrophagus putrescentiae</i> .	38

ARTICLE 2

Figure		Page
1	Mean number of prey consumed by <i>Lasioseius barbesiensis</i> in no-choice assays after 48 hours, when offered separately: (a) <i>Raoiella indica</i> adults, (b) <i>Raoiella indica</i> eggs, and (c) <i>Aceria guerreronis</i> adults.	48
2	Proportion of prey consumed by <i>Lasioseius barbesiensis</i> in choice assays after 24 hours: (a) between <i>Raoiella indica</i> eggs and <i>Aceria guerreronis</i> adults, and (b) between <i>Raoiella indica</i> adults and <i>Aceria guerreronis</i> adults.	48

ARTICLE 3

Figure		Page
1	Average counts of eggs, immatures (larvae and nymphs), and adults per cm ² and intrinsic growth rates (r_i) of <i>Raoiella indica</i> on 15 coconut hybrids (<i>Cocos nucifera</i>) and the control hybrid.	58

LIST OF TABLES

ARTICLE 1

Table	Page
1 Developmental duration (days) of <i>Lasioseius barbensiensis</i> developmental stages fed <i>ad libitum</i> on all stages of <i>T. putrescentiae</i> , estimated by bootstrap resampling (B = 100,000).	38
2 Bootstrap analysis of population parameters of <i>Lasioseius barbensiensis</i> Two-Sex Mating Conditions (B = 100,000 re-samplings)	39

ARTICLE 3

Table	Page
1 Spearman correlation between the average number of eggs, immatures, and adults of <i>Raoiella indica</i> and rainfall (mm).	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CV	Coeficiente de Variação
df	Graus de Liberdade (degrees of freedom)
F	Fecundidade média por fêmea
GLM	Generalized Linear Model (Modelo Linear Generalizado)
GRR	Taxa reprodutiva bruta (gross reproductive rate)
H	Estatística de Kruskal–Wallis
MIP	Manejo Integrado de Pragas
Nf/N	Proporção de fêmeas na população adulta
p	Valor de p (probabilidade associada a testes estatísticos)
PB141	Híbrido comercial de coco (green dwarf × gigante West Africa)
R_o	Taxa reprodutiva líquida (net reproductive rate)
rm	Taxa intrínseca de aumento populacional
r_m	Taxa intrínseca de aumento populacional (equivalente a rm)
rs	Coeficiente de correlação de Spearman
SD	Desvio Padrão
SE	Erro Padrão
t	Estatística t do teste t pareado
T	Tempo médio de geração (mean generation time)
U	Estatística de Mann–Whitney
λ (lambda)	Taxa finita de aumento populacional
χ^2	Qui-quadrado (Chi-square)

RESUMO

VASCONCELOS, Jéssica Fontes. **Aspectos biológicos e potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico e resistência de híbridos de coqueiro à *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae).** São Cristóvão: UFS, 2025. XXp. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade).*

Esta tese aborda o potencial de *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) como agente de controle biológico de ácaros fitófagos associados ao coqueiro (*Cocos nucifera* L.), bem como a suscetibilidade de diferentes híbridos dessa cultura ao ácaro-vermelho-das-palmeiras, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). Inicialmente, foram conduzidos estudos para determinar a preferência alimentar e os parâmetros biológicos de *L. barbensiensis* ao se alimentar de diferentes estágios de desenvolvimento do ácaro *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). Os resultados indicaram uma preferência por ovos e larvas, que proporcionaram maiores taxas de oviposição e viabilidade dos ovos. A análise da tabela de vida revelou um tempo médio de desenvolvimento pré-adulto de 8,5 dias, fecundidade média de 32,38 ovos por fêmea e taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) de 0,1757, sugerindo viabilidade para criação massal. Subsequentemente, avaliou-se a capacidade predatória de *L. barbensiensis* sobre duas espécies de ácaros fitófagos do coqueiro: *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) e *R. indica*. Testes de escolha e não escolha demonstraram que o predador consumiu significativamente mais ovos de *R. indica* e adultos de *A. guerreronis* do que adultos de *R. indica*, evidenciando uma preferência por presas menores e destacando seu potencial como agente de controle biológico para ambas as espécies. Por fim, foi avaliada a suscetibilidade de 15 híbridos experimentais de coqueiro e um híbrido comercial (PB141) a *R. indica* em condições de campo e laboratório. No campo, os híbridos 1, 6 e 9 apresentaram menores níveis de infestação em todos os estágios do ácaro, sugerindo resistência potencial. Em laboratório, o híbrido 6 exibiu a menor taxa instantânea de aumento populacional ($r_i = 0,106$), indicando efeito de antibiose. Em contrapartida, os híbridos 14 e 15 sustentaram as maiores densidades populacionais do ácaro, caracterizando-se como suscetíveis. Conclui-se que *L. barbensiensis* possui atributos biológicos favoráveis para o controle de ácaros fitófagos do coqueiro, e que a seleção de híbridos resistentes pode ser uma estratégia eficaz no manejo integrado de *R. indica*. A integração de agentes de controle biológico com o uso de genótipos resistentes representa uma abordagem promissora para a sustentabilidade da cultura do coqueiro.

Palavras-chave: Antibiose, ácaros predadores, criação massal, dinâmica populacional, manejo integrado de artrópodes fitófagos, parâmetros demográficos, resistência genética, variação sazonal.

* Comitê Orientador: Dr. Adenir Vieira Teodoro – UFS (Orientador), Dr. Leandro Bacci – UFS (Coorientador).

ABSTRACT

VASCONCELOS, Jéssica Fontes. **Biological aspects and potential of *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) as a biological control agent and resistance of coconut hybrids to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae).** São Cristóvão: UFS, 2025. XXp. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

This dissertation investigates the potential of *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae) as a biological control agent of phytophagous mites associated with coconut palms (*Cocos nucifera* L.), as well as the susceptibility of different coconut hybrids to the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). Initially, studies were conducted to determine the feeding preference and biological parameters of *L. barbensiensis* when fed on different developmental stages of the mite *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). The results indicated a clear preference for eggs and larvae, which led to higher oviposition rates and egg viability. Life table analysis revealed an average pre-adult development time of 8.5 days, a mean fecundity of 32.38 eggs per female, and an intrinsic rate of population increase (r_m) of 0.1757, indicating the feasibility of mass rearing. Subsequently, the predatory capacity of *L. barbensiensis* was evaluated against two phytophagous mite species of coconut: *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and *R. indica*. Choice and no-choice tests showed that the predator consumed significantly more *R. indica* eggs and *A. guerreronis* adults than *R. indica* adults, demonstrating a preference for smaller prey and highlighting its potential as a biological control agent for both species. Finally, the susceptibility of 15 experimental coconut hybrids and one commercial hybrid (PB141) to *R. indica* was assessed under field and laboratory conditions. In the field, hybrids 1, 6, and 9 exhibited lower infestation levels across all mite stages, suggesting potential resistance. In laboratory conditions, hybrid 6 displayed the lowest instantaneous population growth rate ($r_i = 0.106$), indicating an antibiosis effect. In contrast, hybrids 14 and 15 supported the highest mite population densities, classifying them as susceptible. In conclusion, *L. barbensiensis* exhibits favorable biological traits for the control of phytophagous mites in coconut cultivation, and the selection of resistant hybrids may constitute an effective strategy for the integrated management of *R. indica*. The integration of biological control agents with resistant genotypes represents a promising approach for the sustainable management of coconut crops.

Key-words: Antibiosis, Predatory mites, Mass rearing, Population dynamics, Integrated management of phytophagous arthropods, Demographic parameters, Genetic resistance, Seasonal variation.

* Guidance Committee: Advisor: Dr. Adenir Vieira Teodoro – UFS, Co-advisor: Dr. Leandro Bacci – UFS.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Ácaros predadores, como os do gênero *Lasioseius* (Acari: Blattisociidae), destacam-se como potenciais agentes de controle biológico, especialmente em ambientes úmidos, embora ainda pouco explorados (Moraes *et al.*, 2015; Abo-Shnaf *et al.*, 2016; Van Lenteren, 2012). Frequentemente, *Lasioseius* se associa a plantas hospedeiras e seus artrópodes fitófagos. Por exemplo, estudos em culturas ornamentais nas Filipinas relataram *Lasioseius parberlesei* Guerrero (Acari: Blattisociidae) em folhas de crisântemo e *Lasioseius pitimini* Corpuz-Raros (Acari: Blattisociidae) em folhas de rosas, ambos associados a ácaros fitófagos. *Lasioseius parberlesei* foi observado alimentando-se do ácaro-rajado (*Tetranychus urticae* Koch, 1836), enquanto *L. pitimini* se alimentou do ácaro-da-ferrugem (*Brevipalpus* sp. Donnadieu) e de *T. urticae* em rosas, sugerindo um papel no controle natural desses fitófagos (Leon-Facundo e Corpuz-Raros, 2002). No entanto, estudos sobre *Lasioseius barbensiensis* Faraji & Kang (Acari: Blattisociidae), em especial relacionados à sua biologia e eficiência no controle de artrópodes fitófagos, ainda são escassos, o que torna as pesquisas sobre essa espécie pioneiras.

Assim, *L. barbensiensis* deve apresentar potencial na predação de diferentes artrópodes fitófagos, podendo ser uma alternativa promissora para a redução dessas populações em cultivos agrícolas. A viabilização de sua aplicação em programas de controle biológico depende do desenvolvimento de técnicas eficientes de criação massal, o que pode ser otimizado pelo uso de fontes alimentares alternativas, como o ácaro-da-farinha *Tyrophagus putrescentiae* (Fournier *et al.*, 1985; McMurtry *et al.*, 2013; Riahi *et al.*, 2017).

Tyrophagus putrescentiae é um ácaro de distribuição mundial, frequentemente associado a produtos armazenados e reconhecido como uma praga relevante de alimentos secos (Asgari *et al.*, 2022). No entanto, essa espécie também tem sido amplamente utilizada como presa alternativa em sistemas de criação massal de ácaros predadores (Pirayeshfar *et al.*, 2020). Diversos trabalhos investigam o valor nutricional dos diferentes estágios de desenvolvimento de *T. putrescentiae* — como ovos, larvas, ninfas e adultos — no contexto da predação e do controle biológico. Um exemplo é o estudo de Asgari *et al.* (2022), que analisou separadamente o desempenho de *Blattisocius mali* Oudemans (Acari: Blattisociidae) alimentado exclusivamente com ovos ou apenas com larvas do ácaro. Os resultados indicaram que as larvas proporcionaram um aporte nutricional significativamente superior, levando à redução do período de pré-oviposição e ao aumento da fecundidade do predador. Já os ovos, apesar de menos nutritivos, foram consumidos em maiores quantidades e mostraram-se úteis na manutenção inicial das colônias predadoras (Asgari *et al.*, 2022). A compreensão detalhada de ácaros predadores, sua biologia, longevidade e taxas reprodutivas é essencial para aprimorar as técnicas de multiplicação massal e viabilizar seu uso no controle biológico (Navarro-Campos *et al.*, 2016). Estudos de tabela de vida fornecem informações valiosas sobre características da história de vida de ácaros predadores, como tempo de desenvolvimento, taxas de sobrevivência, fecundidade e longevidade, permitindo avaliar sua eficiência como agentes de controle e seu desempenho sobre presas alternativas, visando à criação massal (Lawson-Balagbo *et al.*, 2007). Essas estratégias reduzem os custos de produção e favorecem a reprodução dos predadores, tornando sua utilização mais acessível e eficiente.

Embora algumas espécies de *Lasioseius* tenham sido encontradas em associação com *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) em frutos de coqueiro no estado de São Paulo, Brasil (Oliveira, Moraes e Dias, 2012) e na Tanzânia (Negloh *et al.*, 2011), outras como *Lasioseius* sp. e *Lasioseius helveticus* Evans (Acari: Blattisociidae) foram coletadas em folhas e frutos de coqueiro, em associação com *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) na Amazônia (Cruz *et al.*, 2015). Ainda assim, não foram encontrados estudos investigando o potencial de controle biológico de *L. barbensiensis*. Portanto, este estudo representa uma contribuição original na avaliação do uso de *L. barbensiensis* como agente de controle biológico desses ácaros fitófagos. O uso de testes com e sem escolha torna-se essencial para compreender a ecologia comportamental e a eficácia potencial de predadores generalistas, como *L.*

barbensiensis. Enquanto os testes com escolha ajudam a revelar a preferência alimentar quando múltiplas presas estão disponíveis, os testes sem escolha simulam condições mais próximas às do campo, nas quais apenas um tipo de presa pode estar presente (Carrillo *et al.*, 2012).

O manejo de artrópodes fitófagos é realizado principalmente com o uso de inseticidas e/ou acaricidas, mas o risco de resistência e os efeitos negativos sobre os inimigos naturais tornam necessário o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis (Döker *et al.*, 2020; Marcic, 2012). O Manejo Integrado de Pragas (MIP) propõe a redução do impacto ambiental, com ênfase no controle biológico, incluindo a introdução de inimigos naturais e a manipulação ambiental para favorecer os predadores nativos (Meissle *et al.*, 2011; Järvinen *et al.*, 2023). No controle biológico, ácaros predadores, como *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) e *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae), têm mostrado eficácia, enquanto o gênero *Lasioseius* poderia ser uma alternativa promissora para o controle de artrópodes fitófagos em determinadas condições (Moraes *et al.*, 2015; Abo-Shnaf *et al.*, 2016; Van Lenteren, 2012).

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma das plantas tropicais mais importantes do ponto de vista econômico, com ampla distribuição mundial, especialmente em países como Indonésia, Filipinas e Brasil. O Brasil destaca-se pela alta produtividade, impulsionada pela adoção de tecnologias avançadas e o uso de variedades melhoradas (Martins e Jesus Júnior, 2014). Suas diversas partes são utilizadas em produtos alimentícios, cosméticos e farmacêuticos, como água de coco, leite, fibras e óleo (Santos *et al.*, 2003). A cultura está principalmente concentrada no Nordeste brasileiro, em estados como Bahia, Sergipe e Ceará, e sua sustentabilidade depende de práticas de manejo adequadas e do controle eficiente de artrópodes fitófagos (Alouw e Wulandari, 2020).

Dois dos principais ácaros fitófagos que afetam o coqueiro no Brasil são o ácaro-da-necrose-do-coqueiro, *A. guerreronis*, e o ácaro-vermelho-das-palmeiras, *R. indica*, responsáveis por impactos negativos significativos na produtividade. *A. guerreronis* causa necrose na superfície dos frutos, reduzindo sua qualidade e viabilidade comercial (Peña *et al.*, 2012; Teodoro *et al.*, 2016). Já *R. indica* compromete a saúde da planta ao provocar manchas cloróticas nos folíolos, prejudicando a fotossíntese e, conseqüentemente, o desenvolvimento das palmeiras (Vendramim e Guzzo, 2012; Ferreira *et al.*, 2002; Navia *et al.*, 2013). Nesse contexto, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa mais sustentável dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Dentro da família Arecaceae, com cerca de 390 espécies no Brasil, o coqueiro se destaca pelas suas duas variedades principais: a gigante e a anã, sendo que a primeira é destinada à produção de óleo e a segunda, à água de coco (Azevedo *et al.*, 2018; Angeles *et al.*, 2018). O desenvolvimento de híbridos entre essas variedades tem o potencial de aumentar a produtividade e combinar as melhores características de ambas (Santos *et al.*, 2020). Contudo, a resistência a artrópodes fitófagos é um fator crucial para o sucesso do cultivo, com a composição genética das variedades influenciando diretamente a suscetibilidade a artrópodes fitófagos (Vendramim e Guzzo, 2012; Ferreira *et al.*, 2002; Navia *et al.*, 2013).

A resistência genética das plantas a artrópodes fitófagos diz respeito à habilidade natural que essas espécies possuem para suportar ou impedir danos causados por esses organismos, graças à presença de determinados genes (Smith e Clement, 2011). Essa defesa pode ocorrer por meio da produção de proteínas específicas e compostos aleloquímicos, os quais atuam como mecanismos de autodefesa. Esses compostos podem estar presentes continuamente ou serem ativados em resposta ao ataque, sendo todos regulados por genes de resistência (Smith e Clement, 2011). Esses mecanismos podem resultar em efeitos de antibiose ou antixenose, afetando o desenvolvimento, a sobrevivência ou a preferência dos fitófagos. O uso desses mecanismos no melhoramento genético de culturas oferece uma estratégia sustentável e economicamente viável para o manejo de artrópodes fitófagos, reduzindo a necessidade de agrotóxicos e aumentando a produtividade (Togola *et al.*, 2017). Nesse sentido, a composição

genética das variedades resistentes é fundamental para determinar sua menor suscetibilidade ou maior resistência aos artrópodes fitófagos.

Assim, este estudo visou identificar os estágios de desenvolvimento mais adequados de *T. putrescentiae* como fonte alimentar para *L. barbensiensis*, bem como descrever os aspectos biológicos desse predador com essa presa alternativa, avaliar seu potencial como agente de controle biológico dos ácaros *A. guerreronis* e *R. indica*, e investigar a resistência de híbridos de coqueiro anão × gigante à infestação por *R. indica* em condições de campo e laboratório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Controle biológico de ácaros fitófagos com ácaros predadores

As estratégias de Manejo Integrado de Pragas (MIP) têm sido amplamente aplicadas na agricultura com o objetivo de controlar populações de artrópodes fitófagos, reduzindo os impactos ambientais associados. Essas práticas integram diferentes métodos, como controle biológico, adoção de técnicas culturais e aplicação criteriosa de pesticidas (Meissle *et al.*, 2011).

O controle biológico é uma estratégia de manejo que emprega inimigos naturais para regular as populações de artrópodes fitófagos em sistemas agrícolas ou florestais (Parra *et al.*, 2002). Existem três principais tipos de controle biológico:

- 1) O controle biológico clássico consiste na introdução intencional de inimigos naturais exóticos para o manejo de artrópodes fitófagos também exóticos, buscando estabelecer um equilíbrio ecológico sustentável a longo prazo. Um exemplo é a introdução de parasitoides ou predadores específicos de um artrópode fitófago, em regiões onde ele foi introduzido acidentalmente (Zhang *et al.*, 2021).
- 2) O controle biológico aumentativo envolve a liberação periódica de inimigos naturais produzidos em laboratório para intensificar suas populações no campo. Essa abordagem pode ser realizada de forma inoculativa, com liberações em menor escala para promover o estabelecimento, ou inundativa, com liberações frequentes em grandes quantidades. É amplamente utilizado em cultivos protegidos e em determinadas culturas anuais (Zhang *et al.*, 2021).
- 3) O controle biológico conservativo consiste na manipulação do ambiente para promover a sobrevivência, a reprodução e a eficácia dos inimigos naturais já presentes no agroecossistema. Essa abordagem inclui práticas como a utilização de plantas que oferecem recursos alternativos, o manejo do habitat e a redução de atividades que prejudiquem os inimigos naturais (Zhang *et al.*, 2021).

O controle biológico é considerado uma das estratégias de manejo de artrópodes fitófagos mais seguras, ecologicamente sustentáveis e economicamente viáveis (Messing e Brodeur, 2017). Uma vantagem importante do controle biológico é que ele utiliza populações de inimigos naturais nativos ou já estabelecidos, adaptados aos ecossistemas e condições agrícolas locais (Mkenda *et al.*, 2020), o que contribui para a sustentabilidade da abordagem a longo prazo.

Assim, o controle biológico oferece uma alternativa eficaz e sustentável aos pesticidas sintéticos, trazendo benefícios ambientais e econômicos consideráveis. Além disso, está alinhado com as preferências dos consumidores por produtos agrícolas orgânicos e práticas agrícolas ecológicas (Nair e Peterson, 2023).

Os ácaros predadores são pequenos artrópodes que desempenham um papel crucial no controle biológico de artrópodes fitófagos em ecossistemas agrícolas e naturais (Ghasemzadeh *et al.*, 2017). Eles se alimentam de outros ácaros, insetos e suas larvas, funcionando como predadores naturais (Ghasemzadeh *et al.*, 2017). Ácaros predadores geralmente possuem uma alta capacidade reprodutiva e a possibilidade de criação em massa em laboratório (McMurtry e Scriven, 1965; Carvalho e Souza, 2000; Moraes e Flechtmann, 2008). Algumas espécies de ácaros predadores já são comercializadas em alguns países para o controle de ácaros fitófagos (Van Lenteren *et al.*, 2018).

Os ácaros predadores habitam estruturas chamadas acarodomácias, que são pequenos abrigos localizados nas folhas de diversas espécies de plantas (Puchalska *et al.*, 2024). Essas estruturas proporcionam proteção contra condições ambientais desfavoráveis e predação, favorecendo a reprodução e o desenvolvimento desses ácaros (Ferreira *et al.*, 2008; Puchalska *et al.*, 2024). Diferentes espécies de ácaros predadores se alimentam de diferentes estágios de desenvolvimento de suas presas. Por exemplo, *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) se alimenta de larvas de primeiro instar de tripes, enquanto *Hypoaspis aculeifer* Canestrini (Acari: Laelapidae) preda pupas de tripes no solo (Wiethoff *et al.*, 2004).

Alguns ácaros predadores são atraídos por odores emitidos por plantas infestadas por suas presas, o que os auxilia na localização de fontes de alimento. Por exemplo, *P. persimilis* é atraído pelos odores de plantas de pepino infestadas com ácaros rajados (Janssen, 1999). Assim, a eficácia do controle biológico com ácaros predadores pode ser afetada por fatores como a presença de acarodomácias, a disponibilidade de presas alternativas e as condições ambientais (English-Loeb *et al.*, 2002; Ghasemzadeh *et al.*, 2017; Wiethoff *et al.*, 2004).

Ácaros predadores são comumente encontrados em associação com colônias do ácaro fitófago *A. guerreronis* (Navia *et al.*, 2005; Lawson-Balagbo *et al.*, 2008; Galvão *et al.*, 2011; Carrillo *et al.*, 2012; Domingos *et al.*, 2013). No entanto, a baixa densidade populacional desses predadores no campo, juntamente com o uso inadequado de acaricidas sintéticos, frequentemente impede que eles consigam controlar de maneira eficaz as populações de *A. guerreronis* (Reis *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 2012; Teodoro *et al.*, 2016; Teodoro *et al.*, 2018).

O uso de ácaros predadores no controle biológico iniciou-se em 1968, na Europa, com a introdução de *P. persimilis* (Van Lenteren, 2012). Hoje, essa espécie é utilizada em mais de 20 países para o manejo de ácaros da família *Tetranychidae* (Van Lenteren, 2012). Ao longo do tempo, o uso de ácaros predadores tem se consolidado como uma estratégia eficiente no controle de ácaros fitófagos em diversos sistemas agrícolas (Knapp *et al.*, 2018; Fountain e Medd, 2015).

Os ácaros da família Phytoseiidae são frequentemente utilizados no controle de ácaros fitófagos no Brasil e em diversos outros países (Moraes, 2008). Dessa forma, a utilização de ácaros predadores no manejo de ácaros fitófagos já é uma prática consolidada tanto no Brasil quanto no cenário internacional (Pallini *et al.*, 2019). Espécies como *P. persimilis*, *N. californicus* e *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) têm demonstrado grande eficácia na redução das populações de ácaros fitófagos, como *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), em cultivos como morango e pepino (Bernardi *et al.*, 2012; Saito e Brownbridge, 2018).

O gênero *Lasioseius* tem demonstrado grande potencial no controle biológico de artrópodes fitófagos (Knapp *et al.*, 2018; Knapp *et al.*, 2024). Espécies como *Lasioseius japonicus* Ehara (Acari: Blattisociidae) têm mostrado capacidade de predação de ovos de diversas espécies de insetos e ácaros, incluindo *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Sciaridae), *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae) e as larvas de *Bradysia cellarum* Freeman (Diptera: Sciaridae) (Tan *et al.*, 2022). Recentemente, o conhecimento sobre a diversidade e a distribuição do gênero foi ampliado, com novas espécies sendo descritas tanto no Brasil quanto na República Dominicana (Abo-Shnaf *et al.*, 2016; Barros *et al.*, 2023).

Apesar do potencial evidenciado, o uso de *Lasioseius* como agente de controle biológico tem sido pouco explorado em comparação com outras famílias, como a *Phytoseiidae* (Moraes *et al.*, 2015; Vásquez *et al.*, 2023). No entanto, algumas espécies do gênero têm mostrado resultados promissores, especialmente em ambientes úmidos, como as culturas de arroz, além de sua eficácia no controle de artrópodes fitófagos do solo e em armazenagem (Moraes *et al.*, 2015).

Portanto, embora o gênero *Lasioseius* apresente um grande potencial para o controle biológico de artrópodes fitófagos, a validação de seus efeitos em campo ainda requer mais estudos. A recente descoberta de novas espécies (Abo-Shnaf *et al.*, 2016; Barros *et al.*, 2023) sugere que ainda há muitos agentes biológicos eficazes a serem identificados neste gênero, enfatizando a importância de pesquisas contínuas sobre sua biologia, comportamento e ecologia.

2.2 Gênero *Lasioseius* no controle biológico

Os ácaros do gênero *Lasioseius* foram, durante muito tempo, incluídos na família Ascidae. Contudo, revisões taxonômicas recentes reclassificaram esses ácaros como pertencentes à família Blattisociidae (Moraes *et al.*, 2016). Essas mudanças ocorreram devido a estudos que dividiram o antigo grupo em três famílias distintas: Ascidae, Blattisociidae e

Melicharidae, refletindo avanços no conhecimento taxonômico do grupo, baseado em semelhanças morfológicas, razões históricas e ecológicas (Moraes *et al.*, 2016). Ácaros Blattisociidae podem ser encontrados em diversos habitats, incluindo associações com aves, insetos, mamíferos, plantas e ambientes edáficos (Moraza e Lindquist, 2018). Esses ácaros se alimentam de uma variedade de organismos, como ácaros fitófagos, pequenos artrópodes e nematoides, além de fungos, pólen ou néctar (Lindquist *et al.*, 2009; Moraes e Flechtmann, 2008). Por exemplo, eles se alimentam de colêmbolos e de ácaros do solo como *Tyrophagus* e *Tarsonemus* (Quiroz-Ibáñez *et al.*, 2016). Nas folhas, sua dieta é predominantemente composta por ácaros tetraniquídeos e eriofídeos (Quiroz-Ibáñez *et al.*, 2016).

Lasioseius barbensiensis foi originalmente descrito em um pomar de macieiras (Rosaceae) em Barbens, na Espanha (Faraji & Karg, 2006). De modo geral, espécies do gênero *Lasioseius* ocupam uma ampla variedade de micro-habitats. Elas ocorrem em matéria orgânica em decomposição, serapilheira de florestas e musgos, no solo, em ninhos de pequenos mamíferos e aves, sob cascas de árvores, em cogumelos basidiomicetos, ocos de árvores, produtos armazenados e até em feno (Crozier, 1989; Walter e Lindquist, 1989). Esses ambientes sugerem que *L. barbensiensis* pode habitar detritos vegetais e solos em ecossistemas agrícolas e florestais semelhantes aos já relatados para o gênero. Além disso, em ambientes tropicais associados a plantações de coqueiro, blattisocídeos como *Lasioseius subterraneus* Valle & Peracchi (Acari: Blattisociidae) foram encontrados em frutos infestados pelo ácaro-da-necrose-do-coqueiro (*Aceria guerreronis*), especialmente em frutos caídos (Navia *et al.*, 2013).

O gênero *Lasioseius* tem demonstrado eficácia como agente de controle biológico de artrópodes fitófagos (Gerson *et al.*, 2003; Moraes *et al.*, 2015). Segundo Ortiz *et al.* (2015), *Lasioseius penicilliger* Berlese (Acari: Blattisociidae) possui um ciclo de vida curto e reproduz-se de forma partenogenética. Essa característica favorece o aumento populacional em médio prazo, o que é vantajoso para o controle biológico de artrópodes fitófagos. Os estágios de desenvolvimento incluem as fases de ovo, larva, ninfa (protoninfa e deutoninfa) e adulto (Christian e Karg, 2006; Quiroz-Ibáñez *et al.*, 2016). Especificamente, as espécies *Lasioseius berlesei* (Acari: Blattisociidae), *Lasioseius youcefi* Athias-Henriot (Acari: Blattisociidae) e *Lasioseius dentatus* Karg (Acari: Blattisociidae) reproduzem-se por meio de partenogênese telítoca, conforme descrito por Norton *et al.* (1993) e Walter e Lindquist (1989), assim como por Imbriani e Mankau (1983) para *L. dentatus* Karg (Acari: Blattisociidae). No caso de *Lasioseius floridensis* Berlese (Acari: Blattisociidae), a reprodução requer acasalamento para a oviposição, não ocorrendo a partenogênese. Esse comportamento é semelhante ao observado em *Lasioseius kinikinik* Walter & Lindquist (Acari: Blattisociidae), bem como em *L. dentatus* Karg (Acari: Blattisociidae) e *Lasioseius athiasae* Costa (Acari: Blattisociidae) (Abou-Awad *et al.*, 2001).

Ácaros do gênero *Lasioseius* frequentemente se associam a plantas hospedeiras e suas pragas. Por exemplo, estudos em culturas ornamentais nas Filipinas relataram *Lasioseius parberlesei* Costa (Acari: Blattisociidae) em folhas de crisântemo e *Lasioseius pitimini* Corpuz-Raros (Acari: Blattisociidae) em folhas de roseiras, ambos associados a ácaros fitófagos. *L. parberlesei* foi observado alimentando-se efetivamente do ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*), enquanto *L. pitimini* foi coletado juntamente com o ácaro-da-ferrugem (*Brevipalpus* sp.) e *T. urticae* em rosas, sugerindo um papel no controle natural desses fitófagos (Leon-Facundo e Corpuz-Raros, 2002). *Lasioseius parberlesei* é um predador do ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Blattisociidae) em plantações de arroz em Taiwan (Tseng, 1984; Zhang e Fan, 2010). *L. japonicus* tem demonstrado alto potencial no controle de artrópodes fitófagos. Pode se alimentar de ovos de *D. melanogaster*, *S. cerealella*, *Musca domestica*, *B. cellarum*, *T. putrescentiae* e larvas de *B. cellarum* e *T. putrescentiae* (Tan *et al.*, 2022). Nas plantações de coco, uma nova espécie, *Lasioseius siamensis* Chant (Acari: Blattisociidae), foi descoberta na Tailândia durante uma pesquisa sobre a fauna do ácaro do coco (Silva *et al.*, 2014). Algumas espécies de *Lasioseius* foram encontradas em associação com *A. guerreronis* em frutos de coqueiro no estado de São Paulo, Brasil (Oliveira, Moraes e Dias, 2012) e na Tanzânia (Negloh

et al., 2011), outras como *Lasioseius* sp. e *Lasioseius helvetius* (Acari: Blattisociidae) foram coletadas em folhas e frutos de coqueiro em associação com *R. indica* na Amazônia (Cruz *et al.*, 2015).

De maneira geral, o gênero *Lasioseius* apresenta uma notável diversidade biológica e funcional, destacando-se como um grupo promissor no controle biológico de artrópodes fitófagos em diferentes ecossistemas agrícolas (Knapp *et al.*, 2018; Knapp *et al.*, 2024). A reclassificação taxonômica recente reforça a importância de estudos contínuos para melhor compreensão de sua ecologia, biologia reprodutiva e potencial de aplicação prática. A adaptabilidade alimentar e o desempenho como predadores em diversos ambientes tornam esses ácaros aliados valiosos para o manejo integrado de artrópodes fitófagos, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

2.3 Criação massal de ácaros predadores

Para a criação massal de ácaros predadores como o *L. barbensiensis*, alimentos alternativos, como pólen e presas como o ácaro-da-farinha *T. putrescentiae*, podem ser utilizados para alimentar esses predadores em laboratório. Essa prática pode resultar em uma redução significativa nos custos de produção em massa (Fournier *et al.*, 1985; McMurtry *et al.*, 2013; Riahi *et al.*, 2017).

T. putrescentiae é um ácaro cosmopolita de produtos armazenados, considerado uma praga importante de alimentos secos (Asgari *et al.*, 2022), mas também amplamente utilizado como presa alternativa em programas de criação massal de ácaros predadores (Pirayeshfar *et al.*, 2020). Estudos têm comparado o valor nutricional de diferentes estágios de *T. putrescentiae* (ovos, larvas, ninfas, adultos) para criação e uso no controle biológico. Asgari *et al.* (2022) avaliaram separadamente o desempenho de *Blattisocius mali* alimentado apenas com ovos ou apenas com larvas de *T. putrescentiae*. Foram observadas diferenças marcantes: as larvas de *T. putrescentiae* forneceram nutrição muito superior em comparação aos ovos, reduzindo significativamente o tempo de pré-oviposição e aumentando a fecundidade do predador. Os ovos, embora menos nutritivos, são consumidos em maior número e podem contribuir para a manutenção do predador nos estágios iniciais da criação (Asgari *et al.*, 2022).

Na criação massal de ácaros predadores, *Acarus siro* Linnaeus (Acari: Acaridae) e *Tyrophagus castellanit* Zachvatkin (Acari: Acaridae) têm sido amplamente utilizados. (Albuquerque e Moraes, 2008; Xia, 2011). *T. putrescentiae* é amplamente utilizado como presa alternativa na criação massal de diversos ácaros predadores. Estudos demonstram sua eficácia para espécies como *Gaeolaelaps aculeifer* Canestrini (Acari: Laelapidae), *Stratiolaelaps scimitus* Womersley (Acari: Laelapidae), *Neoseiulus baraki* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae), *Androlaelaps aegypticus* Ahmed (Acari: Laelapidae), *Proctolaelaps gizanensis* Ahmed (Acari: Melicharidae) e *Protogamasellopsis zaheri* Nasr (Acari: Ascidae) (Barbosa e Moraes, 2016; Mostafa *et al.*, 2017; Navarro-Campos *et al.*, 2016). Esses ácaros apresentam alta taxa de reprodução, consomem substratos de baixo custo e são de fácil criação, caracterizando-se como uma excelente opção de alimento alternativo para ácaros predadores.

A combinação dos resultados de testes de preferência de escolha e não escolha para diferentes estágios de presa oferecidos a ácaros predadores é crucial, pois proporciona uma compreensão abrangente das preferências alimentares e do desempenho dos predadores. Esse conhecimento é fundamental para selecionar espécies predadoras adequadas, determinar os estágios ideais de presas para criação massal e prever a eficácia dos predadores em diferentes cenários de campo (Sotelo-Cardona *et al.*, 2021). Em última análise, essas descobertas contribuem para o desenvolvimento de estratégias de controle biológico mais eficazes e sustentáveis de ácaros fitófagos em sistemas agrícolas (Lorenzon *et al.*, 2012; Wei *et al.*, 2023). Enquanto os testes com escolha ajudam a revelar a preferência alimentar quando múltiplas presas estão disponíveis, os testes sem escolha simulam condições mais próximas às do campo, nas quais apenas um tipo de presa pode estar presente (Carrillo *et al.*, 2012).

Ácaros como *A. siro* e *T. castellanit* são eficazes e de fácil cultivo, tornando-se opções sustentáveis para o controle biológico de artrópodes fitófagos. Além disso, a utilização de *L. barbensiensis* no controle biológico depende do desenvolvimento de métodos eficientes de criação massal, baseados também no conhecimento detalhado de sua biologia, longevidade e taxas reprodutivas (Navarro-Campos *et al.*, 2016). Estudos de tabela de vida fornecem informações valiosas sobre características da história de vida de ácaros predadores, como tempo de desenvolvimento, taxas de sobrevivência, fecundidade e longevidade, permitindo avaliar sua eficiência como agentes de controle e seu desempenho sobre presas alternativas, como o *T. putrescentiae* em programas de produção massal (Lawson-Balagbo *et al.*, 2007).

Diante desse cenário, a implementação de métodos eficazes de criação massal e a seleção adequada de presas alternativas são fundamentais para potencializar o uso de ácaros predadores no controle biológico. O avanço nas pesquisas sobre a nutrição, reprodução e comportamento desses organismos contribuirá para otimizar sua aplicação em diferentes sistemas agrícolas, tornando o controle biológico uma ferramenta ainda mais viável e sustentável para o manejo de artrópodes fitófagos.

2.4 Coqueiro – *C. nucifera*, importância socioeconômica

O coqueiro, conhecido como a "árvore da vida", é uma das plantas mais importantes do mundo, social e economicamente, amplamente cultivada em países tropicais, especialmente na Ásia. O coqueiro destaca-se por sua versatilidade, com todas as suas partes sendo aproveitáveis para diferentes finalidades, desde alimentos até materiais industriais (Debmandal e Mandal, 2011). Essa planta desempenha um papel crucial como fonte de renda e sustento, proporcionando amplo aproveitamento de suas partes, incluindo raízes, folhas, estipe, inflorescências, seiva, palmito e, sobretudo, o fruto. Entre os principais produtos derivados de valor econômico estão a água de coco, o leite de coco, as fibras e o coco ralado, que possuem ampla aplicação comercial (Santos *et al.*, 2003).

A água de coco é bastante nutritiva, contendo sais minerais, proteínas, gorduras neutras, açúcares, vitaminas, fitormônios (substâncias promotoras do crescimento) e fosfolipídios (Ma *et al.*, 2008; Debmandal e Mandal, 2011). Sua composição de aminoácidos é semelhante à do leite, tornando-a uma alternativa valiosa em regiões com altos índices de desnutrição, onde é usada para suprir proteínas, vitaminas e minerais (Carvalho *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2006). Além de ser consumida diariamente como suplemento nutricional e solução de hidratação oral, já foi utilizada como soro fisiológico em reidratação intravenosa e reposição eletrolítica (Vigliar *et al.*, 2006).

O fruto também é valorizado pela produção de óleo de coco, um insumo de grande relevância para as indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Os resíduos gerados no processamento do coco têm um potencial transformador devido à sua composição lignocelulósica rica em lignina e grupos multifuncionais. No entanto, se não gerenciados adequadamente, podem causar danos ambientais. Por outro lado, quando bem geridos, contribuem para a sustentabilidade ao reduzir impactos ambientais e promover o uso da biomassa em diversos setores, como em pesquisas e como matéria-prima nos setores químico e energético (Vieira *et al.*, 2024).

Os últimos dados publicados pela Faostat (2021) indicam que os maiores produtores mundiais de coco estão concentrados no continente asiático, com a Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka liderando o ranking. O Brasil ocupa a quinta posição global, seguido pelo Vietnã. Contudo, a produtividade média nacional na Indonésia ainda está distante do potencial produtivo alcançado pelas variedades geneticamente superiores, o que evidencia desafios relacionados ao manejo, ao uso de tecnologias e ao melhoramento genético (Alouw e Wulandari, 2020).

O Brasil, apesar de estar em quinto lugar em volume de produção, se destaca por apresentar o maior rendimento entre os principais produtores mundiais, alcançando 13.114 kg/ha em 2020 e 12.588 kg/ha em 2021. Esse desempenho superior está associado a fatores

como o uso de tecnologias avançadas na cultura, manejo eficiente dos coqueirais, adoção de sistemas intensivos de cultivo e utilização de variedades melhoradas, como o coqueiro anão e o híbrido. Essas inovações técnicas não apenas aumentaram a produtividade, mas também possibilitaram a expansão do cultivo para regiões onde antes não havia produção comercial significativa (Martins e Jesus Júnior, 2014).

No Brasil, a cocoicultura está concentrada majoritariamente na região Nordeste, ao longo da faixa litorânea, devido às condições climáticas favoráveis ao cultivo. A liderança na produção de coco pertence à Bahia, seguida por Sergipe e Ceará. Em 2009, Sergipe cultivava uma área de 42.000 hectares, gerando mais de 270 milhões de frutos, com produtividade média de 6,64 mil frutos por hectare (Martins e Jesus Júnior, 2011).

A sustentabilidade do setor depende de ações como a produção de produtos de coco de alto valor agregado, o estabelecimento de fazendas de sementes, o replantio de palmeiras senis, o manejo eficaz de artrópodes fitófagos e doenças e a colaboração entre indústrias, agricultores e governos. Além disso, é fundamental investir em pesquisas que desenvolvam tecnologias inovadoras para impulsionar a produtividade e a competitividade do setor (Alouw e Wulandari, 2020).

2.5 Ácaros fitófagos do coqueiro – *C. nucifera*

O coqueiro é hospedeiro de algumas espécies de ácaros fitófagos (Ferreira *et al.*, 2002). Entre as espécies que atacam os frutos destacam-se *A. guerreronis* (ácaro-da-necrose), *Amrineus cocofolius* Flechtmann (Acari: Eriophyidae) (ácaro da mancha anelar) e *Steneotarsonemus furcatus* De Leon (Acari: Tarsonemidae) (ácaro da mancha longitudinal). Já entre as espécies que afetam as folhas, destacam-se *Retractus johnstoni* Keifer (Acari: Eriophyidae) (microácaro branco), *Tetranychus mexicanus* McGregor (Acari: Tetranychidae) (ácaro vermelho) e *R. indica* (ácaro vermelho das palmeiras) (Ferreira *et al.*, 2018).

As espécies mais importantes para o coqueiro no Brasil são o *A. guerreronis*, principalmente na região Nordeste, em função de condições climáticas adequadas para o seu desenvolvimento, e o *R. indica*, largamente distribuído no mundo, com ocorrência no Brasil já registrada nos estados de Roraima, Amazonas, Ceará, Sergipe, São Paulo e Mato Grosso (Ferreira *et al.*, 2002; Navia *et al.*, 2013). *Raoiella indica* pode se espalhar rapidamente pelo país devido ao seu alto poder de dispersão (Ferreira *et al.*, 2002; Navia *et al.*, 2013).

O ácaro-da-necrose-do-coqueiro *A. guerreronis* é considerado o ácaro fitófago mais importante e abundante em coqueiros (Alfaia *et al.*, 2023). Este organismo, como também o *S. furcatus*, forma colônias sob as brácteas do perianto dos frutos, provocando necrose e comprometendo tanto a qualidade quanto o valor comercial dos cocos (Alfaia *et al.*, 2023; Lawson-Balagbo *et al.*, 2007).

O ácaro fitófago *A. cocofolius* é considerado uma espécie que, aparentemente, não afeta significativamente a produtividade do coqueiro, limitando-se a causar danos estéticos aos frutos. Seu ataque ocorre próximo às margens distais das brácteas, afetando tanto frutos em estágio inicial quanto em estágios mais avançados de desenvolvimento. Essa atividade resulta na formação de necroses transversais nos frutos, sem, no entanto, atingir as brácteas (Navia *et al.*, 2005).

O *R. johnstoni*, no momento, apesar de causar danos visíveis, não aparenta comprometer a produtividade da cultura (Moraes e Flechtmann, 2008). *Tetranychus mexicanus* forma teias na superfície abaxial dos folíolos, onde se reproduz e se alimenta, extraindo o conteúdo celular. Sua atividade provoca clorose, opacidade e bronzeamento das folhas, comprometendo diretamente a fotossíntese. Esses danos podem reduzir a produção de frutos ou retardar o crescimento de plantas jovens (Ferreira *et al.*, 2019).

O ataque de *R. indica* resulta no aparecimento de manchas cloróticas na superfície adaxial dos folíolos, causadas pelas numerosas colônias do ácaro localizadas predominantemente na face abaxial. Esse ataque pode comprometer o desenvolvimento da

planta e reduzir significativamente a produtividade do coqueiro (Peña *et al.*, 2012; Navia *et al.*, 2015; Teodoro *et al.*, 2016).

O manejo de ácaros fitófagos é realizado principalmente por meio da aplicação de acaricidas convencionais, que apresentam diferentes modos de ação (Leeuwen *et al.*, 2014). No entanto, a eficácia desses produtos pode variar e o desenvolvimento de resistência por parte dos ácaros é uma preocupação significativa (Döker *et al.*, 2020; Marcic, 2012). Para mitigar esse risco, recomenda-se a alternância de acaricidas com distintos modos de ação (Döker *et al.*, 2020; Marcic, 2012).

2.6 Ácaro-da-necrose-do-coqueiro *A. guerreronis*: desafios e alternativas biológicas

O *A. guerreronis* na fase adulta possui aproximadamente 255 µm de comprimento (Negloh *et al.*, 2011). Seu corpo apresenta uma coloração branco-leitosa ou levemente amarelada, com um brilho característico, e é vermiforme, contando apenas com dois pares de pernas (Moore e Howard, 1996). No Brasil, o ácaro foi inicialmente registrado em 1965 no estado do Rio de Janeiro, sendo associado à queda prematura dos frutos (Navia *et al.*, 2007).

O *A. guerreronis* causa elevadas perdas na produtividade de coqueiros no Brasil (Navia *et al.*, 2013; Rezende, 2014; Teodoro *et al.*, 2018). Colônias desse ácaro se desenvolvem abaixo das brácteas dos frutos novos (Moraes e Flechtmann, 2008; Ferreira, 2009; Teodoro *et al.*, 2018). Os sintomas observados nos frutos são cloroses triangulares que evoluem para necroses, deformação, redução do tamanho, diminuição do peso e volume de água. Ainda ocorre queda prematura dos frutos, gerando perdas na produtividade (Moore e Howard, 1996).

O valor comercial dos frutos para o comércio in natura é reduzido em função do dano estético (Ferreira, 2009; Rezende, 2014; Teodoro *et al.*, 2014; Teodoro *et al.*, 2018). O controle desse ácaro é realizado principalmente com pulverizações de acaricidas sintéticos. No entanto, o uso inadequado vem causando efeitos adversos ao meio ambiente, selecionando populações resistentes de artrópodes fitófagos, diminuindo a eficiência do controle biológico natural e ainda aumentando os custos de produção (Desneux, Decourtye e Delpuech, 2007; Geiger *et al.*, 2011; Guedes *et al.*, 2016).

Assim, diversos estudos têm sido conduzidos para controlar o *A. guerreronis*, incluindo o uso de acaricidas de contato e sistêmicos. No entanto, a eficácia do controle pode ser comprometida devido à forma de aplicação dos produtos, ao mecanismo de ação dos mesmos e ao comportamento do ácaro fitófago. Especificamente, a proteção proporcionada pelas brácteas dificulta a ação dos acaricidas de contato (Mariau e Julia, 1970).

Embora os acaricidas sistêmicos mostrem-se eficazes, sua aplicação pode resultar na presença de resíduos nos frutos, especialmente considerando que a cultura do coqueiro possui frutos em diferentes estágios de desenvolvimento e colheitas frequentes. Isso aumenta a probabilidade de contaminação de cocos comercializados, tanto na água quanto no albúmen sólido (Mariau e Julia, 1970). Além disso, o uso de produtos químicos, sejam sistêmicos ou de contato, pode impactar negativamente os inimigos naturais e contribuir para o desenvolvimento de resistência nos ácaros fitófagos (Freitas *et al.*, 2006).

Como alternativa ao controle químico, métodos de controle biológico têm sido explorados como opções viáveis e sustentáveis. Ácaros predadores, como *Neoseiulus paspalivorus* Hughes (Acari: Phytoseiidae) e *Proctolaelaps bickleyi* Bram (Acari: Melicharidae), destacam-se como inimigos naturais promissores no manejo de *A. guerreronis* (Lawson-Balagbo *et al.*, 2007).

Diante das limitações do controle químico no combate ao *A. guerreronis*, novas abordagens estão sendo exploradas para mitigar seu ataque e reduzir os danos à produtividade da cultura. Entre essas alternativas, destaca-se o uso de inimigos naturais como ácaros predadores, que visam promover o controle natural desse ácaro fitófago.

2.7 Ácaro-vermelho-das-palmeiras *R. indica*: uma ameaça invasora às plantações de coqueiros

O ácaro-vermelho-das-palmeiras, *R. indica*, é um ácaro fitófago invasor originário do Velho Mundo, mais especificamente da Ásia e África (Melo *et al.*, 2018). Adultos de *R. indica* possuem entre 0,25 e 0,32 mm de comprimento (Balza, Vasquez e Varela, 2015). Essa espécie forma colônias compostas por todos os estágios de desenvolvimento, habitando principalmente a face abaxial das folhas, com maior concentração nas folhas mais velhas (Balza, Vasquez e Varela, 2015).

Considerado uma séria ameaça às plantações de coqueiros e palmeiras ornamentais, *R. indica* pode alcançar densidades populacionais elevadas, causando danos expressivos a palmeiras (Arecaceae) (Rodrigues *et al.*, 2007; Carrillo e Peña, 2011; Melo *et al.*, 2018). Sua alta capacidade de dispersão é notável, tendo se expandido por 13 países das Américas em apenas seis anos (2004-2010), a uma média de 100 km por ano (Mesa *et al.*, 2009; Kane *et al.*, 2012). Essa dispersão pode ser atribuída ao transporte de mudas infestadas, frequentemente relacionadas ao comércio de plantas ornamentais ou à ação do vento (Welbourn, 2006).

No Brasil, *R. indica* foi detectada inicialmente em áreas urbanas de Boa Vista, Roraima, em coqueiros e bananeiras (Navia *et al.*, 2011) e, posteriormente, em Manaus, Amazonas (Rodrigues e Antony, 2011). A partir de 2016, expandiu-se para outras regiões, sendo registrada no Ceará e em mais sete estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe e Piauí) (Hata *et al.*, 2017). No mesmo período, foi identificada no Centro-Oeste (Distrito Federal e Goiás), no Sudeste (Minas Gerais) e no Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (Oliveira *et al.*, 2016; Barroso *et al.*, 2019). Essa ampla e rápida disseminação reflete as condições favoráveis encontradas no país, como clima ideal e abundância de hospedeiros (Amaro e Moraes, 2013).

Além das Aracaceas, *R. indica* ataca espécies das famílias Cannaceae, Heliconiaceae, Musaceae, Strelitziaceae e Zingiberaceae (Carrillo *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2018). Em coqueiros, a infestação provoca manchas cloróticas na superfície superior dos folíolos, devido à atividade das colônias na face inferior, resultando em prejuízos significativos à produtividade (Peña *et al.*, 2012; Navia *et al.*, 2015; Teodoro *et al.*, 2016). As densidades populacionais observadas em Roraima são comparáveis às de países onde os impactos econômicos são severos, evidenciando o potencial desse artrópode fitófago para causar danos econômicos e ecológicos no Brasil (Gondim *et al.*, 2012).

Atualmente, não há acaricidas químicos sintéticos oficialmente registrados no Brasil especificamente para o controle de *R. indica*. Com isso, o controle desse ácaro fitófago no país tem sido realizado principalmente com acaricidas sintéticos não registrados oficialmente, o que apresenta desafios relacionados à resistência do ácaro e impactos negativos sobre os inimigos naturais (Desneux *et al.*, 2007; Geiger *et al.*, 2010; Mapa, 2025). No entanto, estudos laboratoriais indicam que acaricidas químicos, como abamectina, clorfenapir e fenpiroximato, podem ser eficazes no controle de *R. indica* (Santos *et al.*, 2020). A abamectina, por exemplo, demonstrou alta eficácia nas primeiras horas após a aplicação, com uma mortalidade acumulada de 85,42% após 72 horas (Santos *et al.*, 2020).

Em julho de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) registrou o produto biológico *Neoseiulus barkeri* Hughes (Acari: Phytoseiidae), um ácaro predador que atua especificamente contra *R. indica*. Este é o primeiro produto biológico registrado no país para o controle dessa praga (Brasil, 2021).

Diante disso, é crucial investir em estratégias de manejo sustentáveis, com ênfase no controle biológico, que pode oferecer uma alternativa eficaz e ambientalmente segura. A integração de inimigos naturais no manejo desse artrópode fitófago representa um caminho promissor para reduzir os prejuízos econômicos e preservar os ecossistemas afetados.

2.8 Variedades de coqueiro – *C. nucifera*

A família Arecaceae, comumente conhecida como a família das palmeiras, destaca-se por sua ampla distribuição geográfica e relevância econômica (Rivas *et al.*, 2012). Composta por aproximadamente 3.000 espécies, cerca de 390 são encontradas no Brasil, abrangendo todos

os ecossistemas, com maior representatividade na Floresta Amazônica e na Mata Atlântica (Souza e Lima, 2019).

O coqueiro possui duas principais variedades: *C. nucifera* var. *typica*, conhecida como "gigante", e *C. nucifera* var. *nana*, chamada "anã". Além dessas, existem híbridos que resultam do cruzamento entre essas duas variedades (Azevedo *et al.*, 2018). A variedade anã é precoce, com início da produção de frutos entre 3 e 4 anos após o plantio, enquanto a variedade gigante começa a produzir frutos somente entre 6 e 10 anos após o plantio (Azevedo *et al.*, 2018). Os frutos da variedade anã, apesar de menores, possuem água mais doce, sendo a escolha preferida quando o foco é a produção de água de coco. Já os frutos da variedade gigante, devido ao seu tamanho maior e características específicas, são mais utilizados na produção de óleo de coco e em diferentes setores da indústria alimentícia (Angeles *et al.*, 2018).

A variedade anã possui três subvariedades principais: vermelho, amarelo e verde. Entre elas, a subvariedade verde se destaca como a mais adequada para a produção de água de coco, devido à sua maior aceitação pelos consumidores quanto ao sabor. Além de ser preferida pelos produtores por sua alta produtividade, precocidade e porte reduzido, que facilita a colheita (Azevedo *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2020). O desenvolvimento de novos híbridos resultantes do cruzamento entre coqueiro-anão e coqueiro-gigante tem o potencial de aumentar a produtividade dos coqueirais. No entanto, é fundamental considerar a suscetibilidade desses híbridos a fatores abióticos e bióticos, incluindo artrópodes fitófagos e doenças, durante sua avaliação e seleção (Kumar e Kunhamu, 2022).

Os híbridos de coqueiro possuem dupla aptidão, sendo adequados tanto para a produção de água de coco quanto de coco-seco. Esses híbridos intervartuais são considerados superiores ao coqueiro-gigante devido a características como sementes de germinação mais rápida, crescimento mais lento, que resulta em plantas de menor porte, florescimento mais precoce, maior uniformidade, maior número de frutos por planta, estabilidade na produção e maior produtividade. Além disso, a água dos híbridos intervartuais é mais saborosa, tornando sua produção mais rentável (Santos *et al.*, 2020).

A pesquisa e o desenvolvimento de híbridos intervartuais, aliados à consideração de fatores bióticos e abióticos, são estratégias essenciais para aumentar a produtividade e a sustentabilidade do cultivo (Dissanayaka *et al.*, 2023; Nair *et al.*, 2019). Assim, o coqueiro continua a desempenhar um papel fundamental na economia agrícola, especialmente em países tropicais, reafirmando sua relevância como uma cultura estratégica no contexto global.

É importante ressaltar que a resistência de plantas constitui um dos pilares do manejo integrado de artrópodes fitófagos, ao impedir que suas populações atinjam níveis de dano econômico. Além de atuar de forma contínua contra artrópodes fitófagos, apresenta a vantagem de não envolver toxicidade. Nesse contexto, a composição genotípica das variedades resistentes determina sua menor suscetibilidade aos ataques de artrópodes fitófagos em comparação às cultivares suscetíveis (Vendramim e Guzzo, 2012).

No entanto, é importante destacar que diferentes híbridos de coqueiro podem apresentar respostas distintas ao ataque de artrópodes fitófagos, o que torna essencial a realização de estudos aprofundados sobre a resistência e a suscetibilidade desses híbridos a esses organismos. Estes estudos são fundamentais para o aprimoramento das estratégias de manejo e para garantir a produção sustentável nas culturas de coqueiro.

2.9 Resistência genética de plantas a artrópodes fitófagos

Resistência genética de plantas a artrópodes fitófagos refere-se à sua capacidade de resistir ou tolerar o ataque desses organismos por meio de características genéticas específicas (Smith e Clement, 2011). Essa resistência é mediada por proteínas de autodefesa e compostos aleloquímicos produzidos de forma constitutiva ou induzida pelo ataque dos artrópodes, sendo sintetizados por genes de resistência (Smith e Clement, 2011).

A resistência genética de plantas a artrópodes herbívoros pode ser classificada em três categorias principais: antibiose, antixenose (ou não-preferência) e tolerância. Em antibiose,

características da planta afetam negativamente a biologia do herbívoro (por exemplo, matando-o ou reduzindo sua fecundidade) (Peterson *et al.*, 2017). Em antixenose, a planta possui atributos (químicos ou físicos) que afastam ou desorientam o inseto, tornando-o menos atrativo para alimentação ou oviposição (Peterson *et al.*, 2017). Em tolerância, a planta compensa o dano causado pelo herbívoro (mantendo crescimento e rendimento mesmo sob ataque), sem necessariamente afetar o inseto (Peterson *et al.*, 2017). Assim, plantas tolerantes suportam a infestação produzindo colheitas aceitáveis, embora herbívoros possam sobreviver (diferença de “processo não recíproco” relatada por Smith (2005) e Peterson *et al.* (2017)). Esses mecanismos envolvem componentes moleculares, fisiológicos e estruturais diversos (metabólitos secundários, espessura de cutícula, tricomas, etc.), frequentemente poligênicos (Peterson *et al.*, 2017). Em resumo, a antibiose reduz diretamente o herbívoro, a antixenose reduz sua incidência na planta, e a tolerância permite que a planta compense o dano causado (Smith *et al.*, 2005; Kogan e Ortman, 1978; Peterson *et al.*, 2017).

No coqueiro, os principais ácaros fitófagos são o ácaro-da-necrose-do-coqueiro (*A. guerreronis*) e o ácaro-vermelho-das-palmeiras (*R. indica*), e a literatura destaca esforços para identificar cultivares resistentes. Arumugam *et al.* (2022) referem-se a *A. guerreronis* como praga devastadora de frutos de coqueiro e enfatizam que o controle químico é ineficaz e insustentável, sendo necessário desenvolver variedades/tolerância genética ao ácaro. Shalini *et al.* (2007) demonstraram que o plantio de cultivares de coco resistentes é a estratégia mais eficaz para prevenir perdas causadas por *A. guerreronis*. Nesse estudo, genótipos de coqueiro resistentes e suscetíveis foram analisados por marcadores SSR e RAPD, identificando loci associados à resistência ao ácaro. Tais marcadores permitem detectar precocemente plantas resistentes em programas de melhoramento (Shalini *et al.*, 2007).

Em relação a *R. indica*, Leite *et al.* (2024) avaliaram seis cultivares anões de coqueiro e confirmaram que esse ácaro é uma importante praga do coqueiro. Nos testes de escolha livre e confinamento, o cultivar ‘Brazilian Green Dwarf-Jiqui’ (BGDJ) mostrou o pior desempenho de *R. indica* (menos alimentação e oviposição), indicando resistência combinada por antibiose e antixenose. O cultivar ‘Cameroon Red Dwarf’ (CRD) apresentou resistência principalmente por antixenose (foi menos preferido). Em contraste, cultivares como Malayan Red Dwarf (MRD) e Brazilian Red Dwarf-Gramame (BRDG) foram mais suscetíveis. Assim, BGDJ foi considerado a fonte de resistência mais promissora a *R. indica* e CRD como fonte de resistência antixenótica. Esses achados indicam que existe variabilidade genética de resistência ao ácaro-vermelho entre cultivares de coco (Leite *et al.*, 2024), oferecendo bases para programas de seleção.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO-SHNAF, R. I.; MORAES, G. J.; SÁNCHEZ, L. Planta que habita ácaros Gamasina (Acari: Mesostigmata) da República Dominicana, com descrições de quatro novas espécies de *Lasioseius* (Blattisociidae) e descrições complementares de outras espécies. **Acarologia Sistemática e Aplicada**, v. 21, p. 607-646, 2016.

ABOU-AWAD, A.-A.; HASSAN, H.; ABOU-ELELA, A.-E.; KORAYEM, K. Life history of the predatory mite *Lasioseius athiasae* (Acari, Ascidae) on various kinds of food substances: a polypeptide analysis of prey consideration. **Journal of Applied Entomology**, v. 125, p. 125-130, 2001.

ALBUQUERQUE, F. A. de; MORAES, G. J. de. Perspectives for mass rearing of *Iphiseiodes zuluagai* Denmark e Muma (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 3, p. 328-333, 2008.

ALFAIA, J. P.; NETO, E. P. S.; DUARTE, L. S.; NORONHA, A. C. D. S.; FERLA, N. J.; JUNIOR, M. G. C. G.; BATISTA, T. F. V. Acarofauna associated with coconut fruits (*Cocos nucifera* L.) in a crop area from Pará state, Amazon, Brazil. **Systematic and Applied Acarology**, v. 28, n. 4, p. 667-679, 2023.

ALOUW, J. C.; WULANDARI, S. Present status and outlook of coconut development in Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 418, n. 1, p. 012035, 2020.

AMARO, G.; MORAIS, E.G.F. Potential geographical distribution of the red palm mite in South America. **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, p. 343-355, 2013.

ANGELES, J. G. C.; LADO, J. P.; PASCUAL, E. D.; CUETO, C. A.; LAURENA, A. C.; LAUDE, R. P. Towards the understanding of important coconut endosperm phenotypes: is there an epigenetic control? **Agronomy**, v. 8, n. 10, p. 225-244, 2018.

ARUMUGAM, T.; HATTA, M. A. M. Improving Coconut Using Modern Breeding Technologies: Challenges and Opportunities. **Plants**, v. 11, p. 3414, 2022.

ASGARI, F.; SAFAVI, S. A.; MOAYERI, H. R. S. Life table parameters of the predatory mite, *Blattisocius mali* Oudemans (Mesostigmata: Blattisociidae), fed on eggs and larvae of the stored product mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 32, n. 1, p. 118, 2022.

AZEVEDO, A. O. N.; AZEVEDO, C. D. D. O.; SANTOS, P. H. A. D.; RAMOS, H. C. C.; BOECHAT, M. S. B.; ARÊDES, F. A. S.; RAMOS, S. R. R.; MIRIZOLA, L. A.; PERERA, L.; ARAGÃO, W. M.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, M. G. Selection of legitimate dwarf coconut hybrid seedlings using DNA fingerprinting. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 409-416, 2018.

BALZA, D.; VASQUEZ, C.; VARELA, R. Aspectos biológicos de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) sobre cultivares de *Musa* spp.: posible rol de anatomia química de la hoja. **Entomotropica**, v. 30, n. 18, p. 181-192, 2015.

- BARBOSA, M. F. C.; MORAES, G. J. Potential of astigmatid mites (Acari: Astigmatina) as prey for rearing edaphic predatory mites of the families Laelapidae and Rhodacaridae (Acari: Mesostigmata). **Experimental and Applied Acarology**, v. 69, n. 3, p. 289-296, 2016.
- BARROSO, G. S. P.; ROCHA, C. M.; MOREIRA, G. F.; HATA, F. T.; ROGGIA, S.; VENTURA, M. U.; MORAES, G. J. What is the southern limit of the distribution of red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), in Agricultural Lands in Brazil? **Florida Entomologist**, v. 102, n. 3, p. 581-585, 2019.
- BARROS, Á. R. de A.; SILVA, E. S.; CASTILHO, R. C.; MORAES, G. J. D. Descrição de uma nova espécie de *Lasioseius* Berlese (Acari: Mesostigmata: Blattisociidae) do Brasil e redescritção de *Lasioseius meridionalis* Chant. **Acarologia Sistemática e Aplicada**, v. 28, n. 9, p. 1447-1465, 2023.
- BERNARDI, D.; MALAUSA, T.; GARCIA, M. S.; BOTTON, M.; NAVA, D. E.; DA CUNHA, U. S.; BERNARDI, O. Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. **Pest Management Science**, v. 69, n. 1, p. 75-80, 2012.
- BERNDT, O.; POEHLING, H. -M; MEYHÖFER, R. Predation capacity of two predatory laelapid mites on soil-dwelling thrips stages. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 112, n. 2, p. 107-115, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mapa registra produto biológico inédito para controle do ácaro vermelho das palmeiras**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-registra-produto-biologico-inedito-para-controle-do-acaro-vermelho>. Acesso em: 17 jan. 2025.
- CARRILLO, D.; FRANK, J. H.; RODRIGUES, J. C. V.; PEÑA, J. E. A review of the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 347-360, 2012.
- CARRILLO, D.; PEÑA, J. E. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, n. 3-4, p. 361-372, 2011.
- CARVALHO, C.; SOUZA, B. Métodos de criação e produção de crisopídeos. In: BUENO, V. H. P. (Ed.). Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade. Lavras: **Universidade Federal de Lavras**, 2000. p. 91-109.
- CARVALHO, J. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; MAIA JÚNIOR, G. A. Água-de-coco: Propriedades nutricionais, funcionais e processamento. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 437-452, 2006.
- CHRISTIAN, A.; KARG, W. The predatory mite genus *Lasioseius* Berlese, 1916 (Acari, Gamasina). **Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz**, v. 77, n. 2, p. 99-250, 2006.
- DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): in health promotion and disease prevention. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 4, n. 3, p. 241-247, 2011.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007.

DISSANAYAKA, D. M. N. S.; DISSANAYAKE, D. K. R. P. L.; NUWARAPAKSHA, T. D.; UDUMANN, S. S.; ATAPATTU, A. J. Agroforestry—a key tool in the climate-smart agriculture context: a review on coconut cultivation in Sri Lanka. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, p. 1162750, 2023.

DÖKER, İ.; KAZAK, C.; AY, R. Resistance status and detoxification enzyme activity in ten populations of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) from Turkey. **Crop Protection**, v. 141, p. 105488, 2020.

DOMINGOS, C. A.; OLIVEIRA, L. O.; MORAIS, E. G.; NAVIA, D.; MORAES, G. J.; GONDIM JR, M. G. C. Comparison of two populations of the pantropical predator *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) for biological control of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 60, p. 83-93, 2013.

ENGLISH-LOEB, G.; WALKER, M. A.; NORTON, A. P. Behavioral and population consequences of acarodomatia in grapes on phytoseiid mites (Mesostigmata) and implications for plant breeding. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 104, n. 2-3, p. 307-319, 2002.

FERREIRA, J. A. M.; ESHUIS, B.; JANSSEN, A.; SABELIS, M. W. Domatia reduce larval cannibalism in predatory mites. **Ecological Entomology**, v. 33, n. 3, p. 374-379, 2008.

FERREIRA, J. M. S.; MICHEREFF FILHO, M.; LINS, P. M. P. Pragas do coqueiro: características, amostragem, nível de ação e principais métodos de controle. In: FERREIRA, J. M. S.; MICHEREFF FILHO, M. (Ed.). **Produção integrada de coco: práticas fitossanitárias**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. p. 37-72.

FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 3. ed. Brasília: Embrapa; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2018. 508 p.

FERREIRA, J. M. S.; MELO, E. A. S. F.; OLIVEIRA, A. R.; GONDIM JUNIOR, M. G. C.; TEODORO, A. V.; NAVIA, D. **Ocorrência e sintomas de ataque dos ácaros *Oligonychus pratensis* (Banks) e *Tetranychus neocaledonicus* André (Acari: Tetranychidae) em coqueiro-anão-verde no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 22p.

FERREIRA, J. M. S. Pragas e métodos de controle ajustados à baixa capacidade de investimentos dos pequenos produtores rurais. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. p. 191-218.

FOUNTAIN, M. T.; MEDD, N. Integrating pesticides and predatory mites in soft fruit crops. **Phytoparasitica**, v. 43, n. 5, p. 657-667, 2015.

FOURNIER, D.; MILLOT, P.; PRALAVORIO, M. Rearing and mass production of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 38, n. 1, p. 97-100, 1985.

FREITAS, J. D. B.; INNECCO, R.; MENDES, A. J. P.; DE CARVALHO GONÇALVES, M. E. Controle alternativo do ácaro da necrose do coqueiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 314-319, 2006.

GHASEMZADEH, S.; LEMAN, A.; MESSELINK, G. J. Biological control of *Echinothrips americanus* by phytoseiid predatory mites and the effect of pollen as supplemental food. **Experimental and Applied Acarology**, v. 73, n. 2, p. 209-221, 2017.

GALVÃO, A. S.; GONDIM JR, M. G. C.; MORAES, G. J. Life history of *Proctolaelaps bulbosus* feeding on the coconut mite *Aceria guerreronis* and other possible food types occurring on coconut fruits. **Experimental and Applied Acarology**, v. 53, p. 245-252, 2011.

GEIGER, F.; BENGTSSON, J.; BERENDSE, F.; WEISSER, W. W.; EMMERSON, M.; MORALES, M. B.; INCHAUSTI, P. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, n. 2, p. 97-105, 2010.

GEIGER, F.; BENGTSSON, J.; BERENDSE, F.; WEISSER, W. W.; EMMERSON, M.; MORALES, M. B.; CERYNGIER, P.; LIIRA, J.; TSCHARNTKE, T.; WINQVIST, C.; EGGERS, S.; BOMMARCO, R.; PAERT, T.; BRETAGNOLLE, V. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, p. 97-105, 2011.

GERSON, U.; SMILEY, R. L.; OCHOA, R. **Mites (Acari) for pest control**. Oxford: Blackwell Science, 2003.

GHASEMZADEH, S.; LEMAN, A.; MESSELINK, G. J. Biological control of *Echinothrips americanus* by phytoseiid predatory mites and the effect of pollen as supplemental food. **Experimental and Applied Acarology**, v. 73, n. 2, p. 209-221, 2017.

GONDIM, M. G. C.; CASTRO, T. M. M. G.; MARSARO, A. L.; NAVIA, D.; MELO, J. W. S.; DEMITE, P. R.; MORAES, G. J. Can the red palm mite threaten the Amazon vegetation? **Systematics and Biodiversity**, v. 10, n. 4, p. 527-535, 2012.

GUEDES, R. N. C.; SMAGGHE, G.; STARK, J. D.; DESNEUX, N. Pesticide induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. **Annual Review of Entomology**, v. 61, p. 43-62, 2016.

HATA, F. T.; SILVA, J. E. P.; VENTURA, M. U.; PASINI, A.; ROGGIA, S. First Report of *Raoiella indica* (Hirst) (Acari: Tenuipalpidae) in Southern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 46, n. 3, p. 356-359, 2017.

IMBRIANI, I.; MANKAU, R. Studies on *Lasioseius scapulatus*, a mesostigmatid mite predaceous on nematodes. **Journal of Nematology**, v. 15, n. 4, p. 523, 1983.

JANSSEN, A. Plants with spider-mite prey attract more predatory mites than clean plants under greenhouse conditions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 90, n. 2, p. 191-199, 1999.

JÄRVINEN, A.; HYVÖNEN, T.; RAISKIO, S.; HIMANEN, S. J. Intercropping shifts the balance between generalist arthropod predators and oilseed pests towards natural pest control. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 348, p. 108415, 2023.

KANE, E. C.; OCHOA, R.; MATHURIN, G.; ERBE, E. F.; BEARD, J. J. *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): An exploding mite pest in the neotropics. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, n. 3-4, p. 215-225, 2012.

KNAPP, M.; VAN HOUTEN, Y.; VAN BAAL, E.; GROOT, T. Use of predatory mites in commercial biocontrol: current status and future prospects. **Acarologia**, v. 58, n. suppl, p. 72-82, 2018.

KNAPP, R. A.; MATA, L.; MCDUGALL, R.; YANG, Q.; HOFFMANN, A. A.; UMINA, P. A. Acute toxicity effects of pesticides on predatory snout mites (Trombidiformes: Bdellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 117, n. 3, p. 951-962, 2024.

KOGAN, M.; ORTMAN, E. Antixenosis: a new term proposed to define Painter's "nonpreference" modality of resistance. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 24, p. 175-176, 1978.

KUMAR, B. M.; KUNHAMU, T. K. Nature-based solutions in agriculture: A review of the coconut (*Cocos nucifera* L.)-based farming systems in Kerala, "the Land of Coconut Trees". **Nature-Based Solutions**, v. 2, p. 100012, 2022.

LAWSON-BALAGBO, L. M.; GONDIM JR., M. G. C.; MORAES, G. J.; HANNA, R.; SCHAUSBERGER, P. Exploration of the acarine fauna on coconut palm in Brazil with emphasis on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and its natural enemies. **Bulletin of Entomological Research**, v. 98, p. 83-96, 2008.

LAWSON-BALAGBO, L. M.; SCHAUSBERGER, P.; HANNA, R.; MORAES, G. J.; GONDIM, M. G. C. Exploration of the acarine fauna on coconut palm in Brazil with emphasis on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and its natural enemies. **Bulletin of Entomological Research**, v. 98, n. 1, p. 83-96, 2007.

LEITE, R. D. A.; DOS SANTOS, C. G.; DE SOUZA, I. V.; LEDO, C. A. D. S.; GUZZO, E. C. Resistance of dwarf *Cocos nucifera* L. (Arecaceae) cultivars to *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 92, n. 2, p. 203-215, 2024.

LEON-FACUNDO, J. B.; CORPUZ-RAROS, L. A. Two new species and a new record of predatory mites of the genus *Lasioseius* Berlese (Acari: Ascidae) inhabiting ornamental crops in the Philippines. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 65, n. 1, p. 39-46, 2002.

LINDQUIST, E. E.; KRANTZ, G. W.; WALTER, D. E. Order Mesostigmata. In: KRANTZ, G. W.; WALTER, D. E. (Eds.). *A Manual of Acarology*. Lubbock, Texas: **Texas Tech University Press**, p. 124-232, 2009.

LORENZON, M.; POZZEBON, A.; DUSO, C. Effects of potential food sources on biological and demographic parameters of the predatory mites *Kampimodromus aberrans*, *Typhlodromus pyri* and *Amblyseius andersoni*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 58, n. 3, p. 259-278, 2012.

MARCIC, D. Acaricides in modern management of plant-feeding mites. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 4, p. 395-408, 2012.

MARIAU, D.; JULIA, J. F. L'acarniose a *Aceria guerreronis* (Keifer), ravageur du cocotier. **Oléagineux**, Paris, v. 25, n. 5, p. 459-464, 1970.

MA, Z.; GE, L.; LEE, A. S. Y.; YONG, J. W. H.; TAN, S. N.; ONG, E. S. Simultaneous analysis of different classes of phytohormones in coconut (*Cocos nucifera* L.) water using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-tandem mass spectrometry after solid-phase extraction. **Analytica Chimica Acta**, v. 610, p. 274-281, 2008.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio Internacional: panorama 2010**. Aracaju: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2011.

MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. de. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. E-book. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 08 jan. 2025.

McMURTRY, J. A.; MORAES, G. J.; SOURASSOU, N. F. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic and Applied Acarology**, v. 18, n. 4, p. 297-320, 2013.

MCMURTRY, J. A.; SCRIVEN, G. T. Insectary production of phytoseiid mites. **Journal of Economic Entomology**, v. 58, p. 282-284, 1965.

MEISSLE, M.; BIGLER, F.; ROMEIS, J. Bt maize and integrated pest management - a European perspective. **Pest Management Science**, v. 67, n. 9, p. 1049-1058, 2011.

MELO, J. W. S.; NAVIA, D.; MENDES, J. A.; FILGUEIRAS, R. M. C.; TEODORO, A. V.; FERREIRA, J. M. S.; GUZZO, E. C.; SOUZA, I. V.; MENDONÇA, R. S.; CALVET, E. C.; PAZ NETO, A. A.; GONDIM JUNIOR, M. G. C.; MORAIS, E. G. F.; GODOY, M. S.; SANTOS, J. R.; SILVA, R. I. R.; SILVA, V. B.; NORTE, R. F.; OLIVA, A. B.; SANTOS, R. D. P.; DOMINGOS, C. A. The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the northeast region. **International Journal of Acarology**, v. 44, p. 146-149, 2018.

MESA, N.C.; OCHOA, R.; WELBOURN, W.C.; EVANS, G.A.; MORAES, G.J. A catalog of the Tenuipalpidae (Acari) of the World with a key to genera. **Zootaxa**, v. 2098, p. 1-185, 2009.

MESSING, R.; BRODEUR, J. Current challenges to the implementation of classical biological control. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 1-9, 2017.

MKENDA, P. A.; NDAKIDEMI, P. A.; STEVENSON, P. C.; ARNOLD, S. E. J.; DARBYSHIRE, I.; BELMAIN, S. R.; PRIEBE, J.; JOHNSON, A. C.; TUMBO, J.; GURR, G. M. Knowledge gaps among smallholder farmers hinder adoption of conservation biological control. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 3, p. 256-277, 2020.

MOORE, D.; HOWARD, F. W. Coconuts. In: LINDQUIST, E. E.; SABELIS, M. W.; BRUIN, J. (Eds). **Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier, 1996. cap. 3, p. 561-570.

MORAES, G. J.; SANTOS, V. L. V.; VENANCIO, R.; PASCHOAL, A. D. Potencial de Ascidae, Blattisociidae e Melicharidae (Acari: Mesostigmata) como agentes de controle biológico de organismos pragas. **Springer**, p. 33-75, 2015.

MORAES, G. D.; ABO-SHNAF, R. I.; PEREZ-MADRUGA, Y.; SANCHEZ, L.; KARMAKAR, K.; HO, C. C. The *Lasioseius phytoseioides* species group (Acari: Blattisociidae): new characterisation, description of a new species, complementary notes on seven described species and a taxonomic key for the group. **Zootaxa**, v. 3980, n. 1, p. 1-41, 2015.

MORAES, G. J. D.; MINEIRO, J. L. D. C.; HALLIDAY, B.; BRITTO, E. P. J. Catalogue of the mite families Ascidae Voigts & Oudemans, Blattisociidae Garman and Melicharidae Hirschmann (Acari: Mesostigmata). **Zootaxa**, v. 4112, n. 1, p. 1, 2016.

NAVARRO-CAMPOS, C.; WÄCKERS, F. L.; PEKAS, A. Impact of factitious foods and prey on the oviposition of the predatory mites *Gaeolaelaps aculeifer* and *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 70, n. 1, p. 69-78, 2016.

NAIR, R. M. *et al.* Biotic and Abiotic Constraints in Mungbean Production-Progress in Genetic Improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 1, 2019.

NAVIA, D.; GONDIM JR, M. G. C.; ARATCHIGE, N. S.; MORAES, G. J. A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 59, p. 67-94, 2013.

NAVIA, D.; GONDIM JR, M. G. C.; MORAES, G. J. Eriophyoid mites (Acari: Eriophyoidea) associated with palm trees. **Zootaxa**, New Zealand, v. 1389, p. 1-30, 2007.

NAVIA, D.; MARSARO JUNIOR, A. L.; SILVA, F. R.; GONDIM, M. G. C.; MORAES, G. J. First report of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 409-411, 2011.

NAVIA, D.; MORAES, G. J.; LOFEGO, A.; FLECHTMANN, C. N. E. Acarofauna associada a frutos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) de algumas localidades das Américas. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 349-354, 2005.

NAVIA, D.; MORAIS, E. G. F.; MENDONÇA, R. S.; GONDIM JR, M. G. C. Ácaro-vermelho-das palmeiras, *Raoiella indica* Hirst. In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 418-452.

NEGLOH, K.; HANNA, R.; SCHAUSBERGER, P. The coconut mite, *Aceria guerreronis*, in Benin and Tanzania: occurrence, damage and associated acarine fauna. **Experimental and Applied Acarology**, v. 55, p. 361-374, 2011.

NORTON, R. A.; KETHLEY, J. B.; JOHNSTON, D. E.; O'CONNOR, B. M. Phylogenetic perspectives on genetic systems and reproductive modes of mites. In: WRENSCH, D. L.; EBBERT, M. A. (Eds.). *Evolution and diversity of sex ratio insects and mites*. New York, NY: **Chapman & Hall Publications**, 1993. p. 8-99.

OLIVEIRA, D. C.; DE MORAES, G. J.; DIAS, C. T. D. S. Status of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) as a pest of coconut in the state of São Paulo, southeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 41, p. 315-323, 2012.

OLIVEIRA, D. C.; PRADO, E. P.; MORAES, G. J.; MORAIS, E. G. F.; CHAGAS, E. A.; GONDIM JR., M. G. C.; NAVIA, D. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in southeastern Brazil. **Florida Entomology**, v. 99, p. 123-125, 2016.

ORTIZ, N. G.; MARCELINO, L. A.; DE GIVES, P. M.; ARELLANO, M. E. L.; GARFIAS, C. R. B.; GARDUÑO, R. G. Actividad depredadora *in vitro* de *Lasioseius penicilliger* (Arachnida: Mesostigmata) contra tres especies de nemátodos: *Teladorsagia circumcincta*, *Meloidogyne* sp. y *Caenorhabditis elegans*. **Veterinaria México**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2015.

PALLINI, A.; AJILA, H. E. V.; PEREZ, A. L. Biofactory of predatory mites. **Informe Agropecuario**, v. 40, n. 305, p. 39-47, 2019.

PARRA JR., P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Controle biológico terminologia. In: **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 1-16.

PEÑA, J. E.; BRUIN, J.; SABELIS, M. W. Biology and control of the red palm mite, *Raoiella indica*: an introduction. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 211-213, 2012.

PETERSON, R. K.; VARELLA, A. C.; HIGLEY, L. G. Tolerance: the forgotten child of plant resistance. **PeerJ**, v. 5, e3934, 2017.

PIRAYESHFAR, F.; SAFAVI, S. A.; SARRAF MOAYERI, H. R.; MESSELINK, G. J. The potential of highly nutritious frozen stages of *Tyrophagus putrescentiae* as a supplemental food source for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 5, p. 403-417, 2020.

PUCHALSKA, E.; PRZYBYSZ, A.; NOWAK, A.; WÓJCIK-GRONT, E.; ASKAROVA, G.; LEWANDOWSKI, M.; MONIUSZKO, H. Particulate matter hinders the development and reproduction of predatory mites of *Euseius finlandicus* (Acariformes: Phytoseiidae). **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 2024.

QUIROZ-IBÁÑEZ, I. F.; ESTRADA-VENEGAS, E. G.; CAMPOS-BOLAÑOS, R.; CHAIRES-GRIJALVA, M. P. Ácaros foréticos asociados a *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) coletados com armadilhas multiembudo tipo Lindgren em Tlaxco, Hidalgo. **Entomología Mexicana**, v. 3, p. 110-114, 2016.

REIS, A.; GONDIM JR, M. G. C.; MORAES, G. J.; HANNA, R.; SCHAUSBERGER, P.; LAWSON-BALAGBO, L. M.; BARROS, R. Population dynamics of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and associated predators on coconut fruits in northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 457-462, 2008.

REZENDE, D. D. M. **Perdas ocasionadas por *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) em coqueiro anão verde (*Cocos nucifera* L.) e taxonomia integrativa de ácaros predadores (Phytoseiidae)**. 2014. 196 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

- RIAHI, E.; FATHIPOUR, Y.; TALEBI, A. A.; MEHRABADI, M. Natural diets versus factitious prey: comparative effects on development, fecundity and life table of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 22, n. 5, p. 711-723, 2017.
- RIVAS, M.; BARBIERI, R. L.; MAIA, L. C. da. Plant breeding and in situ utilization of palm trees. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 261-269, 2012.
- RODRIGUES, J. C. V.; ANTONY, L. M. K. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Amazonas State, Brazil. **Florida Entomologist**, v. 94, n. 4, p. 1073-1074, 2011.
- RODRIGUES, J. C. V.; OCHOA, R.; KANE, E. C. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) and its damage to coconut palms in Puerto Rico and Culebra Island. **International Journal of Acarology**, v. 33, n. 1, p. 3-5, 2007.
- SAITO, T.; BROWNBRIDGE, M. Compatibility of foliage-dwelling predatory mites and mycoinsecticides, and their combined efficacy against western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. **Journal of Pest Science**, v. 91, n. 4, p. 1291-1300, 2018.
- SANTOS, D. M.; ALBUQUERQUE, M. M.; MELO, J. F.; IVO, W. M. P. M. **Relatório de atividades 1997-2002 da Unidade de Execução de Pesquisa, Rio Largo- Alagoas**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, nov. 2003.
- SANTOS, J. R.; SILVA, L. D.; CARNEIRO, K. S.; DE GOY, M. S.; SILVA MELO, J. W.; SOUZA, B. Mortalidade de *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Acari: Tenuipalpidae) sob ação, in vitro, de acaricidas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- SANTOS, P. H. A. D.; VENÂNCIO, T. M.; SANTOS, P. H. D.; RAMOS, H. C. C.; ARÊDES, F. A. S.; AZEVEDO, A. O. N.; PEREIRA, M. G. Genotyping-by-sequencing technology reveals directions for coconut (*Cocos nucifera* L.) breeding strategies for water production. **Euphytica**, v. 216, n. 45, p. 1-9, 2020.
- SHALINI, K. V.; MANJUNATHA, S.; LEBRUN, P.; BERGER, A.; BAUDOUIN, L.; PIRANY, N.; PRASAD, D. T. Identification of molecular markers associated with mite resistance in coconut (*Cocos nucifera* L.). **Genome**, v. 50, n. 1, p. 35-42, 2007.
- SILVA, R. A.; CAVALCANTE, L. F.; HOLANDA, J. S.; PEREIRA, W. E.; MOURA, M. F.; FERREIRA NETO, M. Qualidade de frutos do coqueiro-anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, 2006.
- SILVA, R. V.; NARITA, J. P. Z.; VICHITBANDHA, P.; CHANDRAPATYA, A.; KONVIPASRUANG, P.; KONGCHUENSIN, M.; MORAES, G. J. D. Prospection for predatory mites to control coconut pest mites in Thailand, with taxonomic descriptions of collected Mesostigmata (Acari). **Journal of Natural History**, v. 48, n. 11-12, p. 699-719, 2014.
- SMITH, C. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. New York: Springer, 2005.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular Bases of Plant Resistance to Arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 309-328, 2011.

SOTELO-CARDONA, P.; RAMASAMY, S.; LIN, M.-Y.; CHUANG, W.-P.; CHIANG, M.-Y. Oviposition preference not necessarily predicts offspring performance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on vegetable crops. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021.

SOUZA, F. G.; LIMA, R. A. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Educamazônia: Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 100-110, 2019.

TAN, Y.; ZHU, Z.; YAN, Y. *et al.* Ocorrência de partenogênese em um ácaro predador do solo *Lasioseius japonicus* Ehara (Acari: Blattisociidae). **Zoossimpósios**, v. 22, 2022.

TAYLOR, B.; RAHMAN, P. M.; MURPHY, S. T.; SUDHEENDRAKUMAR, V. V. Within-season dynamics of red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two host palm species in south-west India. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, p. 331-345, 2012.

TEODORO, A. V.; FERREIRA, J. M. S.; QUEIROZ, D. L. Ácaros-praga. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. (Eds.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2018. p. 429-446.

TEODORO, A. V.; RODRIGUES, J. C. V.; SILVA, J. F.; NAVIA, D.; SILVA, S. S. **Ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica*: nova praga de coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 19 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 210), 2016.

TEODORO, A. V.; FERREIRA, J. M. S.; SILVA, S. S.; NEGRISOLI JUNIOR, A. S.; VASCONCELOS, J. F.; GUZZO, E. C. **Aspectos bioecológicos e manejo do ácaro-da-necrose-do-coqueiro *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae)**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 6 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 135), 2014.

TOGOLA, A.; CHAMARTHI, S. K.; BOUKAR, O. *et al.* Host plant resistance to insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): achievements and future prospects. **Euphytica**, v. 213, 2017.

TSENG, Y.-H. Mites associated with weeds, paddy rice and upland rice fields in Taiwan. In: GRIFFITHS, D. A.; BOWMAN, C. E. (Eds.). **Acarology VI**. Chichester: Ellis Horwood, 1984. cap. 11.6, p. 770-780.

VAN LENTEREN, J. C. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. **BioControl**, v. 57, n. 1, p. 1-20, 2012.

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 and Physiology**, v. 121, p. 12-21, 2014.

VÁSQUEZ, C.; COLMENÁREZ, Y. C.; GRECO, N.; RAMOS, M. Current status of phytoseiid mites as biological control agents in Latin America and experiences from Argentina using *Neoseiulus californicus*. **Entomologia Neotropical**, v. 52, p. 240-250, 2023.

WEI, J.; LIU, Y.; SHENG, F.; WANG, E.; ZHANG, B.; XU, X. Predatory mite *Amblyseius orientalis* prefers egg stage and low density of *Carpoglyphus lactis* prey. **Experimental and Applied Acarology**, v. 90, p. 267-276, 2023.

4. ARTICLE 1

Stage preference and life table of *Lasioseius barbensiensis* (Acari: Blattisociidae) feeding on *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae)

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Experimental and Applied Acarology

Abstract

Lasioseius barbensiensis Faraji and Kang (Acari: Blattisociidae) is a promising candidate for the biological control of pest arthropods, yet little is known on its biological performance and rearing requirements on factious prey. In this article, we aimed to determine the feeding preference, reproductive capacity, and life table of *L. barbensiensis* on developmental stages of the mold mite *Tyrophagus putrescentiae* Schrank (Acari: Acaridae). Choice and no-choice assays were conducted to assess factious prey developmental stage and the resulting effects on its oviposition and egg viability. A life table study was further conducted to characterize the demographic parameters of this predator on the factious prey. The results revealed that the predator *L. barbensiensis* had a marked preference for eggs and larvae of *T. putrescentiae*, which supported significantly higher oviposition rates compared to nymphs and adults. Feeding on adult prey negatively affected egg viability. The life table analysis indicated a short developmental time (mean pre-adult duration: 8.5 days), high fecundity (32.38 eggs/female), and favorable demographic indices ($r_m = 0.1757$; $R_0 = 21.29$; $\lambda = 1.1921$), with oviposition concentrated between days 10 and 30. These findings demonstrate the suitability of *T. putrescentiae* immatures as a food source for mass rearing of *L. barbensiensis*.

Keywords: Acarology; Biological control agent; Demographic parameters; Mass rearing techniques; Prey stage selection; Reproductive performance

4.1. Introduction

Mites of the genus *Lasioseius* (Acari: Blattisociidae) are found in a variety of habitats, including associations with birds, phytophagous arthropods, mammals, plants, and edaphic environments (Moraes et al. 2016; Moraza and Lindquist 2018). These mites feed on a variety of organisms, such as phytophagous mites, small arthropods and nematodes, as well as fungi, pollen, or nectar (Lindquist et al. 2009). On plant leaves, their diet is predominantly composed of tetranychid and eriophyid mites (Quiroz-Ibáñez et al 2016).

Lasioseius barbensiensis Faraji and Kang (Acari: Blattisociidae) was originally described in an apple orchard in Barbens (Spain), where it was collected on Rosaceae trees (Faraji and Karg 2006). In general, species of the genus *Lasioseius* occupy a wide variety of microhabitats. They occur in decaying organic matter, forest litter and mosses, on the soil, in nests of small mammals and birds, under tree bark, in basidiomycete mushrooms, tree hollows, stored products, and even hay (Crozier 1989; Walter and Lindquist 1989). These environments suggest that *L. barbensiensis* may inhabit plant debris and soils in agricultural and forest ecosystems similar to those reported for the genus. Furthermore, in tropical environments

associated with coconut plantations, blattisocids such as *Lasioseius subterraneus* were found on coconut fruits infested by the coconut mite (*Aceria guerreronis*), especially on fallen coconuts (Navia et al., 2013).

Mites of the genus *Lasioseius* frequently associate with host plants and their pests. For example, studies in ornamental crops in the Philippines reported *Lasioseius parberlesei* Bhattacharyya (Acari: Blattisociidae) on chrysanthemum leaves and *Lasioseius. Pitimini* De Leon-Facundo & Corpuz-Raros (Acari: Blattisociidae) on rose leaves, both associated with phytophagous mites. *L. parberlesei* was observed to feed effectively on the two-spotted leaf spider mite (*Tetranychus urticae* Koch), and *L. pitimini* was collected together with the rust mite (*Brevipalpus* sp.) and *T. urticae* on roses, suggesting a role in the natural control of these pests (Leon-Facundo and Corpuz 2002).

In this context, advancing the knowledge on the biology of *L. barbensiensis* is necessary to assess its potential use in biological control programs. Life table studies offer valuable insights into demographic characteristics of predatory mites, such as development time, survival rates, fecundity, and longevity, allowing the assessment of their efficiency as control agents and on their performance on factitious prey in mass-rearing production (Lawsin-Balagbo et al., 2007; Navarro-Campos et al. 2016). The choice of an appropriate food source is a key factor in this process.

The mold mite *Tyrophagus putrescentiae* Schrank (Acari: Acaridae) is a cosmopolitan stored product mite that is considered a major pest in dry foods (Asgari et al., 2022), but is also widely used as factitious prey in large-scale predatory mite rearing programs (Pirayeshfar et al., 2020). For example, Asgari et al. (2022) separately evaluated the performance of *Blattisocius mali* (Oudemans) (Acari: Blattisociidae) fed only eggs or only larvae of *T. putrescentiae*. Marked differences were observed: *T. putrescentiae* larvae provided much superior nutrition compared to eggs, significantly decreasing pre-oviposition time and increasing predator fecundity. Eggs, although less nutritious, are consumed in greater numbers and can contribute to maintaining the predator's environment in the initial stages of breeding (Asgari et al., 2022).

T. putrescentiae has been widely used as an alternative prey for maintaining predatory mites under laboratory conditions (Chen et al., 2023; Yazdanpanah et al., 2022). Its ease of cultivation and rapid development make it a highly suitable organism for controlled feeding experiments. Species of the *Tyrophagus* genus exhibit a high reproductive rate and are easily reared on low-cost substrates such as flour, making them an excellent food source for the large-scale production of predatory mites (Navarro-Campos et al. 2016; Pekas et al. 2017). *T. putrescentiae* could represent a viable alternative for the large-scale rearing of *L. barbensiensis*,

enabling its future implementation in biological control programs for phytophagous mites (Navarro-Campos et al. 2016; Pekas et al. 2017).

Therefore, this study aimed to determine the feeding preference, reproductive capacity, and life table of *L. barbensiensis* on developmental stages of *T. putrescentiae*.

4.2. Materials and Methods

4.2.1. General procedures and mite rearing

All experiments were conducted in the Entomology laboratory of Embrapa Tabuleiros Costeiros, located in Aracaju, state of Sergipe, Brazil, under controlled environmental conditions of temperature (27 ± 3 °C), relative humidity ($71 \pm 10\%$), and a photoperiod of 12 hours.

The rearing was initiated with adults of mold mite *T. putrescentiae* collected from fallen coconut fruits in the city of Aracaju, state of Sergipe, Brazil. The rearing unit consisted of a rectangular plastic container (12.5 length $\times$ 8.5 wide $\times$ 5 cm height), containing a rectangular sponge (11 $\times$ 7 $\times$ 3 cm), saturated with distilled water. A black PVC plastic sheet (11 $\times$ 7 cm) sat on the sponge and a strip of absorbent cotton was placed around the edges of the plastic sheet to confine mites. A rectangular plastic lid containing an opening (9 cm $\times$ 6 cm) covered with white voile fabric was used to prevent other arthropods from entering the rearing. A portion of brewer's yeast powder was added as food for *T. putrescentiae* every 15 days.

Lasioseius barbensiensis was collected from recently-fallen coconut fruits in the municipality of Neópolis, state of Sergipe, Brazil. The rearing unit for the confinement of *L. barbensiensis* was the same as that described above for *T. putrescentiae*. All life stages of *T. putrescentiae* were offered as prey to *L. barbensiensis* every seven days.

The experimental units used in the experiments were similar to the rearing units but circular in shape (7 cm diameter $\times$ 5 cm height) and containing a circular sponge soaked in distilled water (5 $\times$ 1 cm). A black PVC plastic disc (4 cm diameter) sat on the sponge. A strip of absorbent cotton was placed around the edges of the disc to confine mites and a lid containing a square opening (2 $\times$ 2 cm) covered with white voile fabric prevented other arthropods from entering the unit.

For all the experiments, the 1-3 days old larvae, 6-8 days old nymphs, and 10 - 12 days old adults of *T. putrescentiae* used were obtained from eggs collected from the stock colony. Adults of *L. barbensiensis* were between 12 - 16 days old, at their reproductive peak. Adult females of *L. barbensiensis* were starved for 4 hours before experiments.

4.2.2. No-choice preference

One *L. barbensiensis* female was transferred to each experimental unit containing 20 *T. putrescentiae* items: eggs (1), –larvae (2), –nymphs (3), or adults (4). The experiment was evaluated at 24 and 48 hours by recording the number of *T. putrescentiae* consumed. The number of prey was replaced after 24 hours and thirty replicates were conducted for each treatment.

4.2.3. Choice preference

One *L. barbensiensis* female was given a choice between 20 *T. putrescentiae* items: eggs and larvae (1), eggs and nymphs (2), eggs and adults (3), larvae and nymphs (4), larvae and adults (5), and nymphs and adults (6). The experiments were evaluated after 24 hours by recording the number of *T. putrescentiae* consumed. Thirty replicates were conducted for each treatment.

4.2.4. Total production and viability of *Lasioseius barbensiensis* eggs in relation to prey stage

One *L. barbensiensis* female was transferred to experimental units containing eggs (1), larvae (2), nymphs (3), and adults (4) of *T. putrescentiae* provided *ad libitum*. The experiment was evaluated every day for 5 days by recording the number of eggs laid by *L. barbensiensis*. The eggs were monitored until hatching for viability. Thirty replicates were conducted for each treatment.

4.2.5. Life table of *L. barbensiensis* on *T. putrescentiae*

The life table of *L. barbensiensis* fed *ad libitum* on a mixed diet comprising all developmental stages of *T. putrescentiae* was assessed. Initially, a breeding unit containing both female *L. barbensiensis* was established. After a seven-hour period, eggs deposited by the females were collected and individually placed in the experimental units, ensuring eggs of similar age. The embryonic period was assessed through observations conducted twice a day (07:00 and 17:00) using a stereomicroscope to determine the viability and duration of egg stage (Rego et al., 2012). For the evaluation of post-embryonic periods, newly-hatched larvae were monitored with the same frequency until they reached adulthood. Adult mites were evaluated once a day at 17:00. Females were paired with a male from the stock colony.

The number of eggs produced was recorded daily until the death of the females; the sex ratio of the offspring was also determined. The longevity of the males was monitored daily until their death (Rego et al., 2012; Huang and Chi, 2013).

4.2.6. Statistical analyses

The data from all the experiments were submitted to the Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) and Brown-Forsythe ($p > 0.05$) tests to verify the normality and the homogeneity of the variance, respectively. As the data on daily consumption of the no-choice preference did not meet the assumptions of the analysis of variance, they were subjected to Kruskal-Wallis non-parametric analysis of variance ($p < 0.05$), followed by Dunn's test ($p < 0.05$). Data from the choice preference were submitted to parametric paired t-test ($p < 0.05$) or to the nonparametric Mann-Whitney test ($p < 0.05$).

The data on daily oviposition and egg viability of *L. barbensiensis* feeding on stages of *T. putrescentiae* and on daily consumption and preference of the adults of the predator to adults of *T. putrescentiae* were analyzed using non-parametric variance analysis ($p < 0.05$).

The raw life history data were analyzed using the TWOSEX-MSChart program, based on the age-stage, two-sex life table theory (Chi, 1988; Chi and Liu, 1985). This methodology accounts for variable developmental rates among individuals and both sexes, allowing accurate estimation of population growth parameters. The bootstrap technique with 100,000 resamplings was applied to estimate the mean values, standard errors, and 95% confidence intervals for developmental time, adult longevity, total fecundity (F), gross reproductive rate (GRR), net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m), finite rate of increase (λ), and mean generation time (T). Differences among treatments were compared using the paired bootstrap test.

4.3. Results

When not given a choice, *L. barbensiensis* consumed significantly more eggs and larvae compared to nymphs and adults of *T. putrescentiae* (Figure 1). Among the later stages, nymphs were preferred over adults, though both were consumed at lower rates. When given a choice, the predator consumed more eggs and larvae equally over nymphs and adults; nymphs were preferred over adults (Figure 2).

The predator *L. barbensiensis* produced the highest total number of eggs when fed on eggs and larvae of *T. putrescentiae* in contrast to lower egg production on nymphs or adults of the factious prey. Predator egg production on eggs of the prey was also significantly higher than on nymphs. No significant difference was observed between larvae and nymphs, but egg laying was consistently lowest when feeding on adults (Figure 3). Egg viability of the predator was higher on eggs, larvae, or nymphs of the prey than on adults (Figure 3).

The immature developmental duration for immature stages showed low variability: egg stage (2.69 ± 0.06 days), larval stage (1.79 days), protonymph (2.21 days), and deutonymph (1.81 days). The complete immature period averaged 8.50 days. Adult longevity was notably longer (32.69 days) (Table 1).

Age-specific survival (l_x) showed high survivorship during the egg stage, with a marked decline through larval and nymphal stages, indicating elevated immature mortality (Figure 4). Adult emergence began around day 8, with a female-biased sex ratio (~67%). Female survival remained stable until day 39, followed by a sharp drop. Males exhibited greater longevity, but represented a smaller proportion of the population.

Age-specific fecundity (m_x) revealed the onset of reproduction at approximately day 10, peaking between days 12 and 14 at a maximum of 1.7 eggs per female per day (Figure 5). Fecundity gradually declined and ceased by day 45. Net reproductive rate ($l_x m_x$) followed a similar trend, with peak values aligning with periods of high fecundity and survivorship. The intrinsic rate of increase (r_m) was 0.176, and the finite rate of increase (λ) was 1.192, indicating strong reproductive potential. The net reproductive rate (R_0) was 21.29, and the gross reproductive rate (GRR) was 23.84. Mean generation time (T) was 17.38 days. Average female fecundity reached 32.38 eggs, and the proportion of females was 65.75% (Table 2).

4.4. Discussion

The combination of preference bioassays (with and without choice) and demographic analysis (reproductive parameters and life table) of the predatory mite *L. barbensiensis* fed on different stages of *T. putrescentiae* is essential for identifying which prey stages promote the best reproductive performance of the predator—information that is critical for developing efficient mass-rearing protocols (Asgari et al., 2022; Yazdanpanah et al., 2022). In preference tests, different stages of the prey mite are offered simultaneously or separately, revealing which ones are preferentially consumed (Yazdanpanah et al., 2022). The development, survival, and fertility parameters provide population metrics such as the intrinsic rate of population increase and the net reproductive rate that quantify the biological potential of the predator on each diet (Asgari et al., 2022). Taken together, these analyses guide the selection of the most suitable *T. putrescentiae* stages to feed *L. barbensiensis* on a large scale.

Our results indicate that *L. barbensiensis* showed a clear preference for eggs and larvae over nymphs and adults of the factious prey *T. putrescentiae*. This is consistent with the findings of Sheeja and Ramani (2009) that *Lasioseius* sp. feeds on all life stages of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), but shows a preference for eggs, followed by larvae and protonymphs. These early stages are generally more vulnerable and easier to attack (Sheeja and

Ramani 2009). Predatory mites of the family Phytoseiidae also generally exhibit higher predation rates on eggs and larvae compared to older developmental stages of their prey. For instance, Carrillo and Peña (2012) found that the predatory mite *Amblyseius largoensis* Muma (Acari: Phytoseiidae) exhibited a significant preference for the eggs of *R. indica* over the remaining stages. The preference for nymphs over adults may be related to the fact that immature prey generally offers a higher energy return with lower risk for the predator, being easier to subdue and consume (Park et al. 2021). However, this preference is not universal among predatory mites. Some species, such as *Gaeolaelaps aculeifer* Canestrini (Acari: Laelapidae) *Stratiolaelaps scimitus* Womersley (Acari: Laelapidae), did not show clear discrimination between different developmental stages of their prey (Park et al. 2021).

The feeding preference reported above matched reproduction as *L. barbensiensis* laid more eggs when fed on *T. putrescentiae* eggs and larvae suggesting that feeding on smaller, less mobile prey may be more energy-efficient. Therefore, our results align with the optimal foraging theory, which posits that predators prefer to feed on prey that offer a higher energetic return with lower risk (Louzao et al. 2014; Beumer et al. 2020). Moreover, the reduced egg production and viability of *L. barbensiensis* fed on *T. putrescentiae* adults, but not on its immature stages, is possibly related to the superior nutritional quality of early developmental stages. Similarly, the predatory mite *Amblyseius andersoni* Chant (Acari: Phytoseiidae) produced 33-50% fewer offspring when fed on adult females of *Mononychellus occidentalis* McGregor (Acari: Tetranychidae) versus immature mites (Croft and Croft 1996), indicating a lower conversion of energy from adult prey to reproduction.

The demographic parameters of *L. barbensiensis* fed on *T. putrescentiae* eggs demonstrated robust reproductive performance, with an intrinsic rate of population increase (r_m) of 0.1760, a net reproductive rate (R_0) of 21.29, and a mean fecundity of 32.38 eggs per female. In comparison, *B. mali* exhibited higher r_m (0.316 day⁻¹) and fecundity (22.5 eggs/female) values when fed mixed stages of *T. putrescentiae*, suggesting greater biological efficiency (Jena et al., 2024). Similar results were reported for *Lasioseius japonicus* Ehara (Acari: Blattisociidae), whose intrinsic rate of increase ($r_m = 0.341$ day⁻¹) peaked at 31 °C, but dropped sharply at 34 °C, accompanied by significant reductions in fecundity and longevity (Zhang et al., 2022).

Although *L. barbensiensis* was evaluated only at 25 °C, its R_0 (21.29) and fecundity (32.39 eggs/female) were comparable to those observed for *L. japonicus* at higher thermal ranges, with the added advantage of maintaining stable performance under constant temperature. This thermal stability is particularly relevant given the strong temperature

dependence reported for *L. japonicus*, which could limit its practical application in more variable field conditions (Zhang et al., 2022).

The proportion of females (65.71%) observed in *L. barbensiensis* supports population growth and falls within the expected range for predatory mites. For *L. japonicus*, sex ratio varied with temperature, with the highest proportion of females (85%) also observed at 25 °C—coinciding with the conditions of the present study (Zhang et al. 2022). Lastly, the reproductive window of *L. barbensiensis* was clearly concentrated between days 10 and 30, and its age-specific fecundity curve (l_xm_x) was tightly synchronized with peak fecundity. This temporal alignment reinforces the potential of the species for optimized laboratory production, facilitating rearing management strategies.

Overall, *L. barbensiensis* proves to be competitive when compared to other blattisociids and phytoseiids already studied, offering robust performance, stability when reared on live prey, and favorable demographic parameters—key attributes for its potential application as a biological control agent. The results shown in this study are pioneering within the context of the Blattisociidae family, a group still largely unexplored in terms of ecology and biological control perspectives. Future studies should assess the performance of *L. barbensiensis* against various phytophagous prey species under semi-field and field conditions, as well as its interactions with other natural enemies and agricultural practices, to support its incorporation into applied biological control programs.

4.5. References

- Asgari F, Safavi SA. & Moayeri HRS (2022) Life table parameters of the predatory mite, *Blattisocius mali* Oudemans (Mesostigmata: Blattisociidae), fed on eggs and larvae of the stored product mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1), 118.
- Beumer LT, Chimienti M, Schmidt NM, et al (2020) An application of upscaled optimal foraging theory using hidden Markov modelling: year-round behavioural variation in a large arctic herbivore. *Movement Ecology*, <https://doi.org/10.1186/s40462-020-00213->
- Carrillo D & Pena JE (2012) Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology*, 57, 361-372
- Chen J, Zheng L, Ye Z, Wang J, Zhang F, Fu Y & Zhang C (2023) Evaluation of the predatory mite *Neoseiulus barkeri* against spider mites damaging rubber trees. *Insects*, 14(7), 648.
- Chi, HSIN and Liu HJBIZAS (1985) Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 24(2), 225-240.

- Chi H (1988) Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1), 26-34.
- Croft BA & Croft MB (1996). Predação intra e interespecífica entre ácaros fitoseídeos fêmeas adultas (Acari: Phytoseiidae): efeitos sobre a sobrevivência e reprodução. *Entomologia Ambiental*, 25(4), 853-858. <https://doi.org/10.1093/ee/25.4.853>
- Crozier L (1989) *Melittiphis alvearius* (Berlese) and other mites found in honeybee colonies in Nova Scotia. *Journal of Apicultural Research*, 28(3), 166-168.
- Faraji F and Karg W (2006) A new species of *Lasioseius Berlese* from Spain (Acari: Podocinidae). *Zoosystematics and Evolution*, 82(2), 239-242.
- Howard, RW, Kuwahara Y, Suzuki H & Suzuki T (1988) Pheromone study on acarid mites. XII. Characterization of the hydrocarbons and external gland morphology of the opisthonotal glands of six species of mites (Acari: Astigmata). *Applied Entomology and Zoology*, 23(1), 58–66.
- Huang YB and Chi H (2013) Tábuas de vida de *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): com uma invalidação da técnica do canivete. *Jornal de Entomologia Aplicada*, 137(5), 327-339.
- Jena MK., Michalska K and Studnicki M (2024) The impact of humidity on the functional response of *Blattisocius Mali* (Acari: Blattisociidae) preying on the acarid mite *Tyrophagus putrescentiae*. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78997-w>
- Lawson-Balagbo LM, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Hanna R & Schausberger P (2007) Refuge use by the coconut mite *Aceria guerreronis*: fine scale distribution and association with other mites under the perianth. *Biological Control*, 43(1), 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.05.010>
- Leon-Facundo JB & Corpuz-Raros LA (2002) Two new species and a new record of predatory mites of the genus *Lasioseius Berlese* (Acari: Ascidae) inhabiting ornamental crops in the Philippines. *Philippine Agricultural Scientist*.
- Lindquist EE, Krantz GW, Walter DE (2009) Order Mesostigmata. In: Krantz GW, Walter DE (Eds.) *A Manual of Acarology*. Lubbock, Texas: Texas Tech University Press, p. 124-232.
- Louzao M, Weimerskirch H, Bartumeus F, Wiegand T (2014) Coupling instantaneous energy-budget models and behavioural mode analysis to estimate optimal foraging strategy: an example with wandering albatrosses. *Movement Ecology*. <https://doi.org/10.1186/2051-3933-2-8>
- Moraes GJ de, Mineiro JL de C, Halliday B, Britto EPJ (2016) Catalogue of the mite families Ascidae Voigts & Oudemans, Blattisociidae Garman and Melicharidae Hirschmann (Acari: Mesostigmata). *Zootaxa*, 4112(1), 1–191.
- Moraza ML & Lindquist EE (2018) A new species-group with new species of the genus *Lasioseius* (Acari: Mesostigmata: Blattisociidae) associated with Neotropical hispine beetles in furled leaves of *Heliconia*. *Acarologia*, 58(1), 62-98.

Navarro-Campos C, Wäckers FL & Pekas A (2016) Impact of factitious foods and prey on the oviposition of the predatory mites *Gaeolaelaps aculeifer* and *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae). *Experimental and Applied Acarology*, 70(1), 69–78. doi:10.1007/s10493-016-0061-2

Navia D, Gondim MGC, Aratchige NS & de Moraes GJ (2013) A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. *Experimental and Applied Acarology*, 59, 67-94.

Park J, Mostafiz MM, Hwang HS, Jung DO & Lee KY (2021) Comparison of the predation capacities of two soil-dwelling predatory mites, *Gaeolaelaps aculeifer* and *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae), on three thrips species. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(1), 397-401.

Pekas A, Nesvorna M, Hubert J, et al (2017) Comparison of bacterial microbiota of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and its factitious prey *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *Scientific Reports* 7:. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00046-6>

Pirayeshfar F, Safavi SA, Sarraf Moayeri HR & Messelink GJ (2020) The potential of highly nutritious frozen stages of *Tyrophagus putrescentiae* as a supplemental food source for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol Science and Technology*, 30(5), 403-417.

Quiroz-Ibáñez IF, Estrada-Venegas EG, Campos-Bolaños R & Chaires-Grijalva MP (2016) Ácaros foréticos asociados a *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) colectados con trampas multiembudo tipo Lindgren en Tlaxco, Hidalgo. *Entomología Mexicana*, 3, 110-114.

Rego AS, S Maciel AG, Costa EC, Silva EA. and Teodoro AV (2012). Comparative biology and growth rate of the mites *Mononychellus tanajoa* and *Euseius ho* (Acari) on cassava. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 243-246.

Sheeja UM & N Ramani (2009) Feeding potential of *Lasioseius* sp. (Acari: Mesostigmata), a promising predator of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Prostigmata) ecosystem. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 22(3): 698-700.

Walter DE & Lindquist EE (1989) Life history and behavior of mites in the genus *Lasioseius* (Acari: Mesostigmata: Ascidae) from grassland soils in Colorado, with taxonomic notes and description of a new species. *Canadian Journal of Zoology*, 67(11), 2797-2813.

Yazdanpanah S., Fathipour Y, Riahi E & Zalucki MP (2022) Cost-effective and efficient factitious prey for mass production of *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): assessing its quality compared with natural prey. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32, Article 16.

Zhang, N., Smith, C.L., Yin, Z., Yan, Y. & Xie, L. (2022) Effects of temperature on the adults and progeny of the predaceous mite *Lasioseius japonicus* fed on *Tyrophagus putrescentiae*. *Experimental and Applied Acarology*, 86, 499–515. <https://doi.org/10.1007/s10493-022-00708-9>

Figure captions

Fig. 1. Daily consumption of eggs, larvae, nymphs, and adults of *Tyrophagus putrescentiae* by females of the predatory mite *Lasioseius barbensiensis* over 48 h. The dashed lines inside the boxplots represent means. The black circles represent the 5th and 95th percentiles, the error lines the 10th and 90th percentiles, the ends of the boxplots the 25th and 75th percentiles, and the medians the continuous lines within the boxplots. Same letters above boxplots do not differ by Dunn's test at $p < 0.05$.

Fig. 2. Two-choice preference for the developmental stages of *Tyrophagus putrescentiae* by females of the predatory mite *Lasioseius barbensiensis*. Means ($\pm$ standard error) of the bars and the statistics of paired *t*-test and Mann-Whitney test with the respective significances ($p < 0.05$) are presented.

Fig. 3. Daily egg laying and egg viability (%) of the predatory mite *Lasioseius barbensiensis* fed *ad libitum* on the egg, larval, nymph, and adult stages of *Tyrophagus putrescentiae* for five days. The dashed lines inside the boxplots represent the means. The black circles represent the 5th and 95th percentiles, the error lines the 10th and 90th percentiles, and the ends of the boxplots the 25th and 75th percentiles. Medians are the continuous lines within the boxplots. Same letters above the boxplots do not differ by Dunn's test at $p < 0.05$.

Fig. 4. Age-specific survival curves (l_x) of the different life stages of *Lasioseius barbensiensis* fed *ad libitum* on all developmental stages of *Tyrophagus putrescentiae*.

Fig. 5. Age-specific survival (l_x), age-specific fecundity (m_x), and net reproductive contribution ($l_x m_x$) curves of *Lasioseius barbensiensis* (fed *ad libitum* on all developmental stages of *Tyrophagus putrescentiae*).

Table 1. Developmental duration (days) of *Lasioseius barbensiensis* developmental stages fed *ad libitum* on all stages of *Tyrophagus putrescentiae*, estimated by bootstrap resampling ($B = 100,000$).

Table 2. Bootstrap analysis of population parameters of *Lasioseius barbensiensis* Two-Sex Mating Conditions ($B = 100,000$ re-samplings)

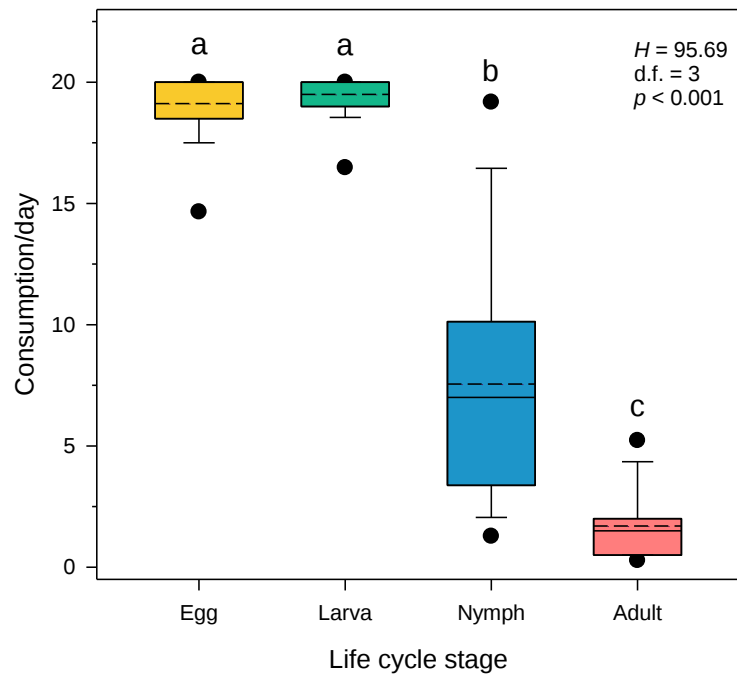


Fig. 1

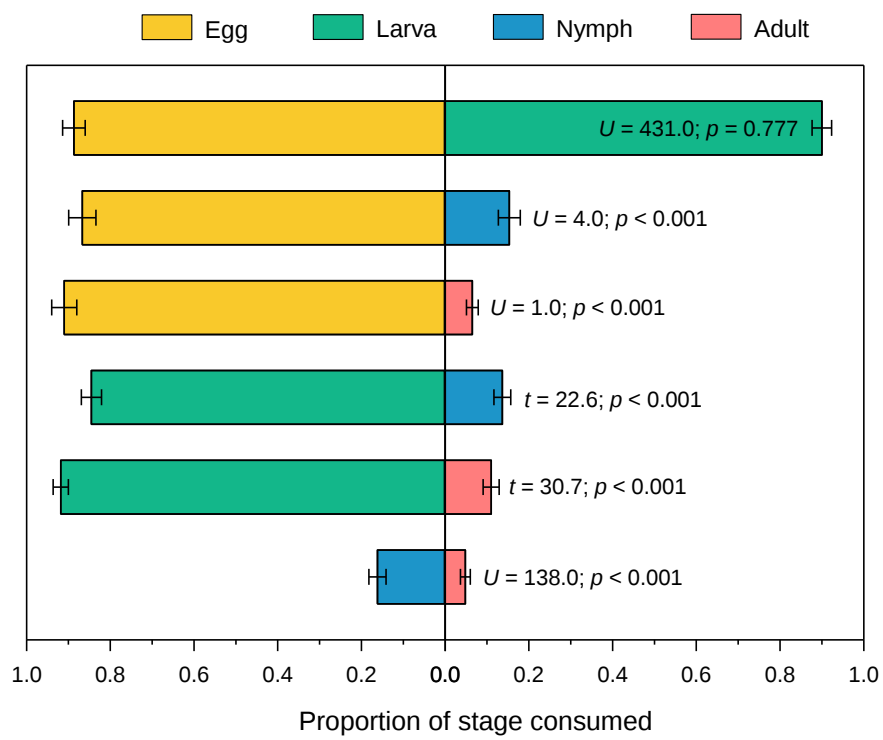


Fig. 2

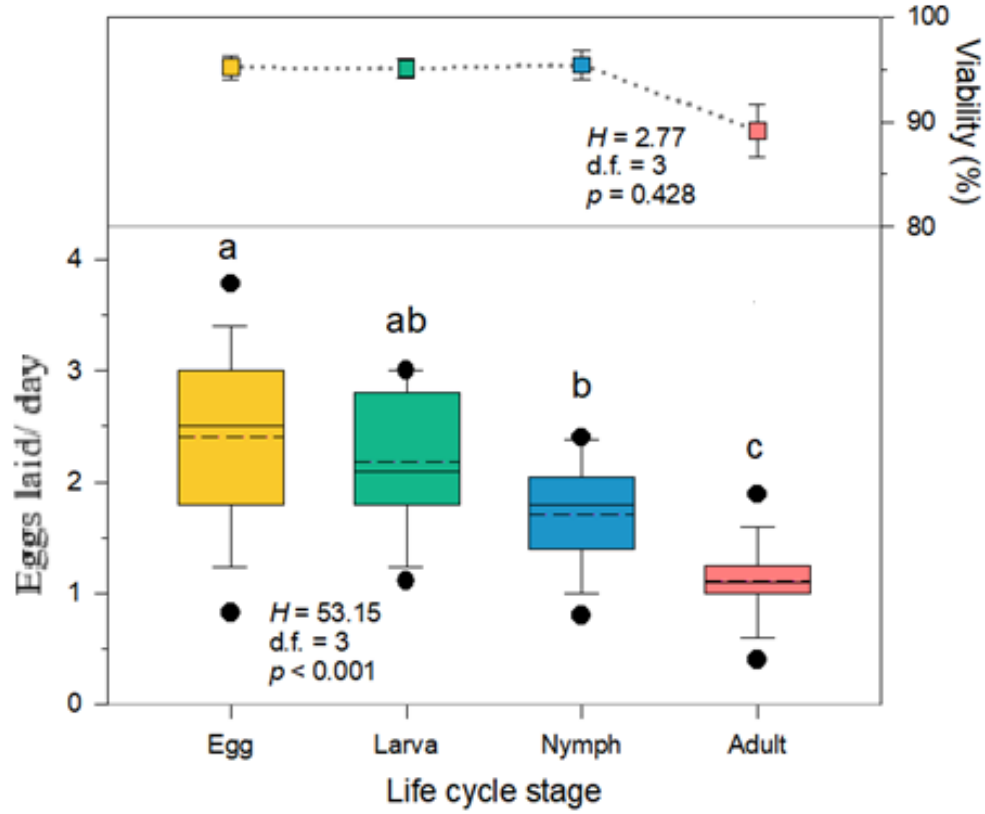


Fig. 3

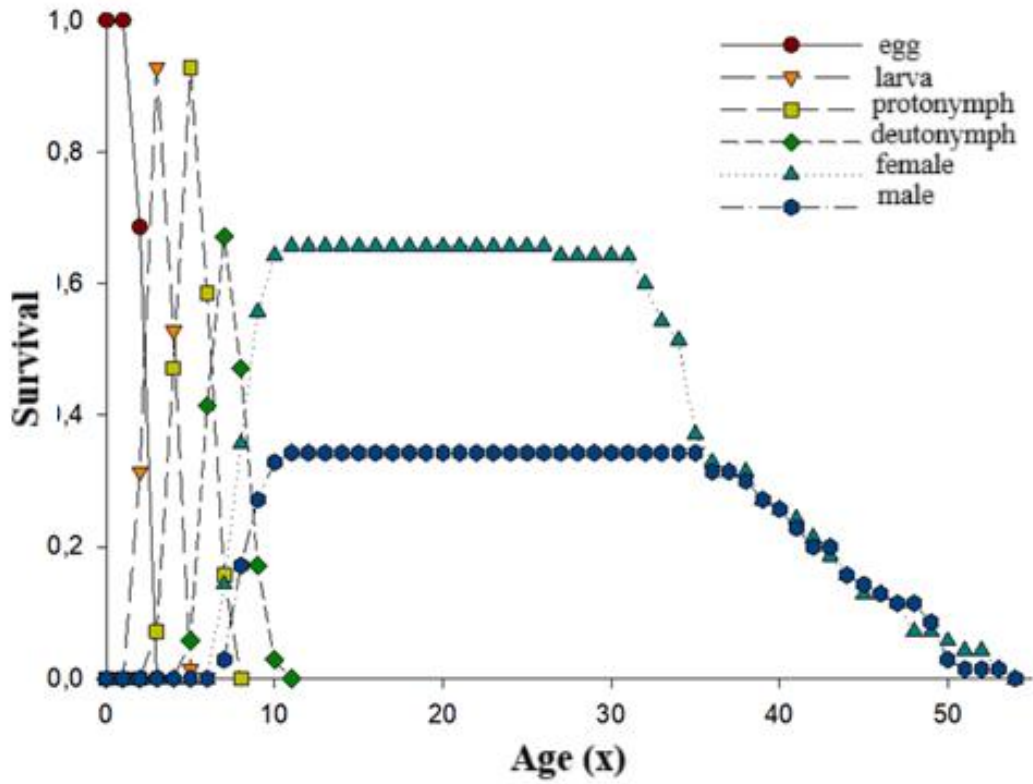


Fig. 4

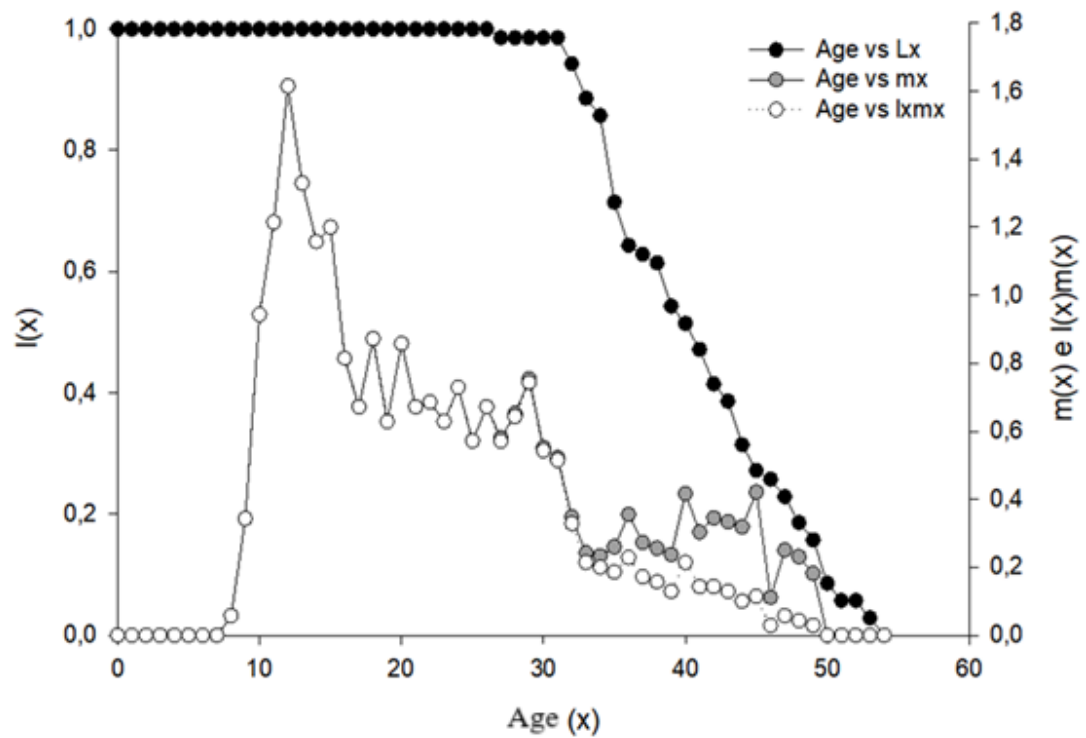


Fig. 5

Stage	Original mean	B	Boot. max	Boot. min	Variance	S.E.
Egg	2,69	100000	2,91	2,41	0,0031	0,06
Larva	1,79	100000	1,99	1,51	0,0028	0,05
Protonymph	2,21	100000	2,46	2,03	0,0024	0,05
Deutonymph	1,81	100000	2,04	1,56	0,0034	0,06
Adult	32,69	100000	36,14	29,53	0,6304	0,79
Immature	8,5	100000	9,06	8,04	0,02	0,12

Table 1

Parameter	Original	Original n	B	Boot. max	Boot. mean	Boot. min	Variance	S.E.
r_m	0.176001	70	100000	0.200569	0.175728	0.136044	0.000046	0.0068
lambda	1.19244	70	100000	1.222098	1.192141	1.145732	0.000066	0.008102
R_0	21.28571	70	100000	30.3	21.29137	11.98571	4.65423	2.15737
T	17.375	70	100000	18.57	17.379	16.433	0.06	0.245
GRR	23.83	70	100000	34.65	23.84	12.85	6.84	2.615
F	32.39	46	100000	40.43	32.38	24.14	3.01	1.734
Nf/N	0.6571	70	100000	0.8857	0.6575	0.3857	0.0032	0.0566
Longevity	41.19	70	100000	44.714	41.18	38.04	0.62	0.787

This table presents the results of the bootstrap analysis for key population parameters of *T. putrecentiae*, including the intrinsic rate (r_m), finite rate (λ), net reproduction rate (R_0), mean generation time (T), gross reproduction rate (GRR), mean fecundity per female adult (F), the proportion of female adults (Nf/N), and longevity. The "Original" row corresponds to the population parameters calculated using all individuals in the cohort. The "Boot. max" and "Boot. min" values represent the maximum and minimum values observed in the 100,000 bootstrap samples, respectively. The "Boot. mean" row provides the mean value obtained from the bootstrap procedure, which is typically close to the original value for normal distributions. Variance and Standard Error (S.E.) represent the spread and precision of the bootstrap samples, respectively.

Table 2

5. Article 2

Potential of *Lasioseius barbensiensis* (Acari: Blattisociidae) in the control of two coconut pest mites

Article formatado de acordo com as normas do periódico a definir

Abstract

The predatory mite *Lasioseius barbensiensis* Faraji and Kang (Acari: Blattisociidae) is a potential yet understudied candidate for biological control. In this article, we present a first evaluation of its predatory capacity against two key coconut phytophagous mites, *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). Choice and non-choice experiments were conducted to assess the feeding preference and predatory activity of *L. barbensiensis* on *A. guerreronis* and *R. indica*. When not given a choice, *L. barbensiensis* females consumed significantly more *A. guerreronis* adults and *R. indica* eggs than *R. indica* adults. On choice tests, *L. barbensiensis* consumption rates were similar between *R. indica* eggs and *A. guerreronis* adults, while *R. indica* adults were significantly less preyed upon. These findings demonstrate that *L. barbensiensis* can consume *A. guerreronis* and *R. indica*, showing a feeding preference for eggs or smaller prey. The study presents novel evidence of the predatory potential of a Blattisociidae species and its potential as a biological control agent of coconut pest mites.

Keywords: *Aceria guerreronis*; Biological control; Choice and non-choice tests; Feeding preference; Predatory mite; *Raoiella indica*.

5.1. Introduction

Blattisociidae mites can be found in diverse habitats, including associations with birds, insects, mammals, plants, and built environments (Moraza and Lindquist 2018). These mites feed on a variety of organisms, such as phytophagous mites, small arthropods and nematodes, as well as fungi, pollen, or nectar (Lindquist et al., 2009; Moraes and Flechtmann, 2008). For example, the blattisociid mites feed on springtails and mites such as *Tyrophagus* and *Tarsonemus* genus (Quiroz-Ibáñez et al., 2016). On leaves, their diet is predominantly composed of tetranychid and eriophyid mites (Quiroz-Ibáñez et al., 2016).

The genus *Lasioseius* (Acari: Blattisociidae) has demonstrated significant potential in the biological control of phytophagous arthropods. Species such as *Lasioseius japonicus* Ehara (Acari: Blattisociidae) prey on eggs of various insects and mites, including *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae), *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae), and larvae of *Bradysia cellarum* Linnaeus (Diptera: Sciaridae) (Tan et al., 2022). However, the use of *Lasioseius* as a biological control agent remains virtually unexplored compared to predatory mites of the family, such as Phytoseiidae (Moraes et al., 2015; Vásquez et al., 2023).

Lasioseius barbensiensis Faraji and Kang (Acari: Blattisociidae) has not been investigated yet for its potential as a biological control agent, despite the growing interest in species of this genus. Nevertheless, certain species have shown efficacy in controlling phytophagous arthropods both in soil and storage environments (Moraes et al., 2015). For example, *Lasioseius floridensis* Berlese (Acari: Blattisociidae) has been evaluated as a predator of *Polyphagotarsonemus latus* Banks (Acari: Tarsonemidae). However, its predatory performance varied under different environmental conditions (Britto et al., 2012; Barros et al., 2022), highlighting the variability in predatory efficiency among *Lasioseius* species. Furthermore, *L. japonicus* stands out for its ability to prey not only on insect eggs but also on phytophagous mites, reinforcing its potential for agricultural biological control programs (Tan et al., 2022). Several studies emphasize the predatory capacity of *Lasioseius* spp. against phytophagous mites of the family Tarsonemidae, a group of significant agricultural relevance (Moraes et al., 2015; Britto et al., 2012).

Lasioseius lindquisti Tseng (Acari: Blattisociidae), in particular, demonstrated high predatory efficiency against the eriophyid mite *Aceria dioscoridis* Soliman and Abou-Awad (Acari: Eriophyidae), exhibiting rapid development, high fecundity, and elevated survival rates, characteristics that indicate its strong potential as a biological control agent of phytophagous mites (Momen et al., 2011). Some species of *Lasioseius* have been found associated with *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) on coconut fruits in the state of São Paulo, Brazil (Oliveira, Moraes & Dias, 2012), and in Tanzania (Negloh et al., 2011). Similarly, *Lasioseius* sp. and *Lasioseius helvetius* were collected on coconut leaves and fruits associated with *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in the Amazon region (Cruz et al., 2015). However, the ecological role and predatory potential of these species are still poorly understood and require further investigation. The coconut mite *A. guerreronis* is considered a key pest of coconut palms and lives under the perianth of the fruit, making its control a significant challenge (Lawson-Balagbo et al., 2008). The damage caused by this mite includes triangular chlorosis that evolves into necrosis, deformation, reduction in size, and decreased water weight and volume of the fruits (Navia et al., 2012). Premature fruit drop is also observed, leading to yield losses and a reduction in the commercial value of the fruits for the fresh market due to aesthetic imperfections (Alfaia et al., 2023; Reis et al., 2008). Another important phytophagous mite in coconut crops, *R. indica*, affects the leaves, causing chlorosis and tissue necrosis, resulting in yield losses (Contreras-Bermúdez et al., 2017; Peña et al., 2012).

Therefore, this study aims to evaluate the potential of *L. barbensiensis* as a biological control agent for *A. guerreronis* and *R. indica*, providing information that could contribute to

the development of more sustainable strategies for managing phytophagous arthropods. (Carrillo et al., 2012).

5.2. Materials and Methods

5.2.1. General procedures and rearing of *L. barbensiensis*

All experiments were conducted at Embrapa Tabuleiros Costeiros, in the city of Aracaju, Sergipe, Brazil (10°56'22"S, 37°02'52"W; 90 m of altitude), under controlled conditions (27 ± 3 °C temperature, $71 \pm 10\%$ relative humidity, and 12:12 LD). For all experiments, we used adult females of *L. barbensiensis* between 12 - 16 days old, at their reproductive peak. Predators were starved for 4 hours before experiments. The ages of adults of *A. guerreronis* and adults and eggs of *R. indica* were not determined.

Lasioseius barbensiensis was collected from recently fallen coconut fruits in the municipality of Neópolis, state of Sergipe, Brazil (10°19'12"S, 36°34'46"W; 30 m of altitude). The rearing unit consisted of a black PVC plastic sheet (11 cm x 7 cm) for mite confinement sitting on a moistened sponge (11 cm x 7 cm and 3 cm in height) placed within a rectangular plastic container (12.5 cm x 8.5 cm and 5cm in height). Absorbent cotton was added to the edges of the black PVC sheet to prevent mite escape. The container had a lid with a rectangular opening (9 cm x 6 cm) covered with voile fabric. All life stages of the dust mite *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae) were offered as food to *L. barbensiensis* every seven days.

5.2.2. Experimental unit

The experimental unit consisted of a circular plastic container measuring 7 cm in diameter and 5 cm in height, containing a circular sponge measuring 5 cm in diameter and 1 cm in height, a black PVC plastic sheet with 4 cm in diameter, and distilled water. Absorbent cotton was added to the edges of the black PVC sheet, as well as a container with a lid and opening of 2 cm x 2 cm, covered with white voile fabric. The structure was similar to the rearing units, but circular in shape and distinctly smaller. The experiments were based on Carrillo & Peña (2012), with modifications.

Prior to each trial, adult females of *L. barbesiensis* were starved for 4 hours to minimize variability in predation responses. All treatments were replicated 30 times.

5.2.3. Non-choice and choice predation

In the non-choice assay, each predator was transferred to dishes containing 20 individuals of a single prey type—either *A. guerreronis* adults, *R. indica* adults, or *R. indica* eggs. Predation was assessed at 24 and 48 hours, with prey replenishment immediately after the 24-hour count to maintain prey density.

In the choice assay, *L. barbesiensis* females were simultaneously offered two prey types—either 20 adults of *A. guerreronis* and 20 adults of *R. indica*, or 20 adults of *A. guerreronis* and 20 eggs of *R. indica*. Predation was recorded after 24 hours without prey replenishment to prevent depletion of one prey type, which could bias preference estimates. A 24-hour assessment period is sufficient to calculate preference indices, reflecting initial feeding behavior before significant changes in prey availability occur.

5.2.4. Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the R software version 4.4.3 (R Core Team, 2023). Initially, the data were subjected to the Shapiro-Wilk normality test ($p > 0.05$) to assess whether they fitted a normal distribution. Afterwards, the homogeneity of variances was tested using the Brown-Forsythe test ($p > 0.05$). Since the data did not meet the assumptions of normality, the nonparametric Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$) was performed, followed by Dunn's test for multiple comparisons between treatments for non-choice and Mann-Whitney test for the choice experiment.

5.3. Results

In the non-choice assay, the predation of prey items by *L. barbensiensis* differed significantly ($H = 62.9$; $d.f = 12$; $p < 0.0001$), with lower consumption of *R. indica* adults (2.9 ± 0.19) compared to either *A. guerreronis* adults (19.6 ± 0.09) ($p < 0.0001$) or *R. indica* eggs (15.0 ± 3.2) ($p < 0.0001$). However, there was no difference between the consumption of *R. indica* eggs (19.6 ± 0.007) and *A. guerreronis* adults ($p = 1$) (Figure 1).

In the choice experiment, the number of *R. indica* eggs (15.6 ± 0.3) and *A. guerreronis* adults (15.7 ± 0.3) preyed upon by *L. barbensiensis* did not differ ($U = 471$, $p = 0.7577$). In contrast, *L. barbensiensis* preyed on *A. guerreronis* adults (19.1 ± 0.2) more than on *R. indica* adults (1.7 ± 0.2) ($U = 900$, $p < 0.0001$).

5.4. Discussion

Our study used a combination of choice and non-choice assays to shed light on the feeding preferences and biological control potential of *L. barbensiensis* on two major coconut pest mites, *A. guerreronis* and *R. indica*.

We showed that *L. barbensiensis* preferred *A. guerreronis* adults or *R. indica* eggs over adults of the latter. Predatory mites can show a preference for specific prey based on characteristics such as size, stage of development, and nutritional value (Buitenhuis et al., 2009; Patel and Zhang, 2017). *Aceria guerreronis* is a micromite, with adults females measuring 205–255 µm long and 36–52 µm wide (Keifer 1965; Navia et al. 2013; Reis et al., 2008; Negloh et al., 2011), while *R. indica* adults are about 245 µm long and 182 µm wide (Melo et al. 2018). Therefore, *A. guerreronis*, being smaller in size, may be easier to capture, subdue, and handle. Additionally, prey at different developmental stages may offer varying nutritional values, which can affect the predator's reproductive success and overall efficiency in biological control. However, prey quality of both mites to *L. barbensiensis* remains to be investigated.

The methodological approach allowed us to understand both the preference and the acceptance potential of *L. barbensiensis*. While choice tests simulate a situation where the predator can select the most suitable prey, non-choice tests reflect more realistic conditions in the field, where availability is limited (Jutfelt et al., 2016; Refsnider, 2016). The fact that *L. barbensiensis* fed on *R. indica* eggs even in the absence of other developmental stages of its prey highlights its potential for biological control, especially in early stages of pest infestation ((Carrillo et al. 2012; Withers & Mansfield 2005). Similar approaches and interpretations have been emphasized by Carrillo et al. (2012) when evaluating generalist predators under varying prey availability scenarios.

Lasioseius barbensiensis exhibited a higher feeding preference for adult *A. guerreronis* compared to *R. indica* adults. However, this preference does not compromise its biological control potential over *R. indica*, given its high capacity to prey on eggs of this phytophagous mite. Efficient biological control agents often depends on the predator's ability to target prey at early developmental stages, such as eggs and larvae, which are more vulnerable and, commonly, more abundant in populations of phytophagous arthropods (Chailleux et al. 2013; Janssen et al., 2006). According to Phillips & Gardiner (2015), biological control is more effective when predators target eggs or juvenile stages, as this limits the ability of the phytophagous arthropod to reproduce and spread quickly. Therefore, control of *R. indica* can be effectively maintained, even though *L. barbensiensis* shows a preference for adult *A. guerreronis* over adult *R. indica*, because predation on the early stages (eggs) of *R. indica* is equally preferred by the predator and may be sufficient to reduce its population and prevent damage.

The results obtained with *L. barbensiensis* are pioneering in the context of mites from the Blattisociidae family, a group still little explored in biological control. These results highlight the potential of *L. barbensiensis* as an effective potential biological control agent against *A. guerreronis* and *R. indica*, reinforcing its importance in integrated pest management strategies for coconut production.

5.5. References

- Alfaia JP, Ferla NJ, Neto EPS, Noronha ACDS, Duarte LS, Junior MGCG and Batista TFV (2023) Acarofauna associated with coconut fruits (*Cocos nucifera* L.) in a crop area from Pará state, Amazon, Brazil. Systematic and Applied Acarology, <https://doi.org/10.11158/saa.28.4.4>
- Barros ARDA, Castilho RC and de Moraes GJ (2022) Description of a new species of Lasioseius (Acari: Mesostigmata: Blattisociidae) from Brazil, redescription of *L. meridionalis* Chant and a key to separate the Lasioseius species reported from that country. Zoosymposia, 22, 232–232.
- Britto EPJ, Gago E and Morães GJd (2012) How promising is Lasioseius floridensis as a control agent of Polyphagotarsonemus latus?. Experimental and Applied Acarology, 56(3), 221–231. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9513-5>
- Browne LB & Withers TM (2002) Time-dependent changes in the host-acceptance threshold of insects: implications for host specificity testing of candidate biological control agents. Biocontrol Science and Technology, 12(6), 677–693.
- Buitenhuis R, Scott-Dupree C, Shipp L (2009) Intra-guild vs extra-guild prey: effect on predator fitness and preference of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) and *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae). Bulletin of Entomological Research 100:167–173. <https://doi.org/10.1017/s0007485309006944>
- Carrillo D & Pena JE (2012) Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Experimental and Applied Acarology, 57, 361–372
- Chailleux A, Pizzol J, Desneux N, Bearez P, Ramirez-Romero R & Amiens-Desneux, E (2013) Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. Journal of Pest Science, 86(3), 533–541. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0498-6>
- Cruz WP, Krug C, De Vasconcelos GJN & De Moraes GJ (2015) Diversity of mites associated with *Raoiella indica* (Acari: Prostigmata) on coconut palms in the central region of the Brazilian Amazonia, with emphasis on the predaceous Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata). Systematic and Applied Acarology, 20(8), 875–886. <https://doi.org/10.11158/saa.20.8.4>
- Janssen A, Hillerislambers R, Sabelis MW, Montserrat M, Pallini A, Roos, AMD (2006) Intraguild Predation Usually does not Disrupt Biological Control (pp. 21–44). springer netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4767-3_2

Jutfelt F, Krång A, Raby GD, et al (2016) Two-current choice flumes for testing avoidance and preference in aquatic animals. *Methods in Ecology and Evolution* 8:379–390. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12668>

Keifer HH (1965) Eriophyid Studies B-14. California Department of Agriculture, Bureau of Entomology, Sacramento (Special publication). Lawson-Balagbo LM, Gondim MGC, de Moraes GJ, Hanna R & Schausberger P (2008) Compatibility of *Neoseiulus paspalivorus* and *Proctolaelaps bickleyi*, candidate biocontrol agents of the coconut mite *Aceria guerreronis*: spatial niche use and intraguild predation. *Experimental and Applied Acarology*, 45(1-2), 1–13. doi:10.1007/s10493-008-9156-8

Melo J, Silva RIR, Morais E, et al (2018) The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the Northeast Region. *International Journal of Acarology* 44:146–149. <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1474945>

Momen F, Abou-Elela M, Metwally A, Naser A and Saleh KH (2011) Biology and feeding habits of the predacious mite, *Lasioseius lindquisti* (Acari: Ascidae) from Egypt. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 46(1), 151–163.

Moraes GD, Abo-Shnaf RI, Perez-Madruga Y, Sanchez L, Karmakar K & Ho CC (2015) The *Lasioseius phytoseioides* species group (Acari: Blattisociidae): new characterisation, description of a new species, complementary notes on seven described species and a taxonomic key for the group. *Zootaxa*, 3980(1), 1-41. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3980.1.1>

Navia D, Aratchige NS, De Moraes GJ, Gondim MGC (2012) A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. *Experimental and Applied Acarology* 59:67–94. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9634-x>

Navia D., Gondim Jr MGC, Aratchige NS, Moraes GJ (2013) A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. *Exp Appl Acarol*, 59:67–94, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9634-x>

Negloh K, Hanna R & Schausberger P (2011) The coconut mite, *Aceria guerreronis*, in Benin and Tanzania: occurrence, damage and associated acarine fauna. *Experimental and applied acarology*, 55, 361-374.

Oliveira DC, de Moraes GJ & Dias CTDS (2012) Status of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) as a pest of coconut in the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Neotropical Entomology*, 41, 315–323.

Patel K, Zhang Z-Q (2017) Prey preference and reproduction of predatory mites, *Amblybromalus limonicus* and *Neoseiulus cucumeris*, on eggs and 1st instar nymphs of the tomato/potato psyllid. *International Journal of Acarology* 43:468–474. <https://doi.org/10.1080/01647954.2017.1349177>

Peña JE, Bruin J and Sabelis MW (2012) Biology and control of the red palm mite, *Raoiella indica*: an introduction. *Experimental and Applied Acarology*, 57, 211–213.

Phillips BW and Gardiner MM (2015) Does local habitat management or large-scale landscape composition alter the biocontrol services provided to pumpkin agroecosystems? *Biological Control*, 92, 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.001>

Quiroz-Ibáñez IF, Estrada-Venegas EG, Campos-Bolaños R and Chaires-Grijalva MP (2016) Ácaros foréticos asociados a *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) colectados con trampas multiembudo tipo Lindgren en Tlaxco, Hidalgo. *Entomología Mexicana*, 3, 110-114.

R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Refsnider JM (2016) Nest-site Choice and Nest Construction in Non-avian Reptiles: Evolutionary Significance and Ecological Implications. *Avian Biology Research* 9:76–88. <https://doi.org/10.3184/175815516x14490631289752>

Reis AC, Gondim Jr MGC, Moraes GJD, et al (2008) Population Dynamics of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and Associated Predators on Coconut Fruits in Northeastern Brazil. *Neotropical Entomology*, 37:457–462. <https://doi.org/10.1590/s1519-566x2008000400015>

Tan Y, Zhang N, Zhu Z, Yan Y and Xie L (2022) Occurrence of parthenogenesis in a soil predatory mite *Lasioseius japonicus* Ehara (Acari: Blattisociidae). *Zoosymposia*, 22, 133-134.

Vásquez C, Colmenárez YC, Greco N & Ramos M (2023) Current status of phytoseiid mites as biological control agents in Latin America and experiences from Argentina using *Neoseiulus californicus*. *Neotrop. Entomol.*, 52(2), 240–250.

Withers TM & Mansfield S (2005) Choice or no-choice tests? Effects of experimental design on the expression of host range. In: Hoddle MS (ed.) *Proceedings of the Second International Symposium on Biological Control of Arthropods*, Davos, Switzerland, 12–16 September 2005. USDA Forest Service, Morgantown, West Virginia, FHTET-2005-08, pp. 620–633.

Xu X & Enkegaard A (2010) Prey Preference of the Predatory Mite, *Amblyseius swirskii* between First Instar Western Flower Thrips *Frankliniella occidentalis* and Nymphs of the Twospotted Spider Mite *Tetranychus urticae*. *Journal of Insect Science*, 10(149), 1–11. doi:10.1673/031.010.14109

Figure captions

Figure 1. Mean number of prey consumed by *Lasioseius barbesiensis* in no-choice assays after 48 hours, when offered separately: (a) *Raoiella indica* adults, (b) *R. indica* eggs, and (c) *Aceria guerreronis* adults. Error bars represent standard errors. Different letters above bars indicate significant differences among treatments ($p < 0.05$).

Figure 2. Proportion of prey consumed by *Lasioseius barbesiensis* in choice assays after 24 hours: (a) between *R. indica* eggs and *A. guerreronis* adults, and (b) between *R. indica* adults and *A. guerreronis* adults. Bars represent mean proportions with standard errors. Asterisks denote significant differences in prey preference ($p < 0.05$).

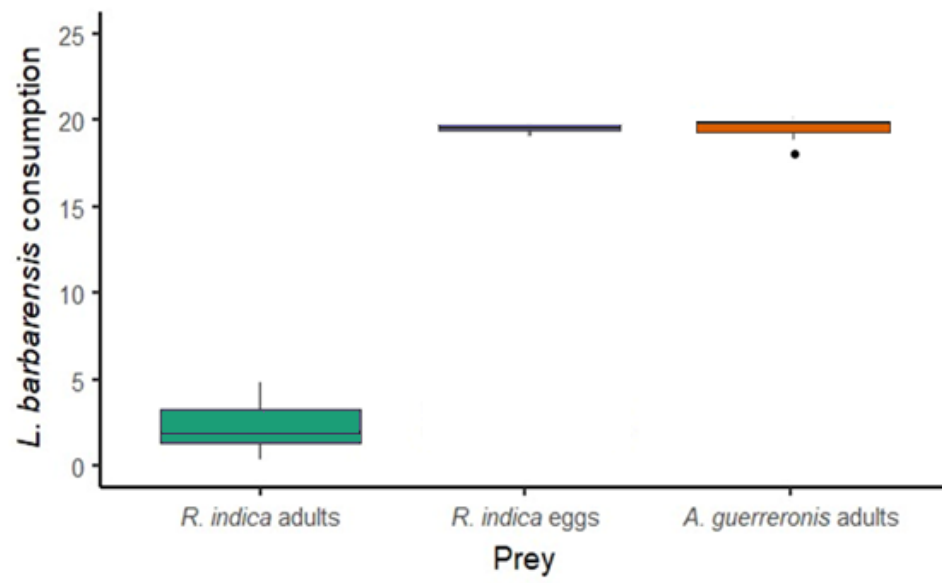


Fig. 1

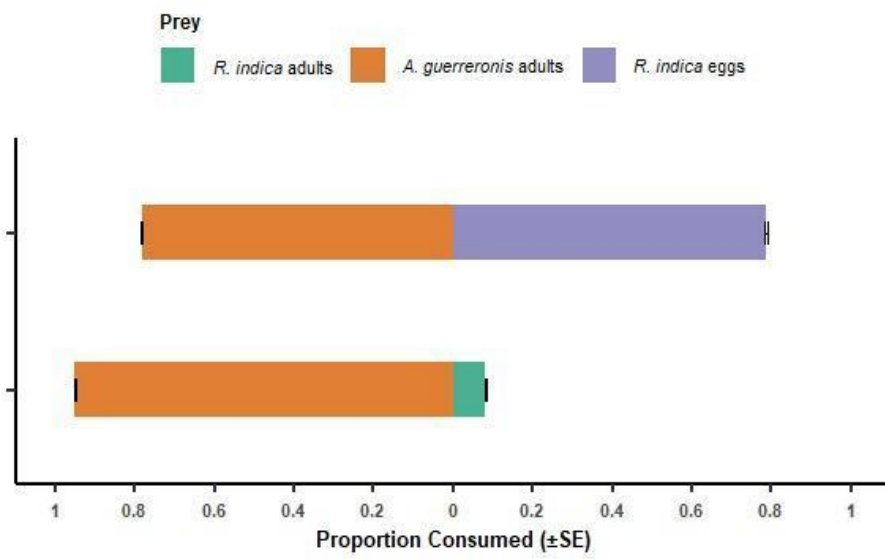


Fig. 2

6. ARTICLE 3

Resistance of *Cocos nucifera* (Arecaceae) hybrids to *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae)

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Experimental and applied acarology

Abstract

The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), represents a serious threat to coconut (*Cocos nucifera* L.) producing countries like Brazil. This study assessed the susceptibility of fifteen experimental dwarf × tall coconut hybrids and one commercial hybrid (PB141) to *R. indica* under field and laboratory conditions in Brazil. In the field, monthly mite counts of eggs, immatures and adults of *R. indica*, on lower-leaf leaflets on the 16 hybrids were conducted for 24 months and also correlated with monthly rainfall. Under laboratory conditions, intrinsic increase rates (r_i) were calculated from offspring. Seasonally, mite populations peaked from November through March, inversely related to precipitation patterns. Hybrids 14 and 15 consistently supported the highest mite densities, up to twice those of the control, across all developmental stages. Conversely, hybrids 1, 6, and 9 exhibited the lowest infestation levels in the field, suggesting potential resistance. Laboratory assays confirmed the field pattern for hybrid 6, which showed the lowest intrinsic rate of mite increase ($r_i = 0.106$), indicating a potential antibiosis effect. In contrast, hybrid 9, despite showing low infestation in the field, supported the highest population growth under laboratory conditions ($r_i = 0.213$), suggesting a possible role of environmental or morphological factors in field suppression. These findings demonstrate the importance of combining field and laboratory data to identify resistant genotypes for integrated pest management strategies.

Keywords: Antibiosis; genetic resistance; integrated pest management; population dynamics; seasonal variation.

6.1. Introduction

Genetic resistance of plants to pest arthropods means that their ability to resist, or tolerate, being attacked by these nuisances is owed to specific genetic characteristics (Smith and Clement, 2011). The resistance is mediated by self-defense proteins and allelochemicals compounds produced constitutively, or induced, by arthropod attack, synthesized by resistance genes (Smith and Clement, 2011). These mechanisms may lead to antibiosis or antixenosis effects, affecting pest development, survival, or preference. Its use in crop breeding offers a sustainable and cost-effective strategy for managing phytophagous arthropods, reducing the need for pesticides and increasing yields (Togola et al., 2017). In this sense, genetic composition of resistant varieties is important for determining their susceptibility or resistance to pests.

Apart from genetic characteristics, climatic seasonality, characterized by temperature, humidity, and precipitation variations throughout the year, may strongly influence the phytophagous arthropods population dynamics (Chen et al., 2019; Sam et al., 2023). Dry periods and high temperatures tend to increase its population, while colder and rainier months

may restrict their reproduction and survivability (Newell et al., 2022). Therefore, understanding the effect of each hybrid resistance and seasonal climatic variations is crucial to guide more effective and sustainable management practices.

The coconut palm has two main varieties: the "tall" (*C. nucifera* var. *typica*) and the "dwarf" (*C. nucifera* var. *nana*), in addition to hybrids resulting from crosses between these varieties (Azevedo et al. 2018; Rajesh et al., 2015). Dwarf variety can be subdivided into three subvarieties: red, yellow, and green (Azevedo et al., 2018; Santos et al., 2020). Hybrids between dwarf $\times$ tall coconuts have already shown productive advantages, such as higher yields and precocity (Sobral et al., 2019; Silva et al., 2023). However, studies on how genetic diversity, represented by coconut hybrids, can influence arthropod pests are still scarce (Rajesh et al., 2015).

The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), is a phytophagous mite native to Asia (Carrillo and Peña, 2012; Melo et al. 2018) and considered a serious threat for coconut plantations and ornamental palms in Asia and tropical America, as it can reach high population densities causing important damage (Rodrigues et al., 2007; Carrillo and Peña, 2012; Melo et al., 2018). This species forms colonies mainly on the abaxial side of leaves (Balza et al. 2015), leading to chlorotic spots on coconut leaves (Peña et al., 2012).

Therefore, we aimed to evaluate the susceptibility of dwarf $\times$ tall coconut hybrids to *R. indica* under field and laboratory conditions, as well as to assess how seasonal climatic variations influence the population of this pest.

6.2. Materials and Methods

6.2.1. Coconut hybrids and population dynamics of *R. indica* in the field

The experiment followed a randomized complete block design, consisting of 16 dwarf $\times$ tall coconut hybrids (treatments) and three replicates (blocks), with three plants per replication for each hybrid. The hybrids were established in 2019 in a quartzarenic Neosol at the experimental field of Embrapa in Itaporanga d'Ajuda, (11°07'40" S and 37°11'15" W), Sergipe, Brazil, at 8.5 m 8.5 m $\times$ 8.5 m spacing. Fifteen of the sixteen hybrids evaluated were generated from Embrapa's coconut breeding program. The development of these intervarietal hybrids involved the selection of dwarf and tall coconut palms preserved at the International Coconut Germplasm

Bank for Latin America and the Caribbean (ICG-LAC). The mother plants were selected from populations of green dwarf coconut from Brazil (Jiqui origin); red dwarfs from Cameroon, Malaysia, and Gramame; and yellow dwarfs from Malaysia and Gramame. The father plants, in turn, belonged to tall coconut populations from Polynesia, Tonga, Vanuatu, and Rennel. Since the hybrids resulting from these crosses are still under development and subject to future cultivar protection, only their codes (1-15) are disclosed in this research. The commercial hybrid PB141 (code 16; green dwarf from Brazil × giant from West Africa), developed by the Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux – IRHO (Farias Neto et al. 2003), was included in the experiment as a control.

The population dynamics of *R. indica* on the 16 coconut hybrids was conducted monthly over 24 months. The number of eggs, immatures (larvae, protonymphs and deutonymphs), and adults of *R. indica* was monthly recorded on one plant of each hybrid per block (replication). Mite counts were performed using a 20× magnification lens at two areas of one square centimeter on two randomly selected leaflets from a lower leaf of each assessed plant. No phytosanitary treatments were conducted throughout the experimental period.

6.2.2. Population growth rate of *R. indica* on coconut hybrids in the laboratory

For each laboratory experiment, one leaflet was collected from each hybrid per block in the field experiment, totaling three replications per hybrid to avoid pseudoreplication. The experimental unit consisted of a plastic Petri dish measuring 5 cm in diameter and 1.5 cm in height, containing a rectangular sponge measuring 4 cm x 3 cm and 1 cm in height, saturated with distilled water. A sanitized fragment of the coconut hybrid leaflet was placed on the sponge, with moistened cotton around it to maintain humidity. Females and males of *R. indica* were collected from infested coconut trees at Embrapa Tabuleiros Costeiros in Aracaju, seven days prior to setting up the experiment. The mites were transferred to specific breeding units, similar to the experimental units. To separate the specimens, breeding units were established containing only males and others containing only females in the quiescent deutonymphal stage. After seven days, females reached adulthood and were used in the population growth rate experiments. In each experiment, the experimental units received eight mites, four females and four males, and the total number of all developmental stages was recorded after 12 days. The susceptibility of coconut hybrids to *R. indica* was assessed based on instantaneous rate of increase (r_i) as follows

$$r_i = \frac{\ln \ln \left(\frac{N_f}{N_0} \right)}{12} \quad (1)$$

where N_f is the number of specimens at the end of the evaluation period and N_o is its initial quantity. The experiment was conducted over six months, repeated monthly (every 30 days).

6.2.3. Statistical analyses

In the field assay, counts of eggs, immatures (nymphs), and adults (dependent variable) across the 16 coconut hybrids were analyzed using a generalized linear model (GLM) with repeated-measures ANOVA, assuming a Poisson distribution. Independent variables included block, month, and the block $\times$ month interaction.

In the laboratory assay, the intrinsic rate of increase (r_i) was used as the dependent variable, assuming a normal distribution. The independent variables were the same as those used in the field experiment.

Following the detection of statistical differences among hybrids, months, and the block $\times$ month interaction ($p < 0.05$), Dunnett's post-hoc test was applied. To identify potential relationships between inactive and active forms of *R. indica* and rainfall data (mm), Spearman's rank correlation test (r_s) was performed. All statistical analyses were conducted using R software, with a 5% significance threshold.

6.3. Results

The average number of *R. indica* eggs on the control hybrid (PB141) was significantly higher ($p < 0.05$) than that recorded on most of the remaining hybrids (1, 2, 3, 5, 6, 8, 9 and 10). The number of immatures of *R. indica* on hybrids 1, 2, 3, and 9 was significantly lower ($p < 0.05$) than on the control hybrid. For the adult stage of the mite, the hybrids 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, and 10 had significantly lower infestation than the control hybrid (Figure 1).

In the laboratory assay, only hybrid 6 had a significantly lower instantaneous rate of increase (r_i) ($p = 0.0439$) compared to the control hybrid (Figure 1).

As for the correlation between climatic variables and the mite, negative and high ($p < 0.05$) correlations between egg, immatures, and adult mites and rainfall (mm) were observed (Table 1).

6.4. Discussion

The present study demonstrated that the different coconut hybrids significantly influenced the population increase of *R. indica*, particularly under field conditions. The results indicate that hybrids 1, 2, 3, and 9 showed significantly lower *R. indica* infestation in eggs, immature forms, and adults, compared to the control hybrid PB141, which accumulated the highest average number of eggs. Hybrids such as 6, 8, and 10 also offered significant reduction in the adult stage, while hybrids 1, 2, 3, and 9 exhibited low infestation in all stages, providing broader resistance. In contrast, the control hybrid (PB141) and those without significant reduction (e.g., hybrids 7, 11, and 12) were the most susceptible.

This variability is consistent with findings in other tropical crops: for example, Vasquez et al. (2016) observed that coconut cv. Jamaican Tall had a lower mite oviposition rate and higher oxidative enzyme activity than cv. Malayan Yellow Dwarf, decreasing antibiotic resistance. Similarly, Polanco-Arjona et al. (2017) reported that banana cultivars ('Dwarf Giant', 'Horn', 'Date') had much lower population increase of *R. indica* (2.4–5.3-fold) compared to coconut cultivars (43–54-fold) after four months of experimental infestation (Polanco-Arjona et al., 2017). These studies reinforce that genotypic differences in tropical hosts determine variable susceptibility to *R. indica*, supporting the identification of our hybrids 1, 2, 3, and 9 as promising sources of resistance, while PB141 and analogous hybrids appear to be more susceptible. These results suggest that plant genotype affects mite reproduction and abundance, supporting previous findings that host resistance may involve structural or biochemical defense traits (Gomes et al., 2005; Howard et al., 2020).

In laboratory assays, which evaluated the instantaneous rate of increase (r_i) of *R. indica*, a different response pattern was observed among hybrids. Hybrid 6 exhibited a significantly lower r_i compared to the control, indicating reduced suitability for mite development and suggesting potential antibiosis or antixenosis effects. In contrast, hybrid 9, which showed low infestation levels in the field, presented the highest r_i value, indicating high population growth under controlled conditions. This discrepancy suggests that field resistance in hybrid 9 may be related to environmental or morphological factors rather than intrinsic plant traits. The consistency observed for hybrid 6, which performed well in both field and laboratory, reinforces the utility of integrating both approaches to identify robust resistance. These findings highlight the value of laboratory tests in screening genotypes prior to field evaluation (Shalini et al., 2006) and support the use of hybrid 6 as a candidate for integrated pest management.

The correlation between field and laboratory data, at least for hybrid 6, reinforces the role of host plant resistance as a major factor influencing *R. indica* populations. While field

conditions involve complex interactions with environmental variables, the congruence of results for hybrid 6 suggests that resistant hybrids possess constitutive or inducible traits that limit mite success (Bi & Felton, 1995; Schluter et al., 2010).

Abiotic factors also influenced mite populations during the study. Rainfall was negatively and significantly correlated with mite densities across all developmental stages ($r_s \approx -0.60$; $p < 0.05$). This observation is consistent with previous literature, indicating that high rainfall can wash mites from host surfaces (Navia et al., 2016). Seasonal patterns were evident, with mite outbreaks peaking during the dry season when conditions favored rapid population buildup (Silva et al., 2020). Therefore, while host resistance plays a central role, environmental conditions such as precipitation modulate infestation levels should be factored into pest management strategies.

From a practical standpoint, the identification of resistant hybrids, particularly hybrid 6, offers a valuable tool for integrated pest management. Even in the absence of chemical control, some genotypes maintained low mite populations, demonstrating the potential of genetic resistance in reducing pest pressure. Future work should aim to characterize resistance traits more precisely and explore molecular markers that could facilitate selection of resistant cultivars (Ximénez-Embún et al., 2017; Tzec, 2022).

In conclusion, the current research evidenced hybrid 6 as the most promising genotype, combining low field infestation with impaired population growth under laboratory conditions. The consistency of resistance across experimental conditions supports its potential use in IPM programs. Future research should focus on elucidating the molecular and physiological mechanisms underlying this resistance and validating performance across diverse agroecological zones. These efforts will contribute to the sustainable management of *R. indica* in coconut production systems.

6.5. References

- Azevedo AON, Azevedo CDDO, Santos PHAD, Ramos HCCC, Boechat MSB, Arêdes FAS, Ramos SRR, Mirizola LA, Perera L, Aragão WM, Pereira MG, Pereira MG (2018 Brazil? Florida Entomologist 102:581.
- Balza D, Vásquez CL & Valera R (2015) Aspectos biológicos de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) sobre cultivares de Musa spp.: posible rol de la anatomía y química de la hoja. Entomotropica, 30, 181-192.

- Bi JL, Felton GW (1995) Foliar oxidative stress and insect herbivory: Primary compounds, secondary metabolites, and reactive oxygen species as components of induced resistance. *Journal of Chemical Ecology* 21:1511–1530. <https://doi.org/10.1007/bf02035149>
- Carrillo D, Peña JE (2012) Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology* 57:361–372.
- Chen C, Harvey JA, Biere A, Gols R (2019) Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change? *Ecology* 100:. <https://doi.org/10.1002/ecy.2819>
- Gomes FB, Santos CDD, Goussain MM & Moraes JCD (2005) Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62(6), 547–551. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162005000600006>
- Howard MM, Kao-Kniffin J, Kessler A, Muñoz CA (2020) Soil Microbiomes From Fallow Fields Have Species-Specific Effects on Crop Growth and Pest Resistance. *Frontiers in Plant Science* 11:. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01171>
- Melo J, Silva RIR, Morais E, et al (2018) The invasive red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil: range extension and arrival into the most threatened area, the Northeast Region. *International Journal of Acarology* 44:146–149. <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1474945>
- Navia D, Hamada E, Gondim Jr MGC and Benito NP (2016) Previsão espacial do ácaro vermelho da palmeira no Brasil sob cenários atuais e futuros de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(05), 586-598.
- Newell FL, Ausprey IJ, Robinson SK (2022) Wet and dry extremes reduce arthropod biomass independently of leaf phenology in the wet tropics. *Global Change Biology* 29:308–323. <https://doi.org/10.1111/gcb.16379>
- Polanco-Arjona CA, Osorio-Osorio R, Hernández-Hernández LU, Márquez-Quiroz C, de la Cruz-Lázaro E., Salinas-Hernández RM & Hernández-García V (2017) Colonization, Abundance, and Damage of *Raoiella indica* Hirst 1 on Cultivars of *Musa* spp. at Tabasco, México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 363-374.
- Rajesh MK, Sabana AA, Rachana KE, Rahmanr S, Jerard BA, Karun A (2015) Genetic relationship and diversity among coconut (*Cocos nucifera* L.) accessions revealed through SCoT analysis. *Biotech* 5:999–1006.
- Sam K, Koane B, Sivault E, et al (2023) Vertebrates, but not ants, protect rainforest from herbivorous insects across elevations in Papua New Guinea. *Journal of Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/jbi.14686>
- Santos JR, da Silva LD, Carneiro KS, de Goy MS, da Silva Melo JW, Souza B (2020) Mortalidade de *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Acari: Tenuipalpidae) sob ação, in vitro, de acaricidas. *Research, Society and Development* 9: e589941740.

Schluter U, Cloutier C, Vorster J, et al (2010) Recombinant protease inhibitors for herbivore pest control: a multitrophic perspective. *Journal of Experimental Botany* 61:4169–4183. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq166>

Shalini KV, Manjunatha S, Lebrun P, Berger A, Baudouin L, Pirany N, Ranganath RM, & Prasad DT (2006) Identification of molecular markers associated with mite resistance in coconut (*Cocos nucifera* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 86(6), 1415–1423. <https://doi.org/10.4141/P06-085>

Silva AV, Costa EFN, Diniz LEC, Ramos SRR, Fritsche-Neto R (2023) Genomic and population characterization of a diversity panel of dwarf and tall coconut accessions from the International Coconut Genebank for Latin America and Caribbean. *Genetic Resources and Crop Evolution* 1:1–13.

Silva RS, da Silva SL, Santos MGD, Moraes GJ & Navia D (2020) Climate-based seasonal dynamics of the invasive red palm mite *Raoiella indica*. *Pest Management Science*, 76, 3849–3856. <https://doi.org/10.1002/ps.5936>

Smith CM, Clement SL (2011) Molecular Bases of Plant Resistance to Arthropods. *Annual Review of Entomology* 57:309–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100642>

Sobral KMB, Queiroz MA, Lima Neto IS, Oliveira RS, Ramos SRR (2019) Is there genetic variability in dwarf coconut accessions preserved in Brazil? *Revista Caatinga* 32:52–61.

Togola A, Chamarthi SK, Boukar O, et al (2017) Host plant resistance to insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): achievements and future prospects. *Euphytica* 213:. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-2030-1>

Tzec M (2022) Potential of omics to control diseases and pests in the coconut tree. *CICY Research Journal*, 6(2), 1–10. <https://doi.org/10.5376/bt.2015.06.0002>

Vásquez C, Dávila M, Méndez N, Jiménez MA, Sandoval MF & Alcalá FJ (2016) Oxidative Enzymes in Coconut cultivars in response to *Raoiella indica* feeding. *African Journal of Biotechnology*, 15(33), 1755-1762.

Ximénez-Embún MG, Alba JM, Kant MR, et al (2017) Drought stress promotes the colonization success of a herbivorous mite that manipulates plant defenses. *Experimental and Applied Acarology* 73:297–315. <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0200-4>

Figure captions

Figure 1. Average counts of eggs, immatures (larvae and nymphs), and adults per cm² and intrinsic growth rates (ri) of *R. indica* on 15 coconut hybrids (*Cocos nucifera*) and the control hybrid. Asterisks denote statistical differences ($p < 0.05$; one-way ANOVA followed by Dunnett's *pos-hoc* test).

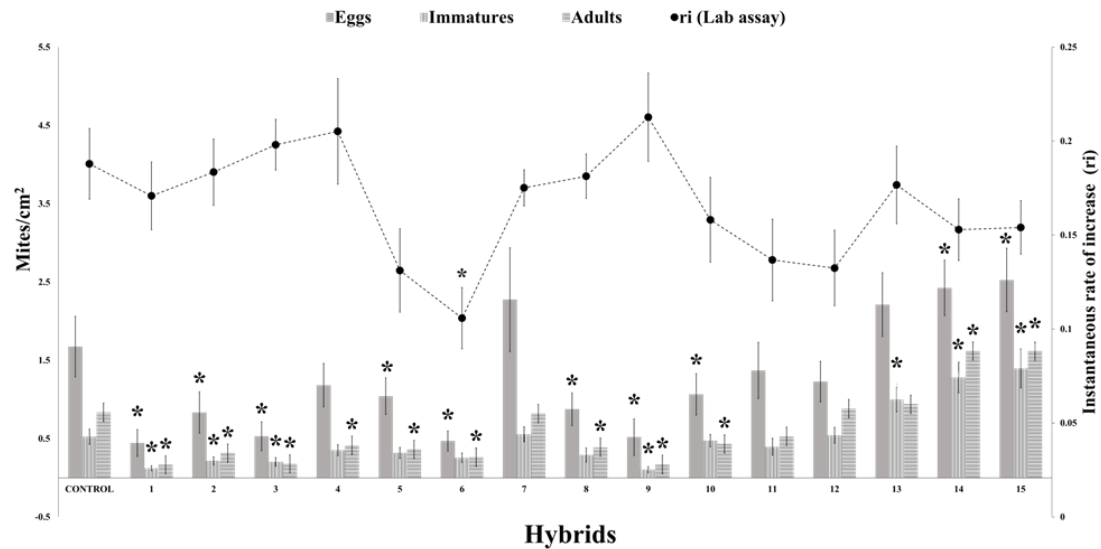


Table 1. Spearman correlation between the average number of eggs, immatures, and adults of *R. indica* and rainfall (mm).

Developmental stage (n)	r_s	p Value
Eggs	-0,09885	0,0006
Imatures	-0,08025	0,0054
Adults	-0,09434	0,0011

r_s : Spearman Correlation test using Ranks ($p < 0,05$)