

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

Carolina Costa Adabbo

**Biologia do psíldeo *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959 (Hemiptera: Psyllidae)
em losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.) (Heliantheae: Asteraceae)**

Araras
Outubro/2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**Biologia do psílídeo *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959 (Hemiptera: Psyllidae)
em losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.) (Heliantheae: Asteraceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre José Ferreira Diniz

Araras

Outubro/2023

Adabbo, Carolina Costa

Biologia do psílídeo *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959
(Hemiptera: Psyllidae) em losna-branca (*Parthenium
hysterophorus* L.) (Heliantheae: Asteraceae) / Carolina
Costa Adabbo -- 2023.
37f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Ricardo Toshio Fujihara
Banca Examinadora: Roberta Cornélio Ferreira Nocelli,
Ana Paula Gonçalves da Silva Wengrat
Bibliografia

1. Entomologia agrícola. 2. Biologia de Inseto. 3.
Psílídeos. I. Adabbo, Carolina Costa. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Carolina Costa Adabbo, realizada em 30/10/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara (UFSCar)

Profa. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli (UFSCar)

Profa. Dra. Ana Paula Gonçalves da Silva Wengrat (USP)

Prof. Dr. Alexandre José Ferreira Diniz (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

DEDICO

Este projeto é dedicado ao meu pai Walter Adabbo (*in memoriam*), e ao meu irmão Luã Costa da Silva (*in memoriam*), ambos foram meus heróis da vida toda, que se fazem presentes em todos os dias da minha vida, sei que, de algum lugar, vocês olham por mim.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as oportunidades concedidas a mim, pela força e tranquilidade nos momentos de fraqueza e dificuldades.

À minha família, especialmente minha mãe Walnisia, meu tio Wagner e minha tia Luciana, por todo o carinho, apoio, admiração e confiança. Obrigada por serem fortes e estarem sempre ao meu lado, nunca desistindo de mim.

Nesses anos de jornada na UFSCar no campus de Araras e de moradia, cruzei caminhos com pessoas maravilhosas que tornaram esse período de aprendizado e amadurecimento essenciais para minhas batalhas e lutas diárias. Agradeço por tornarem a vida mais fluida, divertida, prazerosa e, principalmente, por me ensinarem sobre o poder do conhecimento e a empatia pela visão do outro. Guardarei carinho e saudade eternos.

Às minhas companheiras de república, Caipirinhas, que se tornaram minha segunda família, obrigada por esse laço de amizade forte e sólido, pelas risadas, vivências e, principalmente, por me fazerem sentir tão acolhida. Cada uma de vocês é especial e guardo com muito carinho e saudades.

Em especial, sou imensamente grata ao Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara pela orientação, compreensão, bons exemplos, boas risadas, confiança, ajuda e, principalmente, pela oportunidade de aprendizado e por contribuir para o meu crescimento pessoal.

Ao Prof. Dr. Alexandre Diniz, agradeço pela coorientação, pelos ensinamentos, pelas preciosas sugestões e pela disposição em colaborar com o meu trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos e ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos, pela oportunidade. Agradeço aos professores pelos conhecimentos adquiridos durante a minha formação.

À Coordenação, à Secretaria do PPGAA, em especial à Sirlene Lima, e a todos os colegas da turma do ano de 2021 que me acompanharam com conselhos, desabafos, risadas e choros!

À Diretoria do CCA por financiar este projeto, por meio do recurso FAI RTI-CCA, em especial, o Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza e a Prof. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli, que me incentivaram durante o projeto de extensão, confiando no meu trabalho. Se não fosse por vocês, eu não teria confiança em abrir-me para novas possibilidades, e agradeço por me permitirem explorar outras habilidades. Adicionalmente, gostaria de agradecer à professora Roberta por concordar em participar da banca examinadora deste trabalho. Sua orientação e apoio têm sido fundamentais em minha jornada acadêmica.

Ao Grupo de Estudos de Pesquisa em Entomologia Geral (GEPEG) e aos meus amigos do laboratório por compartilharem sua história e ensinamentos, pela paciência e pelo café da tarde. Com certeza, fizeram a diferença em tornar a vida mais leve e com laços de amizade sólidos. Lembrarei sempre dos bons momentos.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao ilustre membro Dr. Gustavo Alves convidado da banca examinadora. Sua participação enriqueceu significativamente o processo de avaliação deste trabalho e acrescentou valiosos insights. Estou profundamente grata por sua presença e pela expertise compartilhada. Muito obrigada por fazer parte deste importante momento.

E, por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro que tornou possível a realização deste trabalho.

A todos que torceram e colaboraram comigo, o meu sincero agradecimento!

O RIO E O OCEANO

Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano ele treme de medo. Olha para trás, para toda a jornada, os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. Você pode apenas ir em frente. O rio precisa se arriscar e entrar no oceano. E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece. Porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas tornar-se oceano. Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento. Assim somos nós. Só podemos ir em frente e arriscar. Coragem! Avance firme e torne-se Oceano!

Osho!

RESUMO

Os psílídeos (Hemiptera: Psyllidae) são insetos sugadores de seiva que apresentam elevada especificidade em relação aos seus hospedeiros. A bactéria fitopatogênica “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” (CaLsol) está associada a diversas hortaliças, principalmente batata e cenoura, sendo transmitida tanto por material propagativo quanto por vetores psílídeos. No Brasil, essa bactéria é um organismo quarentenário A1, ou seja, ausente no país. No entanto, o psílídeo polífago *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959, ocorre no Brasil e representa um potencial vetor desse patógeno, uma vez que se desenvolve em plantas solanáceas. O objetivo do presente estudo foi determinar o ciclo biológico de *R. solanicola* em *Parthenium hysterophorus* (losna-branca), além de estabelecer uma metodologia de criação em laboratório. Para o desenvolvimento de *R. solanicola*, duas metodologias foram desenvolvidas: uma gaiola do tipo clip-cage e uma gaiola para a criação do inseto em mudas ou plantas de losna-branca. Para a ilustração das fases de desenvolvimento e a medição do comprimento longitudinal de *R. solanicola*, foram utilizados 15 exemplares de cada estágio. As imagens foram registradas com o auxílio de um estereomicroscópio (16x). A criação de *R. solanicola* foi realizada por meio da coleta de ninfas e adultos em áreas com a ocorrência da losna-branca. As mudas foram transplantadas para vasos de 1,5 L e, após 15 dias, foram infestadas com indivíduos de *R. solanicola*. Foram utilizados 25 casais, confinados em gaiolas do tipo clip-cage, para avaliação das fases de desenvolvimento (do período embrionário até a emergência dos adultos). Os parâmetros avaliados foram: tempo de desenvolvimento, viabilidade das fases de ovo e ninfa, razão sexual e taxa de mortalidade. Os resultados indicam que *R. solanicola* atinge a fase adulta em $24,92 \pm 1,55$ dias. As fêmeas ovipositam uma média de $149,96 \pm 28,63$ ovos. A razão sexual foi de 0,56, indicando uma leve predominância de fêmeas. Machos viveram em média $13,64 \pm 0,51$, enquanto fêmeas, $10,64 \pm 0,25$ dias. A mortalidade total da fase imatura até o adulto foi de 32,46%. Os resultados obtidos confirmam que *R. solanicola* completa seu ciclo biológico em losna-branca, demonstrando a adequação dessa planta como hospedeira e fornecendo subsídios para o estabelecimento de estratégias de monitoramento e manejo. As metodologias desenvolvidas mostraram-se viáveis, de baixo custo e adaptáveis, contribuindo para estudos bioecológicos e para a prevenção de potenciais riscos fitossanitários.

Palavras-chave: CaLsol, plantas hospedeiras, potencial vetor.

ABSTRACT

Psyllids (Hemiptera: Psyllidae) are sap-sucking insects that exhibit high host specificity. The phytopathogenic bacterium “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” (CaLsol) is associated with several vegetable crops, mainly potato and carrot, and is transmitted both through propagative material and by psyllid vectors. In Brazil, this bacterium is classified as a quarantine pest (A1 category), meaning it is absent from the country. However, the polyphagous psyllid *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959, occurs in Brazil and represents a potential vector of this pathogen, as it develops on solanaceous plants. The aim of the present study was to determine the life cycle of *R. solanicola* on *Parthenium hysterophorus* (losna-branca) and to establish a laboratory rearing methodology. Two methods were developed for *R. solanicola* rearing: a clip-cage and a cage for rearing the insect on seedlings or plants of *P. hysterophorus*. For illustrating developmental stages and measuring the longitudinal body length of *R. solanicola*, 15 specimens from each stage were used. Images were captured using a stereomicroscope (16x). The rearing of *R. solanicola* began with the collection of nymphs and adults from areas where *P. hysterophorus* occurs. The seedlings were transplanted into 1.5 L pots and, after 15 days, infested with *R. solanicola* individuals. Twenty-five mating pairs were confined in clip-cages to assess developmental stages (from the embryonic period to adult emergence). The parameters evaluated were: development time, egg and nymph stage viability, sex ratio, and mortality rate. The results showed that *R. solanicola* reached adulthood in 24.92 ± 1.55 days. Females laid an average of 149.96 ± 28.63 eggs. The sex ratio was 0.56, indicating a slight female bias. Males lived on average 13.64 ± 0.51 days, while females lived 10.64 ± 0.25 days. The total mortality from immature stage to adulthood was 32.46%. These findings confirm that *R. solanicola* completes its life cycle on *P. hysterophorus*, demonstrating the suitability of this plant as a host and providing a basis for establishing monitoring and management strategies. The methodologies developed proved to be feasible, low-cost, and adaptable, contributing to bioecological studies and to the prevention of potential phytosanitary risks.

Keywords: CaLsol, host plants, potential vector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Infecção da doença CaLsol em tubérculos de batata oriundos da Nova Zelândia. O feixe vascular visivelmente marrom é um dos sintomas conhecidos.	7
Figura 2 — Gaiola do tipo clip-cage para o confinamento de <i>Russelliana solanicola</i> para observação do seu desenvolvimento. A – D) Passo a passo para a montagem.	12
Figura 3 — Descrição da gaiola para a manutenção de populações de <i>Russelliana solanicola</i> em plantas de losna-branca (<i>Parthenium hysterophorus</i>).	13
Figura 4 — Exemplares de <i>Russelliana solanicola</i> armazenados em microtubos.	14
Figura 5 — Exemplo de gaiola do tipo clip-cage utilizada para o confinamento dos casais de <i>Russelliana solanicola</i>	15
Figura 6 — Gaiolas para avaliação da tabela de vida de <i>Russelliana solanicola</i>	15
Figura 7 – Fases de desenvolvimento de <i>Russelliana solanicola</i> : A) Ovos. B) Ninfas I. C) Ninfas II. D) Ninfas III. E) Ninfas IV. F) Ninfas V. G) Adulto alado. H) Macho adulto (vista lateral). I) Fêmea adulta: vista dorsal e vista ventral.	21
Figura 8 - Gráfico boxplot exibindo a média da medida de comprimento de <i>Russelliana solanicola</i> nas diferentes fases de desenvolvimento: ovo, ninfas I, ninfas II, ninfas III, ninfas IV, ninfas V, adulto.	22
Figura 9 — Viabilidade da prole de <i>Russelliana solanicola</i> obtida a partir de 25 casais confinados em gaiolas do tipo clip-cage em mudas de losna-branca (<i>Parthenium hysterophorus</i>).	25
Figura 10 — Longevidade de machos e fêmeas de <i>Russelliana solanicola</i> ($T = 24 \pm 2^{\circ}\text{C}$; UR = $70 \pm 10\%$; fotofase 12 horas) mantidos em plantas de losna-branca (<i>Parthenium hysterophorus</i>).	26
Figura 11 — Curva de sobrevivência de <i>Russelliana solanicola</i> ao longo dos estágios de desenvolvimento, desde a fase de ovo até a emergência dos adultos.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Duração (em dias) $\pm$ erro padrão (EP) do desenvolvimento das fases de ovo e ninfa de <i>Russelliana solanicola</i> , mantidos a $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotofase de 12 horas, em plantas de losna-branca (<i>Parthenium hysterophorus</i>).....	23
Tabela 2. Número de indivíduos por gênero, total de indivíduos, razão sexual e erro padrão ($T = 24 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $\text{UR} = 70 \pm 10\%$; fotofase 12 horas) obtidos a partir da prole produzida por 25 casais de <i>Russelliana solanicola</i>	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 A importância da olericultura	3
2.2 Os psilídeos.....	4
2.3 A bactéria <i>CaLsol</i> , seus haplótipos e a doença Zebra Chip.....	5
2.4 Abrangência geográfica da espécie <i>R. solanica</i>	8
2.5 Hospedeiro de <i>R. solanica</i>	9
2.6 Desenvolvimento de metodologia para estudos com psilídeos em laboratório	9
3. OBJETIVO.....	11
3.1 Objetivo Geral	11
3.2 Objetivos Específicos	11
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1 Criação e manutenção de <i>R. solanica</i> em <i>P. hysterophorus</i>	11
4.2 Elaboração de metodologia para o desenvolvimento de <i>R. solanica</i>	11
4.3 Morfologia descritiva das fases de desenvolvimento de <i>R. solanica</i>	14
4.4 Desenvolvimento de <i>R. solanica</i> em losna-branca.....	14
4.5 Parâmetros biológicos	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1 Elaboração de metodologia para o desenvolvimento de <i>R. solanica</i>	17
5.2 Morfologia descritiva das fases de desenvolvimento de <i>R. solanica</i>	18
5.2.1 Ovos	18
5.2.2 Nífa I	18
5.2.3 Nífa II	19
5.2.4 Nífa III.....	19
5.2.5 Nífa IV	19
5.2.6 Nífa V	20
5.2.7 Adultos	20
5.3 Desenvolvimento de <i>R. solanica</i> em losna-branca	23
5.4 Média de oviposição e viabilidade dos ovos.....	24
5.5 Razão Sexual	24
5.6 Longevidade de adultos.....	25
5.7 Curva de sobrevivência	26
6. CONCLUSÕES.....	28
7. REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços significativos nas pesquisas entomológicas, um número considerável de espécies permanece insuficientemente estudado, demandando revisões taxonômicas e biológicas mais aprofundadas. Entre esses grupos, destacam-se os psílídeos (Hemiptera: Psyllidae), que ainda são relativamente pouco estudados. Atualmente, mais de 4.000 espécies já foram descritas, mas estima-se que pelo menos outro número equivalente permaneça sem descrição (PERCY et al., 2018; BURCKHARDT et al., 2021).

São insetos fitófagos sugadores que se alimentam do floema, podendo apresentar hábitos monófagos ou oligófagos. A sucção da seiva pode ocasionar danos e deformações no limbo foliar, bem como a formação de galhas (SINGH, 2000). Em geral, possuem elevada especificidade quanto ao hospedeiro, com os estágios imaturos desenvolvendo-se na mesma planta hospedeira ou realizando alternância para espécies vegetais não diretamente associadas ao seu ciclo de vida. Entretanto, algumas espécies destoam desse padrão, como *Russelliana solanicola* Tuthill, 1959 (Hemiptera: Psyllidae), um exemplo de psílídeo polífago (SERBINA et al., 2015).

Nos últimos anos, algumas espécies de psílídeos têm ganhado destaque na citricultura e na olericultura por atuarem como vetores de bactérias fitopatogênicas que colonizam o floema das plantas, notadamente fitoplasmas (*'Candidatus Phytoplasma'*) e liberibactérias (*'Candidatus Liberibacter'*). Estudos com espécies de *'Candidatus Liberibacter'* indicam que esses microrganismos estão associados a doenças emergentes de importância econômica em espécies das famílias Rutaceae, Solanaceae e Apiaceae (MUNYANEZA, 2010; HAAPALAINEN, 2014; TERESANI et al., 2014).

No entanto, Burckhardt e Queiroz (2012) registraram a ocorrência de *Trioza* Förster, 1848 (Hemiptera: Triozidae), *Leuronota solani* Rübsaamen, 1908 (Hemiptera: Triozidae), *Russelliana capsici* Burckhardt, 1987 e *R. solanicola* (Hemiptera: Psyllidae), cujas plantas hospedeiras pertencem à família Solanaceae. Espécies de psílídeos associadas a essa família apresentam potencial para atuar como vetores da bactéria *'Candidatus Liberibacter solanacearum'* (CaLsol) de acordo com Munyaneza et al. (2010), embora ainda não tenha sido registrado no país.

R. solanicola foi descrita a partir de indivíduos coletados em plantações de batata no Peru, onde foram registradas perdas de rendimento variando entre 10% a 90%, além de redução do crescimento, queda na qualidade e ocorrência de clorose e mosaico foliar (CHÁVEZ et al., 2003; SALAZAR, 2006).

Syfert et al. (2017) demonstraram que *R. solanicola* possui elevado potencial de invasão em diversas regiões do mundo, especialmente aquelas com condições ambientais favoráveis ao cultivo de batata. Essa espécie, portanto, apresenta uma amplitude ambiental superior à de outros psílídeos do mesmo gênero. Munyaneza e Henne (2012) destacam a necessidade de prosseguir com estudos para identificar os patógenos potenciais associados a *R. solanicola*. Além disso, o relatório de análise de risco para CaLsol do Reino Unido enfatiza a importância de investigações adicionais para determinar se a espécie pode atuar como transmissora da bactéria em hortaliças (FERA, 2023).

Dessa forma, torna-se evidente a importância de investigar e compreender mais sobre a bioecologia de *R. solanicola*, uma vez que este inseto apresenta potencial como vetor da bactéria CaLsol no Brasil. O conhecimento de sua biologia básica fornece subsídios essenciais para o desenvolvimento de estratégias voltadas ao monitoramento e controle desse inseto-praga. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento biológico de *R. solanicola* em losna-branca (*Parthenium hysterophorus*).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância da olericultura

A olericultura é o segmento agrícola de maior crescimento nos últimos anos devido ao aumento no consumo de hortaliças e da área produzida, tornando-se prioridade da Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN), que está relacionado à prevenção e ao controle de vários tipos de enfermidades. Além disso, tem grande importância econômica e social no desenvolvimento nacional, contribuindo com o agronegócio para o aumento do PIB brasileiro (BRANDÃO FILHO et al., 2018).

Dentre as olerícolas de maior importância, a família Solanaceae, com aproximadamente 150 gêneros e 3.000 espécies, está entre as angiospermas eudicotiledôneas mais diversificadas, podendo ser encontrada em várias regiões do mundo, e tendo a América do Sul como o maior centro de diversidade da família (SOUZA; LORENZI, 2005). Dentro deste continente, conforme relatado por D'arcy (1991) é estimado que aproximadamente 50 gêneros sejam endêmicos.

No aspecto econômico, a batata (*Solanum tuberosum* L.) é a quarta fonte de alimento mais importante, ficando atrás somente do trigo, milho e arroz (STOKSTAD, 2019). Segundo a FAOSTAT (2022), a produção mundial de batata ultrapassou 375 milhões de toneladas em 2022. Esse volume coloca a batata como uma cultura de grande relevância no contexto agrícola global, e o seu expressivo consumo é justificado por sua relevância nutricional, sendo uma fonte rica em carboidratos, vitaminas e minerais essenciais para uma dieta equilibrada (SILVA, 2015). No Brasil, a batata é uma das hortaliças de maior importância econômica, sendo que a produção nacional atingiu cerca de 3,9 milhões de toneladas, e movimentou, em 2022, gerando um impacto econômico estimado em aproximadamente R\$ 10,5 bilhões (IBGE, 2023).

Sob tal ótica, a batata e as demais olerícolas da família Solanaceae mostram-se de suma importância para o cenário econômico e alimentício. Além de técnicas avançadas de cultivo, como a aeroponia, no qual é possível produzir até quatro vezes mais batatas-semente (FACTOR, 2007), faz-se necessário adotar medidas de mitigação de pragas e doenças, bem como sua prevenção para cenários futuros. Além de reconhecer as pragas e doenças já existentes em cada uma das regiões produtoras, é importante ressaltar a necessidade de monitoramento de potenciais vetores, como os psilídeos, e doenças, a Zebra Chip, causada pela bactéria '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' (CaLsol).

2.2 Os psílídeos

Os insetos fitófagos representam um dos grupos animais mais ricos em espécies do planeta (SOUTHWOOD, 1978). No setor agrícola, muitas dessas espécies são consideradas pragas por atacarem várias culturas, e responsáveis por grandes prejuízos, danificando plantas vivas e produtos armazenados (RAFAEL et al., 2012). A maioria delas normalmente se desenvolve em uma única planta hospedeira ou em espécies de plantas taxonomicamente semelhantes. Os estudos de associações inseto-planta são fundamentais para o conhecimento da biologia e sua interação, cuja escassez, muitas vezes, é obstáculo para a condução e maior precisão nas pesquisas de diversos campos da Entomologia, principalmente aquelas direcionadas ao controle biológico (FUTUYMA; MITTER, 1996; BECERRA; VENABLE, 1999; PERCY; CRONCK, 2002; PERCY, 2003; PERCY et al., 2004).

Dentre os insetos fitófagos, os psílídeos (Hemiptera) representam um grupo de insetos sugadores que se alimentam do floema, podendo ser monófagos ou oligófagos. Normalmente selecionam hospedeiros específicos, com imaturos se desenvolvendo no mesmo hospedeiro ou estabelecendo trocas de hospedeiros em plantas não associadas com seu ciclo de vida, provocando danos e deformações no limbo foliar ao sugar a seiva, e formando possíveis galhas (SINGH, 2000).

Os adultos apresentam como principais características morfológicas: alados similares a cigarrinhas, pernas saltatórias, rostro curto e triarticulado, antenas bem desenvolvidas com dez artículos e tamanho variando entre 2 e 5 mm. Já as ninfas demonstram uma morfologia corpórea que exhibe uma notável característica de achatamento no plano dorso-ventral, e, em muitas das espécies examinadas, observa-se a excreção de cera através de glândulas localizadas no abdômen (COSTA LIMA, 1942).

Existem mais de 4.000 espécies de psílídeos descritas no mundo, e mais da metade ainda foram pouco estudadas; estima-se que haja a mesma quantidade de espécies não descritas, ou seja, desconhecidas. Devido à grande extensão territorial brasileira e o baixo número de pesquisadores especializados neste grupo, há uma dificuldade evidente na criação de uma coleção representativa e de treinamento taxonômico no grupo. Além disso, os psílídeos são relevantes para estudos sobre interações inseto-praga-planta, vetores, e possíveis métodos de controle para doenças fitopatogênicas emergentes (BURCKHARDT; QUEIROZ, 2012).

2.3 A bactéria CaLsol, seus haplótipos e a doença Zebra Chip

A bactéria fitopatogênica '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' (CaLsol) (Rhizobiales: Rhizobiaceae) é gram-negativa limitada ao floema da planta, não é cultivável, se espalha entre as plantas por enxertia e através de vetores de insetos como os psíldeos (MANZANERA et al., 2022). É responsável por infectar diversas espécies de Solanaceae, incluindo batata, tomate, pimentão, berinjela, tabaco, dentre outras (HANSEN et al., 2008; ABAD et al., 2009; LIEFTING et al., 2009).

Atualmente, CaLsol apresenta 15 haplótipos confirmados: A, B, C, D, E, F, G, H, H(Con), U, Cras1, Cras2, Aph1, Aph2, e Aph3 (MUNYANEZA, 2010; MUNYANEZA et al., 2010; MUNYANEZA et al., 2015; WEN et al., 2009; HAAPALAINEN et al., 2018; HAAPALAINEN et al., 2020; SUMNER-KALKUN et al., 2020; NELSON et al., 2011; YAO et al., 2016; SWISHER GRIMM; GARCZYNSKI, 2019; CONTRERAS-RENDÓN et al., 2020). Porém, a distribuição de CaLsol pelo mundo não ocorre de maneira uniforme, e parece não estar relacionada com o haplótipo ou a ordem cronológica. Nas Américas, Nova Zelândia e Austrália, os haplótipos mais predominantes são A e B.

Os haplótipos C, D e E estão associados a doenças em plantas da família Apiaceae, e foram detectados em localidades e culturas diferentes: cenoura - Finlândia, França, Alemanha, Marrocos, Noruega, Espanha e Suécia; batata, salsinha e aipo – Espanha; salsa - Reino Unido (MUNYANEZA et al., 2010).

O haplótipo U de '*Ca. L. solanacearum*' foi identificado em plantas de urtiga no norte da Europa, conforme relatado por Haapalainen et al. (2018). Este foi o primeiro haplótipo que se descobriu infectar plantas que não pertencem às famílias Solanaceae ou Apiaceae, e foi confirmado no inseto *Trioza urticae* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Triozidae) (EPPO, 2023)

Os haplótipos F e G foram identificados nos EUA e não foram encontrados na Europa. O haplótipo F foi detectado no sul do Oregon em tubérculos de batata com sintomas da doença Zebra Chip como estrias e raios medulares escuros, sugerindo potencial patogenicidade para todas as plantas da família Solanaceae, semelhante aos haplótipos A e B (MAUCK et al., 2019). De acordo com Mauck et al. (2019), o haplótipo G foi encontrado na Califórnia em plantas nativas de *Solanum umbelliferum*, que também serve como hospedeiro natural do vetor *Bactericera cockerelli* Šulc, 1909 (Hemiptera: Triozidae).

Os haplótipos H e H(Con) são geneticamente distintos e foram identificados

simultaneamente (SUMNER-KALKUN et al., 2020). O haplótipo H foi detectado em cenoura e pastinaca na Finlândia, além de plantas daninhas associadas ao cultivo, sendo seus vetores ainda pouco conhecidos (HAAPALAINEN et al., 2020). Já o haplótipo H(Con) foi inicialmente relatado em plantas daninhas da família Convolvulaceae (TORRES et al., 2015), sendo sua caracterização formal realizada posteriormente por Contreras-Rendón et al. (2020), com base em análises de polimorfismo do gene 16S rRNA.

Os haplótipos Cras1 e Cras2 foram inicialmente identificados na Escócia, Reino Unido, em insetos da família Aphalaridae, especificamente *Craspedolepta nebulosa* Zetterstedt, 1828 e *C. subpunctata* Förster, 1848 (Hemiptera: Psyllidae) (SUMNER-KALKUN et al., 2020)

Os haplótipos Aph1, Aph2 e Aph3 são os mais recentemente identificados de 'Ca. L. solanacearum', encontrados nos Estados Unidos em espécies coletadas de psílideos do gênero *Aphalara* Förster, eles são subdivididos em subvariantes com base em diferenças nas sequências de ácido nucleico do gene 16S rRNA (SWISHER GRIMM et al., 2022). Os haplótipos A e B estão relacionados com uma doença que acomete a batata chamada Zebra Chip (ZC) (SECOR et al., 2009).

Esta é causada por CaLsol e tem como principal vetor o psílideo-da-batata *B. cockerelli*. A ZC foi relatada pela primeira vez em 1994 em Saltillo, no México, e em 2000, no sul do Texas, nos Estados Unidos. Além da América do Norte, atualmente existem registros de ZC na África, América Central e do Sul, Ásia, Europa e Oceania, sendo o último relato em 2020, no Reino Unido (MUNYANEZA et al., 2007).

Os sintomas da ZC são variados e apresentam coinfeções quando identificada a presença da doença, podendo ter ataques severos ou não. O haplótipo B induz a maiores sintomas de ZC nos tubérculos em comparação com o haplótipo A. Quando da ocorrência dos haplótipos A e B, os sintomas são ainda mais graves do que quando causados apenas pelo haplótipo B (HERNÁNDEZ-DEHEZA et al., 2018; HARRINSON et al., 2019). Além disso, um aspecto curioso observado é a diminuição da taxa de sobrevivência de ninfas de psílideos que carregam o haplótipo B em comparação com as que carregam o haplótipo A (YAO et al., 2016).

Após duas semanas de latência desde o contato com a planta, *B. cockerelli* consegue transmitir CaLsol para tecidos vegetais novos (SENGODA et al., 2013). A partir daí, a depender da planta hospedeira, a manifestação dos sintomas da doença gira em torno de três semanas, de forma que a bactéria se concentra em níveis baixos e não

uniformemente (CHARKOWSKI et al., 2020).

Ao ser infectada, a planta apresenta sintomas como descoloração, tubérculos aéreos, clorose foliar, crescimento atrofiado e proliferação de gemas axilares podendo levá-la até a morte. Outrossim, caso a planta não morra, seus tubérculos apresentam deformações e baixa qualidade para a comercialização tendo sua aparência e sabor prejudicados (MUNYANEZA et al., 2007) (Figura 1).

Figura 1 — Infecção da doença CaLsol em tubérculos de batata oriundos da Nova Zelândia. O feixe vascular visivelmente marrom é um dos sintomas conhecidos.



Fonte: © The New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited, 2018.

Como mencionado, *B. cockerelli* é a principal espécie transmissora de ZC. No Brasil, embora não tenha sido registrada a presença da doença e nem do seu vetor principal convém destacar que a listagem de espécies presentes no país, elaborada por Burckhardt e Queiroz (2012), suscita a necessidade de reflexão em alguns aspectos. É notável a presença de espécies pertencentes ao gênero *Trioza*, dentre as quais se destaca *Trioza apicalis* Förster, 1848 (Hemiptera, Triozidae), a qual foi objeto de relato no contexto da transmissão de CaLsol, conforme documentado por Munyaneza et al. (2010). Além disso, três espécies mencionadas por Burckhardt e Queiroz (2012), a saber, *Leuronota solani* Rübsaamen, 1908 (Hemiptera, Triozidae), *Russelliana capsici* Burckhardt, 1987 e *R. solanicola* Tuthill, 1959 (Hemiptera, Psyllidae) apresentam como plantas hospedeiras solanáceas.

2.4 Abrangência geográfica da espécie *R. solanicola*

A espécie *R. solanicola* foi inicialmente descrita no Peru, onde foram relatadas, na cultura da batata, perdas severas de rendimento de 10 até 90%, além de diminuição da qualidade, redução de crescimento, clorose e mosaico nas folhas (TENORIO et al., 2000; CHÁVEZ et al., 2003; SALAZAR, 2006).

A distribuição geográfica de *R. solanicola* na América do Sul ocorre desde os Andes até o centro-oeste da Argentina, passando por Bolívia, Chile e Peru. Há registros, entretanto, da presença do vetor no leste da Argentina, Brasil e Uruguai (BURCKHARDT; QUEIROZ, 2012; KUHN, 2018). No geral, as espécies de *Russelliana* apresentam restrita distribuição geográfica e muitas vezes confinadas a um tipo de habitat particular (BURCKHARDT, 1987).

A temperatura é o fator físico predominante que influencia não apenas o desenvolvimento de *R. solanicola*, mas também afeta diversos aspectos da biologia de insetos em geral. Alterações na temperatura podem impactar a taxa de eclosão, a capacidade reprodutiva, a duração do período de desenvolvimento, a reprodução e a longevidade desses insetos (STERN; BOWEN, 1963; BUTLER; LÓPEZ, 1980; NOLDUS, 1989; FLETCHER, 1989), tornando-a um elemento crucial em seu ciclo de vida.

Devido às características de zona intertropical, como clima predominante quente, *R. solanicola* provavelmente está se espalhando por diferentes regiões do Brasil, principalmente sul e sudeste. A ocorrência da espécie é confirmada em cinco estados brasileiros: Goiás, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Santa Catarina (KUHN, 2018). Considerando a ocorrência da bactéria em países vizinhos e a proximidade do Peru com o Brasil, além de condições favoráveis ao desenvolvimento de *R. solanicola*, como temperatura e umidade relativa elevada, o risco de entrada de CaLsol no Brasil é muito alto, sendo necessários mais estudos sobre a biologia do inseto.

2.5 Hospedeiro de *R. solanicola*

Os psílídeos demonstram especificidade em relação ao hospedeiro, notadamente durante seu estágio de desenvolvimento imaturo (HODKINSON, 1974; BURCKHARDT; QUEIROZ, 2012; OUVARD et al., 2015). Em estudos realizados na antiga Checoslováquia, poucas espécies tiveram como planta hospedeira mais de um gênero, e nenhuma mais de uma família botânica. Isso indica que a especificidade da planta hospedeira pode ser usada como critério para auxiliar na previsão de relações filogenéticas de psílídeos e vice-versa (HODKINSON, 1974).

É importante destacar que há psílídeos que podem fugir à regra de especificidade ao aumentarem sua gama de plantas hospedeiras devido ao contato com a atividade agrícola do homem (HODKINSON, 1974). Isso acontece porque nessas condições, as plantas daninhas localizadas próximas às plantas hospedeiras podem proporcionar condições favoráveis ao crescimento do inseto.

Kuhn (2018) investigou a preferência que *R. solanicola* e *R. capsici* poderiam ter para plantas hospedeiras de diferentes espécies de olerícolas e plantas comuns da vegetação espontânea. *R. solanicola* preferiu ovipositar em cenoura e tomate, porém teve maior taxa de sobrevivência e desenvolvimento em cenoura e batata. Já *R. capsici* apresentou clara preferência por pimenta e pimentão, sendo as únicas plantas em que se desenvolveu. Em relação às plantas daninhas, *R. solanicola* demonstrou clara afinidade com a losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.) (Heliantheae: Asteraceae), planta já conhecida como hospedeira (SERBINA et al., 2015). Ao comparar o tempo de desenvolvimento em diferentes plantas hospedeiras, Kuhn (2018) observou que *R. solanicola* apresentou emergência de adultos em losna-branca de forma mais precoce do que *R. capsici* em pimenta e pimentão.

2.6 Desenvolvimento de metodologia para estudos com psílídeos em laboratório

A compreensão da biologia de um inseto é de fundamental importância na formulação de estratégias eficazes de manejo, especialmente no âmbito do manejo integrado de pragas (PARRA, 2002). A criação em larga escala de insetos tem vastas aplicações, tanto na pesquisa básica de Entomologia, no estudo de suas histórias de vida, quanto na pesquisa aplicada, permitindo a investigação em áreas como controle biológico, técnica do inseto estéril, resistência de plantas, produção de feromônios, controle genético e estudos de vetores de doenças, entre outros (KOGAN, 1980).

A capacidade dos insetos de utilizarem plantas como hospedeiras envolve uma série de fatores, incluindo a seleção de locais adequados, superação das defesas da planta e a aquisição de nutrientes essenciais para seu completo desenvolvimento (SIMON et al., 2015). O desempenho de uma espécie de inseto é diretamente influenciado pelas características físicas e químicas do hospedeiro potencial (AWMACK; LEATHER 2002; HODKINSON 2009). A escolha dos locais ideais para alimentação e oviposição é um fator crucial, especialmente em insetos vetores de doenças, como os psílídeos, devido à limitada mobilidade das ninfas (TECK et al., 2011).

Apesar da existência de alguns modelos de gaiolas propostos, frequentemente são inapropriados para uso em plantas maiores ou em campo, visto que o excesso de manipulação das plantas pode causar danos menores capazes de alterar a composição de compostos secundários, impactando o comportamento dos insetos (GREEN; RYAN, 1972).

Diversos protocolos são empregados em testes que visam investigar aspectos biológicos de insetos fitófagos, como oviposição, longevidade e consumo de alimentos (WAQUIL et al., 2019). O desenvolvimento de metodologias para a criação de insetos em laboratório tem contribuído significativamente para o avanço de estudos que buscam analisar a bioecologia, fisiologia e o comportamento desses insetos, ao mesmo tempo em que oferece uma base valiosa para pesquisas direcionadas ao controle de espécies consideradas pragas (QUESADA-MORAGA; SANTIAGO-ÁLVAREZ, 2001).

Sendo assim, a escolha deste tema é fundamentada na importância da bactéria CaLsol, que até o momento não foi identificada no país. O estudo conduzido por Kuhn (2018) fornece indícios de que o psílídeo *R. solanicola* é a espécie mais prevalente nas culturas de hortaliças, nas quais a bactéria pode potencialmente causar danos significativos. A partir dessa inferência, é plausível considerar *R. solanicola* como potencial vetor da bactéria. Além disso, a pesquisa tem como objetivo contribuir para uma compreensão mais abrangente das fases e do ciclo de vida desse inseto, o que pode facilitar a identificação das etapas de desenvolvimento do psílídeo, fornecendo informações valiosas para o manejo e controle dessa potencial ameaça à agricultura nacional.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo determinar o ciclo biológico de *R. solanicola* em *P. hysterophorus*, além de desenvolver uma metodologia de criação em laboratório.

3.2 Objetivos Específicos

1. Desenvolver uma metodologia para a criação de *R. solanicola* em laboratório;
2. Descrever os estádios de desenvolvimento de *R. solanicola*;
3. Avaliar o ciclo biológico de *R. solanicola* associado à losna-branca (*P. hysterophorus*).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Laboratório do GEPEG – Grupo de Estudos e Pesquisa em Entomologia Geral, localizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, SP.

4.1 Criação e manutenção de *R. solanicola* em *P. hysterophorus*

A população inicial de *R. solanicola* foi estabelecida a partir de ninfas e adultos coletados por meio de aspirador entomológico em áreas do campus da UFSCar, em Araras (22°18'49.9"S; 47°22'55.0"W), em plantas de losna-branca (*P. hysterophorus*).

A losna-branca, identificada como planta hospedeira por Serbina et al. (2015), é considerada adequada para estudos sobre o ciclo biológico de *R. solanicola* (KUHN, 2018). A criação dos psíldeos foi conduzida em sala climatizada ($24 \pm 2^\circ\text{C}$, UR $70 \pm 10\%$, fotofase 12h), utilizando vasos de 1,5 L preenchidos com substrato e contendo plantas de losna-branca.

4.2 Elaboração de metodologia para o desenvolvimento de *R. solanicola*

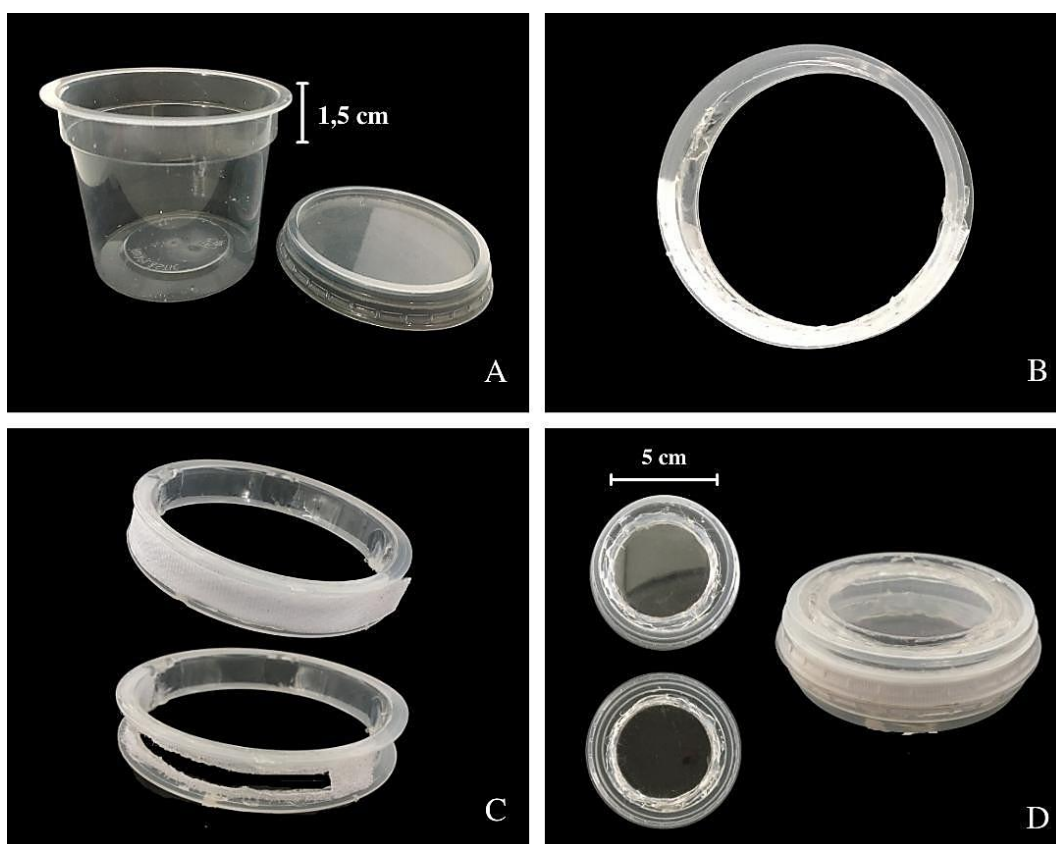
Com base em modelos voltados à criação do psíldeo *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psyllidae) (ALVES et al., 2021; GÓMEZ-TORRES, 2009), e na criação de pulgões em sorgo (CABETTE, 1992), foram elaboradas duas metodologias adaptadas com o objetivo de aprimorar a praticidade durante a observação e o estudo do comportamento de *R. solanicola*.

A primeira delas é uma gaiola do tipo clip-cage, a qual foi confeccionada a partir

de dois copos plásticos transparentes de polipropileno, com capacidade de 150 mL, incluindo suas tampas. Inicialmente, foi efetuado um corte de 1,5 cm de altura na porção superior (aro) de cada copo (Figura 2A). Os aros foram acoplados um ao outro com a aplicação de adesivo de etileno acetato de vinila (cola quente) (Figura 2B).

Para viabilizar o acesso foliar, foi realizado um recorte longitudinal na lateral da placa de base, para permitir a entrada de folhas, e uma tira de tela anti-afídeo foi fixada com velcro® para vedar a abertura (Figura 2C). Nas tampas dos copos, foi criado um orifício com diâmetro interno de 5 cm, de modo a acomodar a tampa de plástico transparente (5 x 5 x 1 cm), com o propósito de evitar a fuga dos insetos. Foram conduzidos testes com diferentes materiais transparentes para selecionar aquele que melhor se adequasse às observações microscópicas (Figura 2D). As tampas foram, posteriormente, encaixadas nas extremidades superior e inferior, permitindo a abertura para o manuseio (Figura 2D).

Figura 2 — Gaiola do tipo clip-cage para o confinamento de *Russelliana solanicola* para observação do seu desenvolvimento. A – D) Passo a passo para a montagem.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A segunda metodologia desenvolvida consistiu em uma gaiola destinada à criação de *R. solanicola* em mudas ou plantas adultas. Essa gaiola foi projetada para oferecer um ambiente de confinamento que simulasse condições naturais ideais para a criação do inseto, sem interferir no crescimento da planta hospedeira. Cada unidade foi composta por três recipientes plásticos de 1,8 L, nos quais foram feitos recortes e acopladas telas anti-afídeo, permitindo a circulação de ar e facilitando o manejo. A planta hospedeira foi posicionada no recipiente inferior, que foi vedado ao recipiente mediano por meio de tiras de velcro®, possibilitando a abertura da gaiola e a manipulação das plantas durante os experimentos (Figura 3).

Figura 3 — Descrição da gaiola para a manutenção de populações de *Russelliana solanicola* em plantas de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*).



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.3 Morfologia descritiva das fases de desenvolvimento de *R. solanicola*

Para a ilustração das fases de desenvolvimento e a medição do comprimento longitudinal de *R. solanicola*, foram utilizados 15 exemplares de cada estágio, fixados em álcool etílico 70% e armazenados em microtubos (Figura 4).

A observação do padrão de coloração das ninfas e o registro das imagens foram realizados com o auxílio de um estereomicroscópio Leica EZ4, com ampliação de 16x. As medições do comprimento longitudinal dos espécimes foram realizadas por meio do software Image J (NIH, 2023).

Figura 4 — Exemplares de *Russelliana solanicola* armazenados em microtubos.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.4 Desenvolvimento de *R. solanicola* em losna-branca

Para a análise das fases de desenvolvimento (pré-oviposição, ovo, ninfa e adulto) foram utilizados 25 casais de *R. solanicola*. Os indivíduos foram mantidos em uma gaiola do tipo clip-cage, adaptada conforme Cabette (1992) (Figura 5), possibilitando o acasalamento e a subsequente oviposição da fêmea nas folhas de losna-branca. A oviposição ocorreu de maneira livre, permitindo o registro da mortalidade dos casais e das posturas realizadas.

No intervalo de tempo em que estiveram confinados, procedeu-se à contagem diária do número de ovos presentes, enquanto os indivíduos adultos foram removidos após o óbito, mantendo-se as condições de câmara climatizada a $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotofase de 12 horas. Diariamente, com o uso do

estereomicroscópio, foi possível avaliar a duração do período embrionário até a eclosão das ninfas e emergência dos adultos.

Figura 5 — Exemplo de gaiola do tipo clip-cage utilizada para o confinamento dos casais de *Russelliana solanicola*.



Fonte: Autoria própria, 2023.

As mudas de losna-branca foram acondicionadas em tubetes de polietileno preto de 175 mL com substrato vegetal comercial. Na tampa de cada copo de polietileno cristal de 770 mL foi colocado um tubete e, sobre ele, foi colocado outro copo. A tampa do copo superior possuía uma abertura circular de 3 cm de diâmetro na qual foi fixada uma tela antiafídica para permitir a circulação de ar (ALVES et al., 2021) (Figura 6).

Figura 6 — Gaiolas para avaliação da tabela de vida de *Russelliana solanicola*.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.5 Parâmetros biológicos

Para a documentação fotográfica dos estágios de desenvolvimento e a mensuração do comprimento corporal, 15 espécimes de cada estágio de desenvolvimento de *R. solanicola* foram preservados em etanol a 70% e armazenados em microtubos. As fotografias foram obtidas utilizando um estereomicroscópio Leica EZ4, com ampliação de 16×. As mensurações do comprimento corporal foram realizadas utilizando o software ImageJ (Schneider et al., 2012).

O estudo avaliou as características morfológicas dos estágios de desenvolvimento, bem como a sobrevivência ninfal, a fecundidade, a viabilidade dos ovos, a razão sexual e a longevidade dos adultos de *R. solanicola*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 25 repetições. Cada unidade experimental foi constituída por uma planta de *P. hysterophorus* infestada com um casal de *R. solanicola*, permitindo o acasalamento e a oviposição sem restrições para a avaliação da longevidade dos adultos e da fecundidade.

As avaliações foram realizadas diariamente utilizando um estereomicroscópio Leica EZ4 para registrar o número de ovos, a presença de exúvias, a duração do período embrionário até à eclosão das ninfas, a emergência dos adultos e a mortalidade. Os adultos mortos e as exúvias foram removidos ao longo de todo o período experimental. A razão sexual foi calculada pela fórmula: $RS = \text{número de fêmeas} / (\text{número de machos} + \text{número de fêmeas})$. A mortalidade foi calculada pela diferença entre o número inicial de indivíduos e o número de sobreviventes, dividida pelo número inicial de indivíduos e multiplicada por 100. A viabilidade dos ovos foi estimada como a porcentagem de ovos eclodidos em relação ao número total de ovos $\times 100$.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com um total de 25 repetições. Cada unidade experimental consistiu em uma planta de losna-branca que abrigava um casal de insetos. Os dados sobre a biologia foram analisados de forma descritiva tomando-se resultados do ciclo biológico de *R. solanicola*, considerando média aritmética, desvio-padrão e erro padrão. As análises demonstradas em box plot foram realizadas por meio do software estatístico R Studio®, versão 3.6.3 (R CORE TEAM, 2023).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Elaboração de metodologia para o desenvolvimento de *R. solanicola*

A gaiola do tipo clip-cage proposta por Alves et al. (2021) foi desenvolvida para situações em que os insetos devem ser confinados a uma única parte da folha ou em folhas muito longas, como as de plantas monocotiledôneas. A gaiola descrita por Gómez-Torres (2009) foi elaborada para permitir a oviposição e o desenvolvimento biológico do inseto em plantas cultivadas em vasos com substrato, de forma livre. Já a gaiola proposta por Cabette (1992) foi desenvolvida para a criação de pulgões em condições de campo.

No entanto, como não foram realizados ensaios padronizados que possibilitassem uma análise estatística comparativa entre as gaiolas elaboradas neste estudo, o clip-cage e a gaiola para a criação de *R. solanicola* em mudas ou plantas adultas de losna-branca, e as demais metodologias mencionadas, não foi possível afirmar se as metodologias propostas produzem os mesmos resultados em termos de criação massal dos espécimes. Apesar disso, as metodologias desenvolvidas neste trabalho apresentam vantagens significativas em relação ao custo, à praticidade e à adaptabilidade a diferentes ambientes.

De acordo com War et al. (2012), em estudos dessa natureza, os danos causados pelas gaiolas podem interferir na interpretação dos resultados, especialmente quando se investigam mecanismos de defesa das plantas ou interações inseto-planta. O dano mecânico decorrente do uso do sistema clip-cage pode, por si só, induzir respostas de defesa nas plantas, comprometendo a confiabilidade dos dados obtidos. Em observações pessoais, o dano mecânico às folhas e aos espécimes mostrou-se mínimo durante os experimentos, o que reforça a viabilidade de sua aplicação na avaliação de parâmetros como desenvolvimento ovo-adulto, longevidade, mortalidade, entre outros, conforme evidenciado nos ensaios realizados.

Diversos protocolos são empregados em testes voltados à investigação de aspectos biológicos de insetos fitófagos, como oviposição, longevidade e consumo alimentar (WAQUIL et al., 2019). Para que a criação dos espécimes na gaiola adaptada seja adequada e funcional, é indispensável que esta apresente características como praticidade no manejo e contenção eficiente dos insetos, de modo a evitar fugas.

Além disso, é crucial que as metodologias de criação também garantam

facilidade de visualização e um ambiente que reproduza fielmente o habitat natural da espécie. Segundo Erens et al. (2012), a oferta de espaço adequado desempenha um papel essencial na criação de insetos, especialmente quando se busca estabelecer uma rotina eficiente de criação em massa.

5.2 Morfologia descritiva das fases de desenvolvimento de *R. solanicola*

Estudos morfológicos são essenciais para identificar estruturas ainda não demonstradas visualmente, aprimorando o conhecimento sobre o inseto. Nesse contexto, é importante destacar a literatura disponível sobre o psílideo *R. solanicola* apresenta escassez de materiais ilustrativos de qualidade que retratem adequadamente as diferentes fases e estádios de desenvolvimento.

As características morfológicas e biológicas do desenvolvimento de *R. solanicola* apresentadas neste estudo constituem uma síntese das descrições disponíveis na literatura, conforme Tuthill (1959), Zúñiga (1991), Pozo (1993), Romero (1995), Mamani (1999) e Hodgkinson (2009). Além disso, são apresentadas comparações entre as médias de comprimento registradas nesses estudos e os resultados obtidos na presente pesquisa. Os psíldeos são hemimetabólos e o seu ciclo de vida normalmente inclui as fases de ovo, cinco estágios ninfais e adulto.

5.2.1 Ovos

Os ovos possuem forma oblonga, apresentam coloração branco leitosa, superfície lisa e brilhante. Perto à eclosão para o primeiro estágio ninfal a coloração torna-se amarela-alaranjada. A oviposição ocorre em grupos de cinco a seis ovos, dispostos de forma indistinta sobre a superfície foliar da planta hospedeira (Figura 7 - A).

O comprimento médio dos ovos foi de $0,26 \pm 0,002$ mm, conforme ilustrado na Figura 8. Esses valores estão de acordo com os dados relatados por Mamani (1999), que registrou um comprimento médio de 0,27 mm.

5.2.2 Ninfa I

As ninfas recém-emergidas apresentam forma ovoide alongada, com cabeça e tórax fundidos e indiferenciados, além de coloração amarelada (Figura 7- B). Na literatura, foi documentado um comprimento médio de 0,34 mm, valor que está em conformidade com a média obtida neste estudo, de $0,34 \pm 0,001$ mm (Figura 8).

5.2.3 Ninfa II

No segundo estágio ninfal, a forma ovoide torna-se ainda mais alongada, e a coloração evolui de pálida para laranja-claro e, posteriormente, laranja-escuro. A cabeça passa a se distinguir do tórax, sendo o mesotórax mais desenvolvido que o protórax e o metatórax, enquanto o abdômen apresenta maior desenvolvimento em comparação ao primeiro estágio. Os primeiros estágios ninfais são de difícil observação devido ao tamanho reduzido e à semelhança morfológica entre si (Figura 7- C).

A literatura, juntamente com os resultados obtidos aqui, demonstram uma concordância próxima com relação ao comprimento médio, o qual foi relatado como 0,50mm na literatura. No presente estudo, o comprimento médio foi de $0,49 \pm 0,001$ (Figura 8).

5.2.4 Ninfa III

No terceiro estágio, o formato ovoide alongado é mantido, com aumento na diferenciação entre a cabeça e o tórax. É possível identificar o dorso do abdômen, achatado ventralmente, com cor amarela e faixas transversais marrons. As pernas encontram-se desenvolvidas, conferindo capacidade de movimentos rápidos (Figura 7 -D).

O comprimento médio das ninfas do terceiro estágio neste estudo foi registrado como $0,73 \pm 0,004$ mm (Figura 8), valor que se encontra dentro da faixa relatada na literatura, que varia entre 0,70 e 0,75 mm.

5.2.5 Ninfa IV

No quarto estágio, as ninfas apresentam cabeça alongada com o vértice achatado frontalmente e olhos visivelmente vermelhos. As pernas são desenvolvidas e a tíbia e fêmur apresentam coloração amarelada, com tarsos pretos. O protórax é visível, uma linha amarela atravessa os três segmentos torácicos, e manchas marrons são observadas de cada lado. As tecas alares alcançam os segmentos do abdômen (Figura 7 - E).

Os resultados do comprimento médio obtidos neste estudo estão em concordância com os dados da literatura, apresentando um valor médio de $0,89 \pm 0,001$ mm (Figura 8) próximo ao valor de 0,90 mm registrado na literatura.

5.2.6 Ninfa V

No quinto e último estágio, a ninfa apresenta coloração marrom escura, com asas anteriores e posteriores de comprimento semelhante. O vértice e a testa são reduzidos, os olhos são proeminentes e as antenas possuem nove segmentos. O protórax está mais desenvolvido em comparação ao estágio anterior, enquanto o mesotórax apresenta formato curvo (Figura 7 - F). Antes da emergência do adulto, as tecas alares anteriores atingem o tamanho das posteriores.

Os resultados do comprimento médio foram de $1,14 \pm 0,027$ mm (Figura 8), enquanto a literatura documenta um valor médio de 1,2 mm.

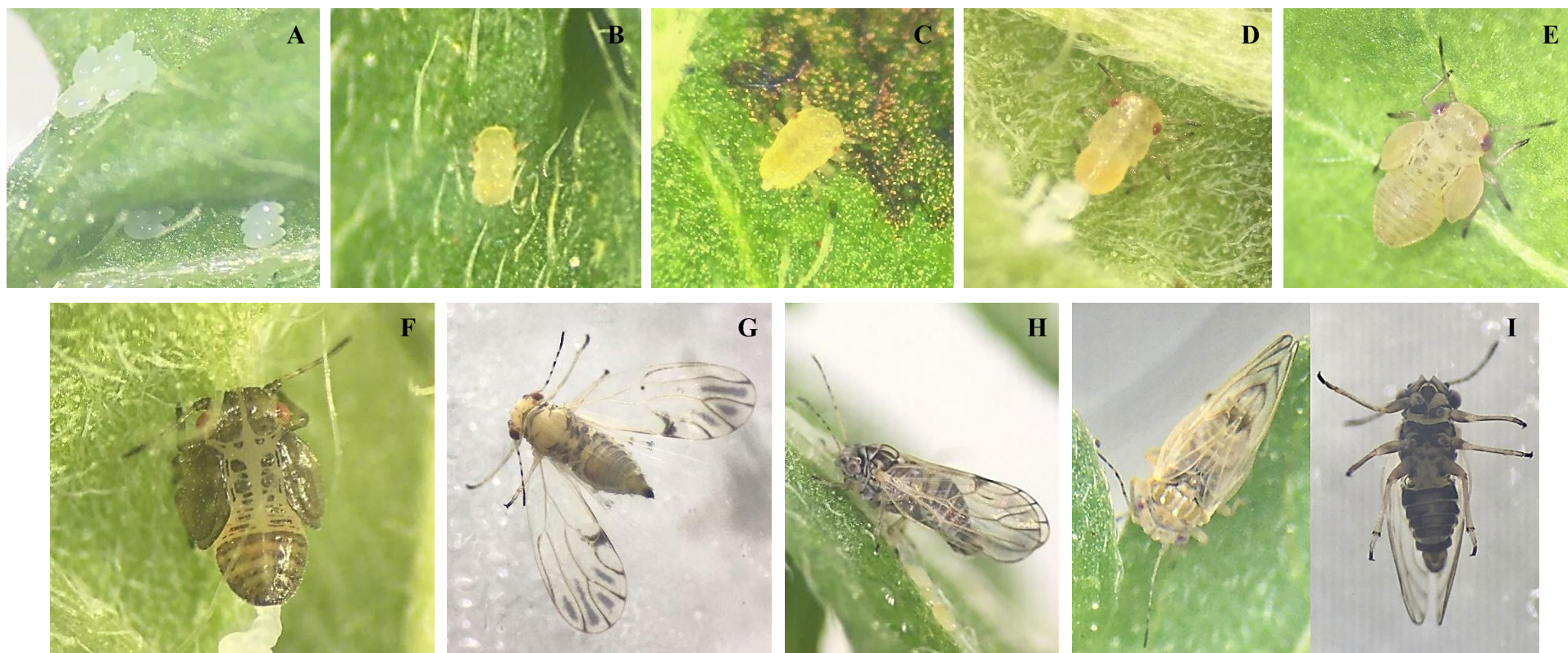
5.2.7 Adultos

Na fase adulta, as asas são membranosas, semitransparentes e apresentam coloração branca, com veias esfumadas em direção ápice (Figura 7 - G). A cabeça e o tórax exibem coloração amarelada com listras castanhas longitudinais no dorso torácico, enquanto o abdômen é marrom e as pernas apresentam coloração clara (Figura 7 - H e I). As metatíbias são desarmadas na base, contendo de seis a oito espinhos apicais.

Os resultados do comprimento médio obtidos neste estudo foram de $1,9 \pm 0,018$ mm (Figura 8), valor que se encontra dentro da faixa mencionada na literatura, que varia de 1 a 2 mm, considerando indivíduos com as asas em repouso.

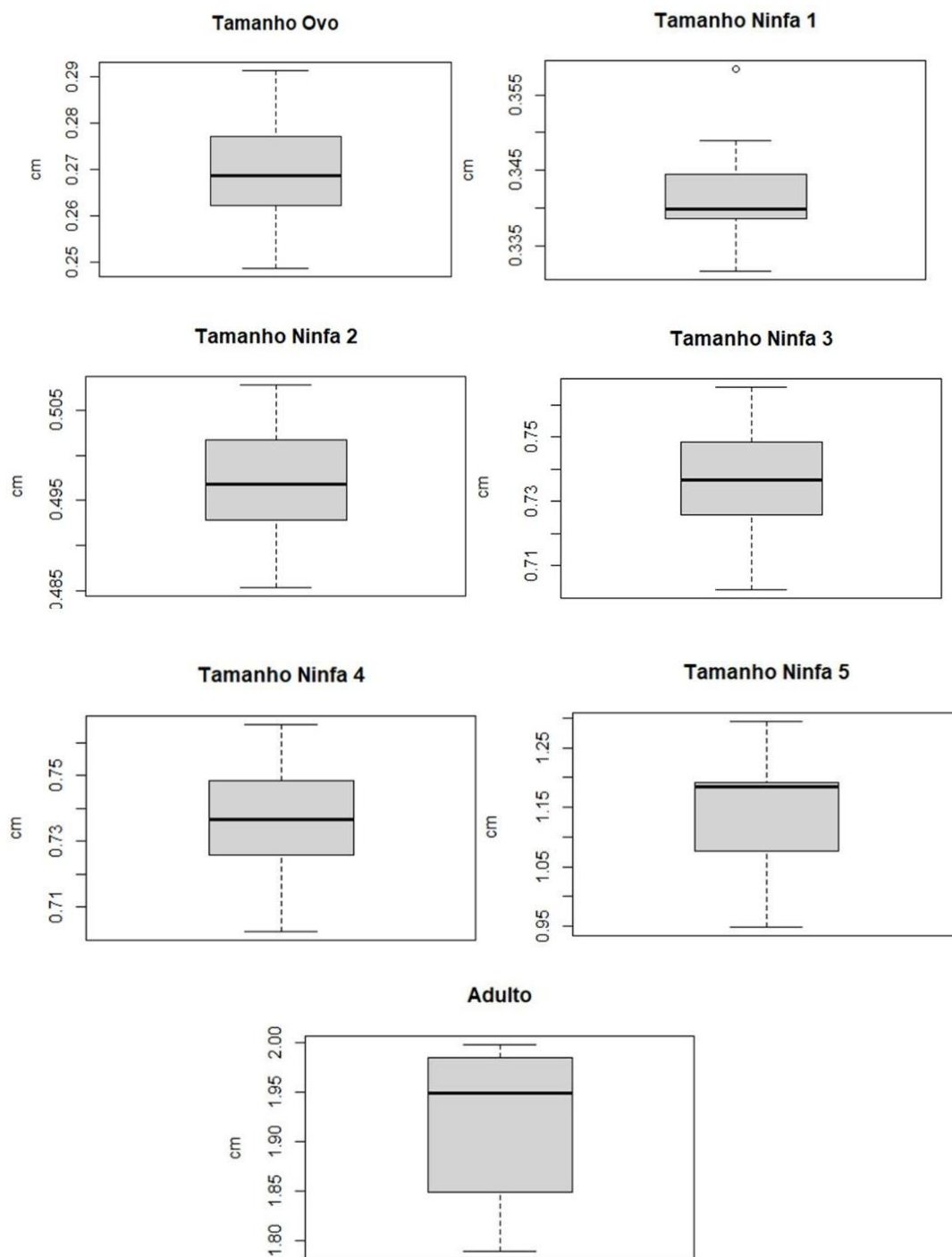
É importante destacar que, na fase adulta, *R. solanicola* está bem documentado na literatura, com contribuições relevantes de Burckhardt (1987), Romero (1995), e Serbina e Burckhardt (2017), incluindo informações detalhadas e ilustrações sobre sua morfologia e terminologia sexual.

Figura 7 – Fases de desenvolvimento de *Russelliana solanicola*: A) Ovos. B) Ninfa I. C) Ninfa II. D) Ninfa III. E) Ninfa IV. F) Ninfa V. G) Adulto alado. H) Macho adulto (vista lateral). I) Fêmea adulta: vista dorsal e vista ventral.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 8 - Gráfico boxplot exibindo a média da medida de comprimento de *Russelliana solanicola* nas diferentes fases de desenvolvimento: ovo, ninfa I, ninfa II, ninfa III, ninfa IV, ninfa V, adulto.



5.3 Desenvolvimento de *R. solanicola* em losna-branca

Quanto à descrição dos ovos, ao desenvolvimento e aos hábitos, os resultados obtidos são semelhantes aos descritos por Mamani (1999) e Pantaleon Ccoa (2015). A oviposição pode ocorrer nas pontas de crescimento, nos caules ou na superfície superior ou inferior das folhas. Após a eclosão, as ninfas do primeiro estágio (ninfá I) apresentam comportamento lento; a ninfa do segundo estágio (ninfá II) migra para as pontas e para a face inferior das folhas em crescimento; já as ninfas dos estágios III, IV e V apresentam maior mobilidade.

Referentes à duração média, os resultados obtidos, em dias, para o desenvolvimento dos ovos e dos estágios ninfais de *R. solanicola* em losna-branca são apresentados na Tabela 1. O tempo médio de duração da fase imatura foi de $24,92 \pm 1,55$ dias, sendo os valores similares aos obtidos por outros trabalhos.

Tabela 1. Duração (em dias) $\pm$ erro padrão (EP) do desenvolvimento das fases de ovo e ninfa de *Russelliana solanicola*, mantidos a $24 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de umidade relativa e fotofase de 12 horas, em plantas de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*).

Fase	Média $\pm$ EP (dias)
Ovo	$6,36 \pm 0,76$
Ninfá I	$3,88 \pm 0,67$
Ninfá II	$3,92 \pm 0,49$
Ninfá III	$3,48 \pm 0,77$
Ninfá IV	$3,84 \pm 0,55$
Ninfá V	$3,44 \pm 0,58$
Período ninfal	$18,56 \pm 1,29$
Ovo até adulto	$24,92 \pm 1,55$

Comparado ao estudo de Zuñiga (1991), no qual *R. solanicola* foi criada em plantas de batata, observou-se uma redução considerável no tempo de desenvolvimento da fase imatura quando criado em losna-branca. Em plantas de batata, essa fase apresentou duração média de 29 a 31 dias, sendo 9 a 10 dias referentes à fase de ovo e 20 a 21 dias correspondentes ao desenvolvimento ninfal.

O ciclo biológico pode ser influenciado por diversos fatores, como a temperatura e o hospedeiro. De acordo com Gamarra (2019), a temperatura destaca-se como o

principal fator que afeta tanto o ciclo quanto o comportamento das diferentes espécies de insetos.

5.4 Média de oviposição e viabilidade dos ovos

Após atingirem a fase adulta, a cópula ocorre em um período de 24 a 48 horas (Zúñiga, 1991; Romero, 1995). Em uma amostra de 25 fêmeas de *R. solanicola*, a média da taxa de oviposição foi de $149,96 \pm 28,63$ ovos (total de 3.749 ovos), com valores mínimo e máximo de 106 e 202 ovos, respectivamente (Figura 9).

A média de oviposição observada neste estudo está em concordância com as observações anteriores e sugere um comportamento reprodutivo típico da espécie. Em plantas de batata, a média de oviposição de *R. solanicola* foi de 101 ovos, contabilizados após dez eventos de oviposição (ZUÑIGA, 1991).

Em um ensaio sobre preferência de oviposição em diferentes plantas hospedeiras, Kuhn (2018) observou variações na oviposição de *R. solanicola* após um período de avaliação de 48 horas. O número médio de ovos foi superior em cenoura ($26,4 \pm 2,3$ ovos) em relação às demais plantas cultivadas (batata, pimenta, pimentão, tomate). No outro grupo testado, contendo as plantas espontâneas caruru, joá-de-capote, losna-branca, maria-pretinha e picão-preto, a média de oviposição foi superior em losna-branca ($75,8 \pm 12$ ovos) em comparação com as demais, não ocorrendo oviposição em caruru, o que evidencia a losna-branca como potencial hospedeiro para *R. solanicola*.

A viabilidade média de ovos foi de 86,56%, de um total de 3.749 ovos, similar ao resultado obtido por Kuhn (2018), que esteve entre 93,1 e 100%, para as diferentes plantas hospedeiras mencionadas. A viabilidade de adultos foi de 67,54% (Figura 9).

5.5 Razão Sexual

A determinação da razão sexual foi realizada com base no número de indivíduos que atingiram o estágio adulto. No total, foram observados 2.613 exemplares, sendo 1.150 machos e 1.463 fêmeas. O cálculo da razão sexual resultou em um valor de 0,56, indicando uma leve predominância de fêmeas, conforme apresentado na Tabela 2.

Figura 9 — Viabilidade da prole de *Russelliana solanicola* obtida a partir de 25 casais confinados em gaiolas do tipo clip-cage em mudas de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*).

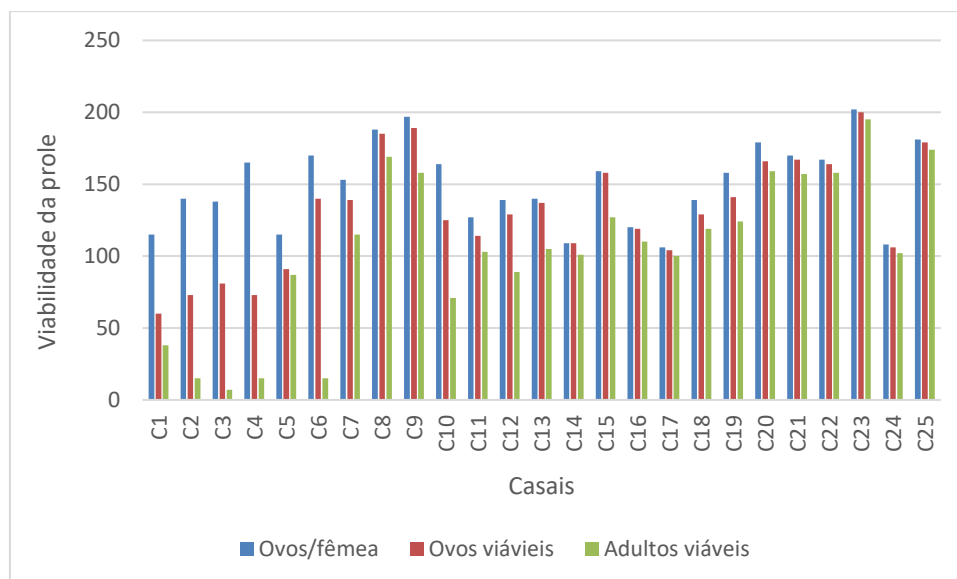


Tabela 2. Número de indivíduos por gênero, total de indivíduos, razão sexual e erro padrão ($T = 24 \pm 2^\circ\text{C}$; $UR = 70 \pm 10\%$; fotofase 12 horas) obtidos a partir da prole produzida por 25 casais de *Russelliana solanicola*.

Número de indivíduos	
Machos	1.150
Fêmeas	1.463
Total	2.613
Razão sexual	0,56

5.6 Longevidade de adultos

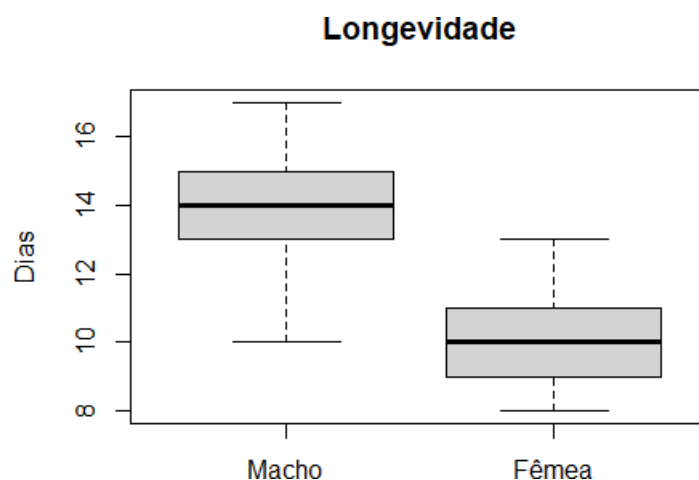
Os resultados obtidos revelaram a média de longevidade, conforme ilustrado na Figura 10. Para os machos, a longevidade média foi de $13,64 \pm 0,51$ dias, variando entre 10 e 17 dias. Em contrapartida, as fêmeas apresentaram uma longevidade média de $10,64 \pm 0,25$ dias, com variação de 8 a 13 dias.

É importante destacar que, nesse contexto, as fêmeas desenvolveram uma longevidade inferior em comparação aos machos, indicando a presença de diferenças na taxa de sobrevivência entre os sexos.

A sobrevivência média de adultos, medida em dias, foi investigada por Kuhn (2018) em diferentes hospedeiros. Em plantas cultivadas, como cenoura e batata, a

longevidade média foi de 4,4 e 3,4 dias, respectivamente. Em contraste, em plantas espontâneas, como maria-pretinha, losna-branca e jóa-de-capote, a sobrevivência variou de 12,3 a 14,6 dias. Esses resultados evidenciam a influência do hospedeiro na longevidade dos insetos e corroboram os valores observados para losna-branca no presente estudo.

Figura 10 — Longevidade de machos e fêmeas de *Russelliana solanicola* ($T = 24 \pm 2^\circ\text{C}$; $UR = 70 \pm 10\%$; fotofase 12 horas) mantidos em plantas de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*).



5.7 Curva de sobrevivência

As curvas de sobrevivência apresentadas na **Figura 2** ilustram a variação da sobrevivência de *R. solanicola* ao longo de seu ciclo de vida, desde a eclosão dos ovos até a emergência dos adultos. Do número inicial de 3.749 ovos, 3.245 indivíduos atingiram o primeiro ínstar ninfal, correspondendo a uma mortalidade de 13,44% na fase de ovo.

Durante as transições subsequentes entre os estádios de desenvolvimento, a mortalidade diminuiu progressivamente para 9,43% do primeiro para o segundo ínstar (2.939 indivíduos), 4,08% do segundo para o terceiro ínstar (2.819 indivíduos), 3,83% do terceiro para o quarto ínstar (2.711 indivíduos), 3,73% do quarto para o quinto ínstar (2.610 indivíduos) e 2,99% do quinto ínstar até a fase adulta (2.532 indivíduos), indicando baixa mortalidade nos estádios mais avançados de desenvolvimento. De modo geral, a taxa de sobrevivência do ovo ao adulto foi de 67,54%, correspondendo a uma mortalidade acumulada de 32,46%.

A redução gradual das taxas de mortalidade ao longo do desenvolvimento

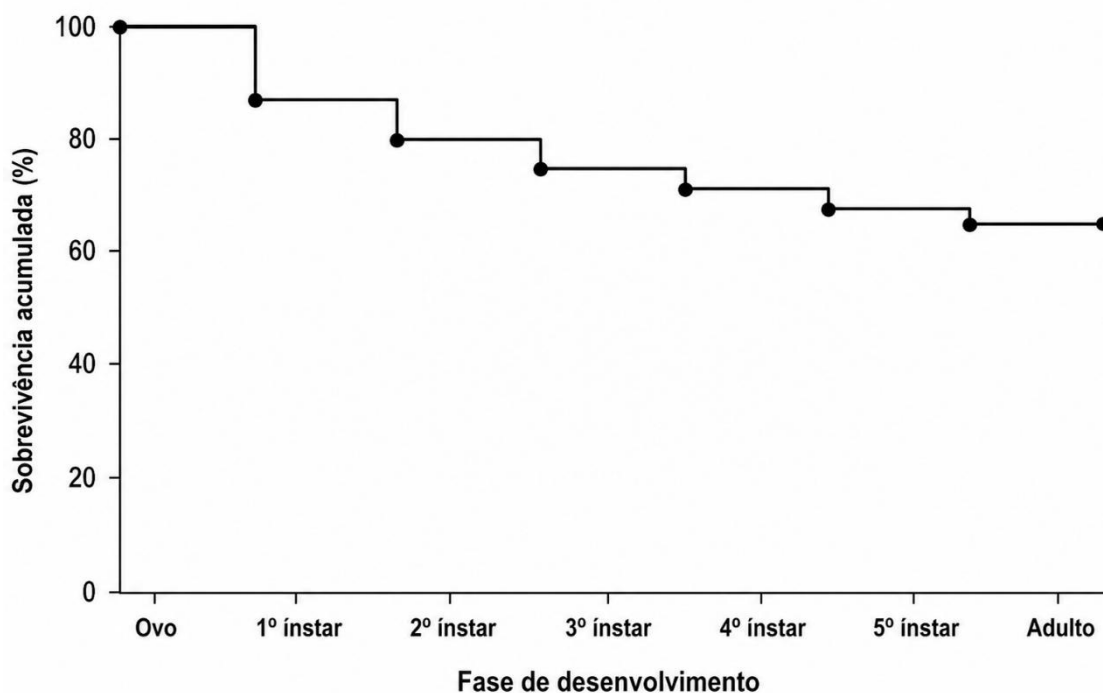
sugere aumento da resistência e adaptação dos indivíduos. Ainda assim, a mortalidade nos estágios finais evidencia a necessidade de compreender a suscetibilidade de *R. solanicola* em diferentes fases do ciclo de vida, especialmente pelo seu potencial impacto em plantas hospedeiras como a losna-branca.

Em *B. cockerelli* (psílideo-da-batata), o ciclo de vida é fortemente influenciado pela temperatura ambiente, sendo que elevações térmicas podem reduzir a oviposição, a taxa de eclosão e a sobrevivência. Em condições de temperaturas extremas, esses processos podem ser completamente interrompidos (BUTLER; TRUMBLE, 2012; CERNA-CHÁVEZ et al, 2018; YANG et al, 2013). Além disso, Yang e Liu (2009) registraram uma taxa de sobrevivência de 34% nos estádios imaturos de *B. cockerelli* em condições controladas de laboratório, com variações expressivas associadas à troca de hospedeiro, sugerindo influência dos mecanismos de resistência das plantas. Em relação à viabilidade reprodutiva, Yang et al. (2013) observaram taxas de infertilidade entre 11,3% e 14,5% em condições de campo e laboratório, valores próximos aos reportados por Cerna-Chávez et al. (2018), que identificaram de 1,4% a 10% de ovos inviáveis.

Com base nos resultados obtidos e em estudos anteriores, é possível identificar tanto similaridades quanto diferenças nos padrões de sobrevivência e desenvolvimento entre diferentes espécies de psílideos. Em *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae), por exemplo, Pérez-Artiles et al. (2017) relataram elevada mortalidade no primeiro estágio ninfal, com apenas 7% da população inicial atingindo a fase adulta. Esse padrão é consistente com a alta mortalidade registrada para *R. solanicola* no estágio inicial, sugerindo que, em ambas as espécies, essa fase representa um ponto crítico de vulnerabilidade no ciclo de vida.

Contudo, conforme destacado por Velez-Gavilan (2022), a investigação sobre a biologia de *R. solanicola* ainda é limitada, com poucos detalhes disponíveis sobre sua bioecologia e desenvolvimento. A análise dos padrões de sobrevivência e desenvolvimento observados reforça a importância de compreender a sensibilidade dessa espécie às condições ambientais, especialmente considerando a alta mortalidade nos estágios iniciais do ciclo de vida.

Figura 11 — Curva de sobrevivência de *Russelliana solanicola* ao longo dos estádios de desenvolvimento, desde a fase de ovo até a emergência dos adultos.



6. CONCLUSÕES

1. Foram desenvolvidas duas gaiolas para a criação de *R. solanicola*, acessíveis e eficazes, e que proporcionaram um ambiente adequado para o seu manejo, visualização e contenção dos insetos, o que poderá contribuir para estudos futuros com a espécie;
2. Os resultados demonstram que *R. solanicola* é capaz de completar seu ciclo biológico em losna-branca (*P. hysterophorus*);
3. A razão sexual de 0,56 leve predominância de fêmeas, próxima ao equilíbrio;
4. A mortalidade foi maior nas fases iniciais, e reduziu gradativamente ao longo do desenvolvimento de *R. solanicola*.

7. REFERÊNCIAS

- ABAD, J. A.; BLANDA, M.; FRENCH-MONAR, R. R.; LIEFTING, L. W.; CLOVER, G. R. G. First report of the detection of '*Candidatus Liberibacter*' species in zebra chip disease-infected potato plants in the United States. **Plant Disease**, v. 93, n. 1, p. 108-108, 2009.
- ALVES, G. R.; BELOTI V. H.; FAGGIONI FLORIANO, K. M. et al. Practical and simple systems for food intake studies on phloem-sucking insects. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 1, p. 156-160. 2021.
- AWMACK, C. S.; LEATHER, S. R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual Review of Entomology**, v. 47, n. 1, p. 817-844, 2002.
- BECERRA, J. X.; VENABLE, D. Macroevolution of insect–plant associations: the relevance of host biogeography to host affiliation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 22, p. 12626-12631, 1999.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T.; GOTO, R.; BRAGA, R.S.; HACHMANN, T.L. Solanáceas. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto [online]**. Maringá: EDUEM, 2018. p. 37-70.
- BURCKHARDT, D. Jumping plant lice (Homoptera: Psylloidea) of the temperate neotropical region. Part 1: Psyllidae (subfamilies Aphalarinae, Rhinocolinae and Aphalaroidinae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 89, n. 4, p. 299–392, 1987.
- BURCKHARDT, D.; DE QUEIROZ, D. Checklist and comments on the jumping plant-lice (Hemiptera: Psylloidea) from Brazil. **Zootaxa**, v. 3571, n. 1, p. 26–48-26–48, 2012.
- BURCKHARDT, D.; OUVARD, D.; PERCY, D. M. An updated classification of the jumping plant-lice (Hemiptera: Psylloidea) integrating molecular and morphological evidence. **European Journal of Taxonomy**, v. 736, p. 137-182, 2021.
- BURCKHARDT, D.; QUEIROZ, D. L.; REZENDE, M. Q.; QUEIROZ, E. C.; BOUVET, J. P. The capsicum psyllid, *Russelliana capsici* (Hemiptera, Psylloidea), a pest on *Capsicum annuum* (Solanaceae) in Argentina and Brazil. **Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft**, v. 85, p. 71-78, 2012.
- BURCKHARDT, D.; SANTANA, D. L. Q.; TERRA, A. L.; DE ANDRADE, F. M.; PENTEADO, S. R. C.; IEDE, E. T.; MOREY, C. S. Psyllid pests (Hemiptera, Psylloidea) in South American eucalypt plantations. **Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft**, v. 72, p. 1-10, 1999.

- BUTLER, C. D.; TRUMBLE, J. T. The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. **Terrestrial Arthropod Reviews**, v. 5, p. 87-111, 2012.
- BUTLER, G. D.; LÓPEZ, J. D. *Trichogramma pretiosum*: 1 development in two hosts in relation to constant and fluctuating temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 73, n. 6, p. 671–673, 1980.
- CABETTE, H. S. R. Técnicas para criação e isolamento de pulgões (Homoptera, Aphididae) em sorgo, no laboratório e no campo. **Acta Biológica Paranaense**, v. 21, 1992.
- CERNA-CHÁVEZ, E.; HERNÁNDEZ-BAUTISTA, O.; OCHOA-FUENTES, Y. M.; LANDEROS-FLORES, J. AGUIRRE-URIBE, L. A. E HERNÁNDEZ-JUÁREZ, A. Morfometría de inmaduros y tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) de poblaciones del noreste de México. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44, n. 1, p. 53-60, 2018.
- CHARKOWSKI, A.; SHARMA, K.; PARKER, M. L.; SECOR, G. A; ELPHINSTONE, J. Bacterial diseases of potato. In: CAMPOS H.; ORTIZ, O. (Eds.). **The potato crop: its agricultural, nutritional and social contribution to humankind**, 2020. p. 351-388.
- CHÁVEZ, R.; SALAZAR, L.; UPADHYA, M.; CHUJOY, E.; CABELLO, R.; GARCIA, A.; LINARES, J. Susceptibilidad y resistencia genética de campo al nuevo virus de la papa SB-29 en poblaciones tetraploides de papa (*Solanum tuberosum* L. 2n= 4x= 48 AAAA) en agroecosistemas áridos. **Idesia**, v. 21, n. 1, p. 9-22, 2003.
- CONTRERAS-RENDÓN, A.; SÁNCHEZ-PALE, J. R.; FUENTES-ARAGÓN, D.; ALANÍS-MARTÍNEZ, I.; SILVA- ROJAS, H. V. Conventional and qPCR reveals the presence of ‘*Candidatus* Liberibacter solanacearum’ haplotypes A, and B in *Physalis philadelphica* plant, seed, and *Bactericera cockerelli* psyllids, with the assignment of a new haplotype H in Convolvulaceae. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 113, n. 4, p. 533-551, 2020.
- COSTA LIMA, A. M. **Insetos do Brasil, Homoptera**. v. 3. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1942. 141 p.
- D'ARCY, WILLIAM G. The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. In: HAWKES, J.G.; LESTER, R.N.; NEE, M.; ESTRADA, N. (Eds.). **Solanaceae III. Taxonomy, Chemistry and Evolution**, 1991. p. 75-137.
- EPPO. New data on quarantine pests and pests of the EPPO alert list. EPPO Reporting Service no. 02/2019. Num. Artigo 2019/027. Disponível em:

- <<https://gd.eppo.int/reporting/article-6457>>. Acesso em: 01 out. 2023
- ERENS, J.; ESVAN, S.; HAVERKORT, F.; KAPSOMENOU, E.; LUJIBEN, A. **A bug's life large-scale insect rearing in relation to animal welfare**. Wageningen, 2012. 57 p.
- FACTOR, T. L. **Produção de minitubérculos de batata semente em sistemas hodropônicos NFT, DFT e Aeroponia**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 01 out. 2023.
- FERA – The Food and Environment Research Agency. Rapid pest risk analysis for *Candidatus Liberibacter solanacearum*. 2014. Disponível em: <<http://www.fera.defra.gov.uk/plants/plantHealth/pestsDiseases/documents/candidatusLS.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2023.
- FLETCHER, B. S. Temperature-development rate relationships of the immature stages and adults of Tephritid fruit flies. In: ROBSON, A. S.; HOOPER, G. (Ed.). **Fruit flies: their biology natural enemies and control**. New York: Elsevier Science Publisher, 1989. p. 209-232.
- FUTUYMA, D. J.; MITTER, C. Insect—plant interactions: The evolution of component communities. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 351, n. 1345, p. 1361-1366, 1996.
- GAMARRA, H. Modelo fenológico de *Bactericera cockerelli* para evaluar el riesgo de su propagación utilizando la herramienta “Insect life cycle modelling” (ILCYM). 2019.
- GÓMEZ-TORRES, M. L. **Estudos bioecológicos de *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) para o controle de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1907 (Hemiptera: Psyllidae)**. 2009. Tese (Doutorado em Entomologia). Universidade de São Paulo.
- GREEN, T. R.; RYAN, C. Av. Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: a possible defense mechanism against insects. **Science**, v. 175, n. 4023, p. 776-777, 1972.
- HAAPALAINEN, M. Biology and epidemics of *Candidatus Liberibacter* species, psyllid-transmitted plant-pathogenic bacteria. **Annals of Applied Biology**, v. 165, n. 2, p. 172-198, 2014.

- HAAPALAINEN, M. et al. Genetic variation of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ haplotype C and identification of a novel haplotype from *Trioza urticae* and stinging nettle. **Phytopathology**, v. 108, n. 8, p. 925-934, 2018.
- HAAPALAINEN, M.; LATVALA, S.; WICKSTROM, A.; WANG, J.; PIRHONEN, M.; NISSINEN, A. I. A novel haplotype of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ found in Apiaceae and Polygonaceae family plants. **European Journal of Plant Pathology**, v. 156, p. 413-423, 2020.
- HANSEN, A. K.; TRUMBLE, J. T.; STOUTHAMER, R.; POCHEZ, R. L. A new huanglongbing species, “*Candidatus Liberibacter psyllauros*,” found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 18, p. 5862-5865, 2008.
- HARRISON, K.; TAMBORINDEGUIM C.; SCHEURING, D. C.; HERRERA, A. M.; SILVA, A.; BADILLO-VARGAS, I. E.; LEVY, J. G. Differences in zebra chip severity between ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ haplotypes in Texas. **American Journal of Potato Research**, v. 96, p. 86-93, 2019.
- HERNÁNDEZ-DEHEZA, M. G.; ROJAS-MARTINEZ, R. I.; RIVERA-PENÑA, A. ZAVALA-MEJIA, E.; OCHOA-MARTÍNEZ, D. L.; CARRILLO-SALAZAR, A. Resistance in potato to two haplotypes of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’. **Journal of Plant Pathology**, v. 100, p. 191-196, 2018.
- HODKINSON, I. D. Life cycle variation and adaptation in jumping plant lice (Insecta: Hemiptera: Psylloidea): a global synthesis. **Journal of Natural History**, v. 43, n. 1-2, p. 65-179, 2009.
- HODKINSON, I. D. The biology of the Psylloidea (Homoptera): a review. **Bulletin of Entomological Research**, v. 64, n. 2, p. 325-338, 1974.
- IBGE. Em abril, IBGE prevê safra de 261,5 milhões de toneladas para 2022. Agência de Notícias. 12 de maio 2023. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/33717-em-abril-ibge-preve-safra-de-261-5-milhoes-de-toneladas-para-2022>>. Acesso em: 16 set. 2023.
- JÁCOME-MOGRO, E.; AUZ-CARVAJAL, D.; MARÍN-QUEVEDO, K.; MOGRO-CEPEDA, Y.; JIMÉNEZ-JÁCOME, C. Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*, vector de la enfermedad de punta morada (*Candidatus liberobacter*) en solanáceas, en los andes centrales ecuatorianos. **Revista Investigación Agraria**, v. 4, n. 1, p. 26-37, 2022.
- KENT, D.; TAYLOR, G. Two new species of *Acizzia* Crawford (Hemiptera: Psyllidae)

- from the Solanaceae with a potential new economic pest of eggplant, *Solanum melongena*. **Australian Journal of Entomology**, v. 49, n. 1, p. 73-81, 2010.
- KOGAN, M. Criação de insetos: bases nutricionais e aplicação em programas de manejo de pragas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 6., 1980. **Anais...** Fundação Cargill. 321p.
- KUHN, T. M. A. **Psilídeos (Hemiptera: Psylloidea) associados a olerícolas e estudo das interações com suas plantas hospedeiras**. 2018. Tese (Doutorado em Entomologia). Universidade de São Paulo, 2018.
- LIEFTING, L.W.; WEIR, B. S.; PENNYCOOK, S. R. CLOVER, G. R. G. 'Candidatus *Liberibacter solanacearum*', associated with plants in the family Solanaceae. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 9, p. 2274-2276, 2009.
- MAMANI, G. Control integrado de las pestes del cultivo de la papas. **Boletín informativo**. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru. 1999.
- MANZANERA, A. S. M. C.; SANTIAGO CALVO, Y.; PALOMO GÓMEZ, J. L.; MARQUÍNEZ RAMÍREZ, R.; BASTIN, S.; GARCIA MENDEZ, E.M.; HERNÁNDEZ SUÁREZ, E.; SIVERIO DE LA ROSA, F. Survey of *Candidatus Liberibacter solanacearum* and its associated vectors in potato crop in Spain. **Insects**, v. 13, n. 10, p. 964–964, 2022.
- MAUCK, K. E.; SUN, P.; MEDURI, V. R.; HANSEN, A. K. New *Ca. Liberibacter psyllae* haplotype resurrected from a 49-year-old specimen of *Solanum umbelliferum*: A native host of the psyllid vector. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 9530, 2019.
- RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B DE; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos Editora. 2012. 810 p.
- MUNYANEZA, J. E. Psyllids as vectors of emerging bacterial diseases of annual crops. **Southwestern Entomologist**, v. 35, n. 3, p. 471-477, 2010.
- MUNYANEZA, J. E.; CROSSLIN, J. M.; UPTON, J. E. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "zebra chip," a new potato disease in southwestern United States and Mexico. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 3, p. 656-663, 2007.
- MUNYANEZA, J. E.; FISHER, T. W.; SENGODA, V. G.; GARCZYNSKI, S. F.; NISSINEN, A.; LEMMETTY, A. First report of" *Candidatus Liberibacter*

- solanacearum" associated with psyllid-affected carrots in Europe. **Plant Disease**, v. 94, n. 5, p. 639, 2010b.
- MUNYANEZA, J. E.; HENNE, D. C. Leafhopper and psyllid pests of potato. In: (Ed. GIORDANENGO, P.; VINCENT, C.; ALYOKHIN, A. (Eds.). **Insect pests of potato: global perspectives on biology and management**. Oxfordshire: Academic Press, 2012. p. 65-102.
- MUNYANEZA, J. E.; SWISHER, K. D.; HOMMES, M.; WILLHAUCK, A.; BUCK, H.; MEADOW, R. First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' associated with psyllid-infested carrots in Germany. **Plant Disease**, v. 99, n. 9, p. 1269, 2015.
- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. ImageJ, Image processing and analysis in Java. Bethesda, USA: National Institutes of Health; 2023. Disponível em: <<https://imagej.net/ij/index.html>>.
- NELSON, W. R.; FISHER, T. W.; MUNYANEZA, J. E. Haplotypes of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" suggest long-standing separation. **European Journal of Plant Pathology**, v. 130, p. 5-12, 2011.
- NOLDUS, L. P. J. J. Semiochemicals, foraging behaviour and quality of entomophagous insects for biological control. **Journal of Applied Entomology**, v. 108, p. 425-451, 1989.
- OSSIANNILSON, F. L.; RUSSEL M.; WEBER, H. Homoptera. In: TUXEN, S. L. (Ed.). **Taxonomist's glossary of genitalia in insects**. Munksgaard, Copenhagen and SH Service Agency, Darien, 1970. 359 p.
- OUVRARD, D.; CHALISE, P.; PERCY, D. M. Host-plant leaps versus host-plant shuffle: a global survey reveals contrasting patterns in an oligophagous insect group (Hemiptera, Psylloidea). **Systematics and Biodiversity**, v. 13, n. 5, p. 434-454, 2015.
- PANTALEON CCOA, A. H. Control químico y biológico de *Russelliana solanicola* tuthill en papa cv. Única en clima subtropical árido, Pedregal - Majes. repositorio.unsa.edu.pe, 2015.
- PARRA, J. R. P. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. Editora Manole Ltda, 2002.
- PERCY, D. M. Radiation, diversity, and host-plant interactions among island and continental legume-feeding psyllids. **Evolution**, v. 57, n. 11, p. 2540-2556, 2003.
- PERCY, D. M.; CRAMPTON-PLATT, A.; SVEINSSON, S.; LEMMON, A. R.; LEMMON E. M.; OUVRARD D.; BURCKHARDT, D. Resolving the psyllid tree of life: phylogenomic analyses of the superfamily Psylloidea (Hemiptera). **Systematic**

- Entomology**, v. 43, n. 4, p. 762-776, 2018.
- PERCY, D. M.; CRONK, Q. CB. Different fates of island brooms: contrasting evolution in *Adenocarpus*, *Genista*, and *Teline* (Genisteae, Fabaceae) in the Canary Islands and Madeira. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 5, p. 854-864, 2002.
- PERCY, D. M.; PAGE, R. DM; CRONK, Q. C. B. Plant–insect interactions: double-dating associated insect and plant lineages reveals asynchronous radiations. **Systematic Biology**, v. 53, n. 1, p. 120-127, 2004.
- PÉREZ-ARTILES, L.; BUSOLI, A. C.; SOTELO, P. A.; ARCILA, A. M. Biología y parámetros reproductivos de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en diferentes hospederos de Rutaceae. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 43, n. 2, p. 141-150, 2017.
- POZO M. H. Identificación y fluctuación poblacional de la cigarrita marrón de la papa en la campiña de Arequipa [(Perú)]. Sociedad Entomológica del Peru, Lima, 1993.
- QUESADA MORAGA, E.; SANTIAGO-ALVAREZ, C. Rearing and breeding of the Moroccan locust *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg) (Orthop., Acrididae) under laboratory conditions. **Journal of Applied Entomology**, v. 125, n. 3, p. 121-124, 2001.
- R CORE TEAM. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. 2023.
- ROMERO, G. **Control de *Russelliana solanicola* Tuthil (Homóptera: Liliidae), con hongos entomopatógenos en laboratorio e invernadero**. 1995. Tese Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- SALAZAR, L. F. Emerging and re-emerging potato diseases in the Andes. **Potato Research**, v. 49, p. 43-47, 2006.
- SECOR, G. A.; RIVERA, V. V.; ABAD, J. A.; LEE, I. M.; CLOVER, G. R. G.; LIEFTING, L. W.; DE BOER, S. H. Association of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' with zebra chip disease of potato established by graft and psyllid transmission, electron microscopy, and PCR. **Plant Disease**, v. 93, n. 6, p. 574-583, 2009.
- SENGODA, V. G.; BUCHMAN, J. L.; HENNE, D. C.; PAPPU, H. R.; MUNYANEZA, J. E. "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" titer over time in *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) after acquisition from infected potato and tomato plants. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 5, p. 1964-1972, 2013.
- SERBINA, L.; BURCKHARDT, D. Systematics, biogeography and host-plant

- relationships of the Neotropical jumping plant-louse genus *Russelliana* (Hemiptera: Psylloidea). **Zootaxa**, v. 4266, n. 1, p. 1-114, 2017.
- SERBINA, L.; BURCKHARDT, D.; BIRKHOFER, K.; SYFERT, M.; HALBERT, S. E. The potato pest *Russelliana solanicola* Tuthill (Hemiptera: Psylloidea): taxonomy and host-plant patterns. **Zootaxa**, v. 4021, n. 1, p. 33-62, 2015.
- SILVA, G. O. da, A. M. **Sistema de produção da batata, composição. Sistemas de Produção**, 8. Versão Eletrônica. 2. ed. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/composicao-nutricional>>. Acesso em: 21 out. 2023.
- SIMON, J. C.; D'ALERÇON, E.; GUY, E.; JACQUIN-JOLY E., JAQUIÉRY, J.; NOUHAUD, P.; PECCOUD, J.; SUGIO A.; STREIFF, R. Genomics of adaptation to host-plants in herbivorous insects. **Briefings in Functional Genomics**, v. 14, n. 6, p. 413-423, 2015.
- SINGH, G. Physiology of shoot gal formation and its relationship with juvenility and flowering in mango. **Acta Horticulturae**, v. 509, p. 803-810, 2000.
- SOUTHWOOD, T. R. E. The construction, description and analysis of age-specific life-tables. In: **Ecological methods**: with particular reference to the study of insect populations, 1978. p. 356-387.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.
- STERN, V. M.; BOWEN, W. Ecological studies of *Trichogramma semifumatum*, with notes on *Apanteles medicaginis*, and their suppression of *Colias eurytheme* in Southern California. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 56, n. 3, p. 358-372, 1963.
- STOKSTAD, E. The new potato. **Science**, v. 363, n. 6427, p. 574–577, 2019.
- SUMNER-KALKUN, J. C.; HIGHET, F.; ARNSDORF, Y. M.; BACK, E.; CARNEGIE, M.; MADDEN, S.; CARBONI, S.; BILLAUD, W.; LAWRENCE, Z.; KENYON, D. ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ distribution and diversity in Scotland and the characterisation of novel haplotypes from *Craspedolepta* spp. (Psyllidae: Aphalaridae). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 16567, 2020.
- SWISHER-GRIMM, K. D.; HORTON, D. R.; LEWIS, T. M.; GARCZYNSKI S. F.; JENSEN, A. S.; CHARLTON, B. A. Identification of three new ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’haplotypes in four psyllid species (Hemiptera:

- Psylloidea). **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 20618, 2022.
- SWISHER GRIMM, K. D.; GARCZYNSKI, S. F. Identification of a new haplotype of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' in *Solanum tuberosum*. **Plant Disease**, v. 103, n. 3, p. 468-474, 2019.
- SYFERT, M. M.; SERBINA, L.; BURCKHARDT, D.; KNAPP, S.; PERCY, D.M. Emerging new crop pests: Ecological modelling and analysis of the South American potato psyllid *Russelliana solanicola* (Hemiptera: Psylloidea) and its wild relatives. **PloS One**, v. 12, n. 1, p. e0167764, 2017.
- TAYLOR, K. L. A new Australian species of Ctenarytaina Ferris and Klyver (Hemiptera: Psyllidae: Spondyliaspidae) established in three other countries. **Australian Journal of Entomology**, v. 36, n. 2, p. 113-115, 1997.
- TECK, SLC.; FATIMAH, A.; BEATTIE, A.; HENG, RQJ; KING, W. S. Influence of host plant species and flush growth stage on the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 6, n. 4, p. 536-543, 2011.
- TENORIO, J.; CHUQUILLANQUI, C.; GARCIA, A.; GUILLÉN, M.; CHAVEZ, R.; SALAZAR, L. F. Symptomology and effect on potato yield of the new virus transmitted through the psyllid *Russelliana solanicola*. **Fitopatologia**, v. 38, p. 32-36, 2000.
- TERESANI, G.R.; BERTOLINI, E.; ALFARO FERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ, C.; TANAKA, F. A. O.; KITAJIMA E. W.; ROSELLÓ, M.; SANJUÁN, S.; FERRÁNDIZ, J. C.; LÓPEZ, M. M., et al. Association of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' with a vegetative disorder of celery in Spain and development of a real-time PCR method for its detection. **Phytopathology**, v. 104, n. 8, p. 804-811, 2014.
- TERESANI, G.R.; BERTOLINI, E.; ALFARO-FERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ, C.; TANAKA, F.A.O.; KITAJIMA, E.W.; ROSELLÓ, M.; SANJUÁN, S.; FERRÁNDIZ, J.C.; LÓPEZ, M.M.; CAMBRA, M.; FONT, M.I. Association of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' with a vegetative disorder of celery in Spain and development of a real-time PCR method for its detection. **Phytopathology**, v. 104, n. 8, p. 804-811, 2014.
- TORRES, G. L.; COOPER, W. R.; HORTON, D. R.; SWISHER, K. D.; GARCZYNSKI, S. F.; MUNYANEZA, J. E.; BARCENAS, N. M. Horizontal transmission of "Candidatus Liberibacter solanacearum" by *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trioziidae) on convolvulus and ipomoea (Solanales: Convolvulaceae). **PLoS One**, v.

- 10, n. 11, p. e0142734, 2015.
- TUTHILL, L. D. Los Psyllidae del Perú Central (Insecta: Homoptera). **Revista Peruana de Entomología**, v. 2, n. 1, p. 1-27, 1959.
- VELEZ-GAVILAN, J. *Russelliana solanicola* (South American potato psyllid). CABI Compendium, 2022.
- WAQUIL, J. M.; LOPES, J. R. S.; MARTINS, J. F. D. S.; VIANA, P. A.; MALUTA, N. K. P. **Técnicas para avaliação de resistência**. BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações. Piracicaba: FEALQ, 2019. p. 255-322.
- WAR, A. R.; PAULRAJ, M. G.; AHMAD, T.; BUHROO, A. A; HUSSAIN, B.; IGNACIMUTHU, S.; SHARMA, H. C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 10, p. 1306-1320, 2012.
- WEN, A.; MALLIK, I.; ALVARADO, V. Y.; PASCHE, J. S.; WANG, X.; LI, W.; LEVY, L.; LIN, H.; SCHOLTHOF, H. B.; MIRVOK, T. E.; et al. Detection, distribution, and genetic variability of ‘*Candidatus Liberibacter*’ species associated with zebra complex disease of potato in North America. **Plant Disease**, v. 93, n. 11, p. 1102-1115, 2009.
- YANG, X. B.; LIU, T. X. Life history and life tables of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on eggplant and bell pepper. **Environmental Entomology**, v. 38, n. 6, p. 1661-1667, 2009.
- YANG, X. B; ZHANG, Y. M.; HENNE, D. C.; LIU, T. X. Life tables of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on tomato under laboratory and field conditions in southern Texas. **Florida Entomologist**, v. 96, n. 3, p. 904-913, 2013.
- YAO, J.; SAENKHAM, P.; LEVY, J.; IBANEZ, F.; NOROV, C.; MENDOZA, A.; TAMBORINDEGUY, C. Interactions “*Candidatus Liberibacter solanacearum*”—*Bactericera cockerelli*: haplotype effect on vector fitness and gene expression analyses. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 6, p. 62, 2016.
- ZÚÑIGA, P., **Biología y comportamiento de *Russelliana solanicola* Tuthill (Homóptera: Psyllidae), plaga de la papa**. 1991. Tese Engenheiro Agrônomo. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.