

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

MIGUEL FERREIRA DA SILVA JUNIOR

POTENCIAL DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CONTROLE DE
***Raoiella indica* (HIRST, 1924) (ACARI: TENUIPALPIDAE)**

RIO LARGO – AL

2025

MIGUEL FERREIRA DA SILVA JUNIOR

POTENCIAL DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CONTROLE DE
***Raoiella indica* (HIRST, 1924) (ACARI: TENUIPALPIDAE)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Agronomia, do Campus de Engenharia e
Ciências Agrárias da Universidade Federal de
Alagoas – CECA/UFAL como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Roseane Cristina

Predes Trindade

RIO LARGO – AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S586p Silva Junior, Miguel Ferreira da.

Potencial de fungos entomopatogênicos no controle de MIP *raoiella indica* (HIRST, 1924) (acari: tenuipalpidae). / Miguel Ferreira da Silva Junior. – 2025.

45 f.: il.

Orientador (a): Roseane Cristina Predes Trindade.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Controle biológico. 2. Tempo letal. 3. Concentração letal. 4. MIP. I. Título.

CDU: 595.7:632.9

FOLHA DE APROVAÇÃO

MIGUEL FERREIRA DA SILVA JUNIOR

POTENCIAL DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CONTROLE DE *Raoiella indica* (HIRST, 1924) (ACARI: TENUIPALPIDAE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia, do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas – CECA/UFAL e aprovado em 30 de abril de 2025.

(Orientador(a) - Profa., Dra. Roseane Cristina Predes Trindade - UFAL)

Banca examinadora:

(Examinador(a) Interno(a) - Profa., Dra. Mariana Oliveira Breda – UFAL)

(Examinador(a) Externo(a) - MSc. Samuel Farias Santana - PPGPP)

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Lúcia,

por ser minha raiz, minha coragem e minha
calmaria nos dias turbulentos. Por cada gesto de
cuidado, por cada palavra de incentivo e por
cada renúncia silenciosa que me trouxe até aqui.
Que a sua força me inspire sempre e o seu amor
seja para sempre o alicerce da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus — pela vida, pela saúde, pela sabedoria e por cada dia de força e esperança. Foi essa fé silenciosa, mas constante, que sustentou meus passos mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha orientadora, Profa. Dra. Roseane Cristina Predes Trindade, expresso minha profunda gratidão pelo carinho, paciência e dedicação ao longo desta caminhada acadêmica.

À Profa. Dra. Mariana Oliveira Breda, agradeço pela escuta generosa e pelo acolhimento sempre presente.

À Profa. Dra. Camila Alexandre, gratidão pela gestão e condução atenta do LEAF durante esses anos de graduação.

Ao Dr. Anderson Sabino, meu sincero agradecimento pelos inúmeros esclarecimentos e pelo apoio técnico essencial.

Aos colegas do LEAF e do LECAP, deixo meu abraço cheio de gratidão. A trajetória foi mais leve e enriquecedora com vocês ao meu lado. Em especial, agradeço a Samuel Santana por todo ensinamento, Leonara Figueiroa, Ester Amaral, Katiussia Figueiroa pelo imenso apoio nessa reta final. Vocês tornaram tudo mais leve.

À minha musa fitness, Sabrina Rocha, obrigada pela inspiração diária, e à Lissandra Moreira, nossa futura Ana Primavesi, minha admiração e carinho.

À minha família, pilar de amor e força, agradeço pelo suporte incondicional:— cada um de vocês foi fundamental nesta jornada.

Ao meu companheiro, Luan Araújo, obrigada por ser presença constante, por compartilhar sonhos e por acreditar em cada passo deste caminho.

A nossa amada UFAL, por nos permitir construir as bases para sonhar com dias melhores.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meu mais sincero agradecimento. Este TCC é também de vocês.

RESUMO

As infestações de *Raoiella indica* Hirst, (1924) (Acari: Tenuipalpidae), ácaro invasor de elevada adaptabilidade ecológica, têm se tornado um dos principais desafios fitossanitários em sistemas tropicais, afetando severamente culturas de expressiva relevância econômica. A utilização de biopesticidas à base de fungos entomopatogênicos desponta como uma alternativa promissora para o manejo dessa praga, sobretudo diante das limitações e impactos negativos associados ao uso contínuo de acaricidas organossintéticos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a patogenicidade dos fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, utilizando os isolados da Vittia® (IBCB66, *B. bassiana*), da Dillon® (CBMAI1306, *B. bassiana*), da Agrinor® (BEAU CNV, *B. bassiana*) e a formulação multicepa da Dillon® (IBCB66 + IBCB425, *B. bassiana* + *M. anisopliae*), sobre fêmeas adultas de *R. indica* em condições de laboratório, bem como estimar as concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) do isolado mais eficiente. Para isso, suspensões fúngicas nas maiores concentrações recomendadas pelos fabricantes (10⁸ conídios/mL) foram aplicadas por meio de uma torre de Potter em arenas contendo fêmeas adultas de *R. indica*, com avaliação diária da mortalidade durante sete dias para determinação do tempo letal (TL). As concentrações letais foram estimadas a partir de diluições seriadas (10⁸, 10⁷, 10⁶, 10⁵, 10⁴, 10³ e 10² conídios/mL). Os dados foram submetidos à análise Probit para a estimativa dos parâmetros de letalidade. O isolado da Agrinor® (BEAU CNV) foi o mais virulento, em comparação com as quatro cepas testadas, apresentando TL₅₀ de 0,90 dias e TL₉₀ de 2,12 dias. A concentração letal média (CL₅₀) obtida foi de $2,8 \times 10^4$ conídios/mL, enquanto a CL₉₀ foi de $1,73 \times 10^6$ conídios/mL, valores considerados eficazes e tecnicamente viáveis para aplicação prática. Assim, conclui-se que o isolado BEAU CNV apresenta elevado potencial para o controle de *R. indica*, reforçando sua aplicabilidade em programas de manejo integrado de pragas com enfoque biológico.

Palavras-chave: controle biológico. tempo letal. concentração letal. MIP

ABSTRACT

Infestations of *Raoiella indica* Hirst (1924) (Acari: Tenuipalpidae), an invasive mite with remarkable ecological adaptability, have emerged as one of the main phytosanitary challenges in tropical agroecosystems, severely affecting crops of high economic importance. The use of entomopathogenic fungi-based biopesticides has shown promise as an alternative strategy for managing this pest, especially given the limitations and environmental concerns associated with the continued use of synthetic acaricides. This study aimed to evaluate the pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against adult females of *R. indica* under laboratory conditions, and to estimate the lethal concentrations (LC₅₀ and LC₉₀) of the most effective isolate. The isolates used were obtained from commercial formulations: IBCB66 (*B. bassiana*, Vittia®), CBMAI1306 (*B. bassiana*, Dillon®), BEAU CNV (*B. bassiana*, Agrinor®), and a multistrain formulation composed of IBCB66 + IBCB425 (*B. bassiana* + *M. anisopliae*, Dillon®). Fungal suspensions at the highest concentrations recommended by the manufacturers (10⁸ conidia/mL) were applied using a Potter spray tower onto arenas containing *R. indica* females, and daily mortality was recorded for seven days to determine lethal time (LT). Lethal concentrations were estimated from serial dilutions (10⁸, 10⁷, 10⁶, 10⁵, 10⁴, 10³, and 10² conidia/mL). Data were analyzed using Probit regression to determine lethal dose parameters. The BEAU CNV isolate (Agrinor®) was the most virulent compared to the four tested strains, exhibiting an LT₅₀ of 0.90 days and LT₉₀ of 2.12 days. The estimated LC₅₀ was 2.8 × 10⁴ conidia/mL, while the LC₉₀ was 1.73 × 10⁶ conidia/mL—values considered effective and technically feasible for practical use. These findings highlight the high potential of the BEAU CNV isolate for the biological control of *R. indica*, reinforcing its suitability for integration into pest management programs.

Keywords: biological control, lethal time, lethal concentration, IPM.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa global com registros georreferenciados da praga *Raoiella indica* (pontos amarelos), representando ocorrências confirmadas em países tropicais e subtropicais das Américas, África e Ásia. Os dados foram compilados a partir de bases internacionais de referência, como EPPO, GBIF e CABI, atualizadas até 2025. 13
- Figura 2. Unidades experimentais utilizadas no bioensaio de patogenicidades constituídas por arenas de ágar-ágar sobre placas de Petri, contendo discos foliares de *Heliconia psittacorum*. 24
- Figura 3. Detalhe das unidades experimentais contendo discos foliares de *Heliconia psittacorum*, sobre ágar-ágar com dez fêmeas adultas de *Raoiella indica* por repetição. 25
- Figura 4. Tegumento de *Raoiella indica* com extrusão de hifas, caracterizando processo infeccioso ativo por fungo entomopatogênico em bioensaio laboratorial. 25
- Figura 5. Diluições seriadas do isolado BEAU CNV, *Beauveria bassiana*, em concentrações decrescentes (10^8 a 10^2 conídios/mL)..... 26
- Figura 6. Unidades experimentais utilizadas nos bioensaios de concentração letal (CL_{50} e CL_{90})..... 27
- Figura 7. Tempos letais médios (TL_{50} e TL_{90}) estimados para isolados de fungos entomopatogênicos aplicados contra fêmeas adultas de *Raoiella indica* em condições controladas 29
- Figura 8. Mortalidade acumulada de *Raoiella indica* (%) ao longo dos dias após aplicação de isolados fúngicos..... 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativas de tempo letal médio (TL_{50}) e (TL_{90}) de diferentes cepas de fungos entomopatogênicos no controle de *Raoiella indica*, sob condições laboratoriais. Inclui intervalo de confiança (IC95%) para cada parâmetro. intervalo de confiança (IC95%) para cada parâmetro. 28

Tabela 2. Estimativas de concentração letal média (CL_{50}) e elevada (CL_{90}), com respectivos intervalos de confiança (IC 95%), inclinação da curva dose-resposta e significância do ajuste do modelo Probit (χ^2), obtidas para o isolado fúngico BEAU CNV sobre fêmeas adultas de *Raoiella indica*, em condições laboratoriais controladas..... 32

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. <i>Raoiella indica</i> (Hirst) (Acari: Tenuipalpidae).....	13
2.2 Manejo Integrado de Pragas (MIP).....	15
2.3 Controle Biológico.....	17
2.4 Fungos Entomopatogênicos	20
2.5 <i>Beauveria bassiana</i> e <i>Metarhizium anisopliae</i>	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Coleta de <i>Raoiella indica</i> e escolha de isolados	22
3.2 Bioensaio de patogenicidade.....	23
3.3 Estimativa das concentrações Letais (CL) do isolado mais patogênico a <i>Raoiella indica</i>	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

O ácaro *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Acari: Tenuipalpidae), conhecido como ácaro-vermelho-das-palmeiras, é uma praga exótica de elevada adaptabilidade ecológica e rápida capacidade de dispersão, sendo hoje reconhecido como um dos principais desafios fitossanitários em ambientes tropicais e subtropicais. Com potencial para comprometer até 70% da produtividade de culturas economicamente relevantes, como o coqueiro, *Cocos nucifera* L. (Arecaceae) e a bananeira, *Musa* spp. (Musaceae), a espécie se consolida como praga-chave em sistemas agrícolas tropicais (Leite et al., 2024; Otero-Colina et al., 2016).

A elevada polifagia de *R. indica* permite a infestação de plantas pertencentes a diversas famílias botânicas, como Musaceae, Arecaceae, Heliconiaceae e Zingiberaceae, o que amplia sua capacidade de permanência no agroecossistema e dificulta as ações de contenção (Ramírez-López et al., 2019). O hábito do ácaro de se concentrar na face abaxial das folhas — área de difícil acesso visual — constitui um entrave adicional às estratégias de monitoramento e detecção precoce (Rodrigues et al., 2014). A alimentação se dá por meio de quelíceras alongadas e adaptadas que perfuram os tecidos foliares, danificando o mesófilo e interferindo na fotossíntese. Os sintomas típicos incluem clorose, necrose, bronzeamento foliar, desfolha e morte de folhas jovens, resultando em comprometimento direto da produtividade e da qualidade das culturas afetadas (Souza et al., 2020).

No estado de Alagoas, o primeiro registro oficial da presença de *R. indica* foi realizado por Souza (2018), em tese desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O levantamento conduzido confirmou a ocorrência do ácaro em todos os 102 municípios alagoanos, com maiores densidades nas principais regiões produtoras de coqueiro. Este marco científico consolidou-se como referência inicial para os estudos sobre a biologia, distribuição e impacto da praga no Nordeste brasileiro, permitindo estabelecer uma linha do tempo da sua expansão no estado e fornecendo subsídios técnicos para o desenvolvimento de estratégias regionais de monitoramento e manejo fitossanitário.

O controle de *R. indica* tem sido predominantemente baseado na aplicação de acaricidas organossintéticos. No entanto, o uso intensivo e, por vezes, indiscriminado desses produtos químicos tem provocado sérios efeitos negativos, como a seleção de populações resistentes, supressão de naturais e a contaminação ambiental (Otero-Colina et al., 2016; Desneux et al., 2007). Nesse cenário, há crescente demanda por estratégias de controle que aliem eficácia à sustentabilidade.

Entre as alternativas mais promissoras destacam-se os fungos entomopatogênicos, especialmente *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., 1912 e *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin, 1883. Estes microrganismos apresentam elevada virulência, seletividade a organismos não alvo, persistência ambiental e compatibilidade com os princípios do manejo integrado de pragas (MIP). Estudos também apontam para sua atuação como endófitos, promovendo indução de respostas de defesa nas plantas hospedeiras (Vidal & Jaber, 2015; Jaber & Ownley, 2018; Vega et al., 2012).

Evidências reforçam o potencial desses agentes: Fernandes et al. (2012) observaram taxas de mortalidade superiores a 70% em populações de *R. indica* tratadas com isolados de *B. bassiana* e *M. anisopliae*. Resultados consistentes também foram obtidos em estudos com outros ácaros fitófagos, como *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), conforme relatado por Oliveira et al. (2020) e corroborado por Freitas et al. (2021) e Mantzoukas & Karamanolis (2019), ampliando o espectro de validação desses microrganismos em programas de controle biológico.

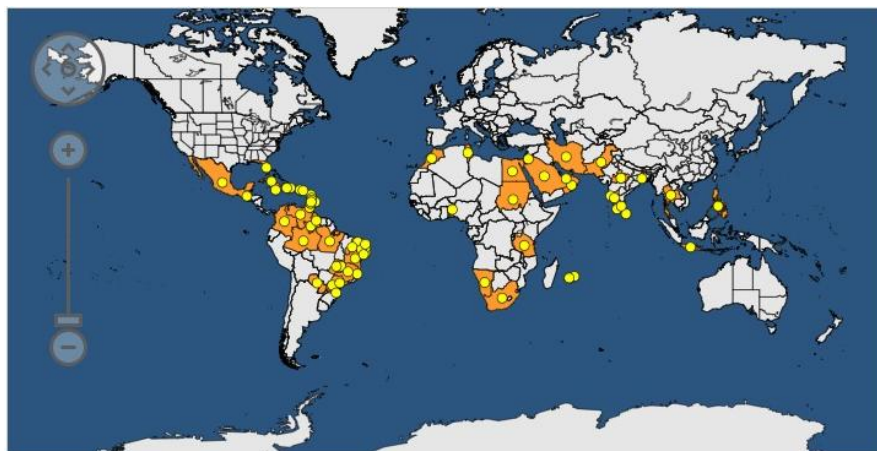
Diante da importância agrícola de *R. indica*, da severidade de seus danos e das limitações associadas ao controle convencional, torna-se urgente investigar novas abordagens biotecnológicas viáveis ao manejo da praga. Nesse sentido, os fungos entomopatogênicos surgem como ferramentas eficazes, sustentáveis e adaptáveis às realidades tropicais. Este trabalho, portanto, propõe avaliar a patogenicidade de formulações comerciais à base de *B. bassiana* e *M. anisopliae* sobre *R. indica*, estimando os tempos letais (TL_{50} e TL_{90}) e as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) dos isolados utilizados, com foco na identificação do isolado mais virulento em condições laboratoriais controladas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Raoiella indica* (Hirst) (Acari: Tenuipalpidae)

Raoiella indica Hirst, 1924 (Acari: Tenuipalpidae), conhecido como ácaro-vermelho-das-palmeiras, é considerado uma das pragas invasoras mais agressivas do século XXI, (Peña et al., 2006; Carrillo et al., 2012; Souza, Lyra-lemos E Guzzo., 2020). Originária da Ásia, essa espécie foi detectada pela primeira vez nas Américas no início dos anos 2000 e, desde então, tem se expandido rapidamente pelas regiões tropicais e subtropicais do continente (Souza, 2018). No Brasil, o primeiro registro oficial ocorreu em Roraima, em 2009, seguido pela presença confirmada no Amazonas em 2011, e, atualmente, a praga já se encontra amplamente distribuída nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, com registros pontuais no Sul (Souza, 2018; Vasquez et al., 2021).

Figura 1. Mapa global com registros georreferenciados da praga *Raoiella indica* (pontos amarelos), representando ocorrências confirmadas em países tropicais e subtropicais das Américas, África e Ásia. Os dados foram compilados a partir de bases internacionais de referência, como EPPO, GBIF e CABI, atualizadas até 2025.



Fonte: EPPO, 2025.

A rápida expansão de *R. indica* está relacionada à sua elevada capacidade adaptativa, eficiência reprodutiva, ausência de inimigos naturais especializados em áreas recentemente colonizadas e ampla gama de hospedeiros, na qual houve aumento considerável de espécies desde sua introdução na região neotropical (Souza, 2018). Entre as plantas hospedeiras mais afetadas, destacam-se o coqueiro, a bananeira e diversas

palmeiras ornamentais e nativas, em que amplia seu potencial de impacto tanto sobre agroecossistemas quanto sobre vegetações naturais (Souza, 2018; Estrada-Venegas et al., 2023).

Os adultos de *R. indica* apresentam coloração vermelho-intensa, corpo achatado e comprimento inferior a 0,4 mm, dificultando sua visualização a olho nu. Os ovos são ovais, translúcidos, e dispostos em fileiras na face abaxial das folhas, geralmente junto às nervuras. O ciclo de vida compreende os estágios de ovo, larva (com três pares de pernas), protoninfa, deutoninfa e adulto, com gerações sobrepostas ao longo do ano. Em condições ideais de temperatura (25 a 30 °C), o ciclo pode ser completado em menos de 20 dias, favorecendo a ocorrência de explosões populacionais (Rodrigues et al., 2020; Vasquez et al., 2021).

O hábito gregário da espécie leva à formação de colônias densas na face abaxial das folhas, cuja alimentação é realizada por meio de quelíceras longas e pontiagudas, que perfuram células subepidérmicas e causam colapso celular, destruição de cloroplastos e necrose tecidual. As injúrias reduzem a taxa fotossintética, comprometem o metabolismo vegetal e resultam em sintomas como clorose, bronzeamento foliar, seca de ponteiros e desfolha, podendo levar à morte de plantas jovens em casos severos (Alencar et al., 2017; González et al., 2019).

A plasticidade ecológica de *R. indica* permite sua sobrevivência em condições ambientais variadas, com destaque para climas quentes e secos, nos quais a praga atinge maiores densidades populacionais (Souza, 2018). A principal forma de dispersão natural é via anemocoria, embora a movimentação de mudas, folhas e materiais vegetais infestados represente um vetor de alta relevância para a disseminação regional e interestadual (Kane et al., 2012; Estrada-Venegas et al., 2023). Sua presença já foi confirmada inclusive em altitudes elevadas, como na Cidade do México, reforçando sua notável adaptabilidade (Estrada-Venegas et al., 2023).

Estudos de campo realizados no estado de Alagoas evidenciaram que os surtos populacionais de *R. indica* apresentam forte correlação com a sazonalidade climática, intensificando-se nos períodos de menor precipitação e maior radiação solar,

particularmente durante a estação seca. Além disso, foram identificadas 28 espécies de plantas hospedeiras reprodutivas, pertencentes a diversas famílias botânicas — como *Arecaceae*, *Musaceae*, *Zingiberaceae* e *Heliconiaceae* — muitas das quais constituíram registros inéditos para o Brasil e as Américas. Essa amplitude na gama de hospedeiros, somada à ocorrência da praga em áreas agrícolas, urbanas e ornamentais, contribui para sua ampla distribuição e persistência no ambiente, dificultando estratégias de contenção e favorecendo reinfestações sucessivas (Souza, Lyra-lemos E Guzzo., 2023). Essa tendência exige estratégias de monitoramento ajustadas ao clima local e um planejamento fitossanitário preventivo. A presença de *R. indica* em palmeiras nativas também levanta preocupações ecológicas, visto que a praga pode substituir espécies fitófagas nativas e reorganizar as estruturas tróficas dos ecossistemas invadidos (Peña et al., 2006).

Frente à agressividade biológica e à rápida dispersão da praga, o MIP torna-se a abordagem mais adequada, integrando práticas culturais, resistência varietal, controle biológico e políticas públicas de vigilância e quarentena (Carrillo et al., 2012).

O uso recorrente de acaricidas sintéticos no manejo de *R. indica* tem se revelado insatisfatório, com relatos de baixa eficácia, impactos sobre inimigos naturais e risco de seleção de populações resistentes (Desneux et al., 2007). Diante disso, torna-se essencial o fortalecimento de estratégias sustentáveis de controle, com ênfase em abordagens compatíveis com os princípios agroecológicos. Entre essas alternativas, o controle biológico destaca-se como uma ferramenta promissora no manejo de *R. indica*, especialmente pelo potencial de atuação seletiva e pela integração com práticas já consolidadas do MIP.

2.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP)

Em um cenário agrícola global marcado por desequilíbrios ecológicos, resistência generalizada a defensivos e pressões por sustentabilidade, o MIP surge como resposta técnico-científica indispensável. Muito além de uma alternativa ao uso intensivo de agrotóxicos, o MIP representa uma reconfiguração dos paradigmas de controle fitossanitário, priorizando estratégias ecológicas, econômicas e socialmente responsáveis (Parra et al., 2002; Gurr et al., 2017; Altieri & Nicholls, 2020).

A partir da década de 60, pesquisadores como Stern et al. (1959) e Kogan (1998) passaram a evidenciar os efeitos colaterais do modelo químico dominante: contaminação ambiental, eliminação de inimigos naturais, ressurgência de pragas e riscos à saúde humana. A chamada Revolução Verde, impulsionada por pacotes tecnológicos centrados no tripé sementes melhoradas, adubação química e defensivos agrícolas, trouxe avanços importantes para o aumento da produtividade global, mas também promoveu a homogeneização de sistemas produtivos, o uso intensivo de agrotóxicos e o desequilíbrio ecológicos locais — fatores que, juntos, aceleraram a degradação ambiental e a seleção de populações resistentes de artrópodes-praga (Pimentel, 2005; Meissle et al., 2022).

Nesse contexto, o MIP passou a representar uma estratégia técnica e de ruptura com os modelos convencionais de controle. Baseando-se em fundamentos ecológicos, econômicos e agrônômicos, passou a ser reconhecido como abordagem de excelência em sistemas sustentáveis, ganhando respaldo institucional em escala global a partir dos anos 70, impulsionado por organismos internacionais como a FAO e universidades de referência, e expandiu-se nos trópicos como proposta resiliente, cientificamente embasada e ambientalmente coerente (Venzon et al., 2011).

O MIP se apoia em quatro fundamentos interligados que definem sua lógica operacional: o monitoramento constante das populações de pragas e inimigos naturais, o uso de indicadores econômicos como níveis de dano e ação para orientar intervenções, a combinação sinérgica de táticas de controle (como o biológico, químico seletivo, cultural, genético e comportamental) e a centralidade na prevenção, priorizando a sustentabilidade ecológica e econômica do sistema (Pedigo; Rice, 2006; Parra et al., 2020).

Para sua implementação eficaz, o MIP exige uma compreensão aprofundada da ecologia das pragas, da biologia funcional de seus inimigos naturais e das condições edafoclimáticas que influenciam essas interações. Trata-se de um modelo baseado em tomada de decisão criteriosa, sustentado por dados confiáveis de campo, observações sistemáticas e análises contextuais. Como afirmam Venzon et al. (2011), o manejo eficaz em sistemas sustentáveis exige considerar não apenas os aspectos biológicos, mas também o conhecimento local, a paisagem agrícola e a promoção ativa da biodiversidade funcional.

O controle químico é empregado como último recurso e apenas quando justificado por parâmetros técnicos, como níveis de dano econômico e populações em desequilíbrio ecológico.

Espécies como *R. indica*, com alta taxa de reprodução, ampla plasticidade ecológica e difícil monitoramento, tornam evidente a necessidade de estratégias integradas de controle. O uso isolado de acaricidas sintéticos tem se mostrado insustentável do ponto de vista ecológico, reforçando a importância do MIP em regiões tropicais como ferramenta adaptativa de manejo (Souza, 2018; Carrillo et al., 2012; Estrada-Venegas et al., 2023).

Nesse cenário, a integração do controle biológico, especialmente por meio de agentes entomopatogênicos como os fungos *B. bassiana* e *M. anisopliae*, é estratégica, esses fungos apresentam características desejáveis para uso em programas de MIP, como atuação por infecção transcuticular, seletividade, persistência ambiental e compatibilidade com sistemas agroecológicos (Alves et al., 2005; Vega et al., 2012; Shah & Pell, 2003).

O MIP, mais do que um conjunto de técnicas, consolida-se como uma abordagem que considera os agroecossistemas em sua complexidade. Parte do reconhecimento de que práticas sustentáveis dependem da interação entre diversidade biológica, qualidade do solo e manejo consciente. Fortalecer essa perspectiva é uma resposta prática e necessária aos desafios ambientais e produtivos enfrentados pela agricultura contemporânea.

2.3 CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico de pragas constitui uma das estratégias mais consolidadas e promissoras dentro do MIP, destacando-se por sua base sustentável. Dados recentes da ABCBio (2023) indicam que o mercado de bioinsumos no Brasil cresce a taxas superiores a 30% ao ano, refletindo o avanço do controle biológico como solução técnica e econômica. O fortalecimento dessa abordagem também é endossado por diretrizes globais da FAO (2021), que reconhece o controle biológico como tecnologia essencial à agricultura regenerativa e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Historicamente, seu uso traz a memória iniciativas clássicas, como a introdução de *Novius cardinalis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) para o controle da

cochonilha em citros. No Brasil, a contribuição de Flávio Moscardi foi determinante para consolidar o protagonismo nacional na área. Durante a década de 1980, Moscardi liderou pesquisas sobre o uso de baculovírus no controle da lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, [1818]) desenvolvendo um modelo de aplicação de bioinseticidas que se tornou referência mundial (Moscardi et al., 1985).

A partir dessa base, o controle biológico passou a integrar um paradigma mais amplo de manejo agroecológico, como evidenciado nas pesquisas de Madelaine Venzon (Venzon et al., 2011). Sua contribuição reside na articulação entre práticas conservativas e restauração da biodiversidade funcional, destacando o papel da vegetação espontânea, das bordaduras florais e da conservação de inimigos naturais no controle de pragas em sistemas orgânicos. Essa abordagem, fortemente alinhada à agroecologia, defende que o controle biológico é mais eficaz quando operado em agroecossistemas complexos e resilientes.

O controle biológico pode ser classificado em três modalidades principais: natural, aumentativo e conservativo. O controle natural ocorre espontaneamente, mediado por inimigos naturais já presentes no agroecossistema. O aumentativo envolve a multiplicação e liberação de inimigos naturais em larga escala, em estratégias inoculativas ou inundativas, destacando-se o uso de parasitoides como *Trichogramma* spp. e *Cotesia flavipes*, predadores como Chrysopidae e Coccinellidae, e fungos entomopatogênicos como *B. bassiana* e *M. anisopliae*. Já o controle conservativo visa otimizar o ambiente agrícola para favorecer a permanência e a eficácia dos agentes biológicos, com uso de plantas atrativas, cobertura vegetal e redução do uso de inseticidas de largo espectro, Embrapa (2023).

Internacionalmente, as fronteiras do controle biológico foram ampliadas pelo início da exploração do potencial dos vírus entomopatogênicos, contribuindo significativamente para a biotecnologia entomológica (Maramorosch, 1985).

A integração entre o controle biológico e tecnologias emergentes tem redefinido os limites da aplicação em campo, com destaque na caracterização molecular de genes de resistência vegetal e na engenharia de plantas com expressão de proteínas inseticidas (Grossi de Sá et al., 2021), promovendo o cruzamento estratégico entre resistência genética

e controle biológico para fortalecer respostas adaptativas das plantas a fatores bióticos adversos.

As evidências acumuladas demonstram que o controle biológico, ao conjugar ciência de ponta, ecologia aplicada e inovação tecnológica, constitui um eixo estruturante da agricultura sustentável contemporânea. Trata-se não apenas de uma alternativa ao controle químico convencional, mas de um paradigma em transição, capaz de alinhar produtividade e ética ambiental. De acordo com Parra et al. (2021), o controle biológico representa um eixo estruturante da agricultura sustentável contemporânea, integrando ciência avançada, ecologia aplicada e inovação tecnológica.

Para que esse potencial se concretize, é indispensável o fortalecimento de políticas públicas de incentivo, a desburocratização dos marcos regulatórios, o investimento em biofábricas regionais e a formação de redes interdisciplinares de pesquisa e extensão. Em paralelo, torna-se urgente a ampliação da capacitação técnica de agricultores, técnicos e gestores, assegurando que o controle biológico seja compreendido não como substituto pontual, mas como parte de uma estratégia de gestão integrada.

O futuro do controle biológico passa pela sua valorização como tecnologia de base. Segundo Altieri e Nicholls (2020), sistemas agrícolas sustentáveis devem ser manejados como ecossistemas vivos, compostos por complexas redes de interações entre espécies.

Nessa lógica, o controle biológico não apenas suprime pragas, mas também sustenta funções ecológicas essenciais, como o equilíbrio trófico, o controle de populações secundárias e a ciclagem de nutrientes. Os autores ressaltam ainda a importância da biodiversidade funcional. Venzon et al. (2022) destacam que o protagonismo dos agentes biológicos é uma condição inegociável para a construção de agroecossistemas resilientes, produtivos e sustentáveis. Em um cenário de colapso climático, esgotamento de recursos e resistências múltiplas, o controle biológico emerge como resposta inovadora, científica e necessária. Reforça-se, assim, o compromisso com um modelo de agricultura em que o conhecimento ecológico se converte em tecnologia.

2.4 FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS

A utilização de fungos entomopatogênicos representa uma estratégia promissora no manejo de artrópodes-praga, especialmente em regiões tropicais, onde se buscam soluções sustentáveis, seletivas e adaptadas às condições ambientais adversas. Entre os representantes mais estudados e aplicados destacam-se *B. bassiana* e *M. anisopliae*, cujos atributos biológicos, ecológicos e biotecnológicos os consolidam como ferramentas versáteis no controle de diversas pragas, incluindo ácaros fitófagos como *R. indica* (Shah & Pell, 2003; Vega et al., 2012).

Classificados na ordem Hypocreales, *B. bassiana* (Cordycipitaceae) e *M. anisopliae* (Clavicipitaceae) exibem morfologias e estratégias infectivas distintas, mas complementares. A eficácia de fungos entomopatogênicos é especialmente acentuada em artrópodes-praga nos estágios imaturos, cujas cutículas, ainda pouco esclerotinizadas, oferecem menor resistência à infecção (Shah; Pell, 2003). O processo infectivo inicia-se com a adesão dos conídios à superfície do tegumento, mediada por interações hidrofóbicas, que favorecem a germinação e a formação de apressórios — estruturas especializadas que funcionam como pontos de ancoragem e penetração. A partir dos apressórios, ocorre a penetração ativa, impulsionada pela liberação localizada de enzimas hidrolíticas, como quitinases e proteases, que degradam as camadas estruturais da cutícula (Shah; Pell, 2003). Uma vez no interior do hospedeiro, o fungo coloniza os tecidos internos, culminando na extrusão de hifas e na esporulação externa, evento que sinaliza a morte confirmada do artrópode por infecção fungica (Shah; Pell, 2003).

Estudos experimentais demonstram elevada mortalidade em espécies de relevância agrícola, como *T. urticae*, *Aceria guerreronis* Keifer, 1965 (Acari: Eriophyidae) e *R. indica*, alcançando taxas superiores a 70% em condições controladas (Santana, 2022; Freitas et al., 2021).

Diversas cepas de *B. bassiana* e *M. anisopliae* demonstram notável capacidade de colonizar tecidos vegetais de maneira assintomática, estabelecendo relações simbióticas conhecidas como associações endofíticas. A colonização endofítica, caracterizada pela presença do fungo nos tecidos internos da planta sem causar sintomas de doença, representa

um fator estratégico para o sucesso do biocontrole, pois permite a persistência prolongada do microrganismo no ambiente hospedeiro. Esse comportamento promove a indução de defesas sistêmicas contra fitófagos, modula positivamente a microbiota associada e potencializa a tolerância vegetal a estresses bióticos e abióticos (Altaf et al., 2023; Mascarin; Jaronski, 2016; Maraga et al., 2017).

Os avanços em biologia molecular têm permitido a seleção de cepas com maior virulência e especificidade por meio da manipulação de genes associados à patogenicidade e adaptação ecológica (Lovett & St. Leger, 2021). Esse cenário projeta os fungos entomopatogênicos como protagonistas na transição para uma agricultura tropical tecnicamente robusta, ambientalmente segura e integrada aos princípios agroecológicos contemporâneos.

2.5 *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*

No cenário do controle biológico moderno, duas espécies de fungos entomopatogênicos dominam com autoridade científica e eficácia comprovada: *B. bassiana* e *M. anisopliae*. Com origens taxonômicas distintas, mas trajetórias convergentes, essas espécies posicionam-se como ativos estratégicos no manejo sustentável de pragas, apresentando elevada virulência, plasticidade ecológica e ampla compatibilidade com os princípios agroecológicos (Zimmermann, 2007; Shah & Pell, 2003).

Beauveria bassiana, pertencente à ordem Hypocreales e à família Cordycipitaceae, apresenta conídios hialinos, globosos a subglobosos, agrupados em fiálides em forma de garrafa, com crescimento micelial tipicamente branco, podendo adquirir tonalidade creme. *M. anisopliae*, da família Clavicipitaceae, distingue-se pela intensa esporulação verde e pela formação de estruturas miceliais robustas. Ambas apresentam ciclo infectivo transcuticular altamente eficiente, envolvendo adesão hidrofóbica, germinação, formação de apressórios e penetração mediada por complexos enzimáticos, notadamente quitinases, proteases PR1 e PR2, cuja expressão elevada está associada a cepas de alta virulência (Butt et al., 2016; Lovett & St. Leger, 2021).

A aplicação de *B. bassiana* e *M. anisopliae* no controle de ácaros fitófagos, especialmente da família Tenuipalpidae, tem apresentado resultados notáveis, com registros de mortalidade superiores a 70% em *R. indica*, conforme estudo de Fernandes et al. (2012). Alves et al. (2005) demonstraram desempenho igualmente expressivo no controle de *T. urticae*, reforçando a amplitude do espectro de ação desses agentes. Além disso, estudos como o de Zimmermann (2007) ressaltam o perfil de segurança ambiental dessas espécies, com baixa toxicidade a organismos não alvo e mínima interferência nos ecossistemas agrícolas, o que amplia sua viabilidade para uso em larga escala.

O sucesso dessas intervenções está diretamente relacionado à adaptação fúngica às condições tropicais, à formulação dos bioinsumos e à seleção de isolados regionais de alta performance. Cepas de *Metarhizium* isoladas em ambientes brasileiros, por exemplo, exibem tolerância notável à radiação UV e à baixa umidade, características decisivas para a eficácia em campo (Mascarin et al., 2019). A integração com tecnologias de microencapsulamento e formulações oleosas, como apontado por Bawin et al. (2021), pode prolongar a viabilidade dos conídios, ampliar a adesão à superfície vegetal e otimizar a liberação controlada dos propagadores infecciosos.

Esses atributos os posicionam como ferramentas centrais na implementação de estratégias sustentáveis de MIP, especialmente em contextos tropicais que demandam soluções eficazes, resilientes e adaptadas às condições de campo. Ainda, há relatos da ocorrência de epizootias naturais envolvendo essas espécies, indicando sua capacidade de regulação populacional mesmo em ambientes não manejados (Shah & Pell, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta de *Raiocella indica* e escolha de isolados

Indivíduos de *R. indica* foram coletados em folíolos infestados em plantas de coqueiro localizados na área da Universidade Federal de Alagoas - UFAL Campus AC. Simões, em Maceió, cujas fêmeas adultas do ácaro, foram selecionadas para compor os bioensaios.

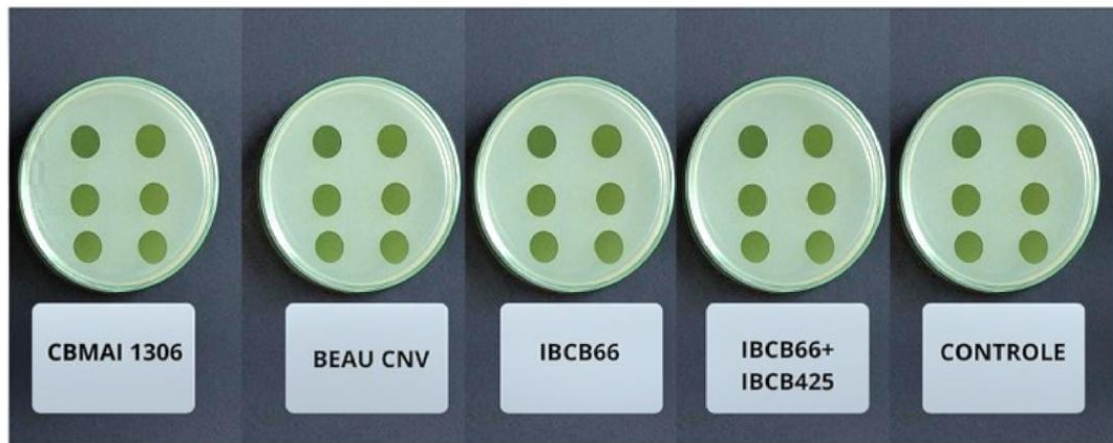
Os isolados utilizados para os bioensaios foram obtidos de formulações comerciais, sendo eles os isolados de *B. bassiana* (IBCB 66) da empresa Vittia®, *B. bassiana* (CBMAI 1306) da Dillon®, *B. bassiana* (BEAU CNV) da Agrinor® e *B. bassiana* + *M. anisopliae* (IBCB66 + IBCB 425) da Dillon®.

3.2 Bioensaio de patogenicidade

O bioensaio de patogenicidade foi conduzido no Laboratório de Entomologia: Controle Alternativo de Pragas (LECAP), no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UFAL em Rio Largo entre os meses de fevereiro e abril de 2025 sob condições controladas, 27 ± 1 °C, umidade relativa de $80 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas.

Suspensões de conídios dos formulados à base de *B. bassiana* e *M. anisopliae* em suas máximas concentrações recomendadas pelos fabricantes (10^8) foram pulverizadas através de torre de Potter calibrada a 34 kPa, com volume de aplicação de 2,8mL. As arenas foram confeccionadas com folhas de helicônias (disco 8 cm), *Heliconia psittacorum* L.f. (Heliconiaceae), previamente higienizadas e dispostas em placas de Petri (9 cm) de vidro com a parte abaxial da folha para cima, às quais foram adicionados uma solução de ágar-água a 10%, cobrindo a folha por inteiro (Figura 2). Após a secagem do ágar-água, foram feitos orifícios de cerca 2 cm (arenas) seguindo metodologia adaptada de Santos et al. (2005). Após as pulverizações, as arenas foram expostas ao ambiente por 30 minutos para secagem e em seguida, os ácaros transferidos para as arenas com auxílio de um pincel de ponta fina e transferidos para câmara climatizada (27 ± 1 °C), umidade relativa ($80 \pm 10\%$) e fotoperíodo de 12 horas.

Figura 2. Unidades experimentais utilizadas no bioensaio de patogenicidades constituídas por arenas de ágar-ágar sobre placas de Petri, contendo discos foliares de *Heliconia psittacorum*.



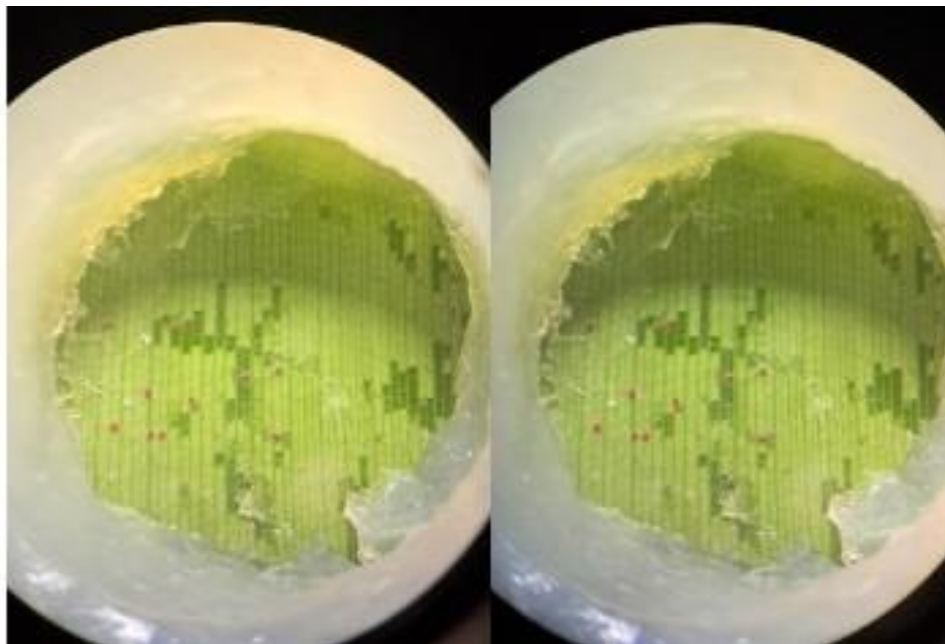
Fonte: Autor, 2025.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (quatro isolados de fungos entomopatogênicos e um controle negativo — água destilada + Tween 80 a 0,05%), com seis repetições (arenas), cada uma contendo 10 fêmeas adultas de *R. indica* (Figura 3), totalizando 60 fêmeas por tratamento.

A avaliação da patogenicidade foi realizada com base na porcentagem de mortalidade diária dos ácaros durante sete dias após a pulverização dos tratamentos. Ácaros eram considerados mortos por infecção fúngica quando apresentavam sinais característicos de mumificação e, posteriormente, eram submetidos à confirmação em câmara úmida.

O procedimento da câmara úmida consistiu na transferência dos ácaros mortos para placas de Petri contendo papel filtro umedecido com água destilada estéril, criando um ambiente com alta umidade relativa (> 90%). As placas foram mantidas a temperatura controlada ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) por um período adicional de 48 a 72 horas, favorecendo o crescimento externo dos fungos. Após esse período, a confirmação da infecção foi realizada pela observação da extrusão de hifas fúngicas através do tegumento dos ácaros sob estereomicroscópio (Figura 4), consolidando o diagnóstico de mortalidade fúngica.

Figura 3. Detalhe das unidades experimentais contendo discos foliares de *Heliconia psittacorum*, sobre ágar-ágar com dez fêmeas adultas de *Raoiella indica* por repetição.



Fonte: Autor, 2025.

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit por intermédio do procedimento PROC PROBIT do programa SAS para estimar o tempo letal TL_{50} e TL_{90} dos tratamentos.

Figura 4. Tegumento de *Raoiella indica* com extrusão de hifas, caracterizando processo infeccioso ativo por fungo entomopatogênico em bioensaio laboratorial.



Fonte: Autor, 2025.

3.3 Estimativa das concentrações Letais (CL) do isolado mais patogênico a *Raoiella indica*

Experimentos de concentração-mortalidade foram realizados no laboratório de entomologia: Controle Alternativo de Pragas (LECAP), no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UFAL em Rio Largo. Para estimar as concentrações letais do isolado mais patogênico determinado no bioensaio anterior (BEAU CNV), fêmeas adultas de *R. indica*, foram submetidas a sete concentrações do fungo entomopatogênico: $6,5 \times 10^2$, $6,5 \times 10^3$, $6,5 \times 10^4$, $6,5 \times 10^5$, $6,5 \times 10^6$, $6,5 \times 10^7$ e $6,5 \times 10^8$ conídios.mL⁻¹ + controle (água destilada), (Figura 5).

Figura 5. Diluições seriadas do isolado BEAU CNV, *Beauveria bassiana*, em concentrações decrescentes (10^8 a 10^2 conídios/mL)



Fonte: Autor, 2025.

As suspensões foram pulverizadas utilizando uma Torre de Potter a uma pressão de 34 Kpa usando uma alíquota de 2,8 mL de acordo com a Organização Internacional para Controle Biológico (HASSAN et al., 1994) em arenas (disco de 5 cm de diâmetro) constituindo a unidade experimental, confeccionada por uma folha de *H. psittacorum* dispostas em placas de Petri (6 cm de diâmetro) com a parte abaxial para cima, sendo

circundada com algodão hidrófilo embebido de água destilada para manter a turgescência das folhas e evitar a fuga dos ácaros (Figura 6).

Após as pulverizações, as arenas foram expostas a temperatura ambiente por 30 minutos para secagem, para em seguida, serem transferidos 10 fêmeas adultas através de um pincel de cerdas macias, e mantidas em câmara climatizada com temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $80 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) e para cada concentração e controle foram utilizadas seis repetições (arenas), com 10 fêmeas cada, totalizando 60 ácaros por concentração.

A mortalidade dos ácaros foi avaliada após 48 horas por meio de um microscópio estereoscópico e considerados mortos pelo fungo quando mumificados e submetidos à câmara úmida e subsequente observação de extrusão de hifas (Figura 4). Os resultados de mortalidade obtidos por meio dos bioensaios de concentração-mortalidade foram submetidos à análise de Probit por intermédio do procedimento PROC PROBIT do programa SAS.

Figura 6. Unidades experimentais utilizadas nos bioensaios de concentração letal (CL_{50} e CL_{90})



Fonte: Autor, 2025.

Os gráficos comparativos de TL_{50} , TL_{90} , CL_{50} e CL_{90} foram elaborados com a linguagem Python, utilizando a biblioteca Matplotlib. Os valores de tempo letal foram convertidos de horas para dias para fins de padronização e clareza interpretativa. Os elementos visuais foram ajustados para garantir legibilidade, e as curvas foram personalizadas para fins de análise científica e apresentação visual dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos bioensaios de patogenicidade das cepas, revelaram distinções expressivas nos parâmetros de tempo letal (TL) no controle de *R. indica*. A cepa BEAU CNV destacou-se como a mais virulenta, com TL_{50} de 0,90 dias e TL_{90} de 2,12 dias, conforme demonstrado na Tabela 1 e nas Figuras 7, 8 e 9.

Tabela 1. Estimativas de tempo letal médio (TL_{50}) e (TL_{90}) de diferentes cepas de fungos entomopatogênicos no controle de *Raoiella indica*, sob condições laboratoriais.

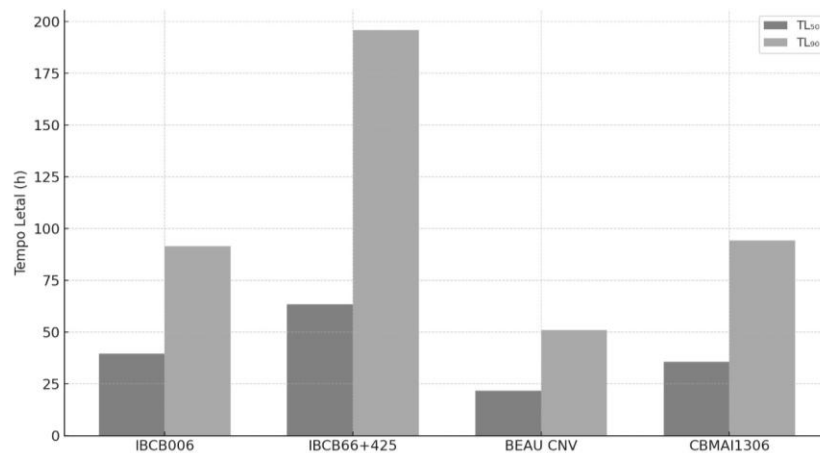
TRATAMENTOS				
Cepas	IBCB006	IBCB66+IBCB425	BEAU CNV	CBMAI1306
TL_{50}	1,65 dias	2,64 dias	0,90 dias	1,48 dias
IC95%	(1,13 – 2,08)	(1,83–3,51)	(0,36–1.26)	(0,51–2,18)
TL_{90}	3,82 dias	8,16 dias	2,12 dias	3,93 dias
IC95%	(2,97–5.92)	(5.46–22.75)	(1,57–3,64)	(2,65–12,75)

Fonte: Autor, 2025.

As demais cepas apresentaram desempenhos inferiores. A cepa CBMAI1306 registrou TL_{50} de 1,48 dias e TL_{90} 3,93 dias). A IBCB006 expressou TL_{50} de 1,65 dias e TL_{90} de 3,82 dias. Já a formulação combinada IBCB66+IBCB425 apresentou TL_{50} de 2,64

dias e TL_{90} de 8,16 dias. A Figura 7 evidencia graficamente a dinâmica da mortalidade acumulada ao longo do tempo, demonstrando a superioridade cinética da BEAU CNV.

Figura 7. Tempos letais médios (TL_{50} e TL_{90}) estimados para isolados de fungos entomopatogênicos aplicados contra fêmeas adultas de *Raoiella indica* em condições controladas



Fonte: Autor, 2025.

A BEAU CNV foi mais eficaz no controle de *R. indica* do que as demais cepas testadas. Durante a infecção dos hospedeiros, fungos entomopatogênicos como *B. bassiana* e *M. anisopliae* produzem um conjunto especializado de enzimas hidrolíticas — proteases, quitinases e lipases — fundamentais para a quebra da barreira cuticular. As proteases degradam proteínas estruturais da cutícula; as quitinases hidrolisam a quitina, principal componente do exoesqueleto; e as lipases rompem a camada lipídica, facilitando a penetração fúngica. Segundo Golzan et al. (2023), cepas que apresentam produção intensa e rápida dessas enzimas possuem maior virulência, sendo esta capacidade enzimática positivamente correlacionada com a eficácia no controle biológico. Assim, além de características como adesão eficiente e germinação acelerada dos conídios, a performance enzimática dos isolados destaca-se como um dos principais fatores fisiológicos determinantes para o sucesso da infecção e da letalidade sobre artrópodes.

Estudos como o de St. Leger et al. (1996) demonstram que cepas mais virulentas de *B. bassiana* geralmente apresentam maiores níveis de atividade enzimática, especialmente de proteases do tipo Pr1, que estão diretamente associadas à penetração eficiente do fungo no hospedeiro. Essas enzimas facilitam a infecção ao romper barreiras cuticulares, tornando o processo infeccioso mais rápido e letal.

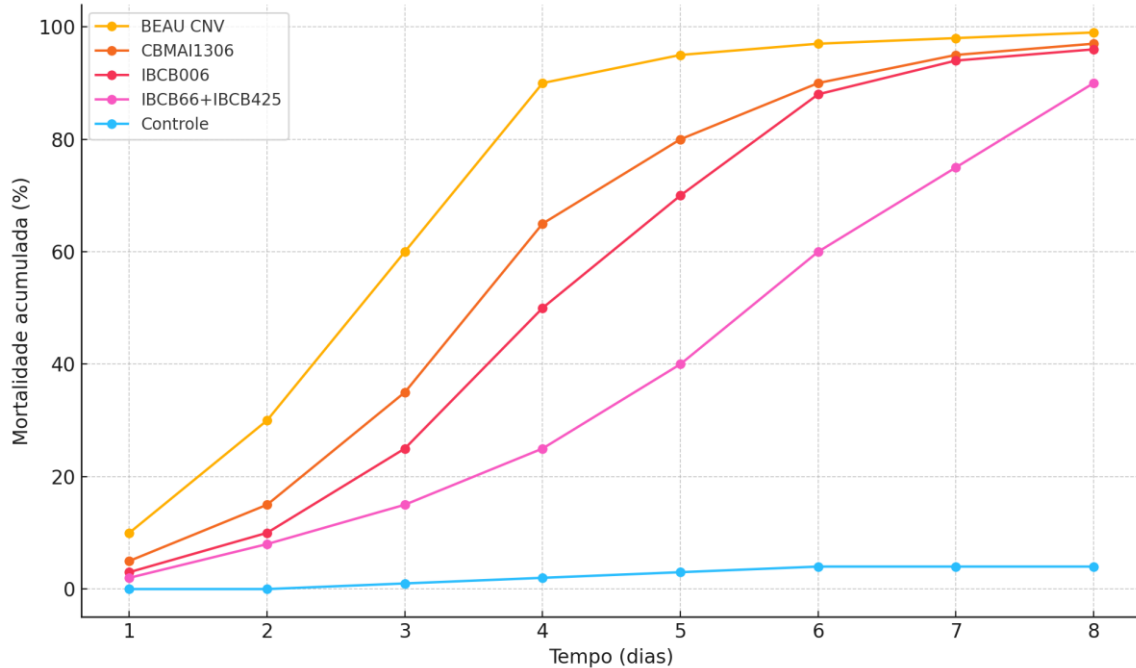
Além disso, a eficiência de BEAU CNV pode estar relacionada à maior tolerância ao estresse ambiental (como radiação UV ou variações térmicas), o que aumenta a viabilidade dos conídios após a aplicação — um fator essencial em ambientes tropicais. A conjugação desses fatores torna essa cepa particularmente promissora para o uso em programas de manejo integrado de pragas (MIP), especialmente em regiões onde *R. indica* representa uma ameaça recorrente.

Por outro lado, o desempenho inferior da combinação das cepas IBCB66+IBCB425 sugere possível antagonismo ou competição entre os isolados, o que pode comprometer a eficiência da infecção. Segundo Faria et al. (2007), a aplicação conjunta de cepas sem compatibilidade fisiológica pode resultar em menor colonização do hospedeiro, devido à competição por recursos ou interferência química entre os metabólitos secundários produzidos.

Portanto, os resultados reforçam a importância da seleção criteriosa de cepas fúngicas com alta virulência individual e da avaliação prévia da compatibilidade entre isolados antes de sua formulação em consórcios. A superioridade da BEAU CNV a posiciona como uma candidata de destaque para formulações comerciais voltadas ao controle de *R. indica*.

Segundo Ramdani et al. (2022), a eficácia de fungos entomopatogênicos pode ser altamente influenciada por fatores ambientais, como temperatura, umidade relativa e exposição à radiação solar. Isso ressalta a importância de testar diferentes formulações e estratégias de aplicação para otimizar o desempenho em condições reais de cultivo.

Figura 8. Mortalidade acumulada de *Raoiella indica* (%) ao longo dos dias após aplicação de isolados fúngicos.



Fonte: Autor, 2025.

A cepa BEAU CNV destacou-se como um recurso promissor no controle de *R. indica*, apresentando desempenho superior tanto nos parâmetros de tempo letal, e interação com as demais cepas (Figura 9) quanto nas estimativas de concentração letal. Os valores observados para TL_{50} 0,90 dias e TL_{90} 2,12 dias revelam um perfil de ação altamente virulento e de rápida eficácia, capaz de interromper precocemente o ciclo biológico da praga, cuja reprodução acelerada exige estratégias de contenção igualmente dinâmicas. Tal desempenho evidencia a robustez cinética da cepa, cuja ação letal expressa-se com agilidade compatível às exigências de cultivos tropicais, frequentemente submetidos a surtos populacionais intensos de *R. indica*. Conforme destacado por Carrillo et al. (2012), em condições tropicais, o rápido desenvolvimento de populações de ácaros exige estratégias de controle igualmente ágeis e eficazes, especialmente quando se trata de pragas exóticas invasoras com alto potencial de dano econômico.

Além disso, o desempenho expressivo do isolado BEAU CNV não se restringe à rapidez de ação. A análise Probit (Tabela 2) indicou CL_{50} de $2,80 \times 10^4$ conídios. mL^{-1} (IC 95%: $1,3 \times 10^4 - 5,6 \times 10^4$) e CL_{90} de $1,73 \times 10^6$ conídios. mL^{-1} (IC 95%: $5,9 \times 10^6 - 7,2 \times 10^7$). Embora a amplitude do intervalo de confiança da CL_{90} sugira variação na suscetibilidade dos indivíduos testados — possivelmente decorrente de heterogeneidade biológica ou limitações amostrais, o padrão geral de virulência, reforçado pelo excelente ajuste do modelo ($\chi^2 = 127,71$; $p < 0,0001$), destaca a robustez do isolado.

O amplo intervalo de confiança para a CL_{90} ($5,9 \times 10^6 - 7,2 \times 10^7$ conídios/mL). Essa heterogeneidade pode estar relacionada a diferenças fenotípicas entre os indivíduos da população-alvo, bem como à dispersão desigual dos conídios durante a aplicação, como destacado por Wang et al. (2024) em seus estudos sobre eficácia de fungos entomopatogênicos em condições de campo.

Tabela 2. Estimativas de concentração letal média (CL_{50}) e elevada (CL_{90}), com respectivos intervalos de confiança (IC 95%), inclinação da curva dose-resposta e significância do ajuste do modelo Probit (χ^2), obtidas para o isolado fúngico BEAU CNV sobre fêmeas adultas de *Raoiella indica*, em condições laboratoriais controladas

Parâmetro	Estimativa (conídios/mL)	χ^2 (p-valor)	Inclinação (\pm EP)
CL_{50}	$2,80 \times 10^4$	127,71	$0,4589 \pm 0,0406$
IC95%	$1,3 \times 10^4 - 5,6 \times 10^4$	(<0,0001)	
CL_{90}	$1,73 \times 10^6$	—	—
IC95%	$5,9 \times 10^6 - 7,2 \times 10^7$		

Fonte: Análise Probit (POLO-PC), considerando suspensão em conídios/mL.

Em relação aos valores de concentração letal observados, os isolados fúngicos testados demonstram eficácia no controle de *R. indica*. A estimativa de CL_{50} de $2,80 \times 10^4$ conídios. mL^{-1} , com intervalo de confiança entre $5,9 \times 10^6 - 7,2 \times 10^7$ está dentro do esperado para cepas de *B. bassiana* utilizadas no controle de ácaros e pequenos artrópodes.

Esses valores, quando comparados a estudos similares, demonstram que as cepas avaliadas possuem um bom potencial de controle, com CL_{50} compatível com as registradas por Freitas et al. (2021), que relataram valores próximos a 25×10^6 conídios/mL para a cepa Bb-032 de *B. bassiana*. No entanto, o amplo intervalo de confiança da CL_{90} reforça a variabilidade na resposta à aplicação em altas concentrações, algo também relatado por Wang et al. (2024), que destacam os desafios de estabilidade e uniformidade de resposta em condições variáveis de campo.

A comparação com dados da literatura reforça a eficácia obtida pela cepa BEAU CNV neste estudo, o que evidencia uma letalidade mais lenta frente aos tempos médios observados nesta pesquisa. De forma ainda mais relevante, Vieira (2018) avaliou *M. anisopliae* contra *R. indica* e encontrou TL_{50} entre 2,5 e 3,5 dias e TL_{90} entre 3,6 e 4,8 dias — valores significativamente mais longos que os observados para a BEAU CNV ($TL_{50} = 0,90$ dias; $TL_{90} = 2,12$ dias). Esses dados reforçam a superioridade cinética do isolado aqui testado, cuja ação letal rápida pode ser decisiva para conter populações em crescimento acelerado, como ocorre com *R. indica* em ambientes tropicais.

A análise de concentração letal posiciona a cepa BEAU CNV de *Beauveria bassiana* de forma vantajosa frente à literatura específica sobre *R. indica*. Freitas et al. (2021), ao avaliar a eficácia da cepa Bb-032 contra *R. indica*, estimaram uma CL_{50} de $1,31 \times 10^5$ conídios/mL e uma CL_{90} de $3,18 \times 10^6$ conídios/mL. No presente estudo, a cepa BEAU CNV apresentou uma CL_{50} de $2,80 \times 10^4$ conídios/mL e uma CL_{90} de $1,73 \times 10^6$ conídios/mL, valores consideravelmente inferiores aos reportados por Freitas et al., indicando uma maior virulência do isolado utilizado. Essa diferença reforça o potencial do isolado BEAU CNV como ferramenta eficiente e tecnicamente viável no controle biológico de *R. indica*. Assim, a conjugação de letalidade acelerada e baixa exigência de inóculo observada para a BEAU CNV representa um diferencial técnico significativo em relação

aos parâmetros de eficácia reportados na literatura. Essa robustez operacional justifica a recomendação da cepa como potencial candidata para desenvolvimento de formulações biológicas voltadas ao manejo de *R. indica*.

Em síntese, a combinação de letalidade acelerada (TL₅₀ de 21,69 h) e baixa exigência de concentração (CL₅₀ de $2,8 \times 10^4$ conídios/mL) confere à cepa BEAU CNV um perfil altamente promissor para estratégias de controle biológico de *R. indica*. No entanto, sua eficácia operacional dependerá de fatores complementares como a formulação do inóculo, persistência sob condições ambientais variáveis e sinergia com outros métodos de manejo integrado. Essas considerações reforçam a importância de estudos futuros em condições semi-controladas e de campo para validação do isolado BEAU CNV como ferramenta efetiva no manejo de *R. indica* em campo.

5 CONCLUSÕES

A avaliação dos isolados revelou desempenho superior da cepa BEAU CNV de *B. bassiana* no controle de *R. indica*;

A cepa BEAU CNV de *B. bassiana* apresenta tempos letais e concentrações letais inferior as demais cepas testadas;

Esse resultado posiciona a cepa BEAU CNV como um recurso biotecnológico viável para o controle de ácaros fitófagos, especialmente em contextos onde se busca eficiência operacional com menor uso de insumos.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecology: science and politics**. Rugby: Practical Action Publishing, 2020.
- ALVES, S. B.; ALMEIDA, J. E. M.; MOINO JÚNIOR, A.; ALVES, L. F. A.; LOPES, R. B. Controle microbiano de ácaros fitófagos com fungos entomopatogênicos. In: **ALVES, S. B. (Org.). Controle Microbiano De Insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 769–780.
- ALVES, S. B.; LOPES, R. B. MicoInseticidas e micoacaricidas no Brasil: como estamos após quatro décadas? **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 769–779, 2009. <https://doi.org/10.1590/1808-1657200976769>.
- BAWIN, T.; SEYE, F.; BOUKRAA, S.; ZIMMER, J.-Y.; DELVIGNE, F. Microencapsulation of entomopathogenic fungi: a review of current technologies and applications in biological control. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 10, p. 820, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7100820>.
- BUTT, T. M.; INGLIS, G. D.; GOETTEL, M. S.; STRASSER, H. Fungal pathogens and pest control: current status and future directions. **Insects**, v. 13, n. 2, p. 170, 2022. <https://doi.org/10.3390/insects13020170>.
- BUTT, T. M.; JACKSON, C. W.; MAGAN, N. Fungi as biological control agents: progress, problems and potential. **Wallingford**: CABI Publishing, 2016.
- CARRILLO, D.; PEÑA, J. E.; HOY, M. A. Biology and management of the red palm mite *Raoiella indica*. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 3, n. 2, p. B1–B10, 2012. <https://doi.org/10.1603/IPM12004>.
- 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. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
- EMBRAPA. **Portfólio de tecnologias para controle biológico**. Brasília: Embrapa, 2023.

ESTRADA-VENEGAS, E. G.; GONZÁLEZ, J. M.; LÓPEZ, M. A.; TORRES, R. A.; MARTÍNEZ, L. J. First report of *Raoiella indica* in high-altitude regions of Mexico. **Experimental and Applied Acarology**, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00752-1>.

FARIA, M. R.; WRAIGHT, S. P. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification. **Biological Control**, v. 43, n. 3, p. 237–256, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>.

FERNANDES, E. K. K.; RANGEL, D. E. N.; BRAGA, G. U. L.; ROBERTS, D. W. Suscetibilidade de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) a fungos entomopatogênicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 531–538, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500012>.

FREITAS, T. F. S.; OLIVEIRA, J. V.; NEVES, P. M. O. J. The potential of *Beauveria bassiana* to control *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Crop Protection**, v. 143, p. 105468, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105468>.

GOLZAN, S. R.; ZARE, R.; MAHMOUDI, S.; KHALEGHIPOUR, S.; RAHIMI, M. Role of cuticle-degrading enzymes of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in virulence on *Plodia interpunctella* (Lepidoptera, Pyralidae) larvae. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 26, n. 2, p. 102038, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102038>.

GURR, G. M.; WRATTEN, S. D.; SNYDER, W. E.; READ, D. M. Y. Integrated pest management: concepts, tactics, strategies and case studies. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2017. <https://doi.org/10.1017/9781316995143>.

JABER, L. R.; OWNLEY, B. H. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? **Biological Control**, v. 116, p. 36–45, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018>.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 243–270, 1998. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.243>.

LEITE, R. A.; SOUZA, I. V.; TRINDADE, R. C. P.; SANTOS, D. M.; COSTA, J. C. Resistance of dwarf *Cocos nucifera* L. (Arecaceae) cultivars to *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 92, p. 203–215, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00890-4>. Acesso em: 23 abr. 2025.

LOUREIRO, E. S.; LIMA, A. R.; PESSOA, L. G. A.; DIAS, P. M.; ADÃO, D. V. Virulência de *Metarhizium rileyi* (Ascomycota: Clavicipitaceae) a *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e186973962, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3962>.

LOVETT, B.; ST. LEGER, R. J. The importance of virulence traits for fungal entomopathogens in regulating insect populations. **Trends in Microbiology**, v. 29, n. 4, p. 349–362, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.11.008>.

MANTZOUKAS, S.; KARAMANOLIS, I. N. The efficacy of entomopathogenic fungi for insect pest control in greenhouse and field crops. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 360, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8090360>.

MARAGA, J.; VILLACIS, J. E.; ESPINOZA, J. C.; JURBERG, J.; LOBO, D. Endophytic colonization of coffee by *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* and their effects on the coffee leaf miner. **Mycologia**, v. 109, n. 2, p. 240–252, 2017. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1285407>.

MASCARIN, G. M.; LOPES, R. B.; DELALIBERA JÚNIOR, I.; FERNANDES, É. K. K.; NEVES, P. M. O. J. Advances in formulation and application technology of entomopathogenic fungi for use in biological pest control. **Biocontrol Science and Technology**, v. 29, n. 9, p. 859–885, 2019. <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1657065>.

MEISSLE, M.; GARRIDO, P.; GABRIEL, D.; ADELMAN, Z.; BEGLEY, T. Pests, pesticide use and alternative options in European agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, 15, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00715-1>.

NEVES, P. M. O. J.; HIROSE, E.; TESSMANN, D. J.; LOPES, R. B. Compatibility of entomopathogenic fungi with neonicotinoid insecticides. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 263–268, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000200021>.

OLIVEIRA, M. M.; LOPES, R. B.; NEVES, P. M. O. J. Eficiência de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. no controle de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) em laboratório. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. 2, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55n2.08>

OLIVEIRA, R. C.; SILVA, L. C.; SANTOS, C. F.; GOMES, M. G.; VENTURA, J. Compatibilidade de fungos entomopatogênicos com agroquímicos utilizados na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p. 211–216, 2002. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2002v23n2p211>.

OTERO-COLINA, G.; CARRILLO, D.; PEÑA, J. E.; PALMERA-CORONADO, E.; BRITO, J. A. Current status of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in America: distribution, host plants and natural enemies. **Neotropical Entomology**, v. 45, p. 605–616, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0368-z>.

OWNLEY, B. H.; GRIFFIN, M. R.; KLEIN, R. E.; GWYNN, R. L.; WINDHAM, A. S. *Beauveria bassiana*: endophytic colonization and plant disease control. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 98, n. 3, p. 267–270, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.011>.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Biological control in Brazil: an overview and perspectives. **Neotropical Entomology**, v. 49, p. 111–118, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00718-1>.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Manejo integrado de pragas na agricultura: fundamentos e aplicações. Ribeirão Preto: **Holos**, 2002.

PEDIGO, L. P.; RICE, M. E. **Entomology and pest management**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006.

PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. **Environment, Development and Sustainability**, v. 7, n. 2, p. 229–252, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>.

RAMÍREZ-LÓPEZ, A.; HERNÁNDEZ, M. A.; LÓPEZ, M. A.; SALAZAR, J. C.; GONZÁLEZ, J. M. *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae): current taxonomy, distribution, and host plants. **Systematic and Applied Acarology**, v. 24, p. 1–16, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00375-9>. Acesso em: 23 abr. 2025.

RODRIGUES, J. C. V.; PEÑA, J. E.; ARÉVALO, H. A.; NAVARRO, L. F.; IRIZARRY, J. Red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae): distribution, host plants and pest status in the Americas. **Experimental and Applied Acarology**, v. 64, p. 319–336, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9858-z>.

SANTANA, S. F. Avaliação da eficácia de diferentes isolados de *Beauveria bassiana* contra *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) em condições de laboratório. 2022. 86 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

SCHUMAN, M. C.; HEIL, M.; KARBAN, R.; BALDWIN, I. T.; ERB, M. The herbivore's perspective matters: integrating biotic interactions into plant defense theory. **New Phytologist**, v. 218, p. 1371–1384, 2018. <https://doi.org/10.1111/nph.15035>

SEABRA, M. G. de J.; OLIVEIRA, M. M.; COSTA, J. L.; LOPES, R. B.; ALMEIDA, J. E. M. New *Beauveria bassiana* aerial conidia-based bioinsecticide obtained by spray-dried microencapsulation of the entomopathogenic fungi in biopolymers for crop protection. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 34, n. 58, 2024. <https://doi.org/10.1186/s41938-024-00825-0>

SHAH, F. A.; WANG, C. S. Entomopathogenic fungi as biological control agents: current perspectives and future directions. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 3, p. 241, 2022. <https://doi.org/10.3390/jof8030241>

SHAH, P. A.; PELL, J. K. Entomopathogenic fungi as biological control agents. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 61, p. 413–423, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1240-8>

SOUZA, I. V. Distribuição, biologia e perspectivas de manejo do ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica* (Hirst, 1924). Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Proteção de Plantas, 2018.

SOUZA IV, LYRA-LEMOS RP, GUZZO EC. Potential of native palm species in Northeast Brazil as hosts for the invasive mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Exp Appl Acarol**. 2020. doi: 10.1007/s10493-020-00484-4.

SOUZA IV, LYRA-LEMOS RP, GUZZO EC. Plants harbouring the red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Alagoas State, Northeast Brazil, with novel host associations. **Syst Appl Acarol**. 2023. doi: 10.11158/saa.28.6.12.

ST. LEGER, R. J.; JOSHI, L.; BIDOCHKA, M. J.; ROBERTS, D. W. Genetic engineering of fungal biocontrol agents to improve efficacy: a review. **Pest Management Science**, v. 50, p. 324–331, 1997.

ST. LEGER, R. J.; JOSHI, L.; ROBERTS, D. W. Ambient pH is a major determinant in the expression of cuticle-degrading enzymes and virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 62, n. 11, p. 4065–4069, 1996.

STERN, V. M.; SMITH, R. F.; VAN DEN BOSCH, R.; HAGEN, K. S. The integrated control concept. **Hilgardia**, v. 29, n. 2, p. 81–101, 1959

VEGA, F. E.; GOETTEL, M. S.; BLACKWELL, M.; CHANDLER, D.; JACKSON, M. A. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. **Fungal Ecology**, v. 5, n. 4, p. 441–453, 2012.

VENZON, M.; PALLINI, A.; GUIMARÃES, L. J. R.; OLIVEIRA, C. L.; MELO, G. A. R. Controle biológico conservativo e aplicado: integração no MIP com enfoque agroecológico. In: MELO, G. A. R.; GUIMARÃES, L. J. R. (Org.). Bases para a regulamentação de agentes de controle biológico no Brasil. Brasília: Embrapa, 2011.

VENZON, M.; PALLINI, A.; SOARES, M. A.; GUIMARÃES, L. J. R. Ecological principles applied to conservation biological control: a review and prospects for tropical agroecosystems. **Biological Control**, v. 164, p. 104779, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104779>

VIDAL, S.; JABER, L. R. Entomopathogenic fungi as endophytes: plant–endophyte–herbivore interactions and prospects for use in biological control. **Current Science**, v. 109, n. 1, p. 46–54, 2015.