

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**Camila Fonseca Galvan**

**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO, ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS  
COMO ALTERNATIVAS NO MANEJO INTEGRADO DE *Gonipterus  
platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM *Eucalyptus* spp.**

**Santa Maria, RS**

**2024**

**Camila Fonseca Galvan**

**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO, ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS COMO  
ALTERNATIVAS NO MANEJO INTEGRADO DE *Gonipterus platensis*  
(COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM *Eucalyptus* spp.**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal.**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maristela Machado Araujo

**Santa Maria, RS**

**2024**

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Galvan, Camila  
UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO, ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS  
COMO ALTERNATIVAS NO MANEJO INTEGRADO DE *Gonipterus  
platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM *Eucalyptus* spp.  
/ Camila Galvan.- 2024.  
67 p.; 30 cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo  
Coorientador: Ezequiel Gasparin  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2024

1. Gorgulho-do-eucalipto 2. Inseto-praga 3.  
Herbivoria 4. Bioinseticida 5. Silício I. Machado Araujo,  
Maristela II. Gasparin, Ezequiel III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CAMILA GALVAN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Camila Fonseca Galvan**

**UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO, ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS COMO  
ALTERNATIVAS NO MANEJO INTEGRADO DE *Gonipterus platensis*  
(COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM *Eucalyptus* spp.**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Aprovada em 25 de março de 2024:

---

**Maristela Machado Araujo, Dra. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Ervandil Corrêa Costa, Dr. (Autônomo)**

---

**Dayanna do Nascimento Machado, Dra. (SEMA-MT)**

---

**Jardel Boscardin, Dr. (UFU)**

---

**Marciane Danniela Fleck Pessotto, Dra. (PMP)**

Santa Maria, RS  
2024

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Paulo de Souza Pinto e Itamara de Fátima da Fonseca, por todo amor, conselhos e apoio que transmitiram mesmo não estando presentes, por serem a base da minha vida.

Ao meu querido namorado Matheus de Oliveira Bini pelo amor e paciência durante os seis anos de jornada UFSM, obrigada por estar comigo desde o primeiro até o último momento de Santa Maria, você foi meu apoio em todos os momentos.

Ao meu irmão caçula Pedro Henrique Pinto, por tornar meus dias mais alegres e por ter me auxiliado nas coletas.

Aos meus avós Albari Nogueira da Fonseca e Maria de Lourdes da Fonseca por, na minha volta para casa, estarem sempre com os braços abertos para me receber.

Em especial ao Prof. Dr. Ervandil Correa Costa, por ter aceitado iniciar este projeto, pelos momentos de alegria e ensinamentos.

À minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maristela Machado Araujo por ter aceitado a orientação do projeto que já estava em andamento, pela orientação, boa vontade e auxílio durante o a finalização desta pesquisa.

Aos membros da banca de defesa, Dr. Ervandil Correa Costa, Dra. Dayanna do Nascimento Machado, Dra. Marciane Danniela Fleck Pessotto e Dr. Jardel Boscardin pela disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas valiosas contribuições para a sua melhoria.

As minhas amigas, Leandra Pedron e Jessica Maus, que o Laboratório de Entomologia Florestal me concedeu, pela amizade, risos, ensinamentos e pelo auxílio nos momentos em que precisei de suporte, vocês confortaram meu coração.

Aos meus amigos Lucas Savian e Bibiana Batista, por me acompanharem em intensas aventuras à campo, laboratório e “after” pós experimentos, vocês tornaram esta pesquisa mais leve e divertida.

À instituição de fomento à pesquisa CAPES, pelo auxílio financeiro e a concessão de bolsas de estudos.

Enfim, a todos que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho e que, de alguma forma me apoiaram nesse processo.

*Muito obrigada, de coração!*

## RESUMO

### UTILIZAÇÃO DE SILÍCIO, ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS COMO ALTERNATIVAS NO MANEJO INTEGRADO DE *Gonipterus platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM *Eucalyptus* spp.

AUTOR: Camila Fonseca Galvan

ORIENTADORA: Maristela Machado Araujo

Mundialmente, o gorgulho-do-eucalipto, *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae), nativo da Austrália, é um inseto-praga invasor, causador de desfolha e danos significativos ao gênero *Eucalyptus*. O controle deste inseto-praga é realizado principalmente com o parasitoide de ovos *Anaphes nitens*, no entanto em alguns países a taxa de eficiência é reduzida, fato que vem sendo verificado também em algumas regiões do Brasil. Diante disso, o objetivo geral do trabalho foi identificar alternativas para controle de *G. platensis*, a partir de dois objetivos específicos correspondentes a cada estudo, os quais consistiram em: a) avaliar o efeito da adubação foliar silicatada na condição fisiológica do híbrido *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus* e no controle de *G. platensis* e b) investigar os efeitos de óleos essenciais e extratos no controle desse inseto-praga. Os espécimes utilizados foram coletados em São Francisco de Assis no Sul do Brasil (29°34'20"S, 55°15'36"W) e mantidos em gaiolas com ramos de eucalipto para alimentação em laboratório. Para os experimentos com adubação foliar silicatada foram utilizadas três concentrações e controle, em que as plantas do híbrido foram pulverizadas até o molhamento total das folhas. Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (d.a.a), as avaliações foram realizadas para determinação do tempo de resposta da adubação silicatada na redução da herbivoria por *G. platensis*. A aplicação de 20 mL L<sup>-1</sup> e 30 mL L<sup>-1</sup>, 21 d.a.a proporcionou menor perda da área foliar, sendo adequada para uso preventivo. Para o segundo estudo foram utilizados: a) óleo essencial (OE) de *Eucalyptus benthamii* b) OE de *Eugenia uniflora*; c) extrato bruto (EB) de *Eucalyptus benthamii* e extrato pirolenhoso, os dois primeiros nas concentrações de 0,5, 1, 2, 4 e 6% e os dois últimos em concentrações de 5, 10, 15, e 20%. Os OEs de *Eugenia uniflora* e de *Eucalyptus benthamii* foram eficientes na redução da herbivoria de *G. platensis*, enquanto o extrato bruto de *Eucalyptus benthamii*, tem potencial inseticida sobre os adultos de *G. platensis* em condições de laboratório.

**Palavras-chave:** Gorgulho-do-eucalipto. Inseto-praga. Herbivoria. Bioinseticida. Silício.

## ABSTRACT

### USE OF SILICON, ESSENTIAL OILS AND EXTRACTS AS ALTERNATIVES IN THE INTEGRATED MANAGEMENT OF *Gonipterus platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) IN *Eucalyptus* spp.

AUTHOR: Camila Fonseca Galvan  
ADVISOR: Maristela Machado Araujo

Worldwide, the eucalyptus weevil, *Gonipterus platensis*, native to Australia, is an invasive insect pest, causing defoliation and significant damage to the *Eucalyptus* genus. Control of this pest is carried out mainly with the egg parasitoid *Anaphes nitens*, however in some countries the efficiency rate is reduced, while chemical products are not registered for this pest in Brazil. Therefore, the general objective of the work was to identify alternatives for controlling *G. platensis*, generating two specific objectives corresponding to each study, which consisted of: a) evaluating the effect of silicate foliar fertilization on the physiological condition of the hybrid *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* the control of *G. platensis*; and b) investigate the effects of essential oils and extracts in controlling this insect pest. The specimens used were collected in São Francisco de Assis in southern Brazil (29°34'20"S, 55°15'36"W) and kept in cages with eucalyptus branches for laboratory feeding. For the experiments with silicate foliar fertilization, three concentrations were used and the control, in which the hybrid plants were sprayed until the leaves were completely moist. At 7, 14 and 21 days after application (a.d.), evaluations were carried out to determine the response time of silicate fertilizer in reducing herbivory by *G. platensis*. The application of 20 mL L<sup>-1</sup> and 30 mL L<sup>-1</sup>, 21 d.a.a provided less loss of leaf area, being suitable for preventive use. For the second study, the following were used: a) essential oil (EO) from *Eucalyptus benthamii* b) EO from *Eugenia uniflora*; c) crude extract (EB) of *Eucalyptus benthamii* and pyroligneous extract, the first two at concentrations of 0.5, 1, 2, 4 and 6% and the last two at concentrations of 5, 10, 15, and 20%. The EOs of *Eugenia uniflora* and *Eucalyptus benthamii* were efficient in reducing the herbivory of *G. platensis*, while the crude extract of *Eucalyptus benthamii* has insecticidal potential on *G. platensis* adults under laboratory conditions.

Keywords: Eucalyptus weevil. Insect pest. Herbivory. Bioinsecticide. Silicon.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3. CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
3.1 EUCALIPTOCULTURA.....	14
3.2 <i>Gonipterus platensis</i> Marelli, 1926 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE).....	15
3.3 O SILÍCIO NA RESISTÊNCIA INDUZIDA DE PLANTAS A INSETOS .....	18
3.4 ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS .....	20
REFERÊNCIAS .....	22
<b>4. CAPÍTULO II - ADUBAÇÃO FOLIAR SILICATADA E SEU EFEITO NA FISIOLOGIA DE <i>Eucalyptus urophylla</i> X <i>E. globulus</i> E NA HERBIVORIA DE <i>Gonipterus platensis</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)</b> .....	22
4.1 INTRODUÇÃO .....	29
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.2.1 Obtenção de <i>G. platensis</i> .....	30
4.2.2 Adubação foliar silicatada em híbrido <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> .....	31
4.2.3 Determinação da herbivoria de <i>G. platensis</i> por área foliar.....	33
4.2.4 Respostas fisiológicas de <i>uroglobulus</i> à adubação com silicato de potássio.....	34
4.2.5 Análise estatística.....	34
4.3 RESULTADOS.....	34
4.4 DISCUSSÃO .....	37
4.5 CONCLUSÃO .....	40
REFERÊNCIAS .....	41
<b>5. CAPÍTULO III – HERBIVORIA E ATIVIDADE INSETICIDA DE ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS SOBRE <i>Gonipterus platensis</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)</b> .....	46
5.1 INTRODUÇÃO .....	47
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	48
5.2.1 Obtenção de <i>Gonipterus platensis</i> .....	48
5.2.2 Óleos essenciais e extratos .....	49
5.2.3 Toxicidade e atividade alimentar do óleo essencial de <i>E. benthamii</i> , <i>E. uniflora</i> , extrato de <i>E. benthamii</i> e extrato pirolenhoso no controle de <i>G. platensis</i> .....	50
5.2.4 Análise estatística .....	51
5.3 RESULTADOS.....	51
5.4 DISCUSSÃO .....	54



5.5 CONCLUSÃO .....	57
REFERÊNCIAS .....	58
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
APÊNDICES .....	63

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Ocupando uma área aproximada de 9,94 milhões de hectares no território nacional, o setor florestal brasileiro desempenha um papel significativo na economia do país, contribuindo com 1,3% do Produto Interno Bruto (IBÁ, 2023). Além de sua importância econômica, o setor florestal também possui relevância ambiental e social (RABELO et al., 2020). O setor é impulsionado, principalmente pelo cultivo do eucalipto, com 7,3 milhões de hectares, ou 77,3% das áreas plantadas (IBGE, 2023).

Com o aumento crescente da área plantada de eucalipto, há também uma maior preocupação com a proteção destas áreas, principalmente em relação a espécies-praga, especialmente as formigas-cortadeiras, lepidópteros e coleópteros, que representam os maiores desafios para a indústria de eucalipto no Brasil (COSTA; CANTARELLI, 2020). Além das espécies de insetos nativas que se adaptam às espécies de eucalipto, várias espécies exóticas foram introduzidas no país, tornando-se pragas (DE QUEIROZ, 2009).

O gorgulho do eucalipto, *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae) é um inseto-praga invasor que tem como principal hospedeiro o gênero *Eucalyptus*. Essa espécie é nativa da Austrália, mas tornou-se uma praga significativa em plantações de eucalipto em várias regiões do mundo (MAPONDERA et al., 2012). Os danos causados às plantações de eucalipto por *G. platensis* tem importância econômica, adultos e larvas deste inseto são desfolhadores, podendo causar redução significativa da área foliar, e conseqüentemente, da capacidade fotossintética e crescimento saudável da planta, (COSTA; CANTARELLI, 2020; TOOKE, 1955), sendo que, quando de desfolha atinge 75%, a perda em volume de madeira pode chegar até 42% (REIS et al., 2012).

A principal forma de controle de *G. platensis* é o biológico, com o parasitoide de ovos, *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae) (SCHRÖDER et al., 2020), uma vez que não há produtos químicos registrados para o controle do inseto-praga no Brasil (AGROFIT, 2024). Entretanto, essa estratégia é pouco efetiva em algumas regiões (REIS et al., 2012), podendo ser mais eficaz quando combinada com outras práticas de manejo integrado de pragas (MIP), como a utilização de espécies de eucalipto resistentes, nutrição de plantas (ALVES; ZANUNCIO, 2021) e inseticidas botânicos (DO PRADO RIBEIRO; VENDRAMIM; BALDIN, 2024).

Nesse contexto, inseticidas botânicos, como piretrinas e neem são reconhecidos não apenas por sua baixa toxicidade e rápida degradação no ambiente, mas também por suas propriedades únicas de ação, sendo que, esses compostos, derivados de plantas, não apenas

combatem as pragasalvo, mas também têm a capacidade de interferir nos processos biológicos específicos das pragas, tornando-se uma alternativa altamente seletiva e eficaz (ISMAN, 2020). Além disso, os inseticidas botânicos são conhecidos por sua versatilidade, podendo ser incorporados ao MIP e utilizados em conjunto com outras técnicas de controle para maximizar sua eficácia (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012).

Associado a isso, a adubação silicatada tem se mostrado como estratégia promissora para o manejo integrado de pragas, ao mesmo tempo em que promove o desenvolvimento sustentável das culturas e melhora a produtividade (BAKHAT et al., 2018). O silício, quando absorvido pelas plantas, é depositado nas células, fortalecendo as paredes celulares e aumentando a resistência das plantas aos ataques de pragas e doenças, tornando as plantas menos suscetíveis a danos (KHAN et al., 2021).

Portanto, a adubação com silício oferece uma série de benefícios para as plantas, incluindo o fortalecimento da estrutura, aumento da resistência a estresses abióticos, melhoria da resistência a doenças e pragas, e potencial redução na necessidade de uso de inseticidas. Conseqüentemente, incorporar o silício como parte de um programa de Manejo integrado de pragas pode ser uma estratégia capaz de aumentar o vigor das plantas e a melhoria da eucaliptocultura.

As hipóteses da pesquisa consistem em: a) a identificação de doses adequadas de adubação silicatada são favoráveis à condição fisiológica e morfológica de plantas jovens de *E. urophylla* x *E. globulus*, favorecendo sua menor susceptibilidade ao inseto-praga *G. platensis*; b) óleos essenciais e extratos são produtos alternativos para a redução de herbivoria por *G. platensis* podendo fazer parte do MIP em *Eucalyptus*.

Assim, torna-se necessário investigar a adubação foliar silicatada e se o uso de inseticidas botânicos influencia na herbivoria e na sobrevivência de *G. platensis*. A partir disso, busca-se métodos mais seguros e sustentáveis para o manejo integrado desse inseto-praga.

A tese foi estruturada em três capítulos para embasar e responder aos problemas da pesquisa. No primeiro capítulo, foi apresentada uma revisão da literatura, com o intuito de descrever o progresso científico relacionado ao inseto-praga *G. platensis* na eucaliptocultura, incluindo os produtos existentes e potenciais para o controle, bem como sua efetividade. O segundo capítulo abordou o efeito da adubação foliar silicatada na redução da herbivoria por *G. platensis*, além de avaliar a influência do tempo decorrido após a aplicação. No terceiro capítulo, foram discutidas alternativas para o controle de *G. platensis* por meio do uso de óleos essenciais e extratos, com o objetivo de reduzir a área foliar consumida e ter efeito inseticida. Por fim, na consideração final, foram resumidos os principais resultados das pesquisas

realizadas nos capítulos II e III, juntamente com sugestões para futuras etapas decorrentes desta tese, visando o avanço da silvicultura de espécies suscetíveis ao *G. platensis*.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar alternativas para a redução da herbivoria e sobrevivência de *Gonipterus platensis*, de modo que auxilie no manejo integrado do inseto-praga em *Eucalyptus* spp.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Verificar se a adubação foliar com silicato de potássio no híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* reduz a herbivoria de adultos de *Gonipterus platensis*;
- b) Determinar se o tempo após a aplicação foliar de silicato de potássio influencia a herbivoria de *G. platensis* no híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*;
- c) Identificar se o óleo essencial de *Eucalyptus benthamii* e *Eugenia uniflora*, o extrato bruto de *Eucalyptus benthamii* e o extrato pirolenhoso, são alternativas para controle de *G. platensis*.

### 3. CAPÍTULO I - REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 EUCALIPTOCULTURA

No Brasil, tem sido observada expressiva mudança no padrão de uso de recursos florestais, com redução significativa no consumo de produtos provenientes de florestas nativas e aumento na utilização de produtos de florestas plantadas, como as de eucalipto e pinus (ANTUNES; NASCIMENTO; QUEIROZ, 2017). Essa transição para o uso de produtos de florestas plantadas representa avanço significativo na direção de uma economia mais sustentável e resiliente, onde a produção de recursos naturais é realizada de forma consciente e em conformidade com os princípios da conservação ambiental (OLIVEIRA et al., 2020).

No país, os plantios florestais alcançaram cerca de 9,94 milhões de hectares em 2022, sendo que 76% da área de florestas plantadas é cultivada com *Eucalyptus*, com produtividade estimada do eucalipto com casca de 32,7 m<sup>3</sup>/ha/ano (IBÁ, 2023). A região sudeste continua se destacando como a principal região de florestas de eucalipto, com 46%, o estado de Minas Gerais (2,2 milhões de ha) é o maior produtor, seguido do Mato Grosso do Sul (1,1 milhões de ha) e São Paulo (1,0 milhão de ha), sendo o Brasil ainda considerado referência mundial de produtividade florestal (IBÁ, 2023). Pensando nas espécies de *Eucalyptus* amplamente plantadas, nove espécies (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. nitens*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. dunnii*, e *E. pellita*) e seus híbridos são amplamente utilizadas (STANTURF et al., 2013).

*E. urophylla* apresenta características como rápido crescimento, caule reto, copa densa, alta adaptabilidade aos diversos gradientes ambientais (SAADAUI et al., 2017), resistência a solo ácido e solo alcalino (YANG et al., 2015), por possuir alto valor econômico e poder ser colhida em curta rotação (VIERA; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, 2019). Já *E. globulus* também é amplamente cultivado em todo o mundo (FABIYI; OLUBUNMI; OLATUNJI, 2020; GÖGER et al., 2020) devido à sua fácil adaptabilidade às condições ambientais, facilidade de cultivo, rápida taxa de crescimento, aumento da biomassa lenhosa (REBOREDO et al., 2021), alta densidade e qualidade do produto final (DE RESENDE; ALVES, 2021). Desta forma, o híbrido *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill obtém as características das características desejáveis de mais das duas espécies, sendo um material genético promotor de alto rendimento em celulose e baixo teor de lignina, que são de grande interesse para o setor de papel e celulose (POTTS et al., 2004; POYNTON, 1979; XAVIER et al., 2007).

*E. saligna*, é uma espécie frequentemente utilizada na região sul do Brasil (ANJOS; FONTE, 2017), apresentando propriedades físicas e mecânicas da madeira para estruturas de devido à sua densidade aparente e propriedades de resistência mecânica, que a tornam apropriada para o uso em construção civil (NOGUEIRA et al., 2019), além de possuir maior teor de lignina, sendo mais indicadas para energia (LENGOWSKI et al., 2020). Quanto as propriedades da madeira, *E. saligna* apresenta densidade básica da madeira com tendência de aumento com o aumento da altura (BONFATTI JÚNIOR et al., 2023), variando a densidade básica de 0,73 g/cm<sup>3</sup> e uma densidade aparente de 0,58 g/cm<sup>3</sup> (NOGUEIRA et al., 2019).

A relevância do setor florestal brasileiro evidencia a necessidade de adotar medidas eficazes de manejo de pragas para sustentar esse setor (HURLEY et al., 2016). A ocorrência de espécies-praga em plantios representa um dos maiores desafios para a indústria de eucalipto no Brasil, principalmente formigas-cortadeiras, lepidópteros e coleópteros (COSTA; CANTARELLI, 2020). O processo de adaptação fez com que espécies de insetos nativas se adaptassem às espécies de eucalipto, bem como várias espécies exóticas foram introduzidas no país, tornando-se pragas (DE QUEIROZ, 2009).

### 3.2 *Gonipterus platensis* Marelli, 1926 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Dentre as pragas exóticas do eucalipto introduzidas no Brasil, as principais são o gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis* Marelli, 1926), o percevejo-bronzeado (*Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006), o psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei* Moore, 1964), a vespa-da-galha (*Leptocybe invasa* Fisher e La Salle, 2004) e a broca-do-eucalipto (*Phoracantha semipunctata* Fabricius, 1775) (BARBOSA et al., 2021).

Originário da Austrália, o gênero *Gonipterus* está distribuído desde a Tasmânia até Queensland (MALLY, 1924), com ocorrência reduzida no sudoeste do país. De acordo com a NCBI (2016), foram descritas mais de 20 espécies do gênero *Gonipterus* Schöenher, 1833, pertencente a ordem Coleoptera, subordem Polyphaga, superfamília Curculionoidea, família Curculionidae, subfamília Gonipterinae e tribo Gonipterini (NCBI, 2016). Além de sua origem, o gênero *Gonipterus* é encontrado em várias regiões produtoras do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*, estando presente em todos os continentes (EPPO, 2005; SOUZA, 2016). Na América do Sul, esse inseto-praga foi detectado na Argentina, Chile, Uruguai, Colômbia, Equador e no Brasil (AVALOS et al., 2017; CRESPO-PÉREZ et al., 2023; LANFRANCO; DUNGEY, 2001; SOUZA, 2016; WILCKEN; OLIVEIRA, 2015).

No Brasil, *G. platensis* é a espécie mais abundante (MAPONDERA et al., 2012), com a primeira detecção no Rio Grande do Sul em 1955 (BARBIELLINI, 1955). Desde a década de 1990, a espécie popularmente conhecida como gorgulho-do-eucalipto, causa danos econômicos significativos aos plantios florestais (SOUZA, 2016), estando distribuída atualmente nos estados do Rio Grande do sul (ROSADO-NETO, 1993), Paraná (FREITAS, 1979), Santa Catarina (FENILLI, 1982), São Paulo (ROSADO-NETO, 1993), Espírito Santo (WILCKEN et al., 2008a), Bahia (NANINI et al., 2022) e Minas Gerais (RIBEIRO et al., 2023) (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição geográfica de *G. platensis* por ano de primeiro registro nos Estados do Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Desde a detecção do gorgulho-do-eucalipto no Brasil até 2012, acreditava-se que as espécies encontradas no território brasileiro fossem *G. scutellatus* e *G. gibberus*. No entanto, por meio de análises moleculares e comparações de genitália, o complexo *scutellatus* foi redefinido e a nomenclatura atualizada. Assim, para o Brasil, foi demonstrado que as únicas duas espécies presentes são *G. platensis* e *G. pulverulentus*, respectivamente (MAPONDERA et al., 2012).

Os espécimes adultos de *G. platensis* possuem rostro curto, subcilíndrico e geralmente coloração castanho escura, com revestimento escamoso. As fêmeas em geral são maiores, medindo entre 7,5 e 9,4 mm, já os machos entre 5,7 e 8,9 mm (ROSADO-NETO, 1993;



SANCHES, 1993). O ciclo de vida conclui-se duas vezes por ano, ocorrendo picos do inseto nos meses de janeiro e agosto e a postura dos ovos ocorre preferencialmente em folhas jovens, em duas épocas do ano, de fevereiro a abril e de setembro a outubro, e cada postura pode conter até 12 ovos (WILCKEN; OLIVEIRA, 2015). Na fase larval, o inseto apresenta corpo cilíndrico na cor amarelo-claro a creme com três faixas verde-escuras, cabeça retrátil e bem desenvolvida, podendo alcançar 10 milímetros de comprimento, até chegar ao 4º instar de desenvolvimento (ROSADO-NETO, 1993). As larvas que atingem a fase de pré-pupa, lançam-se no solo onde se enterram e constroem uma câmara pupal ovalada a cerca de a a 2,5cm de profundidade, onde permanecerão até a fase adulta (TOOKE, 1955). Os adultos vivem aproximadamente 220 dias (SOUZA et al., 2016b) e alimentam-se de folhas novas e tenras a intermediária de *Eucalyptus*, enquanto as larvas se alimentam exclusivamente de brotações e folhas jovens, podendo causar desfolha severa no terço superior das plantas (COSTA; CANTARELLI, 2020; TOOKE, 1955).

No Brasil, foram relatadas ocorrência de *G. platensis* em *E. globulus*, *E. oblliqua*, *E. viminalis*, *E. robusta*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla x E. grandis*, *E. maidenii*, *E. punctata*, *E. smithii*, *E. territicornis*, *Eucalyptus alba*, *E. benthamii*, *E. maculata* e *E. platyphylla* (SOUZA, 2016).

*Eucalyptus urophylla* é considerado um hospedeiro adequado para a sobrevivência, desenvolvimento e reprodução de *G. platensis*, comparado com outras espécies (DE OLIVEIRA et al., 2022), sendo um dos hospedeiros mais consumidos, chegando a 70,58 cm<sup>2</sup> de folhas para o desenvolvimento total das larvas (OLIVEIRA, 2006). Já para o *E. globulus* a área foliar consumida pode chegar à 1,7g quando, sendo superior a outras espécies (CORDERO RIVERA; SANTOLAMAZZA CARBONE, 2000), ocasionando uma perda no volume de madeira de 42% se a porcentagem de desfolha atinge 75% (REIS et al., 2012). Além disso, é um hospedeiro potencial em diversos países de registro desta praga (SOUZA, 2016) e dentro desta seção Symphyomyrtus, *E. globulus* sempre é a espécie geristrada como preferida (GONÇALVES et al., 2019). Ainda, no Brasil, há registro de danos ocasionado ao híbrido dessas duas espécies (*E. urophylla X E. globulus*) (SOUZA, 2016), o que pode estar relacionado ao fato de que dentro do subgênero Symphyomyrtus, todas as espécies da seção Maidenaria são utilizadas para a alimentação por *G. platensis* (GONÇALVES et al., 2019).

A infestação em *Eucalyptus saligna* com severidade de ataque chegando à até 75% com infestações durante todo o ciclo produtivo (seis meses a 9,8 anos) (SOUZA, 2016), apresentando alterações na qualidade da madeira, principalmente química, e um menor teor de biomassa produzida por hectare (ZANUNCIO et al., 2020).

O controle biológico é o mais utilizado como estratégia de manejo do inseto-praga, e ocorre com o parasitoide de ovos *Anaphes nitens* (Girault., 1928) (Hymenoptera: Mymaridae), (SCHRÖDER et al., 2020). Entretanto, no Brasil a taxa de parasitismo tem variado entre 30% e 90%, dependendo do estado de ocorrência (SOUZA et al., 2016b), bem como em alguns países da América do Sul, com clima temperado, altitudes superiores a 400m e invernos frios (REIS et al., 2012), uma vez que elevações acima de 360 m, apresentam fatores climáticos limitantes ao parasitoide *A. nitens* (Ceia et al., 2021). *Anaphes tasmaniae* (Huber e Prinsloo, 1990) (Huber & Prinsloo) (Hymenoptera: Mymaridae), *Anaphes inexpectatus* (Huber e Prinsloo, 1990) (Huber & Prinsloo) (Hymenoptera: Mymaridae), *Cirrospilus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae), *Euderus* sp. (Haliday, 1844) (Hymenoptera: Eulophidae) e *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) também foram relatados parasitando ovos e pupas de *G. platensis*, no entanto, com taxas de parasitismo menos eficientes do que *A. nitens* (GARCIA et al., 2019).

Outra forma de controle biológico é a utilização do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* que apresentou ser adequado para o controle de *G. platensis* (BERTI FILHO et al., 1992), sendo que produtos à base desse fungo são registrados no Brasil para o inseto-praga (AGROFIT, 2024). Inseticidas baseados em fungos entomopatogênicos ao gorgulho-do-eucalipto são limitados pela falta de cepas virulentas conhecidas, dessa forma, testes tem demonstrado que cepas fúngicas brasileiras, de *B. bassiana* e *Metarhizium anisopliae* apresentam letalidade superior às cepas comercializadas existentes para o manejo desta praga de eucalipto no Brasil (JORDAN et al., 2021).

Outros potenciais agentes de controle são os nematoides como *Steinernema diaprepesi* (Nguyen e Duncan, 2002) (Rhabditida: Steinernematidae) e *Steinernema brazilense* (Rhabditida: Steinernematidae) que tem apresentado potencial patogênico para *G. platensis* podendo ser utilizados no manejo integrado deste inseto (BRIDA et al., 2020; DAMASCENA et al., 2020). No entanto, com relação a produtos sintéticos, não há registro de nenhum produto para o inseto-praga (AGROFIT, 2024).

### 3.3 O SILÍCIO NA RESISTÊNCIA INDUZIDA DE PLANTAS A INSETOS

A adubação inadequada pode propiciar a produção de substâncias químicas que provocam a redução da resistência da planta ao ataque ou, até mesmo, pode apresentar determinada atratividade às espécies-praga (CHABOUSSOU, 1995). A deficiência ou excesso de nutrientes, faz com que as plantas apresentem alterações no crescimento, nos constituintes

dos tecidos, produzindo compostos de defesa e alterando a resistência da planta às pragas e doenças (WEINMANN; BRADÁČOVÁ; NIKOLIC, 2023).

Apesar do silício não ser considerado um elemento essencial para as plantas, existem relatos dos seus efeitos benéficos (BAKHAT et al., 2018), podendo ser absorvido principalmente na forma de ácido monossilício, através das raízes e folhas, transportado pelo xilema para várias partes da planta, sendo que o pH, temperatura e umidade podem influenciar na sua absorção (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001). O silício mostra-se eficiente no estresse biótico e abiótico, auxiliando na redução da perda de água pelas plantas, da salinidade e da toxicidade de metais pesados e, ainda, na resistência contra pragas e doenças (TESHOME; ZHARARE; NAIDOO, 2020).

Uma das vantagens da adubação com silício é a sua capacidade de fortalecer a estrutura das plantas, aumentando a resistência mecânica das células e tecidos, o que pode resultar em plantas mais eretas e menos susceptíveis a danos causados por vento, chuva e manejo (MATOS, 2020). Além disso, estudos mostraram que o silício pode induzir respostas de defesa em plantas, aumentando a produção de fitoalexinas, lignina e outras substâncias (DA SILVA PONCE et al., 2022; VALLE; SANTOS; SILVA, 2018). Além disso, o silício tem sido associado a uma redução na incidência e severidade de doenças fúngicas, bacterianas e virais em várias culturas, interferindo nos ciclos de vida de patógenos, dificultando sua colonização e reprodução. Dois tipos de mecanismos podem combater os ataques de insetos-praga: barreiras físicas ou mecânicas e mecanismos bioquímicos/moleculares, nestes, o silício pode regular positivamente e preparar as vias de defesa das plantas contra insetos (ALHOUSARI; GREGER, 2018). Assim, o silício pode influenciar na redução da oviposição, digestibilidade, atividade dos insetos, indução da atividade antialimentar e melhora da característica biológica da planta (KALLESHWARASWAMY; KANNAN; PRAKASH, 2022).

Estudos objetivando avaliar o o efeito da aplicação de silício sobre a população do *Glycaspis Brimblecombei* Moore, 1964 (Hemiptera: Psyllidae) em plantas de *E. Camaldulensis* concluiu que a aplicação pode afetar a densidade populacional de ovos e ninfas do inseto (CAMARGO, 2011). Ainda, em *E. Camaldulensis*. uma avaliação do efeito da aplicação de silício na concentração de 10mL L<sup>-1</sup> via foliar controlou a infestação de *G. Brimblecombei* (DE QUEIROZ et al., 2016). A microssílica como fonte de silício se mostrou capaz de reduzir o número de ovos e ninfas de *G. Brimblecombei* quando aplicada via foliar (OLIVEIRA, 2020).

### 3.4 ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS

Originados do metabolismo secundário das plantas, os óleos essenciais (OEs) são misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, com baixo peso molecular e líquidas, frequentemente apresentam odor agradável e marcante (SHANKAR et al., 2021). Podendo ser extraídos por meio de destilação por arraste com vapor de água, destilação a pressão reduzida ou outro método adequado (CAMPOS, 2022).

Os OEs possuem características distintas de aroma, cor e propriedades antissépticas, atribuídas aos seus constituintes. Nas plantas, são armazenados em células secretoras, presentes em vários de seus órgãos, como células epidérmicas, cavidades, canais ou tricomas glandulares (STIEVEN; MOREIRA; SILVA, 2009). Podem ser extraídos de várias partes das plantas, incluindo flores, folhas, caules, cascas e raízes (MARTINS; GARLET, 2016) e são compostos por uma mistura complexa de substâncias químicas, incluindo terpenos, fenóis, aldeídos, ésteres, entre outros (SAYED; ELARNAOUTY; ALI, 2021). Cada óleo essencial possui uma composição química única que determina suas propriedades aromáticas e terapêuticas específicas (FERREIRA, 2014).

O extrato de planta é uma preparação, líquida ou em pó, geralmente obtida a partir da extração de uma variedade de componentes da planta, incluindo compostos solúveis em água e solúveis em solventes orgânicos (DE MORAIS; VIEIRA, 2021). De acordo com a composição química da planta (particularmente a solubilidade dos ativos presentes), utilizam-se diversos solventes para extração dos compostos, água, álcool, acetato de etila, acetona, etanol, podendo ser produzido através de diferentes métodos de extração, como maceração ou percolação, extração com soxhlet, extração com líquido supercrítico, extração ácido-base e extração assistida por ultrassom e micro-ondas (SOUZA; GASPAROTI; DE PAULA, 2022)

Uma variedade de compostos pode ser obtida a partir dos extratos de plantas como polifenóis, flavonoides, taninos, vitaminas, minerais e outros fitonutrientes. (DE MORAIS; VIEIRA, 2021). Eles podem ser usados em formulações para cosméticos, produtos de cuidados pessoais, suplementos alimentares, produtos farmacêuticos, entre outros, devido às suas propriedades terapêuticas (MARQUES, 2005).

A utilização dos OEs e extratos é ampla, desde produtos cosméticos, produtos de higiene pessoal, perfumaria, medicina, culinária, e ainda são conhecidos por suas propriedades terapêuticas, que podem incluir efeitos calmantes, estimulantes, anti-inflamatórios, antissépticos, entre outros, dependendo da sua composição química, entre outros (RAMOS; DE SOUZA, 2021).

Dentre os produtos que podem ser gerados pelas plantas, estão os inseticidas naturais, a partir dos óleos essenciais e extratos botânicos, os quais agem em determinado estágio de vida de muitos inseto-praga (AHMED et al., 2020). Assim, podem ser introduzidos na agricultura de forma sustentável como método de controle eficaz, reduzindo custos, contaminação química (ISMAN, 2014).

O uso de óleos e extratos vegetais como bioinseticida tem se mostrado promissor, sendo uma alternativa viável, podendo ser inseridos no manejo integrado de pragas (MIP) (LIMA; SOUTO; DE MEDEIROS, 2019), substituindo ou reduzindo o uso de inseticidas sintéticos. O MIP, combinando agentes de biocontrole e bioinseticidas, ganham importância, tendo em vista que representam uma estratégia de manejo ecologicamente segura, sob a qual os agentes de biocontrole podem ser combinados com extratos derivados de plantas (KALITA; HAZARIKA, 2018) e utilizados em armadilhas no campo com o intuito de confundir, atrair, ou repelir os insetos, evitar que eles encontrem o parceiro para acasalamento (RIFFEL; DA COSTA, 2015) e reduzindo a herbivoria (QIAN et al., 2024).

Em espécies praga florestais alguns estudos já vêm sendo realizados como é o caso *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) em que foi verificada a mortalidade desta praga casada pelo óleo essencial de *E. uniflora* (ALVES, 2022), de *Mentha* sp. (ANDRADE, 2023), citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt), patchouli (*Pogostemon cablin*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*) (DALLACORT, 2017), *S. terebinthifolius* (SANTANA, 2018) e *E. camaldulensis* (AVILA et al., 2022). Para formigas cortadeiras também já há registros do potencial inseticida do óleo essencial do *Cymbopogon citratus* no controle da formiga cortadeira *Atta sexdens* (Forel, 1908) (Hymenoptera: Formicidae) (BENTO, 2021), do óleo de *Drimys angustifolia* sobre *Acromyrmex* (SILVA et al., 2007) e de *Lippia sidoides* sobre *Atta sexdens* (SANTANA, 2018). Ainda, os óleos essenciais de *Piper hispidinervum*, *Cymbopogon citratus* e *Syzygium Aromaticum* apresentam promessa inseticida contra *Thyrinteina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera, Geometridae) (SILVEIRA ANTUNES SOARES et al., 2011).

No entanto, nenhum bioinseticida botânico está liberado no Brasil, mesmo que, por muitos anos, tenha ocorrido o incentivo do Ministério da Agricultura do Brasil para promover o uso de muitos extratos e óleos vegetais (ISMAN, 2020). Assim, com a crescente necessidade do desenvolvimento de medidas de controle de pragas ambientalmente mais corretas, o entendimento destas interações e dos sinais envolvidos, surge como alternativa ao uso de agrotóxicos (RIFFEL; DA COSTA, 2015).

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2024. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 12 jan. 2024
- AHMED, M. et al. Insecticidal activity and biochemical composition of *Citrullus colocynthis*, *Cannabis indica* and *Artemisia argyi* extracts against cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 522, 2020.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018.
- ALVES, L. T. **Óleos essenciais e fungos entomopatogênicos no controle de *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) a campo**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.
- ANDRADE, A. F. **Efeito inseticida do óleo essencial de *Mentha sp.* sobre *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae)**. bachelor. Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 30 jun. 2023.
- ANJOS, R. A. M. DOS; FONTE, A. P. N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26–32, 9 mar. 2017.
- ANTUNES, J.; NASCIMENTO, V. S. DO; QUEIROZ, Z. F. DE. Narrativa crítica acerca do desenvolvimento sustentável: quais relações podemos estabelecer? **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 34, n. 2, p. 57–75, 2 set. 2017.
- AVALOS, M. R. et al. Vigilancia fitosanitaria forestal oficial en Colombia: Nuevos reportes de insectos plaga en plantaciones forestales. **PATROCINADOR OFICIAL**, p. 119, 2017.
- AVILA, R. C. et al. Compostos presentes em óleo essencial de folhas de eucalipto podem ter relação com a resistência/suscetibilidade ao percevejo bronzeado (*Thaumastocoris peregrinus*). **Scientia Forestalis**, v. 50, 20 set. 2022.
- BAKHAT, H. F. et al. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, 1 fev. 2018.
- BARBIELLINI, A. A. Combate à praga do eucalipto no sul. **Chácaras e Quintaes**, v. 91, p. 191–192, 1955.
- BARBOSA, L. R. et al. Pragas de eucaliptos. 2021.
- BENTO, P. F. Potencial inseticida do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* para o controle de formigas cortadeiras do gênero *atta* (Hymenoptera: Formicidae). 2021.
- BERTI FILHO, E. et al. Occurrence of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in adults of *Gonipterus scutellatus* (Gyllenhal)(Coleoptera: Curculionidae). **Revista de Agricultura (Piracicaba)**, v. 67, n. 3, p. 251–252, 1992.
- BONFATTI JÚNIOR, E. A. et al. BASIC WOOD DENSITY, FIBER DIMENSIONS, AND WOOD CHEMICAL COMPOSITION OF FOUR *Eucalyptus* SPECIES PLANTED IN SOUTHERN BRAZIL. **Revista Árvore**, v. 47, p. e4704, 2023.

- BRIDA, A. L. et al. Pathogenicity of *Steinernema brazilense* (Rhabditida: Steinernematidae) to *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) prepupae. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, p. 213–216, 6 abr. 2020.
- CAMARGO, J. M. M. Seleção de clones, absorção e translocação de silício, e seu efeito sobre a população do psilídeo-de-concha *Glycaspis Brimblecombei* (Moore)(Hemiptera: Psyllidae) em plantas de *Eucalyptus Camaldulensis* Dehn. 2011.
- CAMPOS, W. N. DE. Obtenção de óleos essenciais por arraste a vapor: uma proposta de intervenção metodológica para o ensino de Química. 2022.
- CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (a teoria da trofobiose)**. [s.l.] L&PM, 1995.
- CORDERO RIVERA, A.; SANTOLAMAZZA CARBONE, S. The effect of three species of *Eucalyptus* on growth and fecundity of the *Eucalyptus* snout beetle ( *Gonipterus scutellatus* ). **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 73, n. 1, p. 21–29, 1 jan. 2000.
- COSTA, E. C.; CANTARELLI, E. B. **Entomologia florestal aplicada**. [s.l.] Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2020.
- CRESPO-PÉREZ, V. et al. Presence of the *Eucalyptus* snout beetle in Ecuador and potential invasion risk in South America. **Ecology and Evolution**, v. 13, n. 9, p. e10531, 2023.
- DA SILVA PONCE, F. et al. Adubação silicatada na produtividade e respostas fisiológicas das plantas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e164111637926–e164111637926, 2022.
- DALLACORT, S. **Avaliação de óleos essenciais sobre *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera, Thaumastocoridae)**. bachelorThesis—[s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 7 jun. 2017.
- DAMASCENA, A. P. et al. *Steinernema diaprepesi* (Rhabditida: Steinernematidae) parasitizing *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae). **Royal Society Open Science**, v. 7, n. 8, p. 200282, 2020.
- DE MORAIS, S. M.; VIEIRA, Í. G. P. Introdução à Prospecção de Produtos Naturais. 2021.
- DE OLIVEIRA, N. C. et al. The survival, development, and reproduction of *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) on the main *Eucalyptus* (Myrtaceae) genotypes planted in Brazil. **PeerJ**, v. 10, p. e13698, 2022.
- DE QUEIROZ, D. L. et al. Effect of silicon application to *Eucalyptus camaldulensis* on the population of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Aphalaridae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 85–94, 2016.
- DE RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção. 2021.
- EPPO. Data sheets on quarantine pest: *Gonipterus gibberus* and *Gonipterus scutellatus*. **Bulletin of the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)**, v. 35, p. 368–370, 2005.

- FABIYI, O.; OLUBUNMI, A.; OLATUNJI, G. Toxicity Effect of *Eucalyptus globulus* on *Pratylenchus* spp. of *Zea mays*. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 36, 8 dez. 2020.
- FENILLI, R. Primeiro registro de *Gonipterus platensis* Marelli, 1926 e *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835)(Coleoptera, Curculionidae, Gonipterinae) no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 11, n. 2, p. 293–294, 1982.
- FERREIRA, A. R. A. **Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos**. 2014.
- FREITAS, S. DE. Contribuição ao estudo da morfologia e biologia de *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835)(Coleoptera: Curculionidae) e levantamento dos danos causados por esta espécie em eucaliptos dos arredores de Curitiba [Master].
- GARCIA, A. et al. Biological control of *Gonipterus*: Uncovering the associations between eucalypts, weevils and parasitoids in their native range. **Forest Ecology and Management**, v. 443, p. 106–116, 2019.
- GÖGER, G. et al. In vitro antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory evaluation of *Eucalyptus globulus* essential oil. **Natural Volatiles and Essential Oils**, v. 7, n. 3, p. 1–11, 7 set. 2020.
- GONÇALVES, C. I. et al. Host susceptibility to *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) of *Eucalyptus* species. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 3, 2019.
- HURLEY, B. P. et al. Increasing numbers and intercontinental spread of invasive insects on eucalypts. **Biological Invasions**, v. 18, p. 921–933, 2016.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides: a global perspective, Biopesticides: State of the art and future Opportunities. **Am. Chem. Soc.**, v. 1172, p. 21–30, 2014.
- ISMAN, M. B. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century—Fulfilling Their Promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, n. 1, p. 233–249, 2020.
- JORDAN, C. et al. Entomopathogenic fungi as the microbial frontline against the alien *Eucalyptus* pest *Gonipterus platensis* in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 7233, 2021.
- KALITA, S.; HAZARIKA, L. K. Safety of *Chromolaena odorata* (Asteraceae) leaf extracts against *Trichogramma japonicum* Ashmead. **Annals of Plant Protection Sciences**, v. 26, n. 2, p. 276–280, 2018.
- KALLESHWARASWAMY, C. M.; KANNAN, M.; PRAKASH, N. B. Chapter 16 - Silicon as a natural plant guard against insect pests. Em: ETESAMI, H. et al. (Eds.). **Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement**. Academic Press, 2022. p. 219–227.
- LANFRANCO, D.; DUNGEY, H. S. Insect damage in *Eucalyptus*: a review of plantations in Chile. **Austral Ecology**, v. 26, n. 5, p. 477–481, 2001.
- LENGOWSKI, E. C. et al. Properties of wood from frost-tolerant *Eucalyptus* planted in Brazil. 2020.
- LIMA, R. B.; SOUTO, R. N. P.; DE MEDEIROS, F. A. Espécies vegetais usadas como repelentes e inseticidas no estado do Amapá, BR. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 3, p. 14–14, 2019.



- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in plant Science**, v. 8, p. 17–39, 2001.
- MALLY, C. W. The eucalyptus snout-beetle. **Journal of the Department of Agriculture**, v. 9, n. 5, p. 415–442, 1924.
- MAPONDERA, T. S. et al. Identification and molecular phylogenetics of the cryptic species of the *Gonipterus scutellatus* complex (Coleoptera: Curculionidae: Gonipterini). **Australian Journal of Entomology**, v. 51, n. 3, p. 175–188, 2012.
- MARQUES, L. C. Preparação de extratos vegetais. **Jornal Brasileiro de Fitomedicina**, v. 3, n. 2, p. 74–76, 2005.
- MARTINS, M. C.; GARLET, T. M. B. Desenvolvendo e divulgando o conhecimento sobre plantas medicinais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 438–448-438–448, 2016.
- MATOS, F. S. **Folha seca: introdução à fisiologia vegetal**. Editora Appris, 2020.
- NANINI, F. et al. Molecular identification and phylogeography of *Gonipterus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) in Brazil. **Austral Entomology**, v. 61, n. 4, p. 462–471, 2022.
- NCBI. **National Center for Biotechnology Information**. *Gonipterus*. , 2016. Disponível em: <<http://www.gbif.org/species/104616744>>. Acesso em: 11 ago. 2022
- NOGUEIRA, M. C. et al. Physical and mechanical properties of Eucalyptus saligna wood for timber structures. **Ambiente Construído**, 2019.
- OLIVEIRA, A. L. DE et al. Forest replacement in Brazil: a fundamental policy for forestry. **Floresta e Ambiente**, v. 27, 2020.
- OLIVEIRA, D. W. N. DE. Fertilização silicatada com microssílica pode ser usada para controlar o psilídeo de concha em florestas de eucalipto? 2020.
- OLIVEIRA, N. C. DE. Biologia de *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae) em Eucalyptus spp. em diferentes temperaturas. 2006.
- POTTS, B. M. et al. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. 2004.
- POYNTON, R. J. **Tree planting in southern Africa: the eucalypts**. [s.l.] Department of Forestry Pretoria, South Africa, 1979. v. 2
- QIAN, J. et al. Release patterns and potential utility of herbivore-induced plant volatiles in crops: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 219, p. 105659, 1 mar. 2024.
- RAMOS, L. M. P.; DE SOUZA, G. O. Uma revisão integrativa sobre o uso de plantas aromáticas encontradas na Amazônia na promoção da fitoterapia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e419101422263–e419101422263, 2021.
- REBOREDO, F. H. et al. The Tolerance of *Eucalyptus globulus* to Soil Contamination with Arsenic. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 627, abr. 2021.
- REIS, A. R. et al. Efficiency of biological control of *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) by *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) in cold areas of the Iberian

Peninsula: Implications for defoliation and wood production in *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 216–222, 15 abr. 2012.

RIBEIRO, M. F. et al. First detection of *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) and its parasitoid *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) in eucalyptus plantations in Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e271694, 29 maio 2023.

RIFFEL, A.; DA COSTA, J. G. Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura. 2015.

ROSADO-NETO, G. H. Gonipterinae of Eucalyptus: first record of *Gonipterus scutellatus* for the state of São Paulo, Brazil, and some considerations on *G. gibberus* (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 37, n. 3, p. 465–467, 1993.

SAADAOU, E. et al. An overview of adaptative responses to drought stress in spp. **Forestry Studies**, v. 67, n. 1, p. 86–96, 1 dez. 2017.

SANCHES, M. A. **Influência da temperatura no desenvolvimento de *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal 1833 (Coleoptera, Curculionidae) em *Eucalyptus viminalis* Labill, aspectos bionômicos e parasitismo na região de Curitiba (PR)**. [s.l.] Universidade federal do Paraná Curitiba, Brazil, 1993.

SANTANA, L. K. N. DE. Toxicidade do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* (anacardiaceae) para *Thaumastocoris peregrinus* (Heteroptera: thaumastocoridae). 13 dez. 2018.

SAYED, S.; ELARNAOUTY, S.-A.; ALI, E. Suitability of five plant species extracts for their compatibility with indigenous *Beauveria bassiana* against *Aphis gossypii* Glov. (Hemiptera: Aphididae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 1, p. 1–8, 2021.

SCHRÖDER, M. L. et al. Invasion history and management of *Eucalyptus* snout beetles in the *Gonipterus scutellatus* species complex. **Journal of Pest Science**, v. 93, p. 11–25, 2020.

SHANKAR, S. et al. Essential oils, components and their applications: A review. **Plant arch**, v. 21, n. 1, p. 2027–2033, 2021.

SILVA, L. DA et al. Biciclogermacreno, resveratrol e atividade antifúngica em extratos de folhas de *Cissus verticillata* (L.) Nicolson & Jarvis (Vitaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, p. 361–367, 2007.

SILVEIRA ANTUNES SOARES, C. et al. Ação inseticida de óleos essenciais sobre a lagarta desfolhadora *Thyriniteina arnobia*, stoll: Lepidoptera: Geometridae. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 30, 2011.

SOUZA, N. M. DE. *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae): infestação em eucalipto, aspectos morfológicos e biológicos e controle. 2016.

SOUZA, N. M. et al. Ressurgência de uma antiga ameaça: Gorgulho-do-eucalipto. **Gonipterus platensis**, p. 1–20, 2016.

SOUZA, R. R.; GASPAROTI, P. S.; DE PAULA, J. A. M. Obtenção de extratos de plantas medicinais: uma revisão de escopo dos métodos extrativos modernos em comparação ao método clássico por SOXHLET. **Revista Movimenta ISSN**, v. 1984, p. 4298, 2022.

STANTURF, J. A. et al. **Eucalyptus beyond its native range: Environmental issues in exotic bioenergy plantations**. [s.l.] Hindawi, 2013. v. 2013

STIEVEN, A. C.; MOREIRA, J. J. S.; SILVA, C. F. Essential oils of uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess): evaluation of the microbiological and antioxidant activities. **Ecletica Quimica**, v. 34, p. 7–16, 2009.

TESHOME, D. T.; ZHARARE, G. E.; NAIDOO, S. The threat of the combined effect of biotic and abiotic stress factors in forestry under a changing climate. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 1874, 2020.

TOOKE, F. G. C. The Eucalyptus Snout. beetle, *Gonipterus scutellatus* Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means. **The Eucalyptus Snout. beetle, Gonipterus scutellatus Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means.**, 1955.

VALLE, R. R. M.; SANTOS, K. C. B.; SILVA, J. V. O. Mecanismos de resistência em plantas contra ataque de patógenos: indução de resistência. **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação. Ilhéus: Editus**, p. 85–150, 2018.

VIERA, M.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. A Complete Assessment of Carbon Stocks in Above and Belowground Biomass Components of a Hybrid *Eucalyptus* Plantation in Southern Brazil. **Forests**, v. 10, n. 7, p. 536, jul. 2019.

WEINMANN, M.; BRADÁČOVÁ, K.; NIKOLIC, M. Relação entre nutrição mineral, doenças de plantas e pragas. Em: RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (Eds.). **Marschner's Mineral Nutrition of Plants (Fourth Edition)**. San Diego: Academic Press, 2023. p. 445–476.

WILCKEN, C. F.; OLIVEIRA, N. C. Gorgulho-do-eucalipto, *Gonipterus platensis* Marelli. **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ**, p. 779–791, 2015.

XAVIER, A. A. et al. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*) Resistance of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* to rust. 2007.

YANG, M. et al. Effect of Low pH and Aluminum Toxicity on the Photosynthetic Characteristics of Different Fast-Growing *Eucalyptus* Vegetatively Propagated Clones. **PLOS ONE**, v. 10, n. 6, p. e0130963, 19 jun. 2015.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Defoliation by insects reduces the wood quality and cellulosic pulp production. **Holzforschung**, v. 74, n. 5, p. 489–495, 1 maio 2020.

#### 4. CAPÍTULO II - ADUBAÇÃO FOLIAR SILICATADA E SEU EFEITO NA FISIOLOGIA DE *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus* E NA HERBIVORIA DE *Gonipterus platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

##### RESUMO

O gênero *Eucalyptus* apresenta alto potencial produtivo e de comercialização, sendo que o Brasil é um dos principais produtores mundiais de madeira para fins industriais, a exemplo do híbrido de *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus*. O controle de insetos-praga em culturas florestais é essencial para manter a qualidade dos produtos madeireiros, bem como para garantir alta produtividade. *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) é um inseto desfolhador, que nos últimos anos tem se dispersado pelo país causando danos econômicos aos plantios. Neste contexto, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adubação foliar silicatada na herbivoria de *G. platensis* e na fisiologia do híbrido de *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus*. Para os experimentos de adubação foliar silicatada foram utilizadas três concentrações (10, 20 e 30 mL L<sup>-1</sup>) e controle, em que as plantas do híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* foram pulverizadas até o molhamento total das folhas. Aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (d.a.a), as avaliações foram realizadas para determinação do tempo de resposta da adubação silicatada na redução da herbivoria por *G. platensis*. A aplicação de 20 mL L<sup>-1</sup> e 30 mL L<sup>-1</sup>, 21 d.a.a proporcionou menor redução da área foliar indicando o adequado condicionamento fisiológico das plantas. Assim, uma possível solução a ser testada é a adubação como silicato de potássio no controle preventivo de *G. platensis*.

Palavras-chave: híbrido, uroglobulus, gorgulho-do-eucalipto, manejo integrado de pragas (MIP), resistência induzida.

##### ABSTRACT

The genus *Eucalyptus* presents high productive and commercial potential, with Brazil being one of the main global producers of timber for industrial purposes. Specifically, the hybrid of *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus*. Controlling insect pests in forest crops is essential to maintain the quality of timber products as well as to ensure high productivity. *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) is a defoliating insect that has spread throughout the country in recent years, causing economic damage to plantations. In this context, this study aimed to verify the effect of silicate foliar fertilization on herbivory by *G. platensis* and on the physiology of the *Eucalyptus urophylla* X *E. globulus* hybrid. For the silicate foliar fertilization experiments, three concentrations (10, 20, and 30 mL L<sup>-1</sup>) and a control were used, where the plants of the *E. urophylla* x *E. globulus* hybrid were sprayed until complete leaf wetting. At 7, 14, and 21 days after application (d.a.a), evaluations were performed to determine the response time of silicate fertilization in reducing herbivory of *G. platensis*. The application of 20 mL L<sup>-1</sup> and 30 mL L<sup>-1</sup>, 21 d.a.a, provided a lower reduction in leaf area, indicate adequate physiological conditioning of plants. Thus, foliar fertilization with potassium silicate is recommended preventively for *G. platensis* control.

Keywords: hybrid, uroglobulus, *Eucalyptus* weevil, integrated pest management (IPM), induced resistance.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

As espécies de eucalipto são amplamente utilizadas em todo mundo (DA SILVA DAMASCENO et al., 2023; HARWOOD, 2011), suas características como crescimento rápido, adaptabilidade à variadas condições ambientais, propriedades versáteis de madeira, entre outras (CHEN et al., 2023; SOUZA et al., 2021) são o que as tornam de grande interesse comercial. No mundo, o *Eucalyptus* é um dos gêneros florestais mais plantados, distribuído em aproximadamente 95 países, ultrapassando 22,57 milhões de hectares de área plantada (ZHANG; WANG, 2021). No Brasil, o eucalipto é produzido em uma área de cerca de 7,6 milhões de hectares, com produtividade estimada em 32,7 m<sup>3</sup>/ha/ano (IBÁ, 2023).

O gênero *Eucalyptus*, da família Myrtaceae, tem aproximadamente 800 espécies identificadas (ANJOS; FONTE, 2017), muitos híbridos desse gênero são formados com objetivo de obter características desejáveis de mais de uma espécie. O *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill é um exemplo de material genético promotor de alto rendimento em celulose e baixo teor de lignina, características essas que são de grande interesse para o setor de papel e celulose (POTTS et al., 2004; POYNTON, 1979; XAVIER et al., 2007).

A introdução de insetos-praga exóticos do eucalipto acabaram por afetar a fitossanidade e produtividade da cultura (KENIS; BRANCO, 2010; WINGFIELD *et al.*, 2008). Dentre essas pragas está o gorgulho do eucalipto, *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae) que foi introduzida no Brasil em 1979 (FREITAS, 1979).

O controle de *G. platensis* vem sendo realizado principalmente com a utilização do parasitoide de ovos *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae) (GARCIA et al., 2019; REIS et al., 2012; TOOKE, 1955; VALENTE et al., 2018). Apesar de *A. nitens* ter apresentado resultados positivos em diversos países, nem sempre obteve sucesso completo, apresentando baixas taxas de parasitismo (REIS et al., 2012; TRIBE, 2003), com destaque para regiões de clima temperado como na África do Sul, América do Sul, Austrália Ocidental e Sudoeste da Europa (LOCH; FLOYD, 2001; REIS et al., 2012; VALENTE et al., 2018), ainda perda de variação genética e altos graus de endogamia pode ser o fator chave na baixa taxa de parasitismo (BARTEN et al., 2023). No Brasil, a taxa de parasitismo por *A. nitens* varia de 30% à 60% em alguns estados, sendo considerada inferior à ideal para controle da praga (SOUZA et al., 2016). Assim, a utilização do manejo integrado de pragas (MIP) para o controle de *G. platensis* torna-se de grande importância, considerando que a utilização do controle biológico associado a outras técnicas, como a nutrição da planta pode reduzir os danos causados à cultura.

Diante do exposto acima, a adubação silicatada tem mostrado efeito benéfico em alguns cultivos, promovendo melhoras ao estresse biótico e abiótico (HERNÁNDEZ VALENCIA et al., 2022). Embora o silício não seja um elemento essencial, para a maioria das culturas sua aplicação aumentou a resistência das plantas às pragas (EPSTEIN, 2009; MONTES; MONTES; RAGA, 2015). Em espécies florestais há relatos de que o silício induziu a resistência aos danos *Eucalyptus camaldulensis* causados por *Glycaspis brimblecombei* (Moore) (Hemiptera: Psyllidae) (CAMARGO et al., 2013; DAL POGETTO et al., 2007); em *Pinus taeda* L. (Pinaceae) induzindo a resistência à *Cinara atlantica* (Wilson, 1919) (Hemiptera: Aphididae) (CAMARGO et al., 2008), além de diversas culturas agrícolas (PEREIRA et al., 2020; PINTO et al., 2012; RODRIGUES, 2020; SANTOS-CIVIDANES et al., 2022; TELLES et al., 2019). No entanto, não há pesquisas sobre o efeito da adubação foliar silicatada na herbivoria de *G. platensis*.

Levando em consideração a importância desta praga para o setor florestal, a baixa eficiência do parasitoide e a importância do MIP para o controle de pragas, este estudo teve como objetivo avaliar: i) o efeito do silício na herbivoria de *G. platensis*; ii) o tempo necessário para que o híbrido *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill responda à adubação foliar silicatada; e iii) os benefícios fisiológicos que a adubação foliar silicatada promove às plantas de eucalipto.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Obtenção de *G. platensis*

Os insetos adultos foram coletados fevereiro de 2023, em plantios de *Eucalyptus saligna* da empresa CMPC Celulose Riograndense, com aproximadamente 6 anos de idade, no município de São Francisco de Assis, RS, Brasil (29°34'20"S, 55°15'36"W). A coleta foi realizada em fevereiro de 2023, pela manhã, através de coleta manual (Figura 1a). Após a coleta, os indivíduos foram transportados em recipientes plásticos, com tampa de voal até o laboratório de Entomologia Florestal da UFSM. No laboratório, os insetos foram mantidos em gaiolas (dimensões aproximadas de 40x40x90cm) a  $23 \pm 2$  °C, UR  $60 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas (DE SOUZA; DE SOUZA; BARBOSA, 2015), por até 14 dias até que fossem utilizados nos experimentos, para alimentação nesse período foram utilizados ramos de *Eucalyptus* spp., trocados diariamente (Figura 1b).

Figura 1 – Detalhes das atividades realizadas no experimento: a) Coleta manual de *Gonipterus platensis*; b) Manutenção de *G. platensis* em laboratório; c) Aplicação de silicato de potássio via foliar no híbrido uroglobulus.

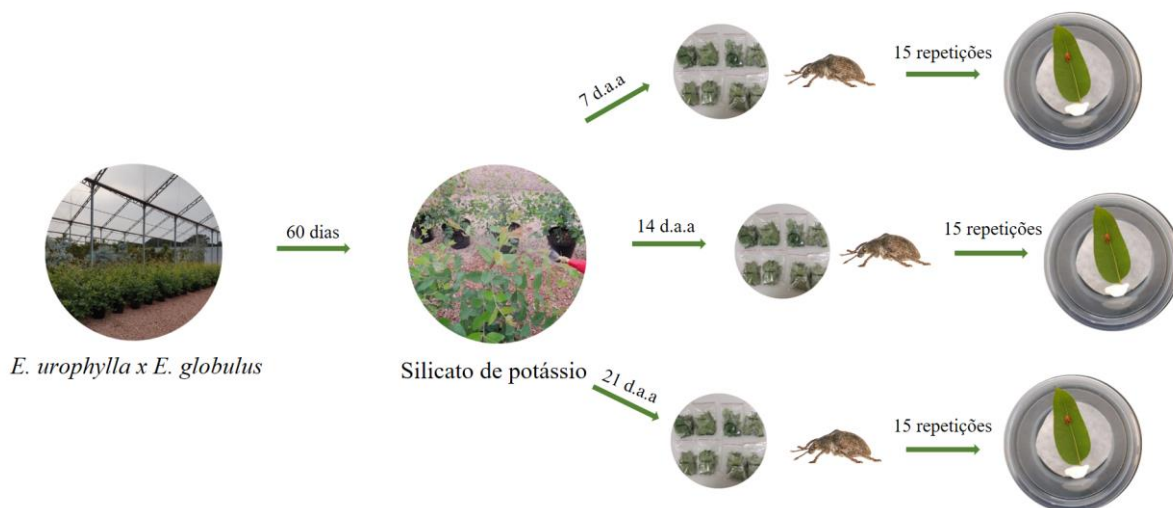


Fonte: Autora (2024).

#### 4.2.2 Adubação foliar silicatada em híbrido *E. urophylla* x *E. globulus*

O híbrido *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus globulus* Labill, referenciado no presente estudo como uroglobulus, é proveniente de clone produzido no Viveiro Florestal da Empresa CMPC Celulose Riograndense (30°20'38"S; 51°14'42"W), as plantas utilizadas apresentavam características de vigor e sanidade adequada à expedição ao campo. As mudas foram transplantadas para vaso de cinco litros (Figura 1c). As plantas foram submetidas a esquema bifatorial de 4x3. O fator “A” consistiu na aplicação de silicato de potássio foliar (10mL L<sup>-1</sup>, 20mL L<sup>-1</sup>, 30mL L<sup>-1</sup>) e controle (aplicação de água), enquanto o fator B foi representado pelo tempo em dias após a aplicação (d.a.a) da adubação de silicato de potássio (7, 14 e 21 d.a.a) (Figura 2). Para o preparo da solução, seguiram-se as recomendações do fabricante, que consistem em diluir o produto em água e agitar cuidadosamente, evitando espuma excessiva. As especificações físicas e químicas do produto encontram-se na Tabela 1, conforme descrição do fabricante.

Figura 2 – Esquema gráfico da aplicação de silicato de potássio via foliar em híbrido de *E. urophylla* X *E. globulus* nas doses de 10, 20 e 30mL L-1) e controle aos 7, 14 e 21 d.a.a., para avaliação da herbivoria de *G. platensis*.



Fonte: Autora (2024)

Tabela 1 – Especificações físicas e químicas do fertilizante utilizado na adubação foliar de plantas jovens do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*, cultivado no sul do Brasil.

Silicato de potássio (mL L-1)	Descrição
Silício	12% em peso (168 g/l)
Potássio	15% em peso (210 g/l)
Índice salino	26
Condutividade elétrica	2,93 mS cm
pH	10,96

As aplicações de silicato de potássio via foliar foram realizadas 60 dias após o transplante das mudas para vasos, com o auxílio de pulverizador até que as folhas estivessem completamente molhadas, simulando a aplicação à campo.

As folhas de *uroglobulus*, foram coletadas nas três ocasiões (7, 14 e 21 d.a.a), foram individualizadas. Cada recipiente continha uma folha de *uroglobulus* e dois indivíduos de *G. platensis*, sendo que as folhas foram dispostas na diagonal do recipiente, evitando contato total com o recipiente, consistindo em uma das 15 repetições por tratamento, sendo que esse formato de amostragem foi definido baseado em ensaios preliminares. Os testes tiveram duração de sete dias e foram realizados em recipiente plástico redondo, com diâmetro de 15x10 cm, contendo papel filtro umedecido com 1 mL de água destilada na base do recipiente.

As amostras foram devidamente identificadas e mantidas à  $23 \pm 2$  °C, UR  $60 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas (DE SOUZA; DE SOUZA; BARBOSA, 2015). Após sete dias, as



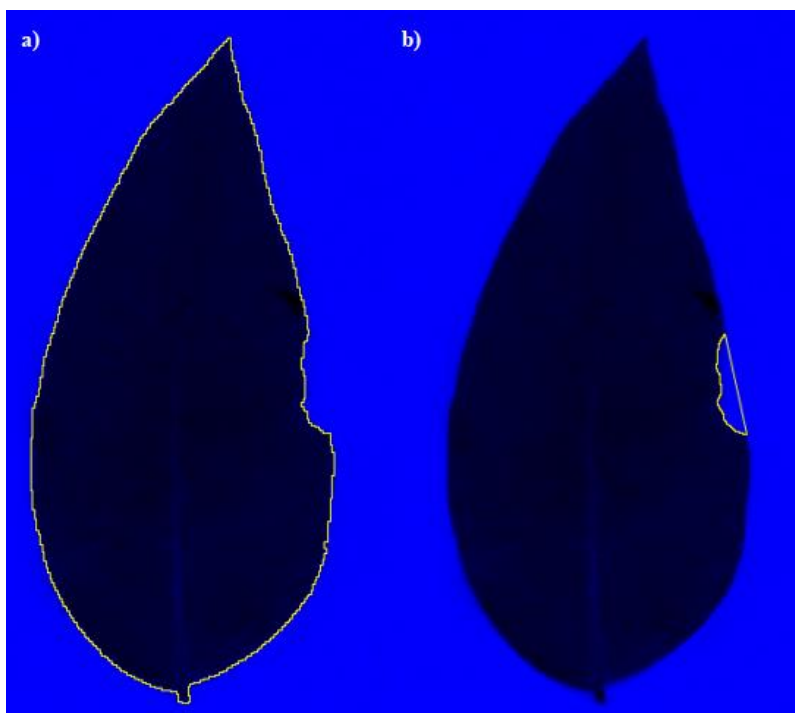
folhas foram retiradas dos recipientes e fixadas em papel A4 associado a uma escala, para posterior determinação de área foliar.

Folhas de algumas plantas foram destacadas para realização da análise química de silício foliar, posteriormente passaram pelo processo de secagem e moagem, totalizando 6g de material por amostra, e em seguida as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Material Vegetal da Universidade Federal de Uberlândia, no Departamento de Agronomia, para realizar as análises do teor de silício presente nas folhas ( $\text{mg.planta}^{-1}$ ) de acordo com Pereira e Korndörfer, Korndörfer (2016).

#### 4.2.3 Determinação da herbivoria de *G. platensis* por área foliar

Para determinação da área foliar consumida pela herbivoria de *G. platensis* as folhas do experimento citado no item 4.2.2 foram escaneadas para determinação da área foliar consumida ( $\text{cm}^2$ ) no software Image J - Image Processing and Analysis in Java 1.8.0 (RASBAND, W.). No software, cada folha é avaliada separadamente, onde primeiro é calculada a área foliar restante e depois a área foliar consumida pela herbivoria de *G. platensis* (Figura 3).

Figura 3 – Aspecto geral de imagem utilizada para determinação da área foliar a) não consumida por *Gonipterus platensis* e b) consumida por *Gonipterus platensis*.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.2.4 Respostas fisiológicas de uroglobulus à adubação com silicato de potássio

Para avaliar a influência da adubação foliar silicatada nos parâmetros fisiológicos da planta aferições foram realizadas sete dias após a última aplicação de silicato de potássio. As plantas estavam com 90 dias de idade e apresentavam altura aproximada de 1,50m. Foram avaliadas as trocas gasosas das folhas com o ambiente de cultivo que foram determinadas utilizando uma densidade de fluxo de fótons saturante (PPFD) de  $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e concentração de  $\text{CO}_2$  ambiente ( $\approx 350$  ppm), por meio de analisador de gás por radiação infravermelho portátil [Infra-Red Gas Analyser (IRGA), modelo AGA300, TARGAS-1, PP SYSTEMS, USA]. As leituras foram realizadas em folhas totalmente expandidas em uma planta por repetição no período da manhã (8:00-11:00h), ocasião em que a temperatura não ultrapassou  $30^\circ\text{C}$ , visando evitar influência do excesso de calor sobre o metabolismo das plantas. A partir disso, foi obtido o índice de assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  ( $A - \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática de vapores de água ( $g_s - \text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) e a eficiência no uso da água (WUE -  $\text{mmol H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1}$ ), calculada pela razão entre a quantidade de  $\text{CO}_2$  fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

Avaliou-se também o Índice de Clorofila Falker para clorofila a (ICFa) e clorofila b (ICFb) das mudas, obtido por meio da leitura não destrutiva com clorofilômetro ótico portátil ClorofiLOG (Falker®, modelo: CFL 3010), selecionando-se folhas totalmente expandidas do terço médio de quatro plantas, sendo a medição realizada nos dois lados da nervura central.

#### 4.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Bartlett). Quando não foi possível cumprir as pressuposições, os dados foram transformados por  $(x+1)^{0,5}$  e submetidos à análise de variância, seguido pelo Teste de Tukey para comparação de médias, ao nível de significância de 5%. O software estatístico utilizado foi o SigmaPlot 13, versão teste (SYSTAT SOFTWARE INC., SAN JOSE, CALIFÓRNIA, EUA).

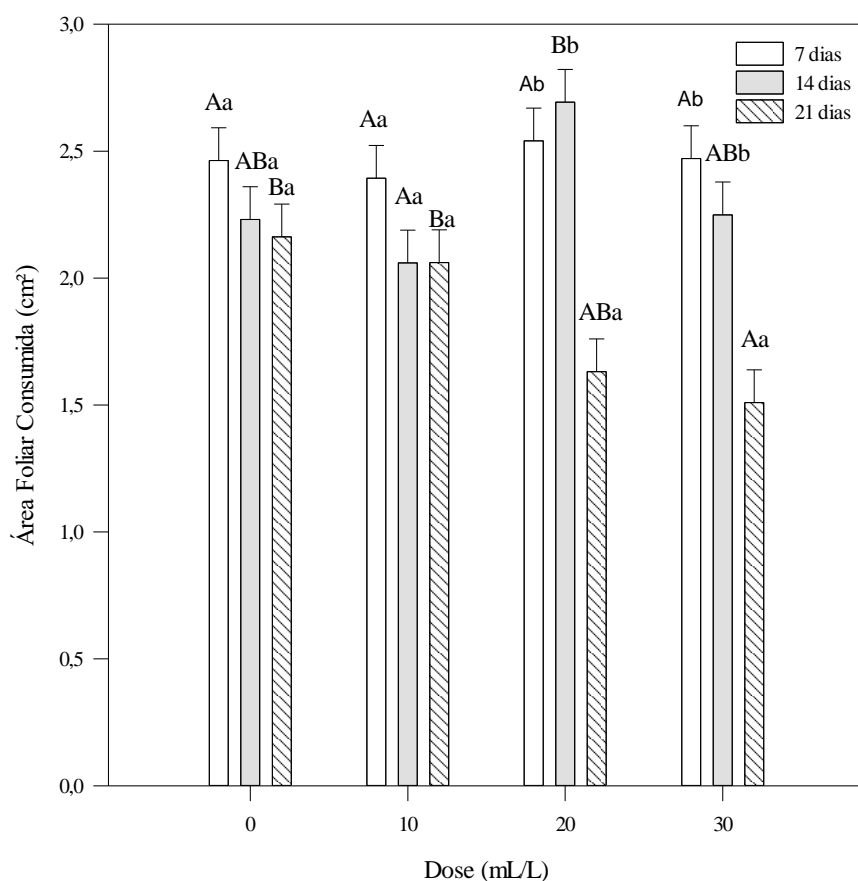
### 4.3 RESULTADOS

Foi constatado efeito para a aplicação de silicato de potássio via foliar em uroglobulus na redução da herbivoria por adultos de *G. platensis*, onde verificou-se a interação significativa ( $p < 0,001$ ) entre as doses testadas e o tempo após a aplicação (Figura 4).

Observamos que o silicato de potássio não reduziu a herbivoria logo após a aplicação (7 dias), independente da dose aplicada. Aos 14 dias a herbivoria oscilou com uma alta na dose de 20 mL L<sup>-1</sup>, superior a 10 e 30 mL L<sup>-1</sup>, no entanto não diferindo estatisticamente com o momento anterior de sete dias (Figura 4).

Aos 21 d.a.a as doses de 20 e 30 mL L<sup>-1</sup>, apresentaram expressiva redução da área foliar consumida em 24,55% e 30,19%, respectivamente (Figura 4). Apesar de a dose de 30 mL L<sup>-1</sup> ter obtido o menor valor para a herbivoria, ela não diferiu da dose de 20 mL L<sup>-1</sup>. Já as aplicações de silicato de potássio na dose de 10 mL L<sup>-1</sup>, não reduziram a herbivoria independentemente do tempo após aplicação.

Figura 4 – Área foliar consumida (cm<sup>2</sup>) por *G. platensis* após 7, 14 e 21 dias da aplicação de silicato de potássio em mudas de híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, no sul do Brasil. Letras maiúsculas comparam as doses e minúscula o tempo após aplicação. Mesmas letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Autora (2023).

As clorofilas *a* e *b* não foram influenciadas pela adubação silicatada ( $p > 0,05$ ), conforme observamos por meio do Índice de Clorofila de Falker (FCI a e FCI b) (Tabela 2).

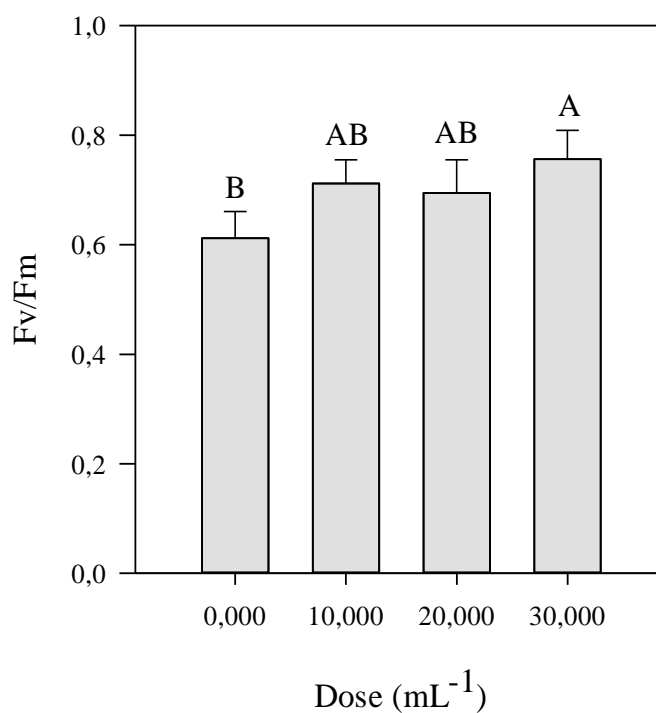
Tabela 2: Índices de clorofila Falker a (FCI a) e b (FCI b) sob aplicação de doses ( $\text{mL L}^{-1}$ ) de silicato de potássio, 30 dias após a aplicação em mudas de híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, no sul do Brasil.

Silicato de potássio ( $\text{mL L}^{-1}$ )	Parâmetros	
	FCI a	FCI b
0	20,183 <sup>ns</sup>	3,583 <sup>ns</sup>
10	23,500	4,500
20	20,833	3,893
30	21,383	4,033

ns: não significativo ( $p > 0,05$ ).

Entretanto o rendimento quântico máximo do fotossistema II foi favorecido pela dose de  $30 \text{ mL L}^{-1}$ , com valor próximo a 0,8, seguidos pelas aplicações de 20 e  $10 \text{ mL L}^{-1}$ . Quando o silicato não foi aplicado às plantas apresentaram maior perda por fluorescência, o que certamente influencia negativamente no seu potencial fotossintético (Figura 5).

Figura 5 – Assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  (A); condutância estomática (gs) e eficiência no uso da água (WUE) 30 dias após a aplicação de doses de silicato de potássio via foliar em mudas do híbrido de *E. urophylla* X *E. globulus* no sul do Brasil. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Autora (2023).

Por outro lado, não foram verificadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre as doses de silicato de potássio aplicadas em uroglobulus, quanto às variáveis índice de assimilação máxima de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática de vapores de água (gs) e a eficiência no uso da água (WUE) (Tabela 3). Apesar disso, a aplicação de 30 mL L<sup>-1</sup> apresentou o maior valor para A e WUE.

Os níveis de silício nas folhas não diferiram com as doses aplicadas ( $p > 0,05$ ), resultando em valores médios de 0,253; 0,243; 0,260 e 0,252%.

Tabela 3 – Médias dos parâmetros fisiológicos 30 dias após a aplicação de silicato de potássio via foliar em mudas de híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, no sul do Brasil.

Silicato de potássio (mL L <sup>-1</sup> )	Parâmetros		
	A ( $\mu$ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	gs	WUE
0	21,31 <sup>ns</sup> CV = 19,8%	304,08 <sup>ns</sup> CV = 8,20%	6,90 <sup>ns</sup> CV = 15,5%
10	22,67 CV = 10,2%	283,43 CV = 12,8%	7,24 CV = 31,8%
20	24,19 CV = 25,4%	318,73 CV = 12,3%	6,74 CV = 25,7%
30	28,54 CV = 28,1%	310,76 CV = 27,3%	9,94 CV = 62,6%

Dados originais; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Em que: A = índice de assimilação máxima de CO<sub>2</sub>; gs = condutância estomática de vapores de água e WUE = eficiência no uso da água.

#### 4.4 DISCUSSÃO

A adubação foliar silicatada em uroglobulus, reduziu a herbivoria de *G. platensis*, confirmando resultados descritos sobre o potencial do silício para promover da redução de 40 a 70% aplicação de pesticida (BOCHARNIKOVA; MATICHENKOV, 2014). Entretanto, nosso estudo trouxe respostas inéditas sobre sua eficiência no controle de *G. platensis*.

No eucalipto, a exposição de *Glycaspis brimblecombei* (Moore, 1964) (Hemiptera: Psyllidae) à silício também induziu a resistência aos danos causados a cultura (CAMARGO et al., 2013; DAL POGETTO et al., 2007), sendo que a resistência de uroglobulus à *G. platensis* pode ter ocorrido por duas vias, mecânica e/ou química.

A barreira mecânica pode ser uma das causas da redução da herbivoria devido a exposição de *G. platensis* à dieta rica em silício, que reduz a digestibilidade foliar e causa desgaste da mandíbula. Essa ação é similar à de outros insetos-praga com aparelho bucal mastigador, como *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) (ULHOA, 2022) *Spodoptera isenta* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), (MASSEY; HARTLEY,

2009), *Eldana saccharina* (Walker, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae) (KVEDARAS et al., 2009), *Cylas formicarius* (CAMARGO et al., 2013), tiveram o desenvolvimento morfo e/ou fisiológico impactados pelo silício. Isso ocorre devido ao aumento da resistência física pela deposição de silício na parede celular (SANTOS et al., 2021) e acúmulo de silício abaixo da cutícula (DOS SANTOS et al., 2020), promovendo maior rigidez dos tecidos epidérmicos formação de tricomas, espinhos ou outras estruturas que dificultam a alimentação dos insetos (LINNÉ et al., 2022), o que reduz ainda mais a eficiência alimentar e as taxas de crescimento. No entanto, a barreira física é apenas uma pequena faceta do mecanismo de defesa induzido pelo silício, uma vez que este elemento pode desencadear respostas de defesa natural das plantas de forma rápida e mais extensiva (WANG et al., 2017).

A ativação bioquímica do silício induz a produção de enzimas do sistema defensivo das plantas (BAKHAT et al., 2018; GOMES et al., 2005; HARTLEY et al., 2015), como o aumento da fenilalanina amônia liase (PAL), que é responsável pelo aumento da expressão de genes relacionados com mecanismos de defesa das plantas contra pragas e doenças que codificam a proteína rica em prolina (PRP1) (KAUSS et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005), flavonoides (MANIVANNAN; AHN, 2017). Além disso, promove a produção de ácido jasmônico, importante substância de defesa das plantas (BAKHAT et al., 2018), que está ligado à síntese de compostos fenólicos, síntese de lignina e promove maior resistência às células (DA SILVA PONCE et al., 2022). Ainda, desempenha um papel na produção na seiva vegetal de substâncias de baixa digestibilidade (PORTELA; SILVA, 2018), afetando negativamente a biologia dos insetos herbívoros (COUTINHO, 2022).

O estudo denota reduzido teor de silício nas folhas do uroglobulus (2,9 g.kg<sup>-1</sup>). De acordo com a capacidade de absorção e acúmulo de silício nos tecidos, as plantas podem ser classificadas em três grupos: plantas acumuladoras (100 a 150 g.kg<sup>-1</sup> de Si), intermediárias (10 a 50 g.kg<sup>-1</sup> de Si) e não-acumuladoras (concentrações abaixo de 5 g.kg<sup>-1</sup> Si) (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001), de modo que esse híbrido fica classificado como planta não-acumuladora. No entanto, a resistência induzida por silício não está positivamente correlacionada com o acúmulo do mesmo nas plantas, ou seja, plantas acumuladoras não apresentam, necessariamente, resistência a pragas e doenças, bem como plantas que acumulam pouco silício apresentam baixa resistência (KATZ, 2014). Assim, mesmo o híbrido não sendo acumulador de silício, a adubação silicatada reduziu o consumo por *G. platensis*.

Outro fator relevante a ser analisado é o tempo após aplicação, uma vez que o material vegetal foi coletado aos 30 dias após a aplicação do silicato de potássio. Estudos com *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* mostram que as espécies alcançam a máxima

eficiência em absorver e translocar silício aos 60 dias após a aplicação de adubo silicatado (QUEIROZ et al., 2018). Da mesma forma, o híbrido utilizado neste estudo pode apresentar máxima eficiência de absorção aos 60 dias após a aplicação do adubo silicatado.

Especificamente quando analisamos a característica fisiológica das plantas, constatamos que o rendimento quântico máximo do PS II ( $F_v/F_m$ ), foi superior em plantas que foram adubadas com  $30\text{mL L}^{-1}$  ( $\cong 0,76$ ) de silicato de potássio, em comparação com as plantas controle. Conseqüentemente, os resultados indicam o adequado condicionamento fisiológico do uroglobulus na maior dosagem aplicada, compatível com a faixa entre 0,75 a 0,85, considerada ideal, indicando a adaptação das folhas e ausência de fotoinibição (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; MARENCO et al., 2014). O silício pode aumentar indiretamente a relação  $F_v/F_m$ , atuando no controle das alterações físico-químicas (ETESAMI; JEONG, 2018). Ademais, a partir da nutrição das plantas com fontes de silício, é possível observar aumento da capacidade fotossintética.

O híbrido apresentou incremento expressivo nas variáveis  $F_v/F_m$ , A e WUE, em condições ideais,  $F_v/F_m$  e A apresentam a mesma tendência, indicando que quando a eficiência fotossintética é alta, a assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  também (COTRIM et al., 2021; YAMORI et al., 2020). Isso ocorre porque ambos os parâmetros estão associados à capacidade da planta de realizar a fotossíntese de maneira eficiente. Além do mais a WUE, também está relacionada a esses parâmetros, uma vez que plantas com melhor WUE apresentam menor restrição de abertura estomática aumentando assim a taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  (BACHA et al., 2024).

Em um estudo avaliando as condições fisiológicas de quatro espécies de eucalipto, foram encontrados valores para WUE variando entre 2,0 e 4,0, bem como para A entre 6,5 e 14,5 (VIRTUOSO et al., 2022), sendo que os valores obtidos neste estudo para os mesmos parâmetros foram superiores. Assim, sugere-se que a adubação foliar silicatada é capaz de proporcionar um condicionamento fisiológico e metabólico adequado às plantas.

Para a clorofila, Silva *et al.* (2003) encontraram em outras espécies vegetais, que a aplicação do silício promove aumento nas concentrações de clorofila por unidade foliar, significando que a planta pode tolerar níveis baixos e mais altos de luz disponível. No entanto, o excesso de luz pode causar estresse oxidativo, sendo que uma das principais reações da planta sob condições de estresse oxidativo é a redução da biossíntese ou degradação da clorofila (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015; TAIZ et al., 2017), podendo explicar os valores mais baixos para as doses de 20 e 30  $\text{mL L}^{-1}$ .

Constatamos que o silício, apesar de não ser um elemento essencial condiciona a planta física e fisiologicamente, assim podendo ser um insumo promissor no MIP. Resumidamente, os resultados trouxeram inovação científica relevante para silvicultura, principalmente quando considerado o reduzido número de estudos que relacionam a eficiência da aplicação do silício em plantas de eucalipto com resposta à insetos com aparelho bucal mastigador. Para esse grupo, verificamos a eficiência da aplicação do silício na proteção contra o gorgulho-do-eucalipto (Figura 3), assim como do condicionamento fisiológico positivo às plantas de eucalipto (Figura 3). Entretanto, deve ser aplicado de forma preventiva à ocorrência de *G. platensis*, pois aos sete dias o efeito é mínimo, evoluindo aos 14 dias, mas realmente perceptível aos 21 dias. Finalmente, destacamos a relevância de aferir os resultados, sob duas adequações: a) observação de duas doses acima das utilizadas (50 e 60 mL L<sup>-1</sup>); b) aplicação do silício incluindo avaliações entre 14 e 21 dias no plantio e c) verificar a questão de sobrevivência dos espécimes de insetos.

#### 4.5 CONCLUSÃO

A adubação foliar silicatada em híbrido *E. urophylla* x *E. globulus* é eficiente para reduzir a herbivoria de *Gonipterus platensis*.

A herbivoria de *Gonipterus platensis* em híbrido *E. urophylla* x *E. globulus* foi reduzida somente após 14 dias da aplicação do silicato de potássio via foliar, devendo ser utilizada na forma de controle preventivo do inseto-praga.

O condicionamento fisiológico do híbrido *E. urophylla* x *E. globulus* é potencializado pela adubação foliar silicatada.



## REFERÊNCIAS

- ANJOS, R. A. M. DOS; FONTE, A. P. N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26–32, 9 mar. 2017.
- ARAÚJO, S. A. DO C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, 31 dez. 2009.
- BACHA, A. L. et al. *Eucalyptus urograndis* physiological and hormonal changes under drought conditions in response to trinexapac-ethyl. **Environmental and Experimental Botany**, v. 219, p. 105628, 2024.
- BAKHAT, H. F. et al. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, 1 fev. 2018.
- BARTEN, H. et al. Compatibilidade reprodutiva de uma população australiana recém-importada do agente de controle biológico *Anaphes nitens* com uma população sul-africana existente. **Biological Control**, v. 187, p. 105403, 1 dez. 2023.
- BOCHARNIKOVA, E. A.; MATICHENKOV, V. V. Silicon fertilizers: Agricultural and environmental impacts. Em: [s.l.: s.n.]. p. 183–198.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2015.
- CAMARGO, J. M. M. et al. Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera: Aphididae) em plantas de Pinus taeda adubadas com silício. **Bragantia**, v. 67, p. 927–932, 2008.
- CAMARGO, J. M. M. et al. INTERAÇÃO SILÍCIO E INSETOS-PRAGA: DEFESA MECÂNICA OU QUÍMICA? **BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE - Revista de Agricultura**, v. 86, n. 1, p. 62, 4 out. 2013.
- CHEN, Y. et al. The anti-proliferative activity and cellular antioxidant activity of oenothein B and its content in different *Eucalyptus* species and region. **Journal of Future Foods**, v. 3, n. 4, p. 392–398, 1 dez. 2023.
- COTRIM, M. F. et al. Physiological performance of soybean genotypes grown under irrigated and rainfed conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 1, p. 34–43, 2021.
- COUTINHO, W. B. G. Plantas de arroz fertilizadas com silício reduz os danos, altera a biologia e o comportamento alimentar de *Glypompis spinosa* (Hemiptera: Pentatomidae). 2022.
- DA SILVA DAMASCENO, A. S. et al. Nutritional monitoring of boron in *Eucalyptus* spp. in the Brazilian cerrado by multispectral bands of the MSI sensor (Sentinel-2). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 29, p. 100913, 2023.
- DA SILVA PONCE, F. et al. Adubação silicatada na produtividade e respostas fisiológicas das plantas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e164111637926–e164111637926, 2022.
- DAL POGETTO, M. et al. Efeito da aplicação de Agrosilício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis* no desenvolvimento biológico de *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera:

Psyllidae). **Anais... IV Simpósio Brasileiro Sobre Silício na Agricultura**, p. 210–213, 2007.

DE SOUZA, L. N.; DE SOUZA, N. M.; BARBOSA, L. R. Técnica de manejo para criação de *Gonipterus platensis*. 2015.

DOS SANTOS, A. F. B. et al. Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. latifolium Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e548973826–e548973826, 2020.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of applied Biology**, v. 155, n. 2, p. 155–160, 2009.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 147, p. 881–896, 2018.

FREITAS, S. DE. Contribuição ao estudo da morfologia e biologia de *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835)(Coleoptera: Curculionidae) e levantamento dos danos causados por esta espécie em eucaliptos dos arredores de Curitiba [Master]. **Universidade Federal do Paraná. Garcia, A., Allen, GR, Oberprieler, RG, Ramos, AP, Valente, C., Reis, A., Franco, JC, & Branco, M.(2019). Biological control of *Gonipterus*: Uncovering the associations between eucalypts, weevils and parasitoids in their native range. Forest Ecology and Management**, v. 443, p. 106–116, 1979.

GARCIA, A. et al. Biological control of *Gonipterus*: Uncovering the associations between eucalypts, weevils and parasitoids in their native range. **Forest Ecology and Management**, v. 443, p. 106–116, 2019.

GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 547–551, 2005.

HARTLEY, S. E. et al. Defending the leaf surface: intra-and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 35, 2015.

HARWOOD, C. New introductions—doing it right. **Developing a eucalypt resource: learning from Australia and elsewhere: University of Canterbury. Christchurch, New Zealand: Wood Technology Research Centre**, p. 43–54, 2011.

HERNÁNDEZ VALENCIA, R. D. et al. Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. **Nova scientia**, v. 14, n. 28, 2022.

KATZ, O. **Beyond grasses: the potential benefits of studying silicon accumulation in non-grass species**. *Frontiers Media SA*, 2014. v. 5p. 376

KAUSS, H. et al. Silica deposition by a strongly cationic proline-rich protein from systemically resistant cucumber plants. **The plant journal**, v. 33, n. 1, p. 87–95, 2003.

KENIS, M.; BRANCO, M. Impact of alien terrestrial arthropods in Europe. Chapter 5. **BioRisk**, v. 4, p. 51–71, 2010.

KVEDARAS, O. L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, n. 3, p. 301–306, 2009.

LINNÉ, J. A. et al. O silício no manejo de estresses bióticos e abióticos. **Manejo e Produção Sustentável Volume II**, 2022.

LOCH, A. D.; FLOYD, R. B. Insect pests of Tasmanian blue gum, *Eucalyptus globulus globulus*, in south-western Australia: History, current perspectives and future prospects. **Austral Ecology**, v. 26, n. 5, p. 458–466, 2001.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in plant Science**, v. 8, p. 17–39, 2001.

MANIVANNAN, A.; AHN, Y.-K. Silicon regulates potential genes involved in major physiological processes in plants to combat stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1346, 2017.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, p. 786–799, 2014.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, n. 1, p. 281–291, 2009.

MONTES, R. M.; MONTES, S. M. N. M.; RAGA, A. O uso do silício no manejo de pragas. 2015.

PEREIRA, R. R. DA C. et al. Aspectos biológicos e comportamento alimentar do pulgão-do-algodoeiro em cultivares de melancia submetidas à aplicação de silício. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020.

PINTO, D. G. et al. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, v. 59, p. 360–367, 2012.

PORTELA, G. L. F.; SILVA, P. R. R. Silício como indutor de resistência no controle do pulgão *Aphis craccivora* Koch, 1854 em fava *Phaseolus lunatus*. **GILSON LAGES FORTES PORTELA**, p. 46, 2018.

POTTS, B. M. et al. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. 2004.

POYNTON, R. J. **Tree planting in southern Africa: the eucalypts**. Department of Forestry Pretoria, South Africa, 1979. v. 2

QUEIROZ, D. L. DE et al. Silicon uptake and translocation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 632–640, 2018.

REIS, A. R. et al. Efficiency of biological control of *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) by *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) in cold areas of the Iberian Peninsula: Implications for defoliation and wood production in *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 216–222, 15 abr. 2012.

RODRIGUES, A. A. R. Silício e herbivoria no metabolismo e resistência induzida em milho e sorgo. 2020.

RODRIGUES, F. Á. et al. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-Magnaporthe grisea interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 66, n. 4, p. 144–159, 1 abr. 2005.

SANTOS, L. C. DOS et al. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3810716247–e3810716247, 12 jun. 2021.

SANTOS-CIVIDANES, T. M. et al. Silicon induces resistance to *Diatraea saccharalis* in sugarcane and it is compatible with the biological control agent *Cotesia flavipes*. **Journal of Pest Science**, p. 1–13, 2022.

SOUZA, A. G. et al. A New Approach for Conversion of *Eucalyptus* Lignocellulosic Biomass into Cellulose Nanostructures: A Method that Can Be Applied in Industry. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 10, p. 1501–1511, 3 out. 2021.

SOUZA, N. M. et al. Ressurgência de uma antiga ameaça: Gorgulho-do-eucalipto. **Gonipterus platensis**, p. 1–20, 2016.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ed.** Artmed Editora, 2017.

TELLES, C. C. et al. Aplicação de silício como método auxiliar no controle da traça das crucíferas na cultura do repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 37, p. 390–394, 2019.

TOOKE, F. G. C. The Eucalyptus Snout. beetle, *Gonipterus scutellatus* Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means. **The Eucalyptus Snout. beetle, Gonipterus scutellatus Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means.**, 1955.

TRIBE, G. D. Biological control of defoliating, and phloem- or wood-feeding insects in commercial forestry in Southern Africa. **Biological control in IPM systems in Africa**, CABI Books. p. 113–129, jan. 2003.

ULHOA, L. A. Resistência de genótipos de feijão à *Chrysodeixis includens* e influência de micorrizas e silício na tolerância de milho e soja à insetos-praga. 2022.

VALENTE, C. et al. Economic outcome of classical biological control: a case study on the *Eucalyptus* snout beetle, *Gonipterus platensis*, and the parasitoid *Anaphes nitens*. **Ecological economics**, v. 149, p. 40–47, 2018.

VIRTUOSO, M. C. S. et al. Germinative and physiological performance of eucalyptus species under abiotic stress. **Trees, Forests and People**, v. 10, p. 100348, 2022.

WANG, M. et al. Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

WINGFIELD, M. et al. Eucalypt pests and diseases: growing threats to plantation productivity. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 139–144, 1 ago. 2008.

XAVIER, A. A. et al. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*) Resistance of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* to rust. 2007.

YAMORI, W. et al. Increased stomatal conductance induces rapid changes to photosynthetic rate in response to naturally fluctuating light conditions in rice. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 5, p. 1230–1240, 2020.

ZHANG, Y.; WANG, X. Geographical spatial distribution and productivity dynamic change of eucalyptus plantations in China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19764, 5 out. 2021.

## 5. CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS NO CONTROLE *Gonipterus platensis* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

### RESUMO

O *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae) é um inseto-praga invasor que tem como principal hospedeiro o gênero *Eucalyptus*, sendo controlado parcialmente pelo parasitoide de ovos *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae). Assim, o controle biológico de *G. platensis*, depende de complementações, visando implementar o manejo integrado de pragas (MIP). O objetivo deste estudo foi avaliar a herbivoria e o efeito inseticida de óleos essenciais e extratos sobre adultos de *G. platensis*. Os tratamentos utilizados foram óleo essencial (OE) de *E. benthamii* e de *E. uniflora*, nas concentrações de 0,5, 1, 2, 4, 6% e controle (água destilada) e extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso nas concentrações de 5, 10, 15, 20% e controle (água destilada). As aplicações foram realizadas com spray, em um recipiente contendo uma folha de *E. saligna* e um indivíduo adulto de *G. platensis*. Em condições de laboratório, os OEs de *E. uniflora* e de *E. benthamii* foram eficientes na redução da herbivoria de *G. platensis*, reduzindo 89% e 73% do consumo de área foliar, respectivamente nas doses de 6%. O extrato bruto de *E. benthamii*, apresentou potencial inseticida sobre os adultos de *G. platensis* em condições de laboratório. Entretanto, o extrato pirolenhoso, nas doses utilizadas, apresentou efeito de herbicida nas folhas de *E. saligna*. Assim, o óleo essencial de *E. benthamii*, *E. uniflora* e o extrato de *E. benthamii*, apresentam potencial para controle de *G. platensis*.

Palavras-chave: *Eucalyptus benthamii*. *Eugenia uniflora*. Extrato pirolenhoso. Gorgulho-do-eucalipto. Manejo integrado de pragas (MIP).

### ABSTRACT

*Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae) is an invasive insect pest whose main host is the genus *Eucalyptus*, being partially controlled by the egg parasitoid *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae). Thus, the biological control of *G. platensis* depends on complements, aiming to implement integrated pest management (IPM). The objective of this study was to evaluate herbivory and the insecticidal effect of essential oils and extracts on *G. platensis* adults. The treatments used were essential oil (EO) of *E. benthamii* and *E. uniflora*, at concentrations of 0.5, 1, 2, 4, 6% and control (distilled water) and *E. benthamii* extract and pyroligneous extract in concentrations of 5, 10, 15, 20% and control (distilled water). Applications were carried out using a spray, in a container containing an *E. saligna* leaf and an adult individual of *G. platensis*. Under laboratory conditions, OEs from *E. uniflora* and *E. benthamii* were efficient in reducing herbivory by *G. platensis*, reducing 89% and 73% of leaf area consumption, respectively at doses of 6%. The crude extract of *E. benthamii* showed insecticidal potential on adults of *G. platensis* under laboratory conditions. However, the pyroligneous extract, in the doses used, had a herbicide effect on *E. saligna* leaves. Thus, the essential oil of *E. benthamii*, *E. uniflora* and the extract of *E. benthamii*, have potential for controlling *G. platensis*.

Keywords: *Eucalyptus benthamii*. *Eugenia uniflora*. Pyroligneous extract. Eucalyptus weevil. Integrated Pest Management (IPM).

## 5.1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* é amplamente cultivado em várias partes do mundo fora de sua área de distribuição natural, sendo uma das espécies arbóreas mais importantes utilizadas na indústria de celulose e papel (SEMBIRING et al., 2021). De acordo com um levantamento realizado em 65 países com plantações extensivas de eucalipto, estima-se que a área total de plantações tenha ultrapassado mundialmente os 22,57 milhões de hectares (ZHANG; WANG, 2021). O monocultivo em grandes extensões de área e durante longo período de tempo, pode favorecer a ocorrência de pragas e doenças (SOUZA; CASTILHO, 2022).

Dentre as espécies de eucalipto mais plantadas, conhecidas como “*big nine*” está o *E. saligna* (GRATTAPAGLIA, 2021), utilizado na produção de madeira para energia, apresentara crescimento rápido e maior produtividade em temos de quilocalorias por hectare plantado, apesar de propiciarem madeira de menor massa específica básica e menor poder calorífico (PINTO JUNIOR; SILVEIRA, 2021), sendo menos suscetível a pragas do que outras espécies, *E. saligna* ainda assim atacado por *G. platensis* (SOUZA, 2016).

O inseto-praga *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae), originário da Austrália, é uma importante praga para a cultura do *Eucalyptus* que se espalhou por diversos países (MAPONDERA et al., 2012), sendo uma das pragas do eucalipto com maior distribuição global (SOUZA et al., 2016a). No Brasil, foi introduzido em 1979 (FREITAS, 1979) trazendo prejuízos à eucaliptocultura no país. Os danos desse inseto-praga são causados na fase larval e adulta, alimentando-se principalmente de folhas jovens, levando a desfolha parcial ou total e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade fotossintética da planta (LANFRANCO; DUNGEY, 2001; TOOKE, 1955; VALENTE et al., 2018).

O método mais eficaz utilizado para controle de *G. platensis* é o parasitoide de ovos *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae) (GARCIA et al., 2019; REIS et al., 2012; TOOKE, 1955; VALENTE et al., 2018). Apesar de o uso de inseticidas químicos sintéticos para controlar insetos-praga ser comum devido aos efeitos rápidos na redução das populações de pragas (DONKOR et al., 2016), atualmente não há produto químico sintético registrado no Brasil para *G. platensis*.

Os óleos essenciais (OEs) e extratos vegetais constituem-se em fonte de substâncias bioativas compatíveis com programas de manejo integrado de pragas (MIP) (MEDEIROS; BOIÇA JUNIOR; TORRES, 2005) e vem demonstrando eficácia como inseticida botânico no século XXI (ISMAN, 2020). Além disso, apresentam diversas vantagens, incluindo fácil utilização e obtenção, baixo custo (SCHLÜTER, 2006), baixo impacto ambiental (KHANI et

al., 2017), biodegradabilidade (KIRAN; PRAKASH, 2015), podendo vir a substituir substâncias sintéticas (EBADOLLAHI; JALALI SENDI, 2015; ISMAN, 2020; JAYAKUMAR et al., 2017).

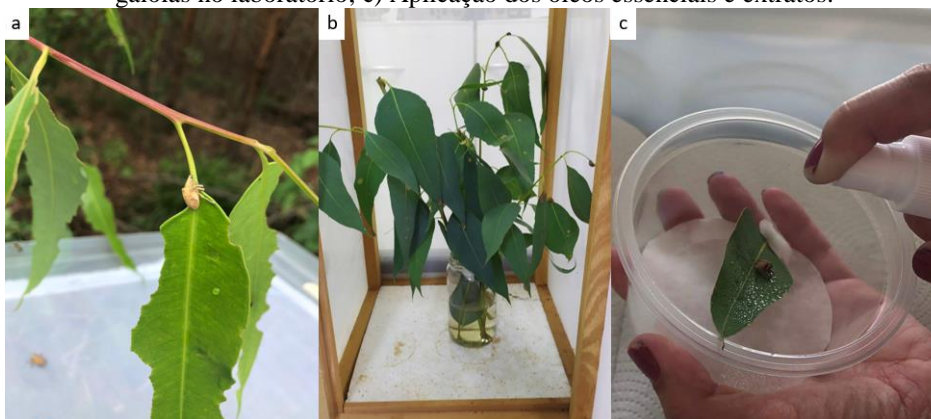
Considerando a importância de *G. platenis* para o setor florestal, as vantagens do MIP para o controle de pragas e o baixo impacto ambiental dos OEs e extratos, este trabalho teve como objetivo avaliar: i) o potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eugenia uniflora*, *Eucalyptus benthamii*, do extrato de *Eucalyptus benthamii* e do extrato pirolenhoso sobre *G. platenis* e ii) o efeito do óleo essencial de *E. uniflora*, *E. benthamii*, do extrato de *E. benthamii* e do extrato pirolenhoso na herbivoria de *G. platenis*.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Obtenção de *Gonipterus platenis*

Os insetos adultos foram coletados fevereiro de 2023, em plantios de *Eucalyptus saligna* da empresa CMPC Celulose Riograndense, com aproximadamente 6 anos de idade, no município de São Francisco de Assis, RS, Brasil (29°34'20"S, 55°15'36"W). A coleta foi realizada em fevereiro de 2023, pela manhã, através de coleta manual (Figura 1a). Após a coleta, os indivíduos foram transportados em recipientes plásticos, com tampa de voal até o laboratório de Entomologia Florestal da UFSM. No laboratório, os insetos foram mantidos em gaiolas (dimensões aproximadas de 40x40x90cm) a  $23 \pm 2$  °C, UR  $60 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas (DE SOUZA; DE SOUZA; BARBOSA, 2015), por até 14 dias até que fossem utilizados nos experimentos, para alimentação nesse período foram utilizados ramos de *Eucalyptus* spp., trocados diariamente (Figura 1b).

Figura 1 – a) Indivíduo de *Gonipterus platenis*, coletado manualmente; b) Manutenção de *G. platenis* em gaiolas no laboratório; c) Aplicação dos óleos essenciais e extratos.



Fonte: Autora (2024).



### 5.2.2 Óleos essenciais e extratos

O material vegetal fresco, composto por folhas de *Eucalyptus benthamii* foi coletado na área de cultivo da empresa CMPC, no município de São Sepé, Rio Grande do Sul. O clima da região de acordo com Köppen é classificado como Cfa (clima temperado, com chuva o ano todo e verão quente) (KÖPPEN; GEIGER, 1928), sendo que o solo que ocorre na região é o ocorrem Chernossolos Ebânicos Órticos vertissólicos (STRECK, 2018). Após a coleta, foi submetido à hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger por três horas, para a obtenção do óleo essencial (OE) seguindo metodologia descrita em Farmacopeia Brasileira, (2010).

Para produção dos extratos, as de folhas de *E. benthamii* foram submetidas a extração a quente em aparelho Soxhlet, utilizando álcool etílico P.A., 95% (etanol) como solvente. O material vegetal seco e pulverizado foi acondicionado em cartuchos confeccionados com papel filtro. O material foi extraído sob refluxo até a exaustão total, aproximadamente 8 horas de extração. As soluções extrativas foram filtradas em papel filtro e concentradas em rotaevaporador sob vácuo. Ambos os produtos, OE e o extrato etanólico, foram produzidos e disponibilizados para pesquisa pelo Laboratório de Extrativos Vegetais localizado na UFSM.

O OE de *E. uniflora* na forma pura concentrada (100%) foi obtida na Legee Óleos Essenciais, acompanhado do relatório de ensaio, em que, para extração do OE foram utilizadas folhas de *E. uniflora* pelo método de arraste a vapor, posteriormente o OE foi acondicionado em frascos de vidro âmbar e mantido em freezer até o uso.

O extrato pirolenhoso é obtido pela condensação da fumaça gerada durante a queima, sendo comumente extraído de madeira de *Acacia mearnsii* e biomassa de bambu. Na pirólise, o material orgânico se decompõe em três fases: uma sólida (carvão vegetal), uma gasosa (não condensável) e uma líquida, que constitui o extrato pirolenhoso. Após a extração, o extrato é decantado por seis meses para separar óleos vegetais e água, líquido pirolenhoso e alcatrão. Este último é descartado, e o líquido pirolenhoso é filtrado ou destilado para obtenção do extrato pirolenhoso puro.

A composição química dos OEs e dos extratos foram realizadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). A análise do OE de *E. uniflora* e do Extrato Pirolenhoso (EP) estão disponíveis nos anexos, a análise do OE e do extrato de *E. benthamii*, estarão disponíveis na Tese de Batista. B (2024), intitulada “Perfil químico de extrativos de *Eucalyptus* spp. e sua bioatividade sobre *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae)”.

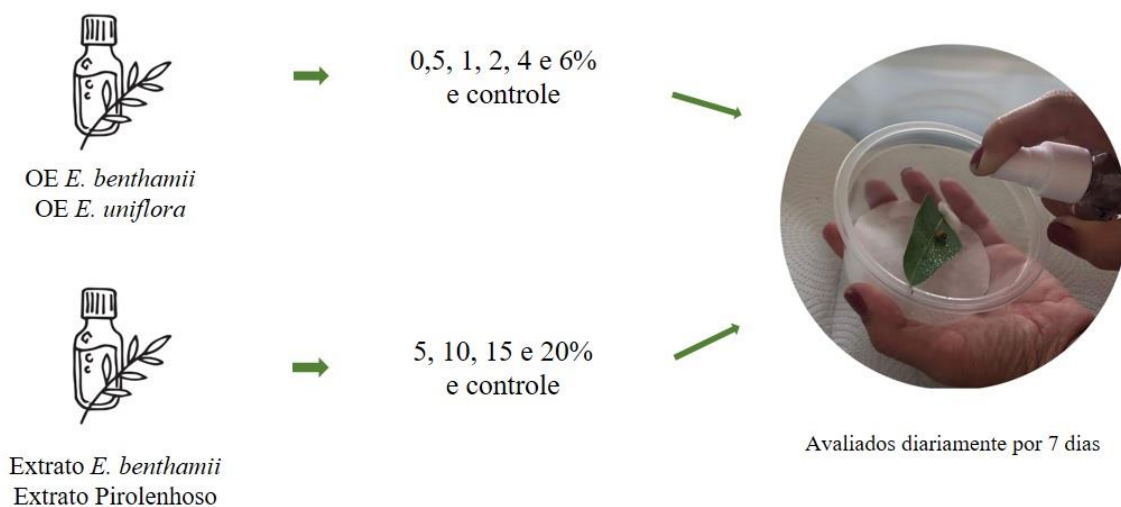
### 5.2.3 Toxicidade e atividade alimentar do óleo essencial de *E. benthamii*, *E. uniflora*, extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso no controle de *G. platensis*

No estudo foram conduzidos quatro experimentos, utilizando OE de *E. benthamii*, OE de *E. uniflora*, extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso, os quais foram conduzidos de modo inteiramente casualizado. Para análise do efeito dos OEs na herbivoria por *G. platensis* foram utilizadas quatro concentrações: 0,5, 1, 2, 4 e 6% de óleo diluído em etanol (1:1), em comparação ao controle com aplicação somente de água destilada. Enquanto, para os testes de com extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso foram preparadas e aplicadas as soluções nas concentrações: 5, 10, 15 e 20%, e controle (água destilada) para isso, foi preparada uma solução mãe concentrada de cada extrato na proporção 1:1 em etanol, das quais foram retiradas as alíquotas para as soluções teste. Para cada experimento foram realizadas 12 repetições.

Nos experimentos realizados, cada repetição consistiu em um recipiente de plástico redondo, (15x10 cm), cuja base foi coberta com papel filtro umedecido com 1 mL de água destilada (Figura 1c), folhas de *E. saligna* individualizadas e um indivíduo adulto de *G. platensis*. A partir disso, as aplicações foram realizadas com auxílio de spray, sendo que o indivíduo de *G. platensis* foi posicionado sobre a folha (disposta na diagonal do recipiente) e a aplicação foi realizada sobre o inseto e sobre a folha, mantendo uma distância aproximada de 15 cm em todas as aplicações (Figura 1c), aplicando duas borrifadas. As amostras foram devidamente identificadas e mantidas a  $23 \pm 2$  °C, UR  $60 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas, por sete dias (Figura 2).

Buscando respostas ao efeito dos óleos e extratos, foram utilizadas as seguintes variáveis: a) sobrevivência dos adultos avaliada a cada 24 horas durante sete dias, retirando os insetos mortos a cada avaliação; b) após sete dias, as folhas foram retiradas dos recipientes, fixadas em folha A4, com escala, para captação da imagem e posterior determinação de área foliar consumida por herbivoria, com auxílio do *software* Image J – Image Processing and Analysis in Java 1.8.0 (RASBAND, W.). As folhas foram avaliadas separadamente, onde primeiramente foi calculada a área foliar consumida (cm<sup>2</sup>).

Figura 2 –Esquema de aplicação de do OEs e estratos sobre *G. platensis* para aliação da herbivoria e atividade inseticida.



Fonte: Autora (2024).

#### 5.2.4 Análise estatística

Os dados de área foliar consumida por herbivoria de *G. platensis* em relação aos OEs e extratos foram submetidos ao teste normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Bartlett). Quando os dados não atenderam às suposições, foram transformados por  $(x+1)^{0,5}$ . Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA,  $p < 0,05$ ) e quando constatado efeito significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à nível de significância de 5%, com auxílio do SigmaPlot 13, versão demonstrativa (SYSTAT SOFTWARE INC., SAN JOSE, CALIFÓRNIA, EUA). Os dados que após transformação ainda não atenderam as pressuposições foram analisados, pelo teste de Kruskal-Wallis seguido pela comparação por Dunn ou Mann-Whitney.

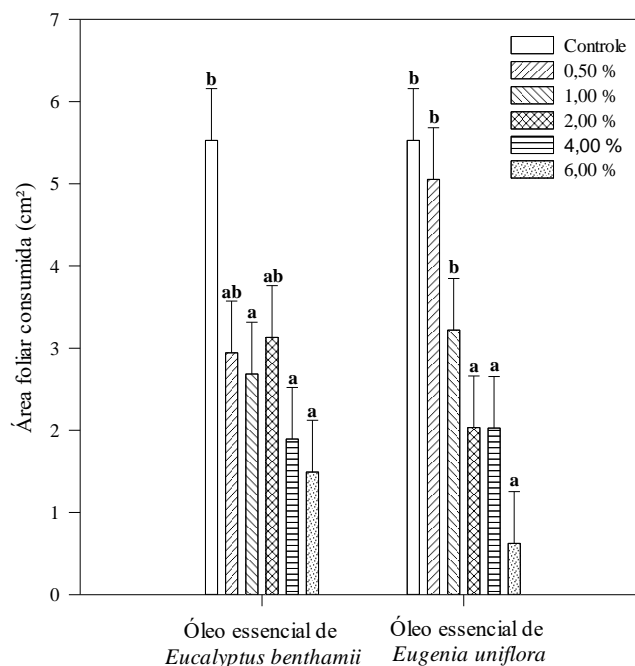
Os dados de toxicidade do extrato de *E. benthamii* para *G. platensis* foram submetidos à análise de sobrevivência, realizada por Kaplan-Meier e os tratamentos foram comparados pelo Teste Log-Rank. Para obtenção de CL 50 (concentração letal média) para insetos adultos foi utilizada regressão logística pelo *software* R.

### 5.3 RESULTADOS

Os OEs de *E. benthamii* e *E. uniflora* mostraram-se capazes de reduzir a herbivoria por *G. platensis*, entretanto não apresentaram efeito inseticida para *G. platensis*. De forma geral, os OEs de *E. benthamii* e *E. uniflora* reduziram cerca de 54% da área foliar consumida. O OE de *E. benthamii* mostrou semelhante eficiência sob qualquer concentração aplicada ( $p < 0,05$ ),

com reduções na herbivoria entre 42% e 73%, sendo que a concentração de 2% reduziu a herbivoria em 50%. O OE de *E. uniflora* mostrou-se adequado principalmente diante das maiores concentrações ( $p < 0,01$ ), com redução da herbivoria variando de 63 a 89% (Figura 3).

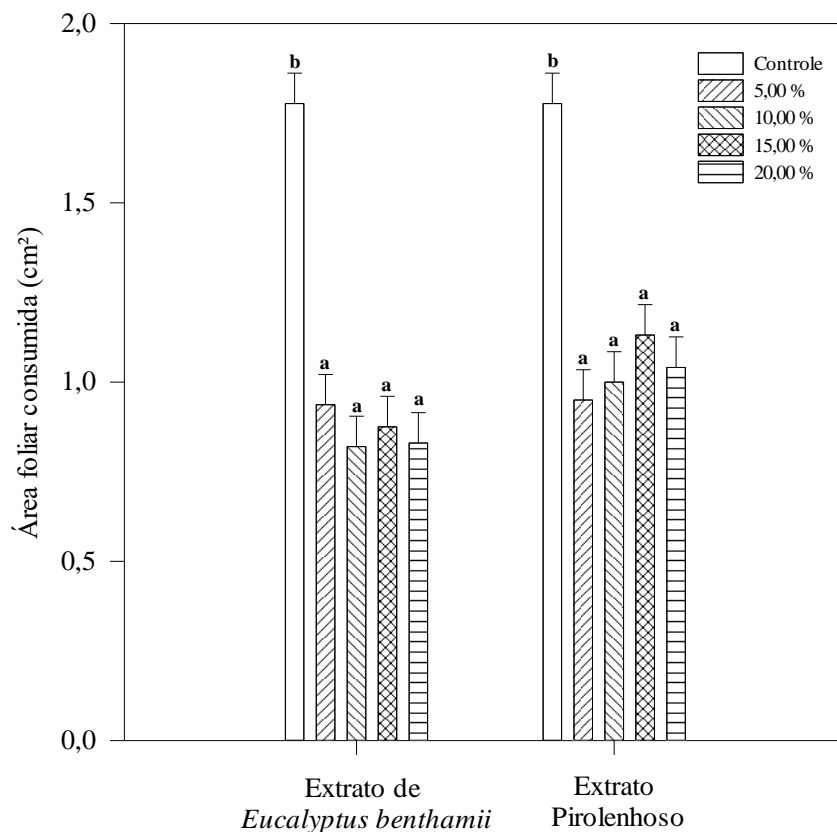
Figura 3: Efeito da aplicação de óleo essencial de *E. benthamii* e *E. uniflora*, indicando a herbivoria de *G. platensis*. Médias dos valores de área foliar consumida (cm<sup>2</sup>). Letras semelhantes não indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Autora (2023).

Quando o extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso foram avaliados, todas as concentrações testadas apresentaram redução de cerca de 50% da área foliar consumida (Figura 4). No entanto, os adultos de *G. platensis* não consumiram as folhas com o extrato pirolenhoso, por apresentarem características fitotóxicas, causando danos diretos às folhas, levando à descoloração e seca, tornando a folha não atrativa para o inseto, podendo ser considerado como efeito herbicida nas folhas (Anexo 1). Além disso, o extrato pirolenhoso, mesmo na maior concentração utilizada, não foi capaz de causar a mortalidade dos indivíduos de *G. platensis*. O extrato de *E. benthamii* permitiu a redução da herbivoria pelo fato que após a exposição de *G. platensis* à solução, os indivíduos apresentaram redução da sobrevivência e, conseqüentemente, da herbivoria.

Figura 4: Efeito da aplicação de extrato de *E. benthamii* e extrato pirolenhoso na herbivoria de *G. platensis*. Médias dos valores de área foliar consumida (cm<sup>2</sup>). Letras semelhantes não indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

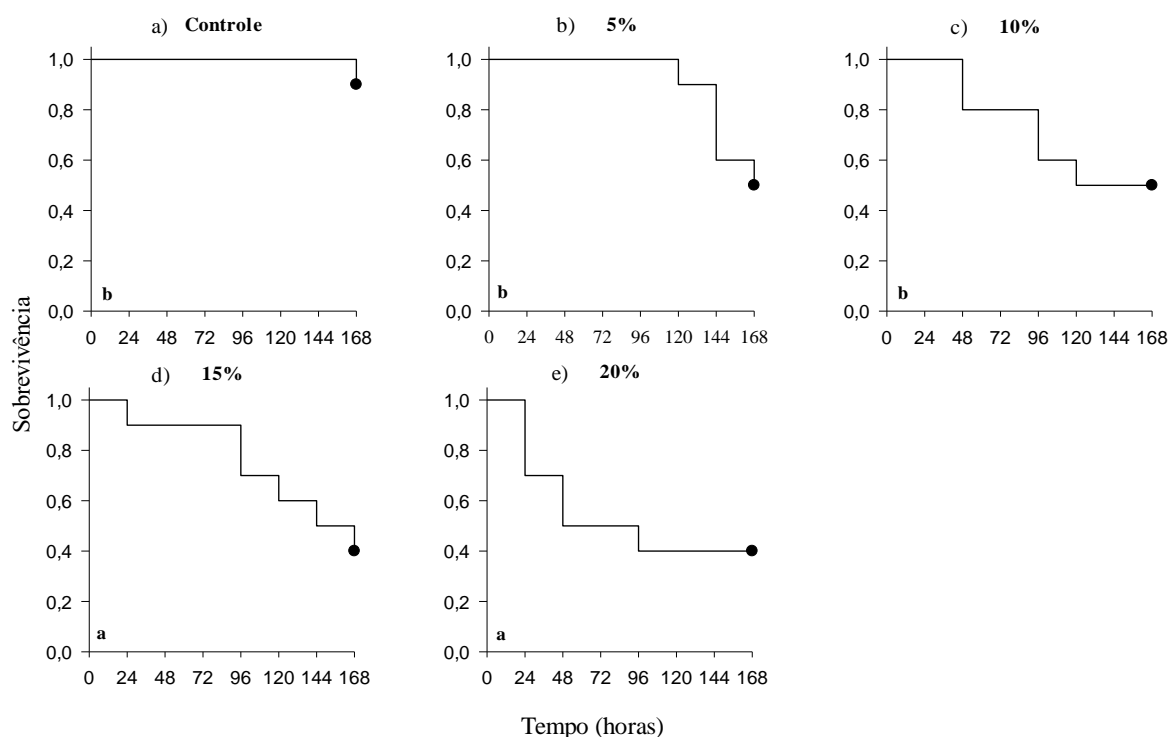


Fonte: Autora (2023).

A sobrevivência dos adultos de *G. platensis* após serem expostos ao extrato de *E. benthamii* reduziu conforme a concentração do OE aumentou. As concentrações de 15,00% e 20,00% foram as que apresentaram maiores quedas na sobrevivência, ocorridas nas primeiras 24 horas após a exposição de *G. platensis* para ambas as concentrações do extrato de *E. benthamii* (Figura 5). As concentrações de 5,00% e 10,00%, apesar de apresentarem redução da sobrevivência dos indivíduos, não diferiram do controle ( $p < 0,05$ ). Para a concentração de 5,00%, a redução da sobrevivência só ocorreu 120 horas após a exposição de *G. platensis* ao extrato e para 10,00% às 48 horas após a exposição.

Após 168 horas, foi necessária concentração (CL<sub>50</sub>) de 6,05% de extrato de *E. benthamii* para matar 50% dos indivíduos de *G. platensis* ( $y = 0,482x + 4,6234$ ). A partir disso, à medida que a concentração de extrato aumenta, o tempo necessário para causar mortalidade irá diminuir.

Figura 5: Sobrevivência de adultos de *G. platensis* de 24 a 168 horas após serem expostos ao extrato de *E. benthamii*, a) controle, b) 5%, c) 10%, d) 15% e e) 20%. Letras semelhantes não indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Autora (2023).

#### 5.4 DISCUSSÃO

O óleo essencial de *E. uniflora* foi capaz de reduzir a herbivoria de adultos de *G. platensis* em cerca de 1/3. Sendo que, em outros insetos-praga o OE de *E. uniflora* mostrou-se eficiente no controle causando mortalidade em insetos adultos, ninfas e ovos de *Thaumastocoris peregrinus* (Carpintero e Dellapé, 2006) (Hemiptera: Thaumastocoridae) na concentração de 0,75% (STENGER et al., 2021), em soldados de *Atta laevigata* (Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae), nas concentrações de 1,25, 2,5 e 5% (JUNG et al., 2013) e em adultos de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) na concentração de 10% (MACHADO et al., 2007). Seja por atividade redução da herbivoria ou por mortalidade dos indivíduos após aplicação dos tratamentos, o OE de *E. uniflora* tem resultados positivos para controle de insetos-praga.

Os constituintes químicos com maiores quantidades no OE de *E. uniflora* foram curzereno (34,80%), germacreno B (11,92%) e b-cubebeno (6,79%). De Jesus et al. (2023) e Figueiredo et al. (2019) também encontraram o curzereno como principal composto no OE de *E. uniflora*. Este composto é produzido pelo aquecimento durante a extração do OE e ao longo da análise cromatográfica gasosa, resultante do rearranjo sigmatrópico do furanodieno, um composto sesquiterpênico sensível ao calor que está presente nos OEs de *E. uniflora* (DA COSTA et al., 2020). Entretanto, estudos relatam que apesar da presença de germacreno B e b-cubebeno em OE de *E. uniflora*, esses ocorrem em quantidade reduzida (DA SILVA et al., 2023; DE JESUS et al., 2023; FIGUEIREDO et al., 2019; STENGER et al., 2021), considerando que o terpenos mencionados são compostos lipofílicos capazes de produzir toxicidade, provocando alterações fisiológicas e comportamentais nos insetos, inclusive por meio do consumo alimentar (MURUGESAN et al., 2012; PRATES; SANTOS, 2002; VIEGAS JÚNIOR, 2003).

A redução da herbivoria de *G. platensis* após a aplicação do OE de *E. benthamii*, pode estar associada à repelência e mortalidade descrita em alguns estudos (MOSSI et al., 2011; TIAN et al., 2020). Para mortalidade de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1985) (Coleoptera, Curculionidae) a  $CL_{50}$  foi de  $0,79 \mu\text{L cm}^{-2}$  (MOSSI et al., 2011), cerca de 50% de mortalidade foi alcançada com dose de  $121,09 \mu\text{L}$  de *E. benthamii* em *S. zeamais* (MOSSI et al., 2011), sendo que no presente estudo, a dose para causar mortalidade em 50% da população foi superior, correspondendo a  $600 \mu\text{L}$ .

A composição química do OE de *E. benthamii* foi descrita por Tian et al. (2020), onde foram analisados 50 compostos voláteis e os principais compostos foram  $\alpha$ -pineno (35,31%), globulol (17,35%) e aromadendreno (15,16%). Mossi et al. (2011), para a mesma espécie encontrou como compostos principais o  $\alpha$ -pineno (54,0%), viridiflorol (17,1%), 1,8-cineol (9,9%), aromadendreno (7,31%), e globulol (3,61%). O  $\alpha$ -pineno se manteve como composto majoritário do OE de *E. benthamii* em ambos os estudos, sendo que em concentrações elevadas é considerado responsável por melhorar o potencial inseticida desse OE contra os insetos *Tribolium castaneum* (Herbst.,1797) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1972) (Coleoptera, Bostrichidae) e *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Bruchidae) (HAMDI et al., 2015). Os compostos 1,8-cineol, aromadendreno, globulol e viridiflorol, apesar das variações em quantidade são comumente encontrados no gênero eucalipto (DANNA et al., 2024).

Apesar de neste estudo os OEs de *E. uniflora* e *E. benthamii* não terem apresentado efeito inseticida, houve a redução na herbivoria induzida por ambos. Essa diferença no efeito

dos OEs sobre os diferentes insetos pode estar relacionada a capacidade sensorial de cada espécie, uma vez que essa detecção envolve receptores quimiossensoriais localizados nas antenas, peças bucais e tarsos dos insetos (GULLAN; CRANSTON, 2017), sendo que para as fêmeas de *G. platensis* já foram identificadas uma gama de respostas eletrofisiológicas à voláteis de folhas de diferentes espécies de árvores, sugerindo que as diferenças nos perfis voláteis de diferentes árvores desempenham um papel na forma como estes besouros discriminam entre potenciais hospedeiros (BOUWER et al., 2014). Os OEs atuam por contato ou inalação (GULLAN; CRANSTON, 2017), podendo agir em enzimas digestivas e neurológicas, causando toxicidade nos insetos (ISMAN, 2006). Diante do efeito por inalação, ocorre a ligação de moléculas olfativas, podendo resultar na repulsão da fonte alimentar (BOHBOT; PITTS, 2015) enquanto que por contato, quanto maior a lipofilicidade do composto, maior a penetração no tegumento do inseto, demonstrando a importância da relação entre a estrutura química e atividade biológica dos compostos (KIM et al., 2003).

Outra explicação é que neste estudo o método de aplicação utilizado foi o por contato e não de fumigação, possivelmente proporcionando outra forma de ação. O método de fumigação, geralmente, tem maior eficácia na redução da sobrevivência, pois está relacionado à alta volatilidade dos principais compostos presentes nesses OEs (DE OLIVEIRA et al., 2017) e durante a fumigação, os OEs podem ser inalados ou entrar através dos poros presentes na cutícula do inseto, causando alta taxa de mortalidade (CHAUBEY, 2018; DE OLIVEIRA et al., 2017).

O extrato bruto de *E. benthamii* foi capaz de reduzir a sobrevivência de *G. platensis*. No entanto, não há trabalhos relatando a atividade inseticida deste extrato em outros insetos, bem como não há a descrição da composição química para a espécie, reforçando a importância de pesquisas. Apesar disso, extratos bruto de outras espécies de eucalipto também demonstraram potencial inseticida, como *Eucalyptus camaldulensis* no controle de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) (OGUNMEFUN; OBI; AKPOR, 2023), *Eucalyptus globulus* sobre *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855) (Coleoptera: Curculionidae) (DAROLD et al., 2015) e *Eucalyptus* sp. na atividade inseticida para controle de *Microtheca ochroloma* (Stal, 1860) (Coleoptera: Chrysomelidae) (DEQUECH et al., 2008).

Embora outros estudos tenham identificado efeito inseticida do extrato pirolenhoso sobre *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick, 1909) (Lepidoptera, Tortricidae) (MORANDI FILHO et al., 2006), *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) (AZEVEDO et al., 2021) e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (MOREIRA et al., 2009), esse efeito não foi verificado para *G. platensis* mesmo em concentrações maiores do que as utilizadas nos



experimentos citados. O estágio do ciclo de vida do inseto é fator importante no efeito inseticida (COSTA; CANTARELLI, 2020), sendo que neste experimento os indivíduos estavam na fase adulta e os relatos do efeito inseticida do extrato pirolenhoso são para indivíduos na fase jovem (ninfas e larvas/ lagartas).

Apesar do extrato pirolenhoso não ter apresentado o efeito esperado no presente estudo, revelou que a concentração utilizada apresenta efeito herbicida para as folhas de *E. saligna*. Isso pode ter ocorrido devido a sua elevada acidez (SILVEIRA, 2010). Esse extrato já apresentou potencial herbicida, inibindo 100% das sementes de plantas daninhas em dose de 500 L ha<sup>-1</sup> (ROCHA et al., 2022; ZEFERINO; DE LIMA; VIEIRA, 2018), indicando seu potencial uso como herbicida natural, na substituição de herbicidas sintéticos. Desse modo, não se refuta o uso do extrato no controle de *G. platensis*, entretanto, para isso é necessário ajustar doses inferiores às utilizadas.

## 5.5 CONCLUSÃO

A aplicação de óleos essenciais de *E. uniflora* e *E. benthamii* em folhas de *E. saligna* apresenta ser uma alternativa eficiente para reduzir a herbivoria de *G. platensis*, considerando que respectivamente, reduzem a herbivoria em 89 e 73%.

O extrato de *Eucalyptus benthamii*, tem potencial inseticida sobre os adultos de *Gonipterus platensis* em condições de laboratório, sendo importante estudar seu desempenho no campo.

O extrato pirolenhoso nas doses entre 5 e 20% apresentaram efeito herbicida sobre as folhas de *E. saligna*, de modo que doses menores devem ser testadas.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, F. R. DE et al. EFICIÊNCIA DE PRODUTOS NATURAIS PARA O CONTROLE DE *Bemisia Tabaci* BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) EM MELOEIRO. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, p. 73–79, 1 abr. 2021.
- BOHBOT, J. D.; PITTS, R. J. The narrowing olfactory landscape of insect odorant receptors. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 3, p. 39, 2015.
- BOUWER, M. C. et al. Chemical signatures affecting host choice in the *Eucalyptus* herbivore, *Gonipterus* sp. (Curculionidae: Coleoptera). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 8, n. 5, p. 439–451, 1 out. 2014.
- CHAUBEY, M. K. Study of insecticidal properties of *Trachyspermum ammi* and *Mentha arvensis* essential oils against *Sitophilus zeamais* L. (Coleoptera: Curculionidae). **Life Sci**, v. 4, n. 1, p. 10–17, 2018.
- COSTA, E. C.; CANTARELLI, E. B. **Entomologia florestal aplicada**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2020.
- DA COSTA, J. S. et al. Seasonal and antioxidant evaluation of essential oil from *Eugenia uniflora* L., curzerene-rich, thermally produced in situ. **Biomolecules**, v. 10, n. 2, 2020.
- DA SILVA, A. C. et al. Larvicidal activity, enzyme inhibitory effect, and molecular docking by essential oil, hydrolate, aqueous extract, and major compounds from the leaves of *Eugenia uniflora* against *Aedes aegypti*. **Industrial Crops and Products**, v. 204, p. 117380, 15 nov. 2023.
- DANNA, C. et al. *Eucalyptus* essential oils in pest control: a review of chemical composition and applications against insects and mites. **Crop Protection**, v. 176, p. 106319, 1 fev. 2024.
- DAROLD, A. M. et al. Atividade inseticida do extrato de *Eucalyptus globulus* Labill sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Semana Acadêmica de Biologia**, 2015.
- DE JESUS, E. N. S. et al. Chemical composition, antinociceptive and anti-inflammatory activities of the curzerene type essential oil of *Eugenia uniflora* from Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 317, p. 116859, 5 dez. 2023.
- DE OLIVEIRA, B. M. S. et al. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 335, 2017.
- DE SOUZA, L. N.; DE SOUZA, N. M.; BARBOSA, L. R. Técnica de manejo para criação de *Gonipterus platensis*. 2015.
- DEQUECH, S. T. B. et al. Efeito de extratos de plantas com atividade inseticida no controle de *Microtheca ochroloma* Stal (Col.: Chrysomelidae), em laboratório. **Revista Biotemas**, v. 21, n. 1, p. 41–46, 2008.
- DONKOR, A. et al. Pesticide residues in fruits and vegetables in Ghana: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 18966–18987, 2016.

EBADOLLAHI, A.; JALALI SENDI, J. A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests. **Toxin Reviews**, v. 34, n. 2, p. 76–91, 2015.

FIGUEIREDO, P. L. B. et al. Composition, antioxidant capacity and cytotoxic activity of *Eugenia uniflora* L. chemotype-oils from the Amazon. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 232, p. 30–38, 25 mar. 2019.

FREITAS, S. DE. Contribuição ao estudo da morfologia e biologia de *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835)(Coleoptera: Curculionidae) e levantamento dos danos causados por esta espécie em eucaliptos dos arredores de Curitiba [Master]. **Universidade Federal do Paraná. Garcia, A., Allen, GR, Oberprieler, RG, Ramos, AP, Valente, C., Reis, A., Franco, JC, & Branco, M.(2019). Biological control of *Gonipterus*: Uncovering the associations between eucalypts, weevils and parasitoids in their native range. Forest Ecology and Management**, v. 443, p. 106–116, 1979.

GARCIA, A. et al. Biological control of *Gonipterus*: Uncovering the associations between eucalypts, weevils and parasitoids in their native range. **Forest Ecology and Management**, v. 443, p. 106–116, 2019.

GRATTAPAGLIA, D. Genômica aplicada à genética e melhoramento de *Eucalyptus* na Embrapa: 25 anos de avanços e as perspectivas para o futuro. 2021.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. Insetos: fundamentos da entomologia. **Editorial ROCA, 5ª Ed., Barcelona. 460pp**, 2017.

HAMDI, S. H. et al. Management of three pests' population strains from Tunisia and Algeria using *Eucalyptus* essential oils. **Industrial Crops and products**, v. 74, p. 551–556, 2015.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 45–66, 2006.

ISMAN, M. B. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century—Fulfilling Their Promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, n. 1, p. 233–249, 2020.

JAYAKUMAR, M. et al. Repellent activity and fumigant toxicity of a few plant oils against the adult rice weevil *Sitophilus oryzae* Linnaeus 1763 (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, n. 2, p. 324–335, 2017.

JUNG, P. H. et al. Atividade inseticida de *Eugenia uniflora* L. e *Melia azedarach* L. sobre *Atta laevigata* Smith. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 191–196, jun. 2013.

KHANI, M. et al. Efficacy of three herbal essential oils against rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 20, n. 4, p. 937–950, 2017.

KIM, E.-H. et al. Acaricidal activity of clove bud oil compounds against *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 38, n. 2, p. 261–266, 2003.

KIRAN, S.; PRAKASH, B. Toxicity and biochemical efficacy of chemically characterized *Rosmarinus officinalis* essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis*. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 817–823, 2015.

- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der erde*. Gotha: verlag justus perthes. **Wall-map 150cmx200cm**, p. 91–102, 1928.
- LANFRANCO, D.; DUNGEY, H. S. Insect damage in *Eucalyptus*: a review of plantations in Chile. **Austral Ecology**, v. 26, n. 5, p. 477–481, 2001.
- MACHADO, R. T. et al. AVALIAÇÃO DA BIOATIVIDADE DE EXTRATOS VEGETAIS SOBRE *Diabrotica speciosa* (COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE) EM ESTUFA PLÁSTICA. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, 2007.
- MAPONDERA, T. S. et al. Identification and molecular phylogenetics of the cryptic species of the *Gonipterus scutellatus* complex (Coleoptera: Curculionidae: Gonipterini). **Australian Journal of Entomology**, v. 51, n. 3, p. 175–188, 2012.
- MEDEIROS, C. A. M.; BOIÇA JUNIOR, A. L.; TORRES, A. L. Efeito de extratos aquosos de plantas na oviposição da traça-das-crucíferas, em couve. **Bragantia**, v. 64, p. 227–232, 2005.
- MORANDI FILHO, W. J. et al. Action of natural products on the survival of *Argyrotaenia spheropa* (Meyrick)(Lepidoptera: Tortricidae) and selectivity of insecticides used in the organic production of vine on *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência Rural**, v. 36, p. 1072–1078, 2006.
- MOREIRA, C. et al. **Mortalidade de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) e Seletividade de *Eriopsis connexa* (Coleoptera, Coccinellidae) com Óleo de Nim, Extrato Pirolenhoso e um Inseticida Químico Sintético**. 13 mar. 2009.
- MOSSI, A. J. et al. Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 2, p. 273–277, 2011.
- MURUGESAN, S. et al. Identification insecticidal properties in common weed-Lantana camara Linn. by gas chromatography and mass spectrum (GC-MS-MS). **Advances in Applied Science Research**, v. 3, n. 5, p. 2754–2759, 2012.
- OGUNMEFUN, O. T.; OBI, P. U.; AKPOR, O. B. Bioinsecticidal efficacy of *Eucalyptus camaldulensis* (Dehn) and *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. leaf extracts on *Callosobruchus maculatus* (Cowpea weevil). **Scientific African**, v. 20, p. e01663, 1 jul. 2023.
- PINTO JUNIOR, J. E.; SILVEIRA, R. A. A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias. 2021.
- PRATES, H. T.; SANTOS, J. DOS. Óleos essenciais no controle de pragas de grãos armazenados. **Armazenagem de grãos. Campinas: Instituto Bio Geneziz**, p. 443–461, 2002.
- REIS, A. R. et al. Efficiency of biological control of *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae) by *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) in cold areas of the Iberian Peninsula: Implications for defoliation and wood production in *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 216–222, 15 abr. 2012.
- ROCHA, F. T. DA et al. Extrato pirolenhoso na germinação de sementes forrageiras. **CIS - Conjecturas Inter Studies**, v. 22, n. 2, p. 485–499, 7 mar. 2022.

SCHLÜTER, M. DE A. Avaliação de extratos vegetais no controle da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*) Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) sob diferentes pressões populacionais a campo. 2006.

SEMBIRING, N. et al. *Eucalyptus* plantation and its integrated supply chain in pulp and paper mill. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 912, n. 1, p. 012096, nov. 2021.

SILVEIRA, C. M. DA. Influência do extrato pirolenhoso no desenvolvimento e crescimento de plantas de milho. 2010.

SOUZA, F. P. DE; CASTILHO, T. P. R. Uso de Sistemas Agroflorestais para o controle biológico natural em propriedades rurais. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 30 jun. 2022.

SOUZA, N. DE et al. Ressurgência de uma antiga ameaça: Gorgulho-do-eucalipto *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae). **Circular Técnica**, v. 209, 2016.

SOUZA, N. M. DE. *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae): infestação em eucalipto, aspectos morfológicos e biológicos e controle. 2016.

STENGER, L. D. et al. Toxicity of essential oil of *Eugenia uniflora* (L.) to *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) and selectivity to the parasitoid *Cleruchoides noackae* (Lin & Hubert) (Hymenoptera: Mymaridae). **Crop Protection**, v. 147, p. 105693, 1 set. 2021.

STRECK, E. V. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos ..., 2018.

TIAN, Y. et al. Repellent, Insecticidal and Antimicrobial Activities of Leaf Essential Oils from Three *Eucalyptus* Species. **Chemistry & Biodiversity**, v. 17, n. 2, p. e1900580, 2020.

TOOKE, F. G. C. The *Eucalyptus* Snout. beetle, *Gonipterus scutellatus* Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means. **The Eucalyptus Snout. beetle, Gonipterus scutellatus Gyll. A Study of its Ecology and Control by biological Means.**, 1955.

VALENTE, C. et al. Economic outcome of classical biological control: a case study on the Eucalyptus snout beetle, *Gonipterus platensis*, and the parasitoid *Anaphes nitens*. **Ecological economics**, v. 149, p. 40–47, 2018.

VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, p. 390–400, 2003.

ZEFERINO, I.; DE LIMA, E. A.; VIEIRA, E. S. N. Uso do extrato pirolenhoso como adjuvante de herbicida. [s.d.].

ZHANG, Y.; WANG, X. Geographical spatial distribution and productivity dynamic change of eucalyptus plantations in China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19764, 5 out. 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de pragas florestais é um desafio para silvicultura, desde a implantação até plantios estabelecidos. Um aspecto relevante é que a monocultura pode aumentar a suscetibilidade das plantações a ataques de pragas, criando um ciclo de dependência de agrotóxicos que pode levar a impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana. Nesse contexto, os resultados da presente pesquisa trouxeram inovações importantes no que se trata a identificação de estratégias relevantes para manejo integrado de pragas (MIP) e o desenvolvimento de estratégias de controle mais sustentáveis.

Com base nos resultados das pesquisas sobre adubação foliar silicatada em eucalipto e utilização de óleos essenciais (OE) e extratos para redução da herbivoria de *Gonypterus platensis*, ficou evidente que ambas as abordagens apresentam alternativas promissoras para o controle de pragas em plantações de eucalipto.

De modo geral, a presente tese avança na fronteira do conhecimento, trazendo estratégias para o controle do *Gonypterus platensis*. As evidências ficam claras ao verificar a eficácia da adubação foliar silicatada na redução da herbivoria do inseto-praga, a partir das doses de 20 mL L<sup>-1</sup> e 30 mL L<sup>-1</sup>, após 21 dias após da aplicação, além da melhoria no rendimento fotossintético das plantas. Ainda, os óleos essenciais de *E. benthamii* (4% e 6 %) e *E. uniflora* (2%, 4% e 6%), mostraram eficácia na redução da herbivoria, agindo diretamente na atividade antialimentar, bem como o extrato de *E. benthamii* (5%) causando mortalidade dos insetos.

Embora esta pesquisa tenha demonstrado respostas fundamentais para silvicultura de *Eucalyptus* spp. novas pesquisas podem trazer complementação importante, quando enfocadas ao melhor entendimento dos mecanismos pelos quais o silicato de potássio, óleos essenciais e extratos afetam a herbivoria. Nesses sugere-se enfatizar os efeitos bioquímicos e fisiológicos sobre *G. platensis*, os possíveis efeitos sobre organismos não-alvo, em ambiente de laboratório e campo.

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A** - Registro do efeito fitotóxico do extrato pirolenhoso nas folhas de *E. saligna* 7 dias após a aplicação a) controle; b) 5%; c) 10%; d) 15% e e) 20%

**a)****b)**

c)



d)







## ANEXOS

**Anexo 1.** Caracterização da composição química da fração hexânica do óleo essencial de *Eugenia uniflora* por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e cromatografia gasosa com detector por ionização de chama.

Pic o	TR amost.	IK calc.	IK lit.	Font e	Constituinte	Cromatograma de íons totais (%)
1	11,468	986	987	nist	Fenol	1,77
2	13,092	1028	1034	nist	Corylon	1,39
3	13,533	1039	1035	nist	2-Ciclopenten-1-ona, 2,3- dimetil-	1,86
4	14,267	1058	1067	nist	m-Cresol	2,79
5	15,095	1079	1079	nist	o-Cresol	4,80
6	15,454	1089	1089	nist	o-Guaiacol	11,13
7	15,799	1097	-	-	NI	1,16
8	16,025	1103	-	-	NI	0,49
9	16,117	1106	1006	nist	Benzeno,1-metoxi-3-metil-	3,66
10	16,609	1119	-	-	NI	1,49
11	17,103	1133	-	-	NI	1,84
12	17,412	1141	1148	nist	2-Etil-fenol	1,09
13	17,75	1150	1151	nist	p-Xilenol	12,29
14	18,536	1172	1170	nist	o-Xilenol	0,67
15	18,813	1179	-	-	NI	0,63
16	19,057	1186	1191	nist	Isocresol	1,03
17	19,298	1192	1192	nist	p-Cresol	6,67
18	21,017	1241	1243	nist	Tolueno, 2,5-dimetoxi-	0,97
19	21,185	1246	-	-	NI	0,41
20	22,131	1274	1273	nist	p-Etilguaiacol	15,98
21	22,318	1279	1277	nist	NI	0,99
22	23,574	1316	1315	nist	Metilsiringol	1,08
23	24,768	1353	1355	nist	Siringol	0,67
24	25,262	1368	1371	nist	Cerulignol	11,77
25	26,512	1407	1408	nist	Tolueno, 3,4,5-trimetoxi	9,03
26	27,802	1449	1349	nist	1,2,4-Trimetoxibenzeno	0,22
27	29,351	1499	-	-	NI	0,70
28	30,208	1528	1526	nist	5-terc-Butilpirogolol	2,88
29	32,418	1605	1609	nist	Metoxieugenol	0,18
30	32,619	1612	-	-	NI	0,27
31	35,055	1700	-	-	NI	0,11
<b>Identified total</b>						<b>91,93%</b>

Onde: IK cal. Índice de Kovats calculado; IK lit.: Índice de Kovats encontrado na literatura. NI: constituinte não identificado.

Fonte: NIST, (2009).

**Anexo 2.** Caracterização da composição química da fração hexânica do extrato pirolenhoso por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e cromatografia gasosa com detector por ionização de chama.

Pico	Fonte	Constituinte	Cromatograma de íons totais (%)
1	nist	□-Mirceno	0,63
2	nist	□-Felandreno	0,17
3	nist	□-Tujeno	0,20
4	nist	trans-□-Ocimeno	1,30
5	nist	□-Ocimeno	3,32
6	nist	□Terpineno	0,15
7	nist	Terpinoleno	0,14
8	nist	□Elemeno	1,20
9	nist	□-Cubebeno	0,31
10	nist	Copaeno	0,30
11	nist	□-Elemeno	4,74
12	nist	□-Cariofileno	5,16
13	nist	□Elemeno	1,72
14	nist	Biciclosesquifelandreno	0,16
15	nist	Humuleno	0,43
16	nist	Aloaromadendreno	0,53
17	nist	□-Panasinseno	0,71
18	nist	□-Cubebeno	6,79
19	nist	□-Selineno	0,47
20	nist	Curzereno	30,80
21	nist	□Guaieno	1,34
22	nist	□Cadineno	0,14
23	nist	□Cadineno	2,01
24	nist	□-Cadineno	0,40
25	nist	Germacreno B	11,92
26	nist	Espatuleno	1,14
27	nist	Globulol	0,80
28	nist	Aristoladieno	3,28
29	nist	Germacrona	3,99
30	nist	Calameneno	4,62
31	nist	Aristoleno	5,73
<b>Identified total</b>			<b>98,58%</b>

Onde: IK cal. Índice de Kovats calculado; IK lit.: Índice de Kovats encontrado na literatura. NI: constituinte não identificado.

Fonte: NIST, (2009).