



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS – CÂMPUS DE BOTUCATU**

GABRIEL NEGRI SOLCE

**DESENVOLVIMENTO DE LAGARTAS DE *Physocleora
dukinfeldia* (LEPIDOPTERA: GEOMETRIDAE)
ALIMENTADAS COM DIETA ARTIFICIAL**

**Orientador: PROF. DR. Carlos Frederico Wilcken
Supervisor: PROF. DR. Daniela Carvalho dos Santos**

Botucatu
2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CÂMPUS DE BOTUCATU

GABRIEL NEGRI SOLCE

**DESENVOLVIMENTO DE LAGARTAS DE *Physocleora*
dukinfeldia (LEPIDOPTERA: GEOMETRIDAE)
ALIMENTADAS COM DIETA ARTIFICIAL**

Orientador: PROF. DR. Carlos Frederico Wilcken
Supervisor: PROF. DR. Daniela Carvalho dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biociências,
Campus de Botucatu, UNESP, para
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Botucatu
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

S684d Solce, Gabriel Negri
Desenvolvimento de lagartas de *Physocleora dukinfeldia*
(Lepidoptera: Geometridae) alimentadas com dieta artificial / Gabriel
Negri Solce. -- Botucatu, 2026
27 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Biociências, Botucatu
Orientador: Carlos Frederico Wilcken

1. Entomologia. 2. Lepidópteros. 3. Pragas florestais. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL NEGRI SOLCE

DESENVOLVIMENTO DE LAGARTAS *Physocleora dukinfeldia* (LEPIDOPTERA: GEOMETRIDAE) ALIMENTADAS COM DIETA ARTIFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado a Universidade Estadual
Paulista, como parte das exigências para
a obtenção do título de Bacharel, do curso
de Graduação em Ciências Biológicas.

Botucatu, 31 de Maio de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS FREDERICO WILCKEN**
Data: 27/05/2026 23:57:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Carlos Frederico Wilcken
Depto. Proteção Vegetal
FCA/UNESP

Documento assinado digitalmente
 **DANIELA CARVALHO DOS SANTOS**
Data: 01/06/2026 11:44:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Daniela Carvalho dos Santos
Instituto de Biociências
IBB/UNESP

Documento assinado digitalmente
 **MURILO FONSECA RIBEIRO**
Data: 29/05/2026 06:51:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Murilo Fonseca Ribeiro
IPEF

AGRADECIMENTOS

À minha **família**, por ser o meu alicerce. Agradeço por apoiarem cada decisão que tomei e por me fornecerem a energia necessária para seguir em frente. Obrigado pelos pensamentos positivos e por sempre me lembrarem de que o caminho do estudo e do conhecimento é a escolha certa. Sem o amor de vocês, esta conquista não teria o mesmo significado.

Aos meus colegas de laboratório, em especial ao **David, Fernanda, Paula e Thais**. Agradeço pela parceria direta na pesquisa e pela convivência diária durante o período de estágio obrigatório. Obrigado por me incentivarem e por oferecerem soluções e opiniões valiosas sempre que os desafios surgiam. Vocês tornaram a rotina no laboratório muito mais leve e produtiva.

Ao meu orientador, **Carlos Frederico Wilcken**, e ao meu coordenador, **Murilo Fonseca Ribeiro**, pelo privilégio do convívio e por todo o conhecimento compartilhado. Agradeço pelo apoio técnico, científico e acadêmico de excelência, mas, acima de tudo, pela presença amiga em diversos momentos dessa trajetória. A orientação de vocês foi fundamental para o meu crescimento profissional e pessoal.

Por fim, expresso minha gratidão ao **IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais)** e ao programa **PROTEF (Programa de Proteção Florestal)**. O apoio financeiro através da bolsa, os reembolsos de viagem e o fornecimento de materiais foram pilares essenciais para a viabilização e finalização deste projeto. Muito obrigado pelo investimento e pela confiança depositada em meu trabalho.

RESUMO

A ocorrência recente de *Physocleora dukinfeldia* como praga desfolhadora em plantios de eucalipto demanda o desenvolvimento de protocolos padronizados de criação em laboratório, essenciais para estudos bioecológicos e estratégias de manejo, evitando perdas econômicas. Foi avaliado o desenvolvimento biológico de lagartas *P. dukinfeldia* alimentadas com dieta artificial. A dieta foi baseada na formulação desenvolvida para *Thyriniteina arnobia* e comparada à dieta natural com folhas de *Eucalyptus* spp. Os bioensaios foram conduzidos em condições controladas avaliando-se a duração dos ínstaes, tempo total de desenvolvimento larval, sobrevivência e a taxa de empupamento. A dieta artificial prolongou todos os ínstaes larvais em relação à dieta natural, além de aumentar a variabilidade no desenvolvimento. A sobrevivência inicial foi semelhante à da dieta natural, entretanto, nenhuma lagarta alimentada com dieta artificial atingiu a fase de pupa, resultando em viabilidade zero. A dieta natural resultou em 74% de empupamento. As lagartas mantidas na dieta artificial permaneceram vivas por períodos prolongados, porém com desenvolvimento estagnado, especialmente a partir do terceiro ínstar. Não houve diferença na mortalidade inicial, mas ocorreu um déficit na dieta artificial, culminando na morte de todos os indivíduos antes da metamorfose. Conclui-se que a dieta artificial testada é inadequada para o desenvolvimento completo de *P. dukinfeldia*, possivelmente devido a limitações nutricionais, o que indica a necessidade de ajustes específicos para a espécie.

Palavras-chave: criação artificial; pragas de eucalipto; desenvolvimento larval; ecologia nutricional

ABSTRACT

The recent occurrence of *Physocleora dukinfeldia* as a defoliator pest in eucalyptus plantations demands the development of standardized laboratory rearing protocols, which are essential for bioecological studies and management strategies to prevent economic losses. The biological development of *P. dukinfeldia* larvae fed an artificial diet was evaluated. The diet was based on the formulation developed for *Thyriniteina arnobia* and compared to a natural diet of *Eucalyptus* spp. leaves. Bioassays were conducted under controlled conditions to evaluate instar duration, total larval development time, survival, and pupation rate. The artificial diet prolonged all larval instars compared to the natural diet, and increased developmental variability. Initial survival was similar to that on the natural diet; however, no larvae fed the artificial diet reached the pupal stage, resulting in zero viability. The natural diet resulted in 74% pupation. Larvae maintained on the artificial diet remained alive for prolonged periods, but with stagnant development, especially from the third instar onwards. There was no difference in initial mortality, but a deficit occurred on the artificial diet, culminating in the death of all individuals prior to metamorphosis. It is concluded that the tested artificial diet is inadequate for the complete development of *P. dukinfeldia*, possibly due to nutritional and/or physicochemical limitations, which indicates the need for species-specific adjustments.

Keywords: artificial rearing; eucalyptus pests; larval development; nutritional ecology

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Criação de <i>Physocleora dukinfeldia</i>	12
3.2. Preparo da dieta artificial.....	12
3.3. Bioensaios com lagartas de <i>Physocleora dukinfeldia</i>	14
3.4. Parâmetros biológicos avaliados	15
3.5. Análise de dados	16
3.6. Uso de ferramentas de Inteligência Artificial	17
4. RESULTADOS	17
4.1 Duração dos instares	18
4.2 Viabilidade larval	20
4.3 Análise de sobrevivência	22
5. DISCUSSÃO	23
6. CONCLUSÃO.....	26
7. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é referência mundial no setor de florestas plantadas, desempenhando função estratégica no desenvolvimento socioeconômico por meio da produção de madeira, celulose, energia e diversos produtos de base florestal. Nesse contexto, o eucalipto destaca-se como uma das principais espécies cultivadas, em razão de sua elevada produtividade, ampla adaptabilidade edafoclimática e diversidade de aplicações industriais. Além de sua relevância na indústria madeireira e de papel e celulose, o gênero *Eucalyptus* também possui importância na produção de carvão vegetal, geração de energia e extração de óleos essenciais, sendo amplamente explorado em diferentes cadeias produtivas (KHAN et al., 2020; PENFOLD; WILLIS, 1961; BARROSO et al., 1984). Como reflexo dessa expansão, o Brasil atingiu aproximadamente 10,52 milhões de hectares de florestas plantadas em 2023, dos quais cerca de 8,1 milhões correspondem a espécies do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2025).

Apesar de sua expressiva relevância econômica, a eucaliptocultura enfrenta desafios relacionados à ocorrência de insetos-praga. Embora espécies de *Eucalyptus* apresentem mecanismos de defesa química, esses não são suficientes para impedir o ataque de herbívoros, o que pode comprometer significativamente o crescimento e a produtividade das plantações (ZANUNCIO et al., 1998). Nesse sentido, a expansão das áreas cultivadas nas últimas décadas contribuiu para o aumento da incidência de insetos fitófagos, muitos dos quais passaram a assumir status de pragas de importância econômica. Entre esses, destacam-se os insetos desfolhadores, capazes de causar desde desfolhas parciais ou totais, resultando em perdas significativas de produtividade florestal (PARRA, 1991).

Nesse cenário, destaca-se a recente ocorrência de *Physocleora dukinfeldia* (Lepidoptera: Geometridae) como uma nova praga associada a plantios de eucalipto no Brasil. O primeiro registro dessa espécie em áreas comerciais ocorreu em 2021, no município de Guataporã, no estado de São Paulo, evidenciando seu potencial como inseto desfolhador de relevância econômica (SILVA et al., 2026). Espécies do gênero *Physocleora* apresentam ampla distribuição geográfica nas Américas e já foram associadas a surtos em sistemas agrícolas, indicando elevada capacidade de adaptação a diferentes hospedeiros e condições ambientais (DA FONSECA; CAVICHIOLI; KOVALESKI, 2009).

Ainda há escassez de informações de *P. dukinfeldia* sobre sua biologia, comportamento e exigências nutricionais, o que limita o desenvolvimento de estratégias eficientes de manejo. Além disso, a ausência de protocolos padronizados para sua criação em laboratório representa um entrave significativo para a condução de estudos bioecológicos e experimentos em larga escala.

Os estudos laboratoriais com insetos exigem a manutenção contínua dos indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento — ovos, larvas, pupas e adultos — sendo a fase larval considerada a mais crítica. A criação de lagartas de *P. dukinfeldia* é realizada com o fornecimento de folhas frescas de *Eucalyptus* spp., o que demanda substituições frequentes devido à rápida deterioração do material vegetal, além de exigir mão de obra treinada e apresentar variações nutricionais relacionadas à sazonalidade. Esses fatores podem comprometer a sobrevivência dos insetos, a padronização experimental e a manutenção de criações em laboratório (WILCKEN, 1996; PARRA, 1991).

Diante dessas limitações, a utilização de dietas artificiais tem se consolidado como uma alternativa eficiente para a criação de insetos em condições controladas, proporcionando maior padronização nutricional, redução da dependência de material vegetal fresco e otimização dos processos de criação. Diversos estudos demonstram a viabilidade dessa abordagem para diferentes espécies, como *Pseudaletia sequax* (Lepidoptera: Noctuidae) (SALVADORI; PARRA, 1990), *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) (MIHSFELDT, 1985), *Condylorrhiza vestigialis* (Lepidoptera: Crambidae) (CORREA, 2013) e *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) (PAZ, 2020), além de aplicações em programas de criação massal voltados ao controle de pragas, como em *Anastrepha fraterculus* (PRESTES, 2024).

Nesse contexto, a dieta utilizada no presente estudo foi baseada na formulação desenvolvida para a lagarta parda do eucalipto *Thyriniteina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae), proposta por Wilcken e Berti Filho (2006), a qual apresenta resultados consolidados na criação dessa espécie em condições laboratoriais. Considerando a proximidade taxonômica entre *T. arnobia* e *P. dukinfeldia*, ambas pertencentes à família Geometridae, essa formulação foi utilizada como modelo para avaliação de sua adaptação à nova espécie.

Dessa forma, o desenvolvimento de métodos eficientes de criação para *Physocleora dukinfeldia* torna-se essencial para viabilizar estudos bioecológicos e

subsidiar estratégias de manejo integrado. Nesse sentido, o presente trabalho avaliou o desenvolvimento biológico de *P. dukinfeldia* alimentada com dieta artificial, em comparação ao alimento natural à base de folhas de *Eucalyptus spp.*, visando contribuir para a padronização de sua criação em laboratório e apoiar futuros programas de controle biológico. A hipótese central é que lagartas de *P. dukinfeldia* alimentadas com a dieta artificial proposta por Wilcken e Berti Filho (2006) apresentam desenvolvimento semelhante ao de lagartas alimentadas com folhas de *Eucalyptus spp.*

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Comparar o desenvolvimento biológico de lagartas de *Physocleora dukinfeldia* alimentadas com dieta artificial e folhas de *Eucalyptus spp.*

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a duração dos ínstaes larvais de *P. dukinfeldia* em cada tratamento alimentar;
- Comparar o tempo total de desenvolvimento da fase larval entre lagartas alimentadas com dieta artificial e folhas de *Eucalyptus spp.*;
- Avaliar a sobrevivência larval ao longo do desenvolvimento em ambos os tratamentos;
- Determinar a porcentagem de indivíduos que atingem a fase de pupa em cada tratamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Criação de *Physocleora dukinfeldia*

Os indivíduos de *P. dukinfeldia* utilizados nos bioensaios foram provenientes de uma criação previamente estabelecida em laboratório, originada a partir de coletas realizadas em plantios comerciais de eucalipto no município de Guatapar, SP, Brasil. A criao foi realizada em sala climatizada, sob condições controladas de temperatura ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), umidade relativa ($80 \pm 10\%$) e fotofase de 12 horas.

As lagartas foram mantidas em recipientes plásticos (500 mL), vedados com tecido *voil* para permitir ventilao e fechados com tampa plástica cortada ao centro. As

lagartas foram alimentadas com feixes de folhas frescas de *Eucalyptus spp.*, provenientes de plantas saudáveis e inseridos em tubos de vidro com água para manter o turgor foliar, sendo o material vegetal substituído periodicamente conforme o consumo e ressecamento das folhas.

As pupas foram acondicionadas em recipientes contendo substrato de solo até a completa esclerotização, sendo posteriormente transferidas para recipientes revestidos com papel filtro umedecido. Os adultos foram mantidos em gaiolas de PVC tampadas com tela, recebendo solução de mel a 20% como fonte alimentar. Para a oviposição, foram disponibilizadas superfícies de papel toalha interfolhado, utilizadas pelos adultos como substrato de oviposição. Os ovos obtidos foram acondicionados em potes plásticos (250 mL) tampados com tecido voil. Parte das lagartas recém-eclodidas foi submetida aos tratamentos e parte foi direcionada à continuação da criação.

3.2. Preparo da dieta artificial

A dieta artificial utilizada neste estudo foi baseada na formulação proposta por Wilcken e Berti Filho (2006), originalmente desenvolvida para *Thyrintina arnobia*, com modificações realizadas em função da disponibilidade de ingredientes e da necessidade de adaptação para *P. dukinfeldia*.

O agente solidificante da dieta foi a carragenina, utilizada em substituição ao ágar originalmente proposto. Inicialmente, foi conduzido um pré-teste utilizando a concentração de 18,6 g de carragenina; entretanto, essa formulação resultou em uma dieta com consistência excessivamente rígida, impedindo a alimentação das lagartas. Esse pré-teste teve caráter qualitativo e foi utilizado apenas para ajustar a consistência da dieta antes do experimento definitivo, visto a substituição do agente solidificante. Diante disso, a concentração foi reduzida para 9,3 g, valor adotado no experimento definitivo, por apresentar melhor aceitabilidade e permitir a alimentação inicial das lagartas.

Para o preparo da dieta, a carragenina foi previamente misturada com o volume total de água da formulação e aquecida até aproximadamente 80°C, visando sua completa solubilização. Paralelamente, os demais ingredientes da dieta foram homogeneizados em liquidificador. Após o resfriamento da solução de carragenina até cerca de 60°C, esta foi adicionada gradualmente à mistura previamente homogeneizada, com o liquidificador em funcionamento, garantindo a incorporação uniforme de todos os componentes.

Após o preparo, a dieta foi vertida em tubos de vidro com fundo chato, 2,5 cm de diâmetro e 8 cm de altura, previamente tampados com algodão hidrófugo e esterilizados em estufa a 120°C por três horas. A dieta ocupou aproximadamente 1/3 da altura do tubo, que foi mantido na diagonal para aumentar a área disponível para alimentação das lagartas. Devido à ocorrência de oxidação, a substituição da dieta foi realizada a cada 20 dias, visando manter sua qualidade nutricional e evitar prejuízos ao desenvolvimento dos insetos.

Foto 1. Dietas artificiais recém-preparadas, esfriando em posição inclinada.

Figura 1. Posição final da dieta após resfriamento.



Tabela 1. Composição e proporção da dieta artificial adaptada de Wilcken e Berti Filho (2006) para lagartas de *P. dukinfeldia*.

Dieta Wilcken e Berti Filho (2006)		
Componentes	Quantidade	Proporção (%)
Água	844,0 ml	84,7
Sais de Wesson	2,00 g	0,2
Ácido Ascórbico	3,60 g	0,36
Ácido Sórbico	0,68 g	0,07
Vitaminas de Vanderzant	0,10 ml	0,01
Germe de Trigo	12,50 g	1,25
Levedura de Cerveja	9,00 g	0,9
Farinha de Milho	67,30 g	6,76
Farelo de Soja	25,50 g	2,56
Leite Desnatado	5,30 g	0,53
Óleo de Soja	5,30 ml	0,53
Nipagin	1,35 g	0,13
Formaldeído	0,50 ml	0,05
Carragenina	9,30 g	1,9
Total	1000 ml	100

3.3. Bioensaios com lagartas de *Physocleora dukinfeldia*

Os bioensaios foram conduzidos com o objetivo de avaliar a aceitação da dieta artificial por lagartas de *P. dukinfeldia*, bem como comparar seus parâmetros biológicos em relação ao alimento natural.

Previamente à instalação do experimento, os recipientes contendo a dieta artificial foram submetidos à radiação ultravioleta por 40 minutos, com a finalidade de reduzir a ocorrência de contaminações. Após a eclosão, lagartas de 1º instar foram individualizadas e transferidas para os tubos de vidro contendo a dieta artificial, onde permaneceram até atingirem o estágio de pré-pupa ou até a morte.

O experimento foi conduzido em sala climatizada, sob condições controladas de temperatura ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), umidade relativa ($80 \pm 10\%$) e fotofase de 12 horas. O tratamento com dieta artificial foi composto por 90 repetições, sendo cada repetição representada por uma lagarta mantida individualmente, caracterizando uma unidade experimental.

No tratamento controle, as lagartas foram alimentadas com folhas frescas de *Eucalyptus* spp., acondicionadas em microtubos tipo Eppendorf contendo água e com a tampa perfurada para manter a turgidez do material vegetal. Esse sistema foi mantido em placas de Petri. As folhas foram substituídas duas vezes por semana, garantindo a oferta contínua de alimento de qualidade. Esse tratamento foi composto por 50 repetições, também com uma lagarta por unidade experimental.

As avaliações foram realizadas diariamente em ambos os tratamentos, sendo os indivíduos mantidos sob essas condições até a formação de pupas ou ocorrência de mortalidade.

3.4. Parâmetros biológicos avaliados

Foram avaliados a duração de cada instar, a duração total da fase larval, a viabilidade larval, a mortalidade ao longo do desenvolvimento, a porcentagem de indivíduos que atingiram a fase pupal e o número de lagartas que realizaram a ecdise.

A duração dos instares foi determinada por meio de observações diárias, com identificação das mudas pela presença de exúvias. A viabilidade larval foi calculada com base na proporção de indivíduos que atingiram a fase pupal em relação ao total inicial, enquanto a mortalidade foi registrada ao longo de todo o período experimental. O número

de lagartas que realizaram a ecdise foi utilizado como indicador da progressão entre os instares.

A comparação desses parâmetros entre os tratamentos permitiu avaliar o desempenho biológico das lagartas sob dieta artificial em relação ao alimento natural, contribuindo para a verificação da adequação da dieta e para possíveis ajustes em sua formulação.

3.5. Análise de dados

Os dados biológicos obtidos foram submetidos a análises estatísticas descritivas e inferenciais utilizando o software R (versão 4.5.3), com o auxílio dos pacotes *tidyverse* para organização e manipulação dos dados, e *survival* e *survminer* para as análises de sobrevivência.

Inicialmente, foi realizada a verificação dos pressupostos estatísticos por meio do teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em função da não normalidade das distribuições ($p < 0,05$), associada à heterogeneidade da variância e à expressiva amplitude biológica no desenvolvimento larval sob dieta artificial, optou-se pela utilização de métodos não paramétricos para as análises subsequentes.

A comparação da duração dos instares larvais entre os tratamentos (dieta artificial e folhas de *Eucalyptus* spp.) foi realizada por meio do teste de Mann-Whitney (Wilcoxon Rank Sum Test), adotando-se nível de significância de 5%. Para os instares finais, nos quais a mortalidade resultou em redução do tamanho amostral, procedeu-se à análise descritiva dos dados, utilizando medianas e intervalos interquartílicos (Q1 e Q3).

O percentual de empupamento, definido como a proporção de indivíduos que atingiram a fase de pupa, foi analisada por meio de tabelas de contingência. Para comparação entre os tratamentos, utilizou-se o Teste Exato de Fisher, em substituição ao teste do qui-quadrado, devido à presença de frequências esperadas reduzidas e células com valores próximos ou iguais a zero, o que comprometeria a robustez do teste qui-quadrado.

Adicionalmente, a performance dos tratamentos foi avaliada sob a abordagem de análise de sobrevivência. Foram construídas curvas de Kaplan-Meier considerando dois enfoques distintos: (1) sobrevivência larval, na qual o evento de interesse foi a mortalidade dos indivíduos ao longo do tempo; e (2) curva de desenvolvimento (empupamento), em que o evento de interesse foi a transição para a fase de pupa. Para a

análise da curva de tempo até empupamento, os indivíduos mortos foram tratados como dados censurados, uma vez que a interrupção biológica impossibilita a progressão para o estágio pupal.

As diferenças entre as curvas de sobrevivência foram avaliadas por meio do teste de Log-Rank (Mantel-Cox), adotando-se nível de significância de 5%.

3.6. Uso de ferramentas de Inteligência Artificial

Com o objetivo de otimizar a análise estatística dos dados, foi utilizado o modelo de linguagem de grande escala Gemini, por meio de uma configuração personalizada (Gem) direcionada à assistência em programação na linguagem R.

A ferramenta foi empregada exclusivamente como suporte técnico na elaboração, organização e depuração de scripts computacionais, incluindo a implementação de rotinas analíticas com os pacotes *survival*, *survminer* e *ggplot2*. Seu uso restringiu-se à sugestão de estruturas de código e à identificação de eventuais inconsistências na programação.

Destaca-se que a utilização da inteligência artificial não envolveu, em nenhuma etapa, a geração, modificação ou interpretação dos dados experimentais. Os dados utilizados nas análises são oriundos exclusivamente dos experimentos conduzidos no presente estudo, sendo integralmente preservada sua integridade.

4. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os parâmetros biológicos e o desempenho de *Physocleora dukinfeldia* submetida a dois diferentes regimes alimentares: dieta natural (folhas de *Eucalyptus* spp.) e dieta artificial. A seguir, os resultados que fundamentam essa dinâmica são detalhados a partir do tempo de instares larvais, da viabilidade de empupamento e da análise estatística de sobrevivência.

4.1 Duração dos instares

Tabela 2. Duração mediana (dias) de cada instar larval de *P. dukinfeldia* criada sob dois regimes alimentares: Dieta Natural (folhas de *Eucalyptus* spp.) e Dieta Artificial.

Fase	Tratamento	n	Mediana	Q1 – Q3	p-valor ¹
1º Instar	Artificial	90	11	9,0 – 13,0	< 0,001*
	Natural	50	5	4,0 – 5,0	
2º Instar	Artificial	73	13	11,0 – 15,0	< 0,001*
	Natural	44	4	4,0 – 4,2	
3º Instar	Artificial	62	21,5	15,2 – 27,8	< 0,001*
	Natural	41	5	4,0 – 5,0	
4º Instar	Artificial	8	8,5	5,7 – 10,5	0,006*
	Natural	38	5	5,0 – 6,0	
5º Instar	Artificial	2	15	14,0 – 16,0	0,009*
	Natural	38	5	4,0 – 5,0	
6º Instar	Artificial	0	-	-	-
	Natural	37	12	11,0 – 12,0	

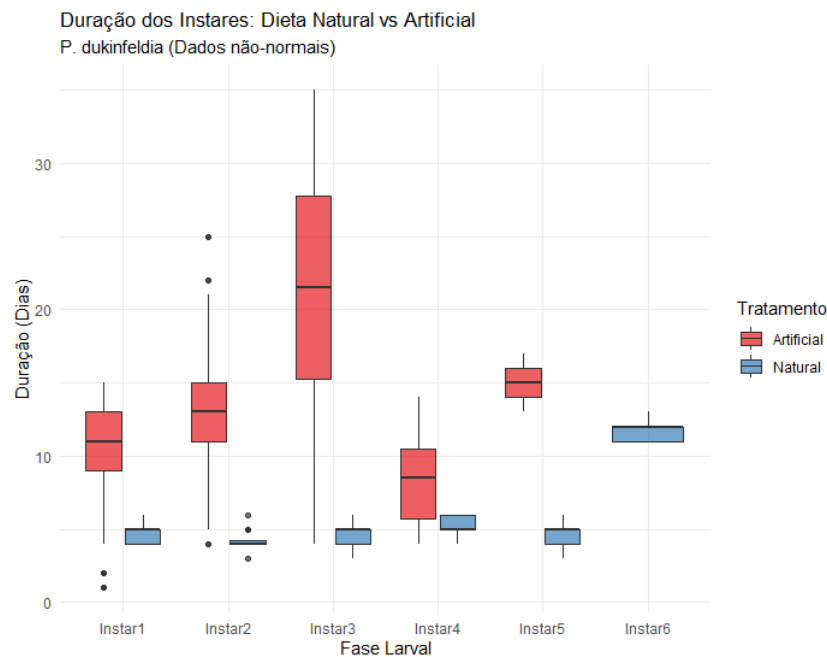
¹ *Teste de Mann-Whitney (Wilcoxon Rank Sum Test)* a 5% de significância. Asteriscos indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as dietas dentro do mesmo instar. Q1=1º quartil; Q3=3º quartil.

*n representa o número de indivíduos vivos que atingiram e completaram o instar específico.

A análise comparativa do tempo de desenvolvimento larval de *P. dukinfeldia* revelou um contraste drástico entre os dois regimes alimentares testados. Verificou-se um prolongamento significativo ($p < 0,05$) na duração de todos os instares larvais para os indivíduos submetidos à dieta artificial quando comparados aos criados com folhas naturais de eucalipto (Tabela 2).

Logo no 1º instar, a dieta artificial promoveu um prolongamento significativo da fase, com mediana de 11,0 dias, valor mais de duas vezes superior ao observado na dieta natural (5,0 dias) (Tabela 2; $p < 0,001$). Essa disparidade se acentuou no 2º instar, onde as lagartas, na dieta natural, completaram a muda em uma mediana de 4,0 dias, enquanto as da dieta artificial necessitaram de 13,0 dias (Tabela 2; $p < 0,001$).

Figura 2. Duração (dias) dos estágios larvais (Instar 1 ao 6) de *P. dukinfeldia* alimentadas com dieta natural (barras em azul) e dieta artificial (barras em vermelho). As linhas horizontais pretas dentro das caixas representam as medianas; as extremidades das caixas indicam os quartis Q1 e Q3; as linhas verticais (*whiskers*) mostram a amplitude total dos dados.



No 3º instar, as lagartas alimentadas com dieta artificial apresentaram mediana de 21,5 dias até ecdise (com amplitude interquartílica variando de 15,2 a 27,7 dias), o que representa mais de quatro vezes o tempo exigido na dieta natural (5,0 dias) (Tabela 2). O gráfico boxplot da Figura 2 indica mediana mais elevada e maior dispersão dos dados nesse estágio para a dieta artificial (Instar 3), indicando que muitas lagartas ficaram estagnadas nessa fase por longos períodos antes da morte.

Nos instares 4 e 5, embora as diferenças ainda fossem estatisticamente significativas ($p=0,006$ e $p=0,009$, respectivamente), a interpretação biológica deve considerar a drástica redução no número de sobreviventes na dieta artificial (Tabela 2; Figura 2). Apenas 8 lagartas atingiram o 4º instar e apenas 2 completaram o 4º instar na dieta artificial.

Conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 2, nenhuma lagarta sob dieta artificial atingiu o 6º instar. Fase pré-pupal crítica que durou, em mediana, 12,0 dias na dieta natural, inviabilizando totalmente a metamorfose deste grupo.

4.2 Viabilidade larval

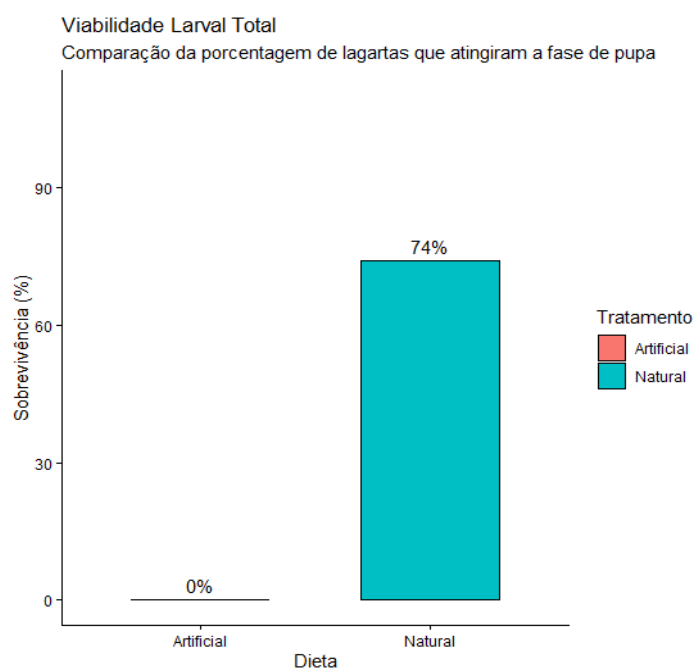
Tabela 3. Percentual de empupamento de *P. dukinfeldia* sob dieta natural e artificial.

Parâmetro	Dieta Natural	Dieta Artificial
N inicial	50	90
Viabilidade (%)	74%	0%
Status	Pupa	Morto

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, o tratamento com dieta natural obteve um índice de 74% de sucesso no empupamento. Em contraste, a dieta artificial apresentou 0% de empupamento, uma vez que nenhuma das 90 lagartas testadas completou o desenvolvimento larval e atingiu o estágio de pupa. Esta diferença foi confirmada estatisticamente pelo Teste Exato de Fisher (Tabela 3; $p < 0,0001$).

A discrepância entre o sucesso de desenvolvimento da dieta natural e a falha da dieta artificial é apresentada na Figura 3. Enquanto o grupo controle apresentou 74% de empupamento, o tratamento com dieta artificial permaneceu sem registro de pupas., indicando o insucesso da formulação em sustentar a metamorfose.

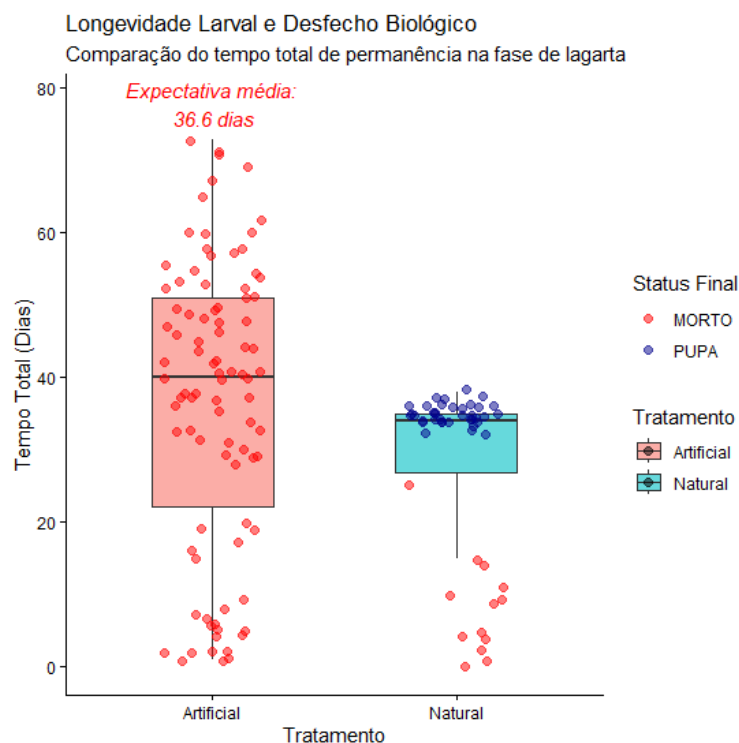
Figura 3. Percentual de viabilidade larval de *P. dukinfeldia*. As barras ilustram a discrepância entre o sucesso de empupamento na dieta natural e a falha total no desenvolvimento sob dieta artificial.



Além da viabilidade, a duração total do período larval também exibiu comportamentos distintos entre os tratamentos. Conforme observado no boxplot da Figura 4, as lagartas alimentadas com folhas de eucalipto (Natural) apresentaram um ciclo larval concentrado e homogêneo, atingindo a fase de pupa em aproximadamente 35 dias para a maioria dos indivíduos.

Já as lagartas submetidas à dieta artificial apresentaram maior tempo de permanência no estágio larval e maior heterogeneidade, conforme indicado pela amplitude dos dados na Figura 4. Neste grupo, as lagartas permaneceram vivas, porém estagnadas em seu desenvolvimento, por períodos que variaram de 40 a mais de 70 dias, vindo a óbito sem realizar a transição para a fase de pupa.

Figura 4. Duração total (dias) do estágio larval de *P. dukinfeldia*. O gráfico ilustra o tempo transcorrido até o empupamento no grupo Natural e o tempo de sobrevivência sem metamorfose no grupo Artificial.



4.3 Análise de sobrevivência

Tabela 4. Distribuição da mortalidade de *Physocleora dukinfeldia* por instar larval em função do tratamento alimentar

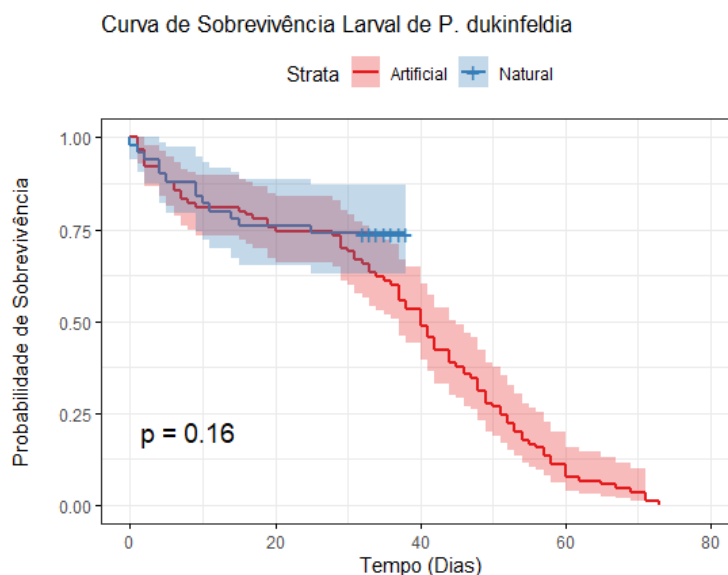
	Mortalidade por instar (%)					
	Instar 1	Instar 2	Instar 3	Instar 4	Instar 5	Instar 6
Natural	12%	6,82%	7,32%	0	2,63%	0
Artificial	18,89%	12,22%	87,10%*	6,75%*	100%*	-

¹ Asteriscos indicam diferença significativa pelo teste de Log-Rank (Mantel-Cox) ($p < 0,05$) entre as dietas dentro do mesmo instar.

A distribuição quantitativa da mortalidade ao longo do desenvolvimento larval é detalhada na Tabela 4. No tratamento com dieta natural, a mortalidade foi menor e distribuída entre os estágios avaliados, com o maior número de óbitos (3 indivíduos) ocorrendo nos instares de 1 a 4. No tratamento com dieta artificial, verificou-se uma concentração de óbitos no 3º instar, totalizando 54 indivíduos mortos, seguido pelo 1º instar com 17 registros de mortalidade (Tabela 4).

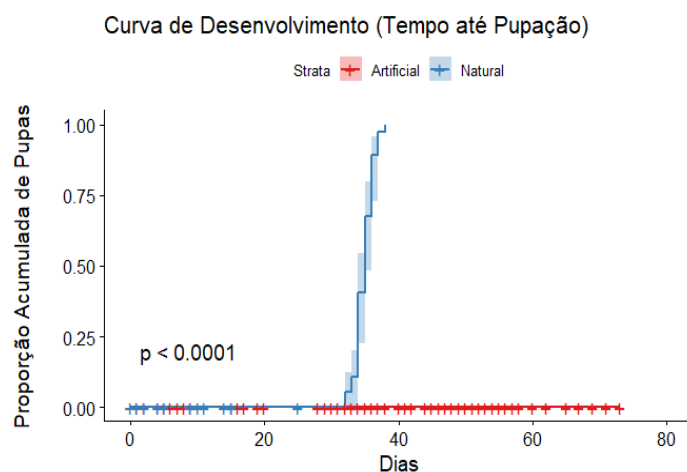
A análise de sobrevivência realizada pelo método de Kaplan-Meier, considerando a morte como o evento de interesse, não apresentou diferença estatística significativa entre as dietas natural e artificial (Figura 5). Embora a mortalidade inicial não tenha diferido estatisticamente entre os tratamentos, as lagartas alimentadas com dieta artificial permaneceram por mais tempo na fase larval, atingindo aproximadamente 70 dias e morreram antes de chegar à pré-pupa.

Figura 5. Curva de sobrevivência de Kaplan-Meier para *P. dukinfeldia* sob dieta natural e artificial, considerando a morte como evento.



Quanto ao sucesso no desenvolvimento, a curva de incidência de empupamento revelou uma diferença estatística significativa entre os tratamentos (Figura 6). No grupo alimentado com folhas de eucalipto (Natural), os indivíduos iniciaram a transição para a fase de pupa a partir do 30º dia de vida. No grupo submetido à dieta artificial, a curva de empupamento permaneceu nula durante todo o experimento, sem o registro de indivíduos atingindo o estágio pupal (Figura 6).

Figura 6. Curva de tempo até empupamento de Kaplan-Meier para *P. dukinfeldia* sob dieta natural e artificial, considerando a pupação como evento.



5. DISCUSSÃO

O presente estudo demonstrou que a dieta artificial baseada em Wilcken e Berti Filho (2006), originalmente desenvolvida para *Thyrintina arnobia*, não foi adequada para o desenvolvimento completo de *P. dukinfeldia*, uma vez que nenhuma lagarta atingiu o estágio pupal, contrastando com o sucesso observado em folhas de *Eucalyptus spp.* Apesar dessa falha no ciclo completo, não foram observadas diferenças estatísticas significativas na mortalidade nos primeiros instares (1º e 2º), indicando que a dieta não exerce efeito tóxico agudo ou imediato sobre as lagartas. Apesar de a análise de sobrevivência não indicar diferença estatística global da mortalidade inicial entre os tratamentos, os dados de desenvolvimento mostram que a dieta artificial comprometeu a

progressão larval e impediu o empupamento., resultado semelhante encontrado por SILVA (2025) e SILVA et al. (2026) quando comparada a mortalidade em diferentes hospedeiros naturais. A manutenção da sobrevivência nos instares iniciais sugere que as exigências metabólicas nessas fases podem ser supridas mesmo por dietas subótimas, desde que forneçam energia mínima para manutenção (PRASAD, 2020).

Entretanto, verificou-se um prolongamento significativo na duração de todos os instares larvais sob dieta artificial (Tabela 2), evidenciando um comprometimento progressivo do desenvolvimento. Esse aumento no tempo de desenvolvimento pode ser interpretado como uma resposta ao desequilíbrio nutricional, funcionando como um mecanismo compensatório frente à baixa qualidade alimentar. SILVA et al. (2026) observaram que *P. dukinfeldia* responde a restrições nutricionais por meio da desaceleração do crescimento, aumentando o tempo necessário para atingir os requisitos mínimos para a muda. Nesse sentido, o efeito sob insetos submetidos a estresse nutricional prolongado pode estar associado a alterações fisiológicas associadas ao aumento do tempo de desenvolvimento, incluindo mobilização de reservas energéticas e redução da eficiência metabólica (ZHANG, D. et al., 2019). Contudo, diferentemente do observado em hospedeiros naturais, nos quais o prolongamento ainda permite a conclusão do ciclo biológico (SILVA et al., 2026), na dieta artificial esse processo resultou em estagnação larval e mortalidade total. Esse padrão é consistente com o descrito por ZANG et al. (2019), que associaram o acúmulo de déficits fisiológicos ao colapso progressivo em estágios subsequentes.

A ausência completa de pupação na dieta artificial, embora permita a sobrevivência inicial, pode estar associada a incapacidade de sustentar os requisitos qualitativos necessários para a diferenciação tecidual e metamorfose. Segundo NIJHOUT (2003), o desenvolvimento depende do atingimento de um limiar mínimo de massa corporal, denominado “peso crítico”, necessário para a ativação da cascata endócrina da metamorfose. A relação entre estado nutricional e regulação hormonal descrita por RIDDIFORD (2004) demonstra que a produção de ecdisona e a liberação do hormônio protoracicotrópico (PTTH) dependem diretamente da disponibilidade de nutrientes e da sinalização metabólica. Em condições de deficiência nutricional, essa via é suprimida, impedindo a ocorrência de ecdise e pupação (MIRTH et al., 2007). Esse mecanismo é compatível com os resultados obtidos, nos quais as lagartas permaneceram por períodos

prolongados em um mesmo instar antes da morte, caracterizando um bloqueio no desenvolvimento.

Além dos fatores nutricionais, a inadequação da dieta pode estar relacionada a limitações físicas e químicas, incluindo textura e ausência de compostos fagoestimulantes. Chaudhury (1986) destaca que o sucesso de dietas artificiais depende não apenas do fornecimento de nutrientes, mas também da presença de compostos fagoestimulantes que permitam o reconhecimento e a ingestão adequada do alimento. Adicionalmente, a composição física da dieta, especificamente o uso de carragenina como agente estruturante, pode ter influenciado a dureza do substrato. Dietas com maior resistência mecânica podem reduzir a eficiência alimentar e comprometer o desenvolvimento larval (CHAUDHURY, 1986). Esses fatores, associados, ajudam a explicar o desempenho inferior observado na dieta artificial e reforçam a dependência de *P. dukinfeldia* por características específicas do hospedeiro, como evidenciado por SILVA et al. (2026).

A análise de sobrevivência evidenciou que, embora a mortalidade inicial não tenha diferido entre tratamentos, houve redução progressiva na probabilidade de sobrevivência ao longo do tempo no tratamento com dieta artificial (Figura 5). Esse padrão sugere comprometimento progressivo associado à dieta artificial, não detectado nos estágios iniciais, mas evidente nos estágios mais avançados do desenvolvimento. ZHANG et al. (2019) descrevem que insetos sob estresse nutricional apresentam curvas de sobrevivência com declínio gradual, resultante do acúmulo de falhas metabólicas ao longo do tempo. De forma semelhante, SILVA et al. (2026) observaram que diferenças no desempenho de *P. dukinfeldia* tornam-se mais evidentes nos estágios avançados. Assim, a maior longevidade larval observada sob dieta artificial não representa aumento de aptidão, mas sim atraso no desenvolvimento sem progressão ontogenética (NIJHOUT, 2003).

Embora os resultados inviabilizem o uso da formulação testada para criação massal, eles apontam direções importantes para pesquisas futuras. A ausência de medições diretas de consumo e eficiência de conversão alimentar neste estudo limita a identificação dos mecanismos responsáveis pelo baixo desempenho. Além disso, o desenvolvimento de dietas artificiais exige ajustes precisos na composição nutricional, incluindo proteínas, carboidratos, lipídios e micronutrientes, o que demanda estudos específicos para a espécie. Dessa forma, a adaptação de dietas entre espécies próximas,

como *Thyriniteina arnobia*, não garante sucesso. Estudos futuros devem focar na otimização da dieta, incluindo avaliação de fontes proteicas, agentes estruturantes e incorporação de extratos do hospedeiro natural para aumentar a aceitabilidade alimentar.

6. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a dieta artificial baseada na formulação de Wilcken e Berti Filho (2006) não atende às exigências biológicas de *P. dukinfeldia*, pois inviabilizou a conclusão do desenvolvimento larval em condições laboratoriais. O prolongamento dos ínstaes, a mortalidade elevada e a ausência de pupação indicam limitações nutricionais e/ou físico-químicas da dieta em comparação ao alimento natural de *Eucalyptus* spp. Esses achados reforçam que a transferência de dietas entre espécies, mesmo dentro de grupos taxonomicamente próximos, requer validação específica e ajustes direcionados.

Uma possível sugestão de uso da dieta artificial nos ínstaes iniciais, embora plausível do ponto de vista teórico, não foi diretamente testada neste estudo e, portanto, deve ser interpretada como hipótese a ser investigada, e não como recomendação consolidada. Nesse sentido, os dados sustentam de forma mais robusta a necessidade de manutenção de dieta natural nos estágios mais avançados para garantir o sucesso do desenvolvimento.

Do ponto de vista aplicado, este trabalho fornece uma base importante para o desenvolvimento de protocolos de criação de *P. dukinfeldia*, destacando os desafios associados à formulação de dietas artificiais eficientes. Como limitações, destaca-se a ausência de testes comparativos com variações na composição da dieta. Assim, estudos futuros devem priorizar a otimização da dieta, incluindo fagoestimulantes, avaliação de fontes nutricionais e investigação de parâmetros fisiológicos e metabólicos que permitam uma compreensão mais aprofundada das exigências da espécie.

7. REFERÊNCIAS

- BARROSO, G. M. et al. Sistemática de angiospermas do Brasil. Viçosa: UFV, 1984.
- CHAUDHURY, M. F. B. Handbook of Insect Rearing, Vol. I and II. Edited by Pritam Singh and RF Moore. Vol. I, viii+ 488 pp., US\$77. 75, ISBN 0444-424665-0. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, 1985. International Journal of Tropical Insect Science, v. 7, n. 4, p. 575-576, 1986.

- CORREA, F. A. S. F. et al. Criação em laboratório de *Condylorrhiza vestigialis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae) com diferentes dietas artificiais. 2013.
- DA FONSECA, F. L.; CAVICHIOLI, R. R.; KOVALESKI, A. Incidência de *Physocleora dimidiaria* (Lepidoptera: Geometridae) em pomares de macieira em Vacaria, RS. Revista Brasileira de Biociências, v. 7, n. 3, 2009.
- PRESTES, Ana Júlia de Carvalho. Adaptação de uma dieta artificial para linhagem e sexagem genética de *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) e doses para indução para esterilidade sob hipóxia. 2024.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2025. São Paulo: IBÁ, 2025.
- KHAN, Naushad et al. Socio-economic and medicinal review of Eucalyptus tree in the world. Available at SSRN 3644215, 2020.
- MIHSFELDT, L. H. Comparação de dietas artificiais para a criação de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera-Pyralidae). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1985
- MIRTH, C. et al. Critical weight as a switch in the developmental response to starvation: the role of ecdysone in the maturation of *Drosophila* wing discs. Comp. Biochem. Physiol. A, v. 148, p. S9, 2007.
- NIJHOUT, H. F. The control of body size in insects. Developmental biology, v. 261, n. 1, p. 1-9, 2003.
- PARRA, J. R. P.. Consumo e utilização de alimentos por insetos. In: Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas, 1991.
- PAZ, C. D. A. Efeitos de aditivos em dieta artificial para *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae). 2020. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.
- PENFOLD, A. R. & J. L. WILLIS. The Eucalypts. Leonard Hill (Books) Limited, London. 551p. 1961.
- PRASAD, A. K.; MUKHOPADHYAY, A. Artificial diet designing: Its utility in management of defoliating tea pests (Lepidoptera: Geometridae). In: Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century: Harnessing Automated Unmanned Technologies. Singapore: Springer Singapore. p. 165-185, 2020.
- RIDDIFORD, L. M. Juvenile Hormone Regulation of the Ecdysone Cascade in Insect Metamorphosis. NSF Award Number 0344933. Directorate for Biological Sciences, v. 3, n. 344933, p. 44933, 2004.

SALVADORI, J. R.; PARRA, J. R. P. Seleção de dietas artificiais para *Pseudaletia sequax* (Lep.: Noctuidae). Pesquisa Agropecuaria Brasileira, p. 1701-1713, 1990.

SILVA, P. G. Biologia e manejo da nova praga desfolhadora do eucalipto *Physocleora dukinfieldia* (Lepidoptera: Geometridae). 2025. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2025.

SILVA, P. G. et al. A new defoliating threat to eucalyptus plantations: biology and foliar consumption of *Physocleora dukinfieldia* (Lepidoptera: Geometridae). PeerJ, v. 14, p. e20589, 2026.

WILCKEN, C. F. Biologia de *Thyrintina arnobia* (Stoll, 1782)(Lepidoptera: Geometridae) em espécies de Eucalyptus e em dieta artificial. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1996.

WILCKEN, C. F.; BERTI FILHO, E. Biologia de *Thyrintina arnobia* (Stoll)(Lepidoptera: Geometridae) em dieta artificial (I): Seleção das dietas e influência da posição da dieta artificial no desenvolvimento das lagartas. Revista de Agricultura, v. 81, p. 287-300, 2006.

ZANUNCIO, J. C. et al. Pragas do eucalipto. Viçosa: UFV, 1998.

ZHANG, D. et al. Insect behavior and physiological adaptation mechanisms under starvation stress. Frontiers in physiology, v. 10, p. 163, 2019.