



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

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE *EUCALYPTUS* À VESPA-DA-
GALHA *LEPTOCYBE INVASA* FISHER & LA SALLE, 2004
(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**

JOSÉ OLIVEIRA DANTAS

2019



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

JOSÉ OLIVEIRA DANTAS

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE *EUCALYPTUS* À VESPA-DA-GALHA
LEPTOCYBE INVASA FISHER & LA SALLE, 2004
(HYMENOPTERA:EULOPHIDAE)**

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

Orientador
Prof. Dr. Genésio Tâmara Ribeiro

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

D192r Dantas, José Oliveira
Resposta de genótipos de Eucalyptus à vespa-da-galha *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) / José Oliveira Dantas; Orientador Genésio Tâmara Ribeiro. – São Cristóvão, 2019.
69 f.

Tese (Doutorado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Insetos florestais. 2. Vespas. 3. Eucalipto. 4. Árvores – Doenças e pragas. I. Ribeiro, Genésio Tâmara, orient. II. Título.

CDU 632.7: 582.776.2

JOSÉ OLIVEIRA DANTAS

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE *EUCALYPTUS* À VESPA-DA-GALHA
LEPTOCYBE INVASA FISHER & LA SALLE, 2004
(HYMENOPTERA:EULOPHIDAE)**

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

APROVADA em 19 de dezembro de 2019.

Dra. Eliana Maria dos Passos
SERGIPETEC

Dr. Adenir Vieira Teodoro
EMBRAPA

Prof^ª. Dra. Liamara Perin
IFS

Prof^ª. Dra. Rozimar de Campos Pereira
UFRB

Prof. Dr. Genésio Ribeiro
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Aos meus pais Laurita e Nelson, a minha
esposa Lucineide, a minha filha Beatriz, aos
meus irmãos Noelio e Nedison, aos meus
amigos, aos meus mestres, a Deus por
presentear-me com a vida e nela colocar estas
pessoas*
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e oportunidade de estar neste nível de conhecimento.

Aos meus pais Laurita Oliveira Dantas e Nelson Oliveira Dantas que não tiveram a oportunidade de completar seus estudos, mas na sua sabedoria sempre guiaram seus filhos no caminho do aprendizado e hoje com certeza estão realizados, todos os seus filhos estão bem encaminhados. Meu muito obrigado e que Deus continue iluminando suas vidas e suas mentes.

A minha esposa Lucineide N. A. Dantas que cuida de mim, suporta meus momentos de nervosismo e mau humor e minhas ausências, minhas fraquezas sempre me incentivando e apoiando nesta caminhada, meu muito obrigado, sem você creio que não conseguiria chegar até aqui.

A minha filha Beatriz que mudou meu modo de pensar e amar. Agora compreendo o que minha mãe me falou: “você só saberá o que é o amor no dia em que tiver um filho”. Amor da minha vida, obrigado por você existir.

Aos meus irmãos Noelio e Nedison, Doutor e Mestre em Física, respectivamente, que serviram de exemplo e incentivo.

Ao professor Dr Genésio Tâmara Ribeiro, pela orientação, confiança, apoio e oportunidade de trabalharmos juntos, desde a época que exercia a função de Técnico em Laboratório de Entomologia (Departamento de Biologia/UFS), até esta orientação. Meu muito obrigado, pela sua amizade e essa “eterna parceria” como disse professor Robério.

Aos professores parceiros nos trabalhos, pela atenção, pela disponibilidade de seus laboratórios, equipamentos, ao Prof. Dr. Claudio Lisi, Prof^a. Dra. Elizamar Ciríaco, Prof. Dr. Arie Blank, Prof. Dr. Paulo Nogueira, Dra. Juliana Melo, as biólogas Renata Anchieta e Celine Moura, os doutorandos Roberto Aragão, Vanderson Pinto, meu muito obrigado.

Aos colegas de turma do doutorado, pela amizade, parceria, colaboração, ensinamento e porque não dizer solidariedade (rsrsrsrs), em especial a Paula Pigozzo e Itala Barreto pela parceria, muito obrigado a todos vocês.

Aos colegas do LEFLO e demais orientandos do prof Genésio, Vancleber Batista, Heloisa Pinheiro, Raianny Reis, Saiara Silva, Thomaz Santos, Sidney Franciulli, Jessica, Valter, Crislaine, Thayane, Iweng, sem esquecer do nosso técnico Edson, a Fátima e Júlio que “comandaram” o laboratório. Valeu pelo tempo que passamos juntos, aniversários, confraternizações, cursos entre outras coisas.

Ao Instituto Federal de Sergipe/Campus São Cristóvão pela liberação parcial das minhas atividades que permitiu cursar o doutorado. Aos professores colegas do IFS pelo incentivo e colaboração, meu muito obrigado. Aos meus alunos pela compreensão e negociação nos horários das aulas, meu muito obrigado. A Agripino Emanuel “fiel escudeiro” que participou das viagens a Bracell Florestal, além dos trabalhos de campo.

A empresa Bracell/Copener Florestal pelo fornecimento das mudas de eucalipto possibilitando o desenvolvimento da pesquisa.

Enfim a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta etapa acadêmica, obrigado.

BIOGRAFIA

José Oliveira Dantas, natural de Campo do Brito, Sergipe, filho de Laurita Oliveira Dantas e Nelson Oliveira Dantas. Estudei o Ensino Fundamental na Escola Estadual Guilherme Campos, em Campo do Brito; Ensino Médio no Colégio Estadual Murilo Braga em Itabaiana, Sergipe. Fiz Licenciatura em Ciências Biológicas (1987-1991), na Universidade Federal de Sergipe; Especialização em Ensino de Ciências: Modalidade Biologia (2002), na Universidade Federal de Sergipe, orientado por Dr. Marcelo Mendonça, Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema) (2005-2006) na Universidade Federal de Sergipe, orientado por Dr. Celso Morato de Carvalho e Doutorado no Programa de Agricultura e Biodiversidade (2015-2019), na Universidade Federal de Sergipe, sob a orientação do Dr. Genésio Tâmara Ribeiro.

Trabalhei em diversas escolas: Colégio Cenecista (Campo do Brito), Colégio Amadeus (Aracaju), Colégio Opção (Itabaiana), Colégio Municipal Coronel João Sá (Bahia), Colégio Josué Passos (Ribeirópolis). Entrei no serviço público em 1993 como Técnico em Laboratório do Departamento de Biologia da UFS, onde tive contato com a Entomologia e fiquei até 2013; em 1998 entrei como professor concursado na Secretaria de Educação do Estado de Sergipe (1998-2000), em 2002 professor da rede Municipal de Educação do município de Aracaju (2002-2010) e finalmente professor do Instituto Federal de Sergipe (2010) até o presente.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	Ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	Iv
RESUMO	V
ABSTRACT	Vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO	03
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
5. ARTIGO 1: PRIMEIRO REGISTRO E OBSERVAÇÕES DE <i>Leptocybe invasa</i> FISHER & La SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM <i>Eucalyptus globulus</i> LABILL NO LITORAL NORTE DA BAHIA, BRASIL	20
Resumo	20
Abstract.....	20
5.1. Introdução	21
5.2. Material e Métodos	21
5.3. Resultados e Discussão	22
5.4. Conclusões	25
5.5. Referências Bibliográficas	26
6. ARTIGO 2: ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES DE GENÓTIPOS DE <i>EUCALYPTUS</i> INDUZIDAS POR <i>LEPTOCYBE INVASA</i> FISHER & LA SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE).	27
Resumo	27
Abstract.....	27
6.1. Introdução	28
6.2. Material e Métodos	29
6.3. Resultados e Discussão	30
6.4. Conclusões	35
6.5. Agradecimentos	35
6.6. Referências Bibliográficas	36
7. ARTIGO 3: DIAGNÓSTICO PRECOCE DE RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE <i>EUCALYPTUS</i> À FORMAÇÃO DE GALHAS INDUZIDAS POR <i>LEPTOCYBE INVASA</i> FISHER & LA-SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) <i>Leptocybe invasa</i> FISHER & La SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)	39
Resumo	39
Abstract.....	39
7.1. Introdução	40
7.2. Material e Métodos	41
7.3. Resultados	42
7.4. Discussão	48
7.5. Conclusões	49
7.6. Referências Bibliográficas	50
7.7. Conclusões Gerais	55

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Sintomas de galhas de <i>Leptocybe invasa</i> (Hymenoptera: Eulophidae) em <i>Eucalyptus globulus</i> , na região do litoral norte da Bahia. 1A: Galha foliar; 1B: Medições de galhas com paquímetro digital; 1C: Galhas em folhas novas; 1D: Galhas desenvolvidas em folhas maduras; 1E: Galhas desenvolvidas na fase de mudança de cor; 1F: Galhas nos ramos.	23
2	Galhas de <i>Leptocybe invasa</i> : diâmetro e comprimento mínimos, médios e máximos observados nas folhas e galhos de <i>Eucalyptus globulus</i> ao longo de três semanas, na região do litoral norte da Bahia.	23
3	Média e desvio padrão (DP) do diâmetro de galhas de <i>Leptocybe invasa</i> observadas nas folhas e ramos de <i>Eucalyptus globulus</i> em três avaliações semanais, na região do litoral norte da Bahia.	24
4	Média e desvio padrão (DP) do comprimento de galhas de <i>Leptocybe invasa</i> observadas nas folhas e ramos de <i>Eucalyptus globulus</i> , em três avaliações semanais, na região do litoral norte da Bahia.	25

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Oviposição de <i>Leptocybe invasa</i> (seta) em folhas de genótipos de eucalipto (1404) (<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp) resistente.	30
2	Genótipos de eucalipto 1404 (<i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp.) (A, B, C); 1724 (<i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp.) (D, E, F); 1277 (<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>) (G, H, I); 1262 (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) (J, K, L) em fotografia macroscópica (A - K) e usando estereomicroscopia (C - L, barra 2mm).	31
3	Cortes transversais das folhas (A, B, E, F, I, J, M, N) e pecíolo (C, D, G, H, K, L, O, P) de quatro genótipos de eucalipto: 1404 (<i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp.) (A, B, C, D); 1724 (<i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp.) (E, F, G, H); 1277 (<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>) (I, J, K, L) e 1262 (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) (M, N, O, P); folhas sem ataque (A, E, I, M); folhas com ataque (F, J, N); pecíolo sem ataque (C, G, K, O); pecíolo com ataque (H, L, P).	32
4	Corte transversal do pecíolo de eucalipto (A) atacado por <i>Leptocybe invasa</i> após a emergência de adultos com necrose foliar (B), comum em genótipos suscetíveis. Região apical da folha do genótipo 1262 (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) com ataque severo (C).	33
5	Área do feixe vascular de pecíolos (A) e nervura central das folhas (B) dos genótipos de eucalipto, resistentes (1404: <i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp.) e suscetíveis (1724: <i>E. urophylla</i> x <i>Eucalyptus</i> sp., 1277: <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> , 1262: <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) ao ataque de <i>Leptocybe invasa</i>	34

ARTIGO 3

Figura		Página
1	Distribuição dos constituintes químicos do óleo essencial de genótipos de <i>Eucalyptus</i> spp. resistentes (R) e suscetíveis (S) à <i>Leptocybe invasa</i> (Hymenoptera: Eulophidae) em relação aos dois componentes principais através da análise de componente principal (ACP). Compostos: (C ₁) α -pineno, (C ₂) canfeno, (C ₃) β -pineno, (C ₄) α -felandreno, (C ₅) isoamil isobutirato, (C ₆) p-cimeno, (C ₇) 1,8-cineol, (C ₈) (Z)-b-ocimeno, (C ₉) γ -terpineno, (C ₁₀) (Z)-óxido-de-linalol, (C ₁₁) terpinoleno, (C ₁₂) linalol, (C ₁₃) endo-fencol, (C ₁₄) α -canfolenal, (C ₁₅) allo-cimeno, (C ₁₆) trans-pinocarveol, (C ₁₇) pinocarvona, (C ₁₈) borneol, (C ₁₉) terpinen-4-ol, (C ₂₀) α -terpineol, (C ₂₁) mirtenol, (C ₂₂) γ -terpineol, (C ₂₃) (Z)-carveol, (C ₂₄) menta-1(7),8-dien-2-ol, (C ₂₅) (E)-óxido acetato de linalol, (C ₂₆) α -terpinil acetato, (C ₂₇) (E)-cariofileno, (C ₂₈) biciclogermacreno, (C ₂₉) (Z)-calameneno, (C ₃₀)	

	espatulenol, (C ₃₁) globulol, (C ₃₂) viridiflorol, (C ₃₃) iso-leptospermona, (C ₃₄) leptospermona, (C ₃₅) sesquiterpeno oxigenado.	44
2	Dendograma bidimensional representando a similaridade entre genótipos de <i>Eucalyptus</i> resistentes (R) e suscetíveis(S) à <i>Leptocybe invasa</i> (Hymenoptera: Eulophidae) para composição química do óleo essencial.	45
3	Médias dos constituintes químicos dos óleos essenciais dos genótipos de eucaliptos, grupos de 1-4. (C ₁) α -pineno, (C ₇) 1,8-cineol, (C ₉) γ -terpineno, (C ₂₀) α -terpineol, (C ₂₆) α -terpenil acetato.	46

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 3

Tabela		Página
1	Genótipos de <i>Eucalyptus</i> e seus parentais cedidos pela Bracell Ltda/Copener Florestal.	41
2	Teores (%) dos constituintes dos óleos essenciais dos genótipos de <i>Eucalyptus</i> resistentes (R) e suscetíveis(S) a formação de galhas, causadas por oviposição de <i>Leptocybe invasa</i> (Hymenoptera: Eulophidae).	43
3	Coefficiente de correlação para os constituintes químicos (C1 a C35) do óleo essencial de genótipos de <i>Eucalyptus</i> spp.	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$m^3 ha^{-1}$	Metro cúbico por hectare
μm	Micrômetro
mm	Milímetro
C	Carbono

RESUMO

DANTAS, José Oliveira. **Resposta de genótipos de *Eucalyptus* a vespa-da-galha *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae)**. São Cristóvão: UFS, 2019. 75p. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade).*

A vespa-da-galha *Leptocybe invasa* é originária da Austrália, se reproduz por partenogênese (telítoca) exclusivamente em eucalipto com grande poder de infestação. A vespa-da-galha oviposita na nervura central das folhas, pecíolos e ramos jovens induzindo a formação de galhas, causando envassouramento e seca dos ponteiros, impedindo o crescimento normal das plantas, e em casos de ataque mais severo ocorre a morte da planta. No entanto, existem genótipos de eucalipto resistentes e genótipos suscetíveis à formação de galhas. Objetivando analisar se a resistência à formação de galhas é física ou química, dez genótipos de *Eucalyptus* tiveram a anatomia e composição química analisadas, concomitantemente fez-se o registro da primeira ocorrência de galhas em *Eucalyptus globulus*, na região nordeste do Brasil. Para análise física ou anatômica, folhas, pecíolos e ramos jovens de genótipos de eucaliptos foram cortados em micrótomo, observados e fotografados com microscópio óptico e a área dos feixes vasculares, na região da oviposição e da galhas, foi medida usando o programa Image-Pro Plus[®]. Os óleos essenciais dos genótipos de eucalipto foram analisados por cromatografia gasosa e espectrometria de massa. Foi observada oviposição da vespa-da-galha em genótipos resistentes, porém sem formação de galhas. Já nos genótipos suscetíveis houve a formação de galhas com deformações nas estruturas e diminuição significativa nas áreas dos feixes vasculares da nervura central de folhas e pecíolos. Houve diferença na composição química dos óleos essenciais entre os genótipos resistentes e suscetíveis, sendo que cinco constituintes foram detectados apenas nos óleos essenciais dos genótipos resistentes. Portanto, a resistência provavelmente não é física, uma vez que ocorre oviposição da vespa em genótipos resistentes, assim a resistência à formação de galha deve ser química, induzida pelo sinergismo dos constituintes do óleo essencial.

Palavras-chave: Inseto praga, Silvicultura, insetos galhadores.

* Comitê Orientador: Dr. Genésio Tâmara Ribeiro – UFS (Orientador).

ABSTRACT

DANTAS, José Oliveira. **Response of *Eucalyptus* genotypes to the wasp *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae).** São Cristóvão: UFS, 2019. XXp. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

The gall wasp *Leptocybe invasa* originates from Australia. It reproduces by parthenogenesis (telitoca) exclusively in eucalyptus with great power of infestation. Gall wasps lay eggs in leaf midribs, petioles and young branches inducing gall formation, causing the growing shoot tips to dry out and outgrowth of axillary buds, preventing normal plant growth and in cases of more severe attack plant death. However, there are resistant eucalyptus genotypes and genotypes susceptible to gall formation. In order to investigate whether the resistance to gall formation has physical or chemical origin, the anatomy and chemical composition of ten genotypes were analyzed. At the same time, the first occurrence of galls in *Eucalyptus globulus*, was recorded in the northeast of Brazil. For physical or anatomical analysis, tissue sections of leaves, petioles and young branches of eucalyptus genotypes were cut into a microtome, observed and photographed using the image analysis software Image Pro Plus®. The essential oils of eucalyptus genotypes were analyzed by gas chromatography and mass spectrophotometry. Wasp oviposition was observed in resistant genotypes, but without gall formation. In susceptible genotypes, galls were produced by deformations in the structures and a significant decrease in the vascular bundle areas of leaf midrib and petioles. There was difference in the chemical composition of the essential oils between the resistant and susceptible genotypes, and twelve constituents were detected only in the oils of the resistant genotypes. Therefore, resistance has probably not physical origin, since wasp oviposition occurs in resistant genotypes, hence resistance to gall formation must be chemical, induced by the synergism of essential oil constituents.

Key-words: Pest insect; Forestry; galling insects.

* Supervising Committee: Dr. Genésio Tâmara Ribeiro – UFS (Orientador).

1. INTRODUÇÃO GERAL

As espécies de *Eucalyptus* L'Heritier 1789 compreendem plantas arbóreas, pertencentes à família Myrtaceae, subfamília Leptospermoidae, originárias do continente australiano, Indonésia, Papua e Nova Quiné. Existem mais de 600 espécies de eucalipto catalogadas, que foram introduzidas e adaptadas a diversos climas ao redor do mundo (PINTO JÚNIOR et al., 2014).

No Brasil, os eucaliptos são plantados em todas as regiões para diversas finalidades, como produção de celulose, papel, lenha e carvão, laminação, mourões e madeira serrada (RESENDE et al., 2011). Isso, graças à diversidade genotípica e aos avanços nas técnicas de cultivo resultando em plantações que apresentam elevada produtividade em diferentes locais e condições climáticas (MORAES et al., 2015). A produtividade média nas plantações comerciais de eucalipto é de 36 m³ ha⁻¹, podendo chegar a 62 m³ ha⁻¹, com condições climáticas favoráveis (IBÁ, 2016; BINKLEY et al., 2013).

O crescimento do cultivo de eucalipto no Brasil favoreceu a adaptação e proliferação de diversas espécies de insetos nativos, dos quais alguns se tornaram pragas, como as formigas cortadeiras (*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.), besouros e lagartas desfolhadoras. Além de outros insetos que aqui foram introduzidos como o gorgulho (*Gonipterus* spp.), a broca-do-eucalipto (*Phoracantha semipunctata*), os psilídeos (*Ctenarytaina* sp., *Glycaspis* sp.), o percevejo-bronzeado-do-eucalipto (*Thaumastocoris peregrinus*), a microvespa-do-eucalipto (*Epichrysocharis burwelii*) e a vespa-da-galha (*Leptocybe invasa*), causando injúrias nas plantas, comprometendo a produtividade e aumentando os custos de produção (QUIEROZ, 2009; RIBEIRO et al., 2015).

Leptocybe invasa Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) é um micro himenóptero originário do continente australiano, de coloração marrom escuro brilhante, que mede cerca de 1,2mm de comprimento. Apresenta grande potencial reprodutivo, uma vez que se reproduz por partenogênese telítoca (MENDEL et al., 2004), apesar de haver registro de macho (DOGANLAR, 2005). A postura é endofítica, sendo que as fêmeas ovipositam na nervura central das folhas, pecíolos e ramos jovens, induzindo o desenvolvimento de galhas. O ciclo da postura até a emergência dos adultos dura cerca de 130 dias (MENDEL et al., 2004).

Diversas espécies de eucalipto e seus híbridos são suscetíveis à formação de galhas (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. bridgesiana*, *E. cinerea*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. gunni*, *E. nicholli*, *E. pulverulenta*, *E. robusta*, *E. rudis*, *E. tereticornis* e *E. viminalis*) (FAO, 2011; MENDEL et al., 2004). Porém existem outras espécies de eucalipto e seus híbridos, que são resistentes à formação de galhas mesmo quando ocorre oviposição.

A hibridização é uma ferramenta que busca evidenciar características de interesse comercial das plantas e seus produtos, para isso diversas espécies de *Eucalyptus* são cruzadas resultando numa grande quantidade de diferentes genótipos, alguns resistentes, outros suscetíveis à formação de galhas induzidas pela oviposição da *L. invasa*. A resistência pode ser atribuída a fatores físicos e químicos. Os físicos são formas de defesa direta das plantas que impedem a fixação e locomoção dos insetos ou ainda dificultem a penetração em órgãos e tecidos durante a postura ou obtenção de alimentos (AOYAMA; LABINAS, 2012; CARRANO-MOREIRA, 2014). Enquanto os químicos podem servir para impedir o desenvolvimento de ovos e larvas, evitar a herbivoria ou matar os insetos principalmente nas fases imaturas.

Dentre os fatores químicos de proteção da planta contra herbivoria existem os metabólitos secundários, a exemplo dos óleos essenciais e seus constituintes. Os óleos essenciais são combinações de compostos químicos voláteis, sendo em sua maioria mono e sesquiterpenos de baixo peso molecular, líquidos a temperatura ambiente, porém apresentam

alta volatilidade (FRANZ; NOVAK, 2010; REHMAN et al., 2016; ZAHRAN et al., 2017). Estes óleos são utilizados pelas plantas como mensageiros internos de comunicação e proteção contra os herbívoros (FRANZ; NOVAK, 2010; REHMAN et al., 2016).

Assim, objetivou-se neste trabalho caracterizar os genótipos de *Eucalyptus* quanto à suscetibilidade e resistência da formação de galhas induzidas pela oviposição da vespa-da-galha *Leptocybe invasa* e registrar a ocorrência de galhas em *Eucalyptus globulus* na região nordeste do Brasil. A tese foi dividida em três capítulos, sendo o primeiro intitulado “Primeiro registro da praga de eucalipto *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) em *Eucalyptus globulus*, na região nordeste do Brasil”, o segundo intitulado “Alterações anatômicas nas folhas de *Eucalyptus* pela formação de galhas induzida por *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae)” e o terceiro intitulado “Diagnóstico precoce de genótipos de *Eucalyptus* suscetível ou resistente à formação de galhas induzido por *Leptocybe invasa* Fisher & La-Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae)”.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pragas de Eucalipto

Perdas significativas ocorrem em diversas culturas florestais decorrentes do ataque de pragas, seja pelas injúrias nos tecidos vegetais ou transmitindo doenças, comprometendo o desenvolvimento normal das plantas e reduzindo a produtividade (STUDART-GUIMARÃES et al., 2003; SARTORETTO et al., 2008).

A expansão do cultivo de eucalipto favoreceu o aumento das populações de diversos insetos nativos, dos quais alguns se tornaram pragas (formigas, besouros, lagartas desfolhadoras). Além dos nativos, diversos insetos exóticos foram introduzidos causando danos a diversas espécies e híbridos de eucalipto (QUEIROZ, 2009; WILCKEN et al., 2010 e 2015; RIBEIRO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016).

As formigas cortadeiras (*Atta* e *Acromyrmex*) (Hymenoptera: Formicidae) são importantes economicamente por apresentarem ampla distribuição e intensa desfolha em áreas agrícolas e florestais (CAMARGO et al., 2013), podendo causar a morte das plantas.

Na Ordem Lepidoptera dezenas de espécies de lagartas desfolhadoras são encontradas em plantações de eucalipto, algumas consideradas como pragas primárias. Essas lagartas são nativas, polípagas e normalmente utilizam plantas da família Myrtaceae como hospedeiras. *Thyriniteina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae) é citada como o lepidóptero desfolhador mais importante no Brasil (BERTI FILHO, 1974; ZANETTI et al., 2002; RIBEIRO et al., 2016).

Outras espécies de lagartas (Lepidoptera) também são consideradas como pragas de eucalipto, tais como: *Thyriniteina lecoceraea* Rindge, 1961, *Glena unipennaria* (Guenée, 1857), *Glena bisulca* Rindge, 1967, *Sabulodes caberata* Guenée, 1857, *Fulgoroidea sartinaria* Guenée, 1857, *Oxydia apidania* Cramer, *Oxydia vesulia* Cramer, 1779 (Geometridae); *Sarcina violascens* (Herrich-Schaeffer, 1856) (Lymantriidae); *Psorocampa denticulata* (Schaus), *Blera varana* Schaus (Notodontidae); *Eacles imperialis magnifica* Walker, 1856, *Automeris* spp. Walker, 1855, *Dirphia rosacordis* (Walker, 1855) (Saturniidae); *Eupseudosoma aberrans* Schaus, 1905, *Eupseudosoma involuta* (Sepp, 1852) (Arctiidae), *Apatelodes sericea* Schaus, 1896 (Eupterotidae); *Euselasia apisaon* Dalman, 1823 (Riodinidae); *Oiketicus kirbi* Lands-Guilding, 1827 (Psychidae); *Agrotis ipisilon* Hufnagel, 1767, *Spodoptera latifascia* (Walker, 1856) (Lepidoptera: Noctuidae) (MORAES; SOARES, 1981; SANTOS et al., 1982; PERES FILHO; BERTI FILHO, 1985; SANTOS et al., 1993; SANTOS et al., 2008; RIBEIRO et al., 2016).

Os coleópteros constituem um grupo relevante de insetos-praga para a silvicultura brasileira de eucalipto (MONTES et al., 2012) com destaque para as famílias Chrysomelidae, Buprestidae, Curculionidae e Scarabaeidae. A família Chrysomelidae compõe um importante grupo de herbívoros, principalmente em plantas jovens (OHMART; EDWARDS, 1991), a exemplo de *Costalimaita ferruginea* (Fabricius, 1801) (besouro-amarelo-do-eucalipto), em virtude de sua voracidade e seu potencial biótico (SANTOS, 2008). Além de *Agrianes validicornis* (Chapuis, 1874) e *Metaxyonycha angusta* (Perty, 1832), pertencentes à subfamília Eumolpinae (MAGISTRALI et al., 2019).

A família Buprestidae apresenta várias espécies de besouros desfolhadores de eucalipto no Brasil, eles atacam as folhas novas, roem os galhos tenros e decepam o ponteiro principal das plantas, como *Lampetis nigerrima* (Kerremans, 1897) (NADAI et al., 2012) e *Lampetis roseocarinata*. Outras espécies desta família também são citados como desfolhadores: *Psiloptera argyrophora*, *P. attenuata*, *P. hoffmanni*, *P. pardalis*, *Lampetis cupreosparsa*, *L. dives*, *L. doncheri*, *L. instabilis* e *L. solieri* (SILVA et al., 1968).

Dentre os curculionídeos várias espécies nativas foram observadas desfolhando eucalipto no Brasil, tais como: *Asynonychus cervinus*, *Naupactatus longimanus*, *N.*

xanthographus, *N. bipes*, *N. condecoratus*, *N. elegans*, *Lasiopus cilipes*, *Miremorphus eucalypti*, *Phaops andamantina*, *Rhigus tribuloides*, *Cyphus luridus*, *Heilipus fallax*, *Hoplopactus injucundus* e *Hypsonotus* sp. Além dos exóticos *Gonipterus gibberus* e *G. scutellatus*, *Gonipterus pulverulentus* Lea, 1897 e *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (ANJOS; MAJER, 2003; SCHÜHLI et al., 2016).

Na família Scarabaeidae, o besouro desfolhador mais frequente em eucalipto, no Brasil, é *Bolax flavolineatus*. Além desta, as espécies *Geniates barbatus*, *Leucothryreus niveicollis* e *Philoclaenia tricostata* (ANJOS; MAJER, 2003). E os cerambicídeos *Phoracantha semipunctata* (Fabricius) e *Phoracantha recurva* Newman de origem australiana atacam diversas espécies de eucalipto no Brasil.

Na Ordem Hemiptera, as espécies *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell) (Aphalaridae) e *Ctenarytaina spatulata* Taylor (Psyllidae) se alimentam da seiva da planta e causam lesões em folhas e brotos de eucalipto (SCHÜHLI et al., 2016). Outro gênero de psilídeo australiano, *Blastopsylla occidentalis* Taylor (Psylloidea), também foi encontrado em eucalipto no Brasil (QUEIROZ et al., 2012). A espécie *Glycaspis brimblecombei* Moore, 1964 (Aphalaridae), recentemente introduzida no Brasil, possui uma pequena estrutura protetora, são sugadores de seiva causando descoloração foliar, redução da área fotossintética e quebra dos ponteiros, comprometendo o crescimento das plantas (WILCKEN et al., 2015). O percevejo-bronzeado-do-eucalipto *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) foi uma praga introduzida no Brasil em 2008 (WILCKEN et al., 2010). Nas infestações severas diminuem as taxas fotossintéticas da planta, causando desfolha parcial ou total, podendo matar a planta (SCHÜHLI et al., 2016).

Dentre os dípteros, a mosca-do-viveiro *Bradysia coprophila* Lintner 1895 (Sciaridae) é citada como praga de várias plantas cultivadas em casas de vegetação, sendo registrada no Brasil em 1991 atacando estacas de eucalipto (SANTOS et al., 2008).

Os cupins (Blattodea: Isoptera) podem causar danos severos durante a implantação de mudas de eucalipto no campo. O gênero *Syntermes* é considerado praga do eucalipto, sendo que a espécie *S. molestus* pode danificar coleto e raiz, no gênero *Heterotermes* a espécie *H. longiceps* danifica raízes de mudas jovens de eucalipto, podendo provocar a morte das mudas (CALDERON; CONSTANTINO, 2007; SILVA et al., 2015).

Dentre os Hymenoptera a microvespa australiana *Epichrysocharis burwelli* Schauff (Hymenoptera: Eulophidae) induz a formação de galhas lenticulares no limbo foliar de *Corymbia citriodora*, podendo reduzir a produção de óleo essencial. Foi registrada pela primeira vez na cidade de Los Angeles (EUA) em 2000, em Minas Gerais (Brasil) em 2003 e atualmente encontra-se amplamente distribuída em vários estados brasileiros (SANTANA; ANJOS, 2007; PEREIRA et al., 2012).

Em ataque intenso, uma folha pode conter mais de 50 galhas, o tamanho médio das galhas para uma única vespa é de 2,1 mm de comprimento. O tempo de desenvolvimento da oviposição até a emergência dos imagos é de 132,6 dias em temperatura ambiente, podendo ter duas ou três gerações no ano. O inseto adulto tem em média 1,3 mm (1,1 mm e 1,4 mm) de comprimento e média de 6,5 dias de vida, alimentado com mel e água (MENDEL et al., 2004).

Algumas espécies de ácaros foram registradas no Brasil como pragas de eucalipto, como: *Olygonychus yotheri*, *O. ilicis*; *O. punicae*, *Tetranychus urticae* e *Rhombacus eucalypti*, folhas com sinais de sucção apresentam coloração escura, enquanto as folhas mais velhas ficam encarquilhadas e caem facilmente (SANTOS et al., 2008).

Leptocybe invasa Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae), ou vespa-da-galha originária da Austrália, foi registrada pela primeira vez em Israel em 2000 e atualmente encontra-se em diversos países, inclusive no Brasil, sendo registrada em 2008. Se reproduz por partenogênese telítica, ovipositando na nervura central das folhas, pecíolo e ramos jovens induzindo a formação de galhas em diversas espécies e híbridos de eucalipto, a forma de reprodução, o desenvolvimento multivoltino e a ausência de inimigos naturais colaboram

no rápido crescimento populacional da vespa-da-galha (MENDEL et al., 2004; WILCKEN; BERTI FILHO 2008; THU et al., 2009; NYEKO et al., 2010).

2.2 Galhas

As galhas são estruturas desenvolvidas por hipertrofia celular e hiperplasia tecidual, resultante da estimulação de agentes cecidogênicos de um organismo estranho à planta, que podem ser fungos, bactérias, vírus, ácaros, nematoides e insetos (PRICE, 2005; BERGAMINI et al., 2017). As galhas representam alterações morfológicas e fisiológicas dos tecidos da planta ao ataque do parasita e estão de alguma maneira relacionados com a sua atividade alimentar e fisiologia nutricional (GULLAN; CRASTON, 2012; HÖGLUND, 2014). Galhas induzidas por insetos são resultantes da interação entre o genótipo dos galhadores e o genótipo da planta hospedeira e o meio ambiente (WEIS et al., 1988), e, portanto, cada espécie de inseto induz galhas com suas próprias características de forma, tamanho, cor e pilosidade (COELHO et al., 2017).

O desenvolvimento das galhas pode ser dividido em três fases: iniciação, crescimento e maturação. A iniciação começa com a ação de oviposição, sendo que cada espécie oviposita de maneira e local específicos. Geralmente os ovos são introduzidos nos tecidos da planta próximos ao câmbio vascular, que possui células com capacidade de divisão (REY, 1992; ROHFRITSCH, 1992; CZÓKA et al., 2005).

Em himenópteros a iniciação das galhas pode ser desencadeada por diversos fatores, como a injúria que o ovipositor causa no tecido, os fluidos da oviposição, a atividade do ovo e atividade larval. A injúria no tecido e a presença do ovo e os fluidos da oviposição estimulam a divisão e diferenciação celular, os ovos podem ter ação proteolítica, celulolítica e pectinolítica. A atividade de alimentação da larva estimula a planta a produzir proteínas, formando uma camada de tecido nutritivo (REY, 1992; ROHFRITSCH, 1992; CZÓKA et al., 2005).

No final do desenvolvimento da galha (fase de maturação) a larva acelera o consumo de praticamente todo tecido nutritivo para chegar no estágio de pupa. Após a metamorfose o adulto emerge e escava um orifício de saída (REY, 1992; ROHFRITSCH, 1992; CZÓKA et al., 2005).

A galhas causam a deformação das folhas, perda da dominância apical e redução dos feixes vasculares das plantas impedindo o crescimento normal da planta (MENDEL et al., 2004; TONG et al., 2016).

2.3. Insetos galhadores

Insetos herbívoros estão distribuídos nas ordens Phasmatodea, Orthoptera, Thysanoptera, Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera e Hymenoptera (TRIPLEHORN; JONHSON, 2015), e são divididos em cinco guildas principais: mastigadores, sugadores, minadores, broqueadores e galhadores (PRICE, 1997). Os insetos galhadores formam uma guilda sofisticada de herbívoros, capazes de induzir os tecidos das plantas hospedeiras a fim de fornecer a suas larvas e ninfas alimentos nutricionais, livres de compostos de defesa. Nessa relação, altamente específica, os galhadores se beneficiam e causam impactos negativos nas plantas hospedeiras (FERNANDES et al., 2014; ARAÚJO et al., 2017).

Estima-se que existam cerca de 120.000 espécies de insetos galhadores no mundo, distribuídos principalmente na região Neotropical (ESPIRITO-SANTOS; FERNANDES, 2007). As principais ordens que abrigam estes insetos são: Thysanoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO 2009; SANTOS et al., 2012).

Na ordem Hemiptera existem diversas espécies indutoras de galhas, caracterizadas pela grande diversidade de formas e estruturas. As espécies de hemípteras estão distribuídas nas famílias Tingidae (subordem Heteroptera), Asterolecaniidae, Aleyrodidae, Aphididae, Adelgidae, Coccidae, Diaspididae, Eriococcidae, Eriosomatidae, Kermisidae, Psyllidae e Phylloxeridae (subordem Sternorrhyncha) (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

Cerca de 300 espécies de tripes (Thysanoptera) são indutores de galhas em diversas espécies de plantas hospedeiras, vivem em colônias compostas por adultos e imaturos e algumas vezes, com diferentes espécies associadas. Algumas espécies são indutoras de galhas, principalmente em folhas, outras espécies são inquilinas (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; MANI, 1964). As famílias Phlaeotripidae (Subordem Tubulifera) e Thiripidae (Subordem Terebrantia) agrupam espécies de tripes indutoras de galhas (FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

Embora a ordem Coleoptera seja uma das maiores em termos de diversidade de espécies, poucas espécies têm capacidade de induzir galhas. Os galhadores pertencem às famílias Curculionidae (subordem Polyphaga), Buprestidae, Cerambycidae, Chrysomelidae, Brentidae, Mordellidae, Nitidulidae e Scolytidae (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

Os micolepidópteros são os principais responsáveis pela indução e formação de galhas com grande variedade de formas, principalmente a família Tortricidae, mas também nas famílias Nepticulidae, Heliozelidae, Prodoxidae, Cecidosidae, Bucculatricidae, Gracillariidae, Yponomeutidae, Ypsolophidae, Glyphipterigidae, Elachistidae, Oecophoridae, Coleophoridae, Cosmopterigidae, Gelechiidae, Sesiidae, Alucitidae, Pterophoridae, Crambidae e Thyrididae (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

A ordem Diptera é rica em espécies indutoras de galhas em diversos tipos de órgãos e plantas hospedeiras. As galhas induzidas pelos dípteros apresentam grande diversidade de formas e alto nível de especialização de tecidos, estruturas e mecanismos de abertura. Na família Cecidomyiidae (subordem Nematocera) tem-se registrado o maior número de espécies galhadoras. Na subordem Cyclorrhapha os indutores encontram-se principalmente na família Tephritidae, comumente associados às plantas da família Compositae, além das famílias Chloropidae, Agromyzidae, Anthomyzidae e Clythiidae (DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

Os himenópteros são os insetos mais evoluídos na guilda dos galhadores, estão distribuídos nas famílias Tenthredinidae (subordem Symphyta), Agaonidae, Pteromalidae, Erytomidae, Cynipidae (subordem Apocrita). Galhas de Hymenoptera são registradas em todos os continentes, em plantas dicotiledôneas e monocotiledôneas, incluindo Graminae. A maioria destes insetos são altamente específicos quanto à planta hospedeira e o órgão atacado. As galhas dos insetos da subordem Symphyta são relativamente simples, não formam tecido nutritivo, quando comparado com os da subordem Apocrita onde as galhas apresentam alto grau de complexidade com formação de tecido nutritivo bastante diferenciado (MANI, 1964; DREGER-JAUFFRET; SHORTHOUSE, 1992; FERNANDES; CARNEIRO, 2009).

Na família Eulophidae existem diversas espécies de galhadores, principalmente nas subfamílias Tetrastichinae e Eulophinae. Na subfamília Eulophinae a tribo Ophelimiini, encontrada apenas na Austrália, tem dois gêneros: *Ophelimus* e *Australsecodes*. O primeiro é o que apresenta maior número de indutores de galhas em Eulophidae; e o segundo compreende poucas espécies. Os Tetrastichinae apresentam maior variação em hospedeiros que qualquer grupo equivalente de vespas parasitas (GAUTHIER et al. 2000; LASALLE, 2005).

As fêmeas de *Leptocybe invasa* ovipositam nas nervuras centrais das folhas, nos pecíolos e ramos de plantas de eucalipto e induzem a formação de galhas em várias

espécies e híbridos de *Eucalyptus* (*E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. microcorys*, *E. pilularis*, *E. robusta*, *E. coolabah*, *E. globulus*, *E. smithii*, *E. moluccana*, *E. saligna* e *E. tereticornis*) onde as larvas se desenvolvem (MENDEL et al., 2004; DOGANLAR et al., 2005; THU et al., 2009).

A vespa-da-galha *Leptocybe invasa* apresenta baixo grau de plasticidade e altamente especialista, uma vez que sua reprodução é totalmente dependente das plantas de *Eucalyptus*. Por ser especialista, exerce grande pressão sobre as plantas hospedeiras, causando grande impacto nestes vegetais, através da frequência de oviposição em órgãos específicos, como pecíolos, nervura central das folhas e ramos jovens, provavelmente por apresentarem maior disponibilidade de nutrientes. Normalmente os insetos escolhem as plantas de acordo com seu conteúdo nutricional, por isso partes jovens das plantas são preferidas devido ao elevado conteúdo de celulose, corroborando com as observações realizadas neste trabalho, onde a oviposição é realizada nos ramos, pecíolos e folhas jovens.

2.4. Tipos de resistência de plantas a insetos

Plantas e insetos fitófagos têm coexistido e evoluído sob pressões de seleção provocadas por ambos, por cerca de 130 milhões de anos no caso das fanerógamas e provavelmente o dobro com as plantas mais primitivas. Estes organismos são sistemas competitivos interdependentes bioquímica e morfológicamente e nesta convivência desenvolveram estratégias de defesas e sobrevivência (MARSCHALEK, 2000; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Uma planta é considerada resistente quando sofre menor injúria a um determinado inseto fitófago em relação a outras plantas consideradas suscetíveis, em igualdade de condições. Ela possui características fenotípicas determinadas por um conjunto de genes que foram selecionados naturalmente sob a pressão da herbivoria ou por meio do melhoramento genético (BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Essa resistência pode ser de natureza física, química e morfológica, o que confere às plantas a expressão de uma ou mais categorias de resistência com objetivo de interferir em qualquer fase da herbivoria, da localização do hospedeiro até a obtenção de nutrientes (BERENBAUM, 1995; DEL-CLARO, 2012; CARRANO-MOREIRA, 2014; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Inerente à principal característica física das plantas relacionada à resistência a insetos estão a cor e refletância das estruturas da epiderme (CARRANO-MOREIRA, 2014). Os grupos de compostos químicos atuantes na expressão da característica química são resultantes do metabolismo secundário das plantas e podem provocar a mortalidade dos invasores. A presença de óleos e resinas ou substâncias que causam a indisponibilidade de nutrientes e impalatibilidade, como flavonoides, glicosinolatos, fenóis, alcaloides, inibidores de protease, aminoácidos não proteicos, saponinas, lectinas, proteínas inibidoras de ribossomos, quitinases, glucanases, bem como a manutenção desproporcional qualitativo e/ou quantitativo de algumas proteínas e aminoácidos essenciais para a biologia do inseto, são algumas estratégias desenvolvidas pelas plantas para evitar a herbivoria (BERENBAUM, 1995; MARSCHALEK, 2000; DEL-CLARO, 2012; CARRANO-MOREIRA, 2014; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Esses metabólitos secundários apresentam diferentes ações relacionadas à defesa das plantas, os terpenoides que são moléculas hidrofóbicas, voláteis, odoríferas e funcionam como atraentes ou repelentes de insetos. Fenóis, flavonoides e taninos precipitam e complexam proteínas, inibem e destroem enzimas, geralmente os taninos são amargos impedindo a alimentação dos insetos. Os alcaloides são tóxicos, atuam na inibição das glicosidases dos insetos, já os aminoácidos não proteicos são incorporados nas proteínas no lugar de seus homólogos produzindo proteínas não funcionais. Os glicosídeos cianogênicos também são

tóxicos para os insetos. Dentre as proteínas tem-se as inibidoras de proteases, inibidores de enzimas digestivas e as lecitinas que causam complexos com as glicoproteínas da parede intestinal dos insetos (MARSCHALEK, 2000).

As características morfológicas responsáveis pela resistência atuam impedindo que os insetos atinjam os tecidos da planta e podem ser proporcionadas por tecidos lignificados, espessura da cutícula, ceras cuticulares, suberina, espinhos, pelos, tricomas, exsudatos pegajosos, depósito de sílica, dureza dos tecidos. A abscisão prematura de folhas também se constitui uma defesa física contra insetos e patógenos sedentários, o desenvolvimento rápido das folhas pode ser uma proteção pela presença de esclerênquima, a idade das folhas podem influenciar na preferência da praga (MARSCHALEK, 2000; CARRANO-MOREIRA, 2014; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Os mecanismos de resistência de plantas a insetos envolvem a alteração do comportamento ou biologia das espécies fitófagas, ou ainda derivam da reação do próprio vegetal sem afetar o herbívoro, sendo classificados em não-preferência ou antixenose (por oviposição e alimentação), antibiose (efeito adverso sobre a biologia do inseto) e tolerância (regeneração ou capacidade de suportar o dano) (VENDRAMIM; GUZZO, 2009; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2019).

A antixenose afeta o comportamento dos insetos em relação à planta hospedeira, uma vez que ela apresenta características morfológicas, químicas e físicas que fazem com que seja menos preferida ao inseto para alimentação, oviposição ou abrigo, do que outra planta em igualdade de condições (LARA, 1991; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

A antibiose é de natureza química, a presença de substâncias defensivas afeta negativamente a biologia e sobrevivência do inseto, sem interferir no comportamento de alimentação ou oviposição. Os principais efeitos desse tipo de defesa das plantas sobre os insetos são mortalidade da fase imatura, menor crescimento e peso, deformações e aumento no ciclo de vida do inseto (CARRANO-MOREIRA, 2014; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Tolerância é a categoria de resistência onde a planta tem capacidade de suportar as injúrias, regenerar os tecidos danificados e emitir novas folhas, ramos ou perfilhos, sem reduzir seu crescimento e produção. Os mecanismos mais observados foram aumento na taxa de fotossíntese líquida, desenvolvimento de estruturas morfológicas e ação de fitohormônios e enzimas oxidativas. Essa categoria de resistência não afeta o comportamento e a biologia do inseto, portanto não exerce pressão de seleção sobre o mesmo (BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Eucalipto possui algumas características que promovem a resistência: glândulas de óleos essenciais em suas estruturas, além de taninos e fenóis, são perenifólios, com permanência de 18 meses em média, porém as folhas apresentam grande quantidade de esclerênquima que as tornam coriáceas; muitas espécies têm heterofolia, o que pode dificultar sua colonização pelos insetos; além disso eucalipto têm grande capacidade de rebrota após danos diversos (MARSCHALEK, 2000; BOIÇA JÚNIOR et al., 2015).

Geneticamente a resistência de planta ainda pode ser classificada como vertical, horizontal e citoplasmática. A resistência vertical é controlada por oligogenes, sendo menos estável e ocorre quando uma série de diferentes variedades de uma mesma espécie mostram diferentes respostas quando infestados com o mesmo biótipo do inseto, onde algumas variedades podem apresentar resistência e outras suscetibilidade. Em virtude de constantes mudanças genéticas nas populações de patógenos, os genes que conferem a resistência vertical podem não ser efetivos em todas as regiões, assim uma cultivar resistente em determinado local pode ser suscetível em outro (MARSCHALEK, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013; RESENDE et al., 2011; CARVALHO, 2012). Já a resistência horizontal é poligênica e mais estável, onde as variedades resistentes mostram níveis similares de resistência a todos os biótipos da praga. E a resistência citoplasmática é de origem materna, onde o DNA do cloroplasto e mitocôndria interagem na formação da resistência, principalmente a microrganismos patogênicos (MARSCHALEK, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A resistência induzida envolve ativação de mecanismos latentes existentes nas plantas

em resposta à exposição prévia a agente biótico (microrganismos viáveis ou inativados) ou abióticos (ácido acetilsalicílico). Neste tipo de resposta pode ocorrer acúmulo de fitoalexinas, um composto tóxico, protegendo a planta contra infecções subsequentes. Esses mecanismos de resistência são dependentes da expressão de genes no momento e magnitude certa e em sequência lógica, após o contato do patógeno com o hospedeiro (CARVALHO, 2012).

Existem diferentes níveis de respostas das plantas relacionados à resistência a insetos, as plantas imunes são as que não sofrem injúrias; as plantas com alta resistência são as que sofrem poucas injúrias em relação às sofridas pelas variedades em geral; as de resistência moderada apresentam um nível maior de injúrias; as plantas suscetíveis apresentam injúrias semelhantes ao dano médio sofrido pelas variedades em geral e as altamente suscetíveis são aquelas que apresentam injúrias num nível maior do que as outras variedades. Desta forma a resistência de plantas a insetos é resultado de características hereditárias que lhes permitem sofrer menor dano do que aquelas sem tais características (LARA, 1991; KARLEC et al., 2017).

2.5. Óleos Essenciais

Os óleos essenciais são utilizados há cerca de 3.500 anos, principalmente na perfumaria, cosméticos, como coadjuvante em medicamentos e na indústria alimentícia contribuindo na melhoria da qualidade sensorial dos alimentos (SCOTT, 2005; BIZZO et al., 2009; RAVINDRA; KULKARNI, 2015).

Esses óleos são produzidos no citoplasma de células vegetais e podem ser encontrados em diversas estruturas da planta como, pelos e tricomas secretores, células epidérmicas, células e bolsas secretoras, em flores, folhas, cascas, rizomas e frutos. Por apresentarem atividade antifúngica, antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, alelopática, repelência e inseticida, tem como função evitar injúrias (BIZZO et al., 2009; DHIFI et al., 2016).

São substâncias lipídicas líquidas, com odor característico, formados por combinações complexas de compostos químicos de baixo peso molecular (até 300 daltons), que conferem volatilidade em exposição ao ambiente (FRANZ; NOVAK, 2010; DHIFI et al., 2016; REHMAN et al., 2016; ZAHRAN et al., 2017).

Os óleos essenciais são constituídos majoritariamente por terpenos e seus derivados, um grupo de moléculas orgânicas produzidas para evitar injúrias promovidas por agentes externos. Os terpenos são produzidos a partir do ácido mevalônico (no citoplasma) ou do piruvato e 3-fosfoglicerato (no cloroplasto). Os compostos fenólicos são derivados do ácido chiquímico ou ácido mevalônico. Por fim, os alcaloides são derivados de aminoácidos aromáticos (triptofano, tirosina), os quais são derivados do ácido chiquímico, e também de aminoácidos alifáticos (ornitina, lisina) (TUREK; STINTZIN, 2013).

O ácido chiquímico é formado pela condensação do fosfoenolpiruvato com a eritrose-4-fostato. O ácido chiquímico reage com uma molécula de fosfoenolpiruvato formando o ácido corísmico. Este por sua vez produz os aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina que são precursores de vários alcaloides. No entanto, um dos primeiros grupos de compostos fenólicos formados a partir do ácido corísmico foram os fenilpropanoides, que são voláteis e junto com os monoterpenos formam os óleos essenciais (POST-BEITTENMILLER, 1996; EVERT; EICHHORN, 2014).

A via do ácido chiquímico ocorre em plantas, fungos e bactérias, por isso os aminoácidos triptofano e fenilalanina são considerados essenciais para os animais. Uma importante enzima nessa via é a 5-enolpiruvil-3-fosfochiquimato (EPSP sintase) e a fenilalanina amônio liase (PAL). Essas enzimas retiram uma amônia da fenilalanina formando o ácido cinâmico. A PAL é regulada pelo nível nutricional, luz (pelo efeito do fitocromo) e infecção por fungos. Entre as substâncias formadas após a ação da PAL estão o ácido benzoico, o qual dá origem ao ácido salicílico, um importante composto na defesa das plantas contra patógenos. Os flavonoides são outra classe de compostos derivados da PAL e têm a

função de sinalização entre as angiospermas e os polinizadores e na proteção contra raios ultravioleta (WINKEL-SHIRLEY, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Quimicamente, os terpenos podem ser definidos como “alcenos naturais”, um hidrocarboneto insaturado, por apresentarem uma dupla ligação (carbono-carbono). Caso o terpeno tenha oxigênio é chamado de terpenoide, podendo apresentar diferentes funções químicas, como: ácidos, álcoois, aldeídos, cetonas, éteres, fenóis ou epóxidos terpênicos (CORREIA et al., 2008; Mc MURRY, 2011).

Terpenos e terpenoides são formados por unidades de isopreno (C_5H_8), ligadas pela ordem “cabeça-a-cauda” ou ligação 1-4. Existem os terpenos irregulares que apresentam ligações cauda-a-cauda ou ligação 4-4, a exemplo do β -caroteno, e os terpenos cíclicos, como o limoneno, que pode apresentar ligações cruzadas. A estrutura química comum dos terpenos é resultante da origem bioquímica, onde todos seus carbonos são provenientes do isopentenil pirofosfato ou de seu isômero dimetilalil pirofosfato. O isopentenil pirofosfato é derivado do ácido mevalônico ou mevalonato e origina os diferentes terpenos (LOOMIS; CROTEAU, 2014; KITAOKA et al., 2015; FELIPE; BICAS, 2017).

Assim, os terpenos são classificados pela quantidade de resíduos de isopreno na sua molécula. Os monoterpenos (C_{10}), sesquiterpenos (C_{15}) e diterpenos (C_{20}) são resultantes da adição de uma molécula C_5 de cada vez, os triterpenos (C_{30}) são o resultado da junção de duas moléculas C_{15} e os tetraterpenos de duas moléculas C_{20} (TUREK; STINTZIN, 2013; EVERT; EICHHORN, 2014).

Os monoterpenos e sesquiterpenos possuem menor massa molecular e são voláteis, uma característica importante para aromatização de produtos naturais, como as frutas cítricas, as ervas aromáticas, as especiarias e os condimentos, e são predominantes nos óleos essenciais. Os diterpenos, triterpenos e teraterpenos apresentam baixa volatilidade (FARKAS; MOHÁCSI-FARKAS, 2014; KRIVORUCHKO; HANSON, 2017).

Os diterpenos e triterpenos estão presentes na constituição de oleorresinas em diversos tipos de plantas, utilizadas na fixação de perfumes, solvente ou matéria-prima para produção de graxas e ceras. Os diterpenos normalmente estão associados às resinas de muitas plantas e as giberelinas, hormônios vegetais responsáveis pela germinação de sementes, alongamento caulinar e expansão dos frutos de muitas espécies vegetais. Entre os triterpenos estão os esteroides, importantes para vegetais e animais por participar da membrana plasmática e serem precursores de hormônios esteroides em mamíferos (testosterona, progesterona), plantas (brassinosteroides) e insetos (ecdisteroides), além das saponinas também utilizadas na defesa da planta contra insetos. Os tetraterpenos ou carotenoides são pigmentos presentes em diferentes plantas, divididos em carotenos (terpenos) e xantofilas (terpenoides), que vai do amarelo ao vermelho (BASER; BUCHBAUER, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013; TUREK; STINTZIN, 2013; YUAN et al., 2015; FELIPE; BICAS, 2017).

Porém, alguns óleos voláteis são compostos fenólicos (fenilpropanoides). Os fenólicos são responsáveis por diversos sabores, odores e colorações de diversos tipos de plantas, a exemplo do aldeído cinâmico da canela (*Cinnamomum zeyllanicum*) e a vanilina da baunilha (*Vanilla planifolia*), empregados na indústria de alimentos. Os compostos fenólicos atraem os animais para polinização e dispersão de sementes e são importantes para proteção das plantas contra os raios ultravioleta, insetos, fungos, vírus e bactérias, além de ter ação alelopática (ácido caféico e ácido ferúlico). Os compostos fenólicos são substâncias que possuem pelo menos um anel aromático no qual ao menos um hidrogênio é substituído por um grupamento hidroxila. Esses compostos são sintetizados a partir de duas rotas metabólicas principais: a via do ácido chiquímico e a via do ácido mevalônico (menos significativa) (TAIZ; ZEIGER, 2013; EVERT; EICHHORN, 2014).

Os taninos são compostos fenólicos solúveis em água com massa molecular entre 500 a 3.000 Daltons e são responsáveis pela adstringência de muitos frutos, agindo na defesas contra pragas, uma vez que se ligam a proteínas digestivas dos insetos. Esses compostos também são denominados protoantocianidinas devido ao fato de produzirem pigmentos avermelhados (antocianidinas), após degradação (BASER; BUCHBAUER, 2010).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, N.; MAJER, J. D. **Leaf-eating Beetles in Brazilian eucalypt plantations**. Curtin: School of Environmental Biology, 2003. 33p.

AOYAMA, E. M.; LABINAS, A. M. Características estruturais das plantas contra a herbivoria por insetos. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p. 365-386, 2012.

ARAÚJO, W. S.; GRANDEZ-RIOS, J.M.; BARGAMINI, L. L.; KOLLÁR, J. Exotic species and the structure of a plant-galling network. **Network Biology**, n. 7, p.21-32, 2017.

BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: Science, Technology, and Applications**. New York: Taylor & Francis Group, 2010. 994p.

BERENBAUM, M. R. Turnabout is fair play: secondary roles for primary compounds. **Journal of Chemical Ecology**, v.21, n.7, p.925-940, 1995.

BERGAMINI, B. A. R.; BERGAMINI, L. L.; SANTOS, B.B; ARAÚJO, W. S. Occurrence and characterization of insect galls in the Floresta Nacional de Sylvania, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, n. 57, p.13-431, 2017.

BERTI FILHO, E. **Biologia de *Thyriniteina arnobia* (Stoll, 1782) (Lepidoptera: Geometridae) e observações sobre a ocorrência de inimigos naturais**. 1974. 74 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 1974.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; GSPALTL, M.; FORRESTER, D. I. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for tree and stands? **Forest Ecology and Management**, v. 288, p. 5-13, 2013.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v.32, n.3, p. 588-594, 2009.

BOIÇA JÚNIOR, A. L.; SOUZA, B. H. S.; RIBEIRO, Z. A.; MORAES, R. F. O.; EDUARDO, W. I.; NOGUEIRA, L. **A defesa das plantas ao ataque dos insetos**. In: BUSOLI, A. C.; CASTILHO, R. C.; ANDRADE, D. J.; ROSSI, G. D.; VIANA, D. L.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A. Tópicos em Entomologia Agrícola VIII. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel, p. 303, 2015.

CALDERON, R. A.; CONSTANTINO, R. A. Survey of the termite fauna (Isoptera) of the eucalypt plantation in central Brazil. **Neotropical Entomology**, v.36, n.3, p.391-395, 2007.

CAMARGO, R. S.; FONSECA, J. A.; LOPES, J. F. S.; FORTI, L. C. Influência do ambiente no desenvolvimento de colônias iniciais de formigas cortadeiras (*Atta sexdens rubropilosa*). **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1375-1380, 2013.

- CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo integrado de pragas: Fundamentos ecológicos, conceitos e táticas de controle**. Technical books editora, 2014. 349 p.
- CARVALHO, N.L. Resistência genética induzida em plantas cultivadas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 7, n. 7, p. 1379-1390, 2012.
- COELHO, M. S.; CARNEIRO, M. A. A.; BRANCO, C. A.; BORGES, R. A. X.; FERNANDES, G. W. Gallings insects of the brazilian páramos: species richness and composition along high-altitude grasslands. **Environmental Entomology**, n. 46, p.1243-1253, 2017.
- CORREIA, S. J.; DAVID, J. M.; DA SILVA, E. P.; DAVID, J. P.; LOPES, L. M. X.; GUEDES, L. M. S. Flavonóides, noriso-prenóides e outros terpenos das Folhas de Tapirira guianensis. **Química Nova**, v. 31, n.8, p. 2056-2059, 2008.
- CZÓKA, G.; STONE, G.N.; MELIKA, G. **Biology, ecology, and evolution of gall-inducing Cynipidae**. In: RAMAN, A.; SCHAEFFER, C.W.; WITHERS, T.M. (Ed.). *Biology, ecology and evolution of gall-inducing arthropods*. New Hampshire: Science Publishers, cap. 20, v. 2, 2005. p.573-642.
- DEL-CLARO, K. **Origens e importância das relações plantas-animais para a ecologia e conservação**. In: DEL-CLARO, K.; TOREZAN-SILINGARDI, H. M. (Org.). *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológica-evolutiva*. Rio de Janeiro: Technical Books Editira, cap. 1, 2012. p. 35-50.
- DHIFI, W.; BELLILI, S.; JAZI, S.; BAHLOUL, N.; MNIF, W. Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. **Medicines**, v.3, n.25, p. 1-16, 2016.
- DOGANLAR, O. Occurrence of *Leptocybe invasa* Fisher & LaSalle, 2004. (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae) on *Eucalyptus camaldulensis* in Turkey, with a description of the male sex. **Zoology in the Middle East**, v. 35, n. 1, p.112-114, 2005.
- DREGER-JAUFFRET, F.; SHORTHOUSE, D. **Diversity of gall-inducing insects and their galls**. In: SHORTHOUSE, J.D.; ROHFRITSCH, O. (Ed). *Biology of insect-induced galls*. New York: Oxford, Oxford University Press, cap. 2, 1992. p. 8-33.
- ESPIRITO-SANTO, M. M.; FERNANDES, G. W. 2007. How many species of gall-inducing insects are there on earth, and where are there? **Annals of the Entomological Society of America** **100**, 2007, p.95–99.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven Biologia vegetal** 8. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 1637 p.
- FAO. **Guide to implementation of phytosanitary standards in forestry**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011. 104 p.
- FARKAS, J., MOHÁCSI-FARKAS, C. In: MOTAJERMI, Y. (ed). 1º ed. **Safety of foods and beverages: spices and season-ings**. Encyclopedia of Food Safety. Volume 3: Foods, Materials, Technologies and Risks. Elsevier, 2014. p.324-330.

- FELIPE, L. O.; BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 2, 2017, p 120 – 130.
- FERNANDES, G. W.; COELHO, M. S.; SANTOS, J. C. **Neotropical Insect Galls: Status of Knowledge and Perspectives**. In: FERNANDES, G.W.; SANTOS, J. C. (Ed.) *Neotropical Insect Galls*. Springer Science, 2014, p.1-14.
- FERNANDES, G. W; CARNEIRO, M. A. A. **Insetos Galhadores**. In: PANIZZI, A. R .; PARRA, J. R. P. (Eds.), *Bioecologia e Nutrição de Insetos como Base para o Manejo Integrado de Pragas*. TAGRO/CNPq, Brasília, 2009. p. 597-640.
- FRANZ, C.; NOVAK, J. **Sources of Essential Oils**. In: BASER, K.H.C.; BUCHBAUER, G. *Handbook of Essential Oils, Science, Technology and Applications*. CRC Press, 2010. p. 39-82.
- GAUTHIER, N.; LASALLE, J.; QUICKE, D.L.J.; GODFRAY, H.C.J. Phylogeny of Eulophidae (Hymenoptera, Chalcidoidea), with a reclassification of Eulophinae and the recognition that Elasmidae are derived eulophids. *Systematic Entomology*, v. 25, p. 521-539, 2000.
- GUIMARÃES, A. G.; SOARES, M. A.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, I. M.; GUIMARÃES, C. G.; PIRES, E. M. Resistência varietal de morangueiro aos pulgões *Cerosipha forbesi* (Weed) e *Chaetosiphon fragaefolii* (Cockerell) (Hemiptera: Aphididae). *EntomoBrasilis*, v. 11, n.3, p. 216-219, 2019.
- GULLAN, P. J.; CRASTON, P. S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. 4. ed. São Paulo: Roca, 2012. p. 496.
- HANSON, J.R. Diterpenoids of terrestrial origin. *Natural Products Reports*. v. 11, n 34, p. 1233-1243, 2017.
- HÖGLUND, S. Timing of growth determines fitness and performance of a galling insect on willow. *Ecological Entomology*, n. 39, p.159-167, 2014.
- IBÁ. **Relatório anual da Indústria brasileira de árvores**, Poyry consultoria em gestão e negócios Ltda, 2016. 80 p.
- KARLEC, F.; DUARTE, A.D.F.; OLIVEIRA A.C.B.D.; CUNHA, U.S.D. Development of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in different strawberry cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 39, n.171, 2017.
- KITAOKA, N.; LU, X.; YANG, B.; PETERS, R. J. The Application of Synthetic Biology to Elucidation of Plant Mono-, Sesqui-, and Diterpenoid Metabolism. *Molecular Plant*, v. 8, n. 1, p. 6-16, 2015.
- KRIVORUCHKO, A.; NIELSEN, J. Production of natural products through metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 35, p. 7-15, 2015.
- LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2. ed. São Paulo: Icone, 1991. p. 336.

LASALLE, J. **Biology of gall inducers and evolution of gall induction in Chalcidoidea (Hymenoptera: Eulophidae, Eurytomidae, Pteromalidae, Tanaostigmatidae, Torymidae)**. In: RAMAN, A.; SCHAEFFER, C.W.; WITHERS, T.M. (Ed). *Biology, ecology and evolution of gall-inducing arthropods*. New Hampshire: Science Publishers, cap. 18, v.2, 2005. p. 507-537.

LOOMIS, W. D.; CROTEAU, R. In: STUMPF, P. K. (Ed.). **Biochemistry of Terpenoids. Lipids: Structure and Function: The Biochemistry of Plants**. Elsevier, v. 4, cap. 13, p. 364-410, 2014.

MAGISTRALI, I. C.; SOUZA, R. M.; ANJOS, N.; DUARTE, C. L. Besouros crisomelídeos em plantios de eucalipto na Zona da Mata Mineira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 425-431, 2019.

MANI, M.S. **The ecology of plant galls**. The Netherlands. The Hague, 1964. 434 p.

MARSCHALEK, R. **Resistência genética a insetos em espécies florestais: revisão sobre o gênero Eucalyptus**. Blumenau: Editora da FURB, 2000. 192 p.

MCMURRY, J. **Química Orgânica - Combo**. São Paulo: Cengage Learning, 7ª ed., 2011. 1344 p.

MENDEL, Z.; PROTASOV, A.; FISHER, N.; LA SALLE, J. Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen. & sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. **Australian Journal of Entomology**, v.43, p.101-113, 2004.

MONTES, S. M. N. M.; SATO, M. E.; CERÁVOLO, L. C. Avaliação de danos de adultos de *Costalimaita ferruginea* (Fabricius) (Coleoptera: Chrysomelidae) em *Eucalyptus* spp. de Presidente Prudente, SP. **Arquivos do Instituto Biológico**, n. 79, p. 431-435, 2012.

MORAES, C.B.; CARVALHO, E. V.; ZIMBACK, L.; LUZ, O. S. L.; PIERONI, G. B.; MORI, E. S.; LEAL, T. C. A. B. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v.39, n.6, p.1047-1054, 2015.

MORAES, G. W. G.; SOARES, L. A. **Ciclo biológico e consumo foliar de Psorocampa denticulata Schaus (Notodontidae). Lepidóptero desfolhador de eucalipto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 1981. 441 p.

NADAI, J.; ANJOS, N.; LEITE, H. G. Ataque de *Lampetis nigerrima* (Kerremans, 1897) (Coleoptera: Buprestidae) e poda de formação em clone de Eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 519-531, 2012.

NYEKO, P.; MUTITU, K. E.; OTIENO, B. O.; NGAE, G. N.; DAY, R. K. Variations in *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) population intensity and infestation on eucalyptus germplasms in Uganda and Kenya. *International Journal of Pest Management*, London, v. 56, p. 137-144, 2010.

OHMART, C.P.; EDWARDS, P.B. Insect Herbivory on Eucalyptus. **Annual Review of Entomology**, n. 36, p: 637-657, 1991.

PEREIRA, R. A.; BERTI FILHO, E.; MOURA, R. G. Rendimento de óleo essencial de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson sob diferentes níveis de infestação de galhas de *Epichrysocharis burwelli* Schauff (Hymenoptera, Eulophidae). **Revista de Agricultura**, v.87, n.1, p.10–17, 2012.

PERES FILHO, O.; BERTI FILHO, E. Biologia de *Glena unipennaria unipennaria* (Guenée, 1857) (Lepdoptera: Geometridae) em folhas de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Anais da ESALQ**, n. 42, p. 55-81, 1985.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R. **Histórico do cultivo de Eucalipto**. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: Embrapa, 2014.138 p.

PRICE, P. W. Adaptive radiation of gall-inducing insects. **Basic and Applied Ecology**, n. 6, p. 413-421, 2005.

PRICE, P. W. **Insect ecology**. 3^a ed. New York: J. Wiley, 1997. 874 p.

POST-BEITTENMILLER, D. Biochemistry and molecular biology of wax production in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, n. 47, p.405-430, 1996.

QUEIROZ, D. L. Pragas exóticas e potenciais a eucaliptocultura no Brasil. In: Manejo fitossanitário de cultivos agroenergéticos. Brasília: **Anais da Sociedade Brasileira de Fitopatologia**, v. 20, p. 239-249, 2009.

QUEIROZ, D.L.; BURCKHARDT, D.; MAJER, J. **Integrated pest management of eucalypt psyllids (Insecta, Hemiptera, Psylloidea)**. In: LARRAMENDI, M.L.; SOLONESKI, S. (Ed.). Integrated pest management and pest control: current and future tactics. Rijeka: InTech, 2012. P. 385-412.

RAVINDRA, N.S.; KULKARNI, R.N. Essential oil yield and quality in rose-scented geranium: Variation among clones and plant parts. **Scientia Horticulturae**, v. 184, p. 31–35, 2015.

REHMAN, R.; HANIF, M. A.; MUSHTAQ, Z.; AL-SADI, A. M. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, v. 32, p. 117-160, 2016.

RESENDE, M.D.V.; PIRES, I.E.; SILVA, R.L. **Melhoramento do Eucalipto**. In: LOPES, M.A.; FÁVERO, A.P.; FERREIRA, M.A.J.F.; FALEIRO, F.G.; FOLLE, S.M.; GUIMARÃES, E.P. Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso. Planaltina: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia; Brasília: Embrapa Cerrados, 2011.

REY, L.A. **Developmental morphology of two types of Hymenopterous galls**. In: SHORTHOUSE, J.D.; ROHFRIETSCH, O. (Ed.). Biology of insect-induced galls. New York: Oxford, Oxford University Press, cap. 6, 1992. p. 87-101.

RIBEIRO, G. T.; ZANUNCIO, J. C. ; TAVARES, W. S. ; RAMALHO, F. S. ; SERRAO, J. E. . Constancy, Distribution, and Frequency of Lepidoptera Defoliators of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) in Four Brazilian Regions. **Neotropical Entomology**, v. 45, p. 629-636, 2016.

RIBEIRO, G. T.; SÁ, J. S.; ROLIM, G. S.; CORREIA-OLIVEIRA, M. E.; MENDONÇA, M. C.; PODEROSO, J. C. M. First report *Thaumastocoris peregrinus* in *Eucalyptus* plantations in the state of Sergipe, Brazil (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Entomologica Americana**, v. 121, n. 14, p. 23-26, 2015.

ROHFRISTCH, O. **Patterns in gall development**. In: SHORTHOUSE, J.D.; ROHFRITSCH, O. (Ed.). *Biology of insect-induced galls*. New York: Oxford, Oxford University Press, cap. 5, 1992. p. 60-86.

SANTANA, D.L.Q.; ANJOS, N. Microvespa-do-eucalipto-citriodora (*Corymbia citriodora*) *Epichrysocharis burwelli* Schauff (Hymenoptera: Eulophidae). Colombo: Embrapa Florestas, **Comunicado técnico**, n. 188, p.4, 2007.

SANTOS, B. B.; RIBEIRO, B. A.; SILVA, T. M.; ARAUJO, W. S. Galhas de insetos em uma área de cerrado sentido restrito na região semi-urbana de Caldas Novas (Goiás, Brasil). **Revista Brasileira de Biociência**, v. 10, n. 4, p. 439-445, 2012.

SANTOS, G.P.; ZANUNCIO, J. C.; ANJOS, N. Novos resultados sobre a biologia de *Psorocampa denticulata* Schaus (Lepidoptera: Notodontidae), desfolhadora de eucalipto. **Revista Árvore**, n. 6, p: 121-132, 1982.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, J. C.; SANTANA, D. L. Q.; ZANUNCIO, T.V. **Descrição das lagartas desfolhadoras**. In ZANUNCIO, J. C. *Manual de pragas em florestas. Lepidoptera desfolhadores de eucalipto: biologia, ecologia e controle*. Viçosa: Folha de Viçosa, 1993. 140 p.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO JUNIOR, C.; ZANUNCIO, T. V.; PIRES, E. M. Pragas do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n. 29, p. 47-70, 2008.

SARTORETTO, L. M.; SALDANHA, C. W.; CORDER, M. P. M. Transformação genética: estratégias e aplicações para o melhoramento genético de espécies florestais. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.861-871, 2008.

SCHÜHLI, G. S.; PENTEADO, S. C.; BARBOSA, L. R.; REIS FILHO, W.; IEDE, E. T. A review of the introduced forest pests in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.5, p.397-406, 2016.

SCOTT, R.P.W. **Essencial oils**. In: WORSFOLD, P.; TOWNSHEND, A.; POOLE, C. (Ed.) *Encyclopedia of Analytical Science*. 2ª ed. Elsevier, 2005. p. 554-561

SILVA, A.G.A.; GONÇALVES, C.R.; GALVÃO, D.M.; GONÇALVES, A.J.L.; GOMES, J.; SILVA, M.N.; SIMONI, L. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil. Seus parasitos e predadores**. Parte 2, tomo 1º, Insetos, hospedeiros e inimigos naturais. Rio de Janeiro: Ministério de Agricultura, 1968. 622 p.

SILVA, A. P. T.; CUNHA, H. F.; RICARDO, J. A. D.; ABOT, A. R. Espécies de cupins (Isoptera) em cultura de eucalipto sob diferentes sistemas de manejo de irrigação, em região de transição cerrado-pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 137-146, 2015.

STUDART-GUIMARÃES, C.; LACORTE, C.; BRASILEIRO, A. C. M. Transformação genética em espécies florestais. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 167-178, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre:Artemed, 2013. 954 p.

THU, P.Q.; DELL, B.; BURGESS, T.I. Susceptibility of 18 eucalypt species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. **ScienceAsia**, v.35, p.113-117, 2009.

TONG, Y. G.; DING, X. X.; ZHANG, K. C.; YANG, X.; HUANG, W. Effect of the gall wasp *Leptocybe invasa* on hydraulic architecture in *Eucalyptus camaldulensis* plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p.1-7, 2016.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos Insetos**, 2ª ed., São Paulo: Cengage, 2015. 864 p.

TUREK, C.; STINTZIN; F. C. Stability of Essential Oils: A Review Comprehensive Review sin. **Food Science and Food Safety**, v.12, p. 40-53, 2013.

VENDRAMIM, J.D.; GUZZO, E.C. **Resistência de plantas e a bioecologia e nutrição de insetos**. In: PANIZZI, R.A.; PARRA J.R.P. (Eds.). Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 1055-1105.

WEIS, A. E.; WALTON, R.; CREGO, C. L. Reactive plant tissue sites and the population biology of gall makers. **Annual Review of Entomology**, n. 33, p.467-486, 1988.

WILCKEN, C. F.; FIRMINO-WINCKLER, D. C.; DAL POGETTO, M. H. F. A.; DIAS, T. K. R.; LIMA, A. C. V.; SÁ, L. A. N.; FERREIRA-FILHO, P. J. **Psílideo-de-concha-do-eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* Moore**. In: VILELA, E.F.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 883-897.

WILCKEN, C. F.; BERTI FILHO, E. Vespa-da-galha do eucalipto (*Leptocybe invasa*) (Hymenoptera: Eulophidae): nova praga de florestas de eucalipto no Brasil. Piracicaba: IPEF, 11p, 2008.

WILCKEN, C.F.; SOLIMAN, E.P.; SÁ, L.A.N.; BARBOSA, L.R.; RIBEIRO DIAS, T.K.; FERREIRA-FILHO, P.J.; OLIVEIRA, R.J.R. Bronze bug *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero and Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae) on *Eucalyptus* in Brazil and its distribution. **Journal of Plant Protection Research**, v.50, p.201-205, 2010.

WINKEL-SHIRLEY, B. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. **Plant Physiology**, n. 126, p. 485-493, 2001.

YUAN, H.; ZHANG, J.; NAGESWARAN, D.; LI, L. Carot-enoid metabolism and regulation in horticultural crops. Nature Review: **Horticulture Research**, v. 2, p. 1-11, 2015.

ZHRAN, H. El-D. M.; ABOU-TALEB, H. K.; ABDELGALEIL, S. A. M. Adulticidal, larvicidal and biochemical properties of essential oils against *Culex pipiens* L. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, p. 133–139, 2017.

ZANETTI, R.; CARVALHO, G. A.; SANTOS, A.; SOUZASILVA, A.; GODOY, M. S. **Manejo integrado de formigas cortadeiras**. Lavras: UFLA, 2002. 16 p.

5. ARTIGO 1: PRIMEIRO REGISTRO E OBSERVAÇÕES DE *Leptocybe invasa* FISHER & La SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM *Eucalyptus globulus* LABILL NO LITORAL NORTE DA BAHIA, BRASIL

A ser submetido

RESUMO

A vespa de eucalipto *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) foi introduzida recentemente no Brasil, onde está causando danos a espécies e híbridos de eucalipto. O inseto foi observado pela primeira vez, no litoral norte da Bahia, atacando árvores em plantação de *Eucalyptus globulus* com 20 meses de idade. O desenvolvimento de vespas foi observado de forma não destrutiva em 12 galhas de quatro ramos diferentes durante três semanas. O comprimento médio dos insetos nas amostras de cinco indivíduos foi de 1,34 mm. A oviposição foi maior nas nervuras centrais das folhas jovens do que nos ramos e galhos finos. O comprimento médio das galhas foliares foi de 12,47 mm e a largura média foi de 3,48 mm. O comprimento médio das galhas do ramo foi de 14,79 mm e a largura de 3,45 mm. Foi feita uma análise de regressão entre o diâmetro das galhas foliares, o diâmetro das galhas nos ramos, o comprimento das galhas foliares, o comprimento das galhas nos ramos e o tempo em semanas. Semanalmente as galhas cresceram a média de 0,23 mm nas folhas e 0,21 mm nos ramos.

Palavras-chave: galhas de vespa; pragas de insetos; herbivoria.

ABSTRACT

First record of the pest *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) on *Eucalyptus globulus* in Brazil

The eucalyptus wasp *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) has been recently introduced into Brazil and, is causing damage to Eucalyptus species and hybrids in the northern coast of the State of Bahia. The insect was first observed attacking trees in pure plantings of 20-month-old seminal *Eucalyptus globulus*. Wasp development was observed on non-destructive samples of 12 galls from four different branches for three weeks. The mean insect length in samples of five individuals was 1.34 mm. Oviposition was higher on midribs of young leaves than on the thin branches and twigs. The mean length of leaf galls (n=3) was 12.47 mm and mean width was 3.48 mm. The mean length of branch galls (n=3) was 14.79 mm and width was 3.45 mm. Regression analysis was performed between the leaf diameter, the branch diameter, the length of the leaf galls, the length of the galls on the branches, and the time in weeks. Weekly, the galls grew an average of 0.23 mm on the leaves and 0.21 mm on the branches.

Key-words: wasp galls; insect pest; herbivory.

5.1. Introdução

O eucalipto é uma das culturas mais importantes do Brasil, constituindo fonte de energia e madeira renovável e apoiando importantes processos agroindustriais para a produção de papel, celulose e essências. O eucalipto é adequado para fins paisagísticos, preservação de espécies nativas e recuperação de áreas degradadas (IBÁ, 2017).

Leptocybe invasa Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) é nativa da Austrália e foi observada pela primeira vez causando danos a várias espécies e híbridos de eucalipto em meados dos anos 2000, nas regiões do Oriente Médio e do Mediterrâneo (MENDEL et al., 2004). Tem uma clara preferência por *Eucalyptus camaldulensis* e híbridos com esta espécie. O inseto foi encontrado em um viveiro de pesquisa localizado no litoral norte da Bahia, Brasil, em 2007, causando danos a mudas suscetíveis de *Eucalyptus* (genótipos 1724: *E. urophylla* x *Eucalyptus* spp.; 1277: *E. grandis* x *E.camaldulensis*; 1262: *E. grandis* x *E. urophylla*, 1275: *E. camaldulensis* x *Eucalyptus* spp. e 0292: *E.grandis* x *E. urophylla*). A vespa *L. invasa* induz a formação de galhas em pecíolos, caules, galhos novos e na nervura central de folhas jovens (WILCKEN; BERTI-FILHO, 2008).

Leptocybe invasa pertence à ordem Hymenoptera, família Eulophidae, de tamanho pequeno, medindo de um a dois milímetros de comprimento, sendo a vespa adulta dificilmente vista a olho nu. Os microhimenópteros atacam preferencialmente brotos e ponteiros, realizando a oviposição em brotos apicais, folhas jovens (até cerca de três centímetros de comprimento) e galhos jovens. Os adultos da espécie são geralmente de cor escura (marrom escuro a preto brilhante), apresentando pouco movimento sobre as novas folhas e galhos durante o dia ou permanecendo internamente em botões apicais das mudas do viveiro. O inseto é geralmente partenogenético, com apenas fêmeas produzindo fêmeas. Existe apenas um registro de machos na Turquia (DOGANLAR 2005). Os ovos são extremamente pequenos, colocados sequencialmente em botões apicais, pecíolos e próximos a nervura central das folhas jovens, não são visíveis a olho nu.

Considerando que *L. invasa* tem alta capacidade de causar danos às espécies de eucalipto e apresenta alta adaptação a diferentes espécies e progênies de eucalipto, essa vespa é uma praga importante para estudos florestais e econômicos quanto ao Manejo Integrado de Pragas no Brasil. Experimentos baseados em métodos de monitoramento e controle de infestações, como controle químico e biológico, devem ser realizados a curto e médio prazos, uma vez que são os princípios básicos de um plano de manejo concreto para reduzir a ocorrência e possíveis danos causados pela vespa-da-galha no Brasil.

5.2. Material e Métodos

A região do litoral norte da Bahia, Brasil, possui extensas áreas com plantações de eucalipto destinadas à produção de matéria-prima para a indústria de celulose de alta pureza, aço e madeira. Parte dessas áreas é voltada à pesquisa e desenvolvimento de novos materiais genéticos para plantações comerciais em diferentes regiões edafoclimáticas. Em uma dessas áreas de pesquisa, foram encontradas progênies de *Eucalyptus globulus*, com 20 meses de idade, procedência de Huelva, Espanha, com baixa expressão de sintomas causada pela vespa-da-galha *Leptocybe invasa*. Esta área está localizada nas coordenadas 11°51'02 "S e 38°22'15" W, no município de Inhambupe.

Para medir o tamanho das vespas encontradas no litoral norte do estado da Bahia, Brasil, foram coletados cinco espécimes de *L. invasa* com 55 dias em condições de viveiros.

Na análise do crescimento das galhas foram selecionados quatro ramos com galhas. Em cada ramo, foram selecionadas três galhas, independentemente da parte afetada da planta, para posterior mensuração, totalizando 12 galhas. As galhas foram medidas com paquímetro digital (Figura 1B) durante três semanas (21 dias). Os valores mínimo, médio e máximo para galhas de folhas e galhos foram registrados por semana (Figura 2). Para estimar o crescimento de galhas nas folhas e galhos, usamos uma análise de regressão entre o diâmetro e comprimento das galhas em folhas e ramos e o tempo em semanas.

5.3. Resultados e Discussão

A vespa-da-galha apresentou tamanho médio de 1,34 mm (1,48 mm; 1,36 mm; 1,22 mm; 1,38 mm; e 1,27 mm), corroborando os resultados encontrados por Mendel et al. (2004). Nas plantações florestais no litoral Norte da Bahia, essa vespa apresentou alta capacidade de dispersão, sendo encontrada em árvores de 1 a 5 anos de idade e em brotações jovens, especialmente em híbridos de *E. camaldulensis* (genótipos 1275 e 1277). Também mostrou fácil e rápida adaptação a diferentes genótipos, atacando principalmente os genótipos híbridos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. tereticornis* e *E. maidene* (WILCKEN; BERTI-FILHO, 2008).

Dentre os danos causados por *L. invasa* ao *Eucalyptus globulus*, destaca-se a presença de pequenas galhas próximas à nervura central das folhas jovens, galhas em pecíolos, na parte terminal dos brotos apicais e em ramos novos. As galhas nos ramos foram localizadas próximas à inserção do pecíolo foliar (Figura 1F).

Após a oviposição endógena, as folhas e pecíolos apresentam pequenas manchas verdes brilhantes com ligeira cicatrização na lesão, sem diferir da cor verde clara predominante em *E. globulus*. Com a expansão dos sintomas da vesícula, as folhas ficam esbranquiçadas (Figura 1 A, C, D, E). Não houve alteração na tonalidade verde das galhas das folhas com até 20 mm de comprimento (Figura 1 A, C). Entretanto, galhas com mais de 20 mm de comprimento ocasionalmente apresentavam uma leve coloração rosada no final da base foliar, onde a galha fica paralela à veia central das folhas de eucalipto (Figura 1 E).

Em ramos novos, as galhas se mostraram como pequenos pontos verdes brilhantes da cor típica de *E. globulus*, sem alterá-lo ao longo do tempo. Com a expansão dos sintomas da galha, elas assumiram uma forma arredondada e tiveram maior desenvolvimento longitudinal (Figura 1 F).

Em geral, as galhas induziram a redução e deformação das folhas reduzindo a área de exposição ao sol e provavelmente diminuindo a fotossíntese. Também foi observada a queda prematura das folhas quando as galhas foram induzidas nos pecíolos e necrose do limbo, que está conectada à vesícula em estágios avançados (Figura 1 A); seca das extremidades dos galhos e morte da planta, dependendo da gravidade do ataque.



Figura 1: Sintomas de galhas de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) em *Eucalyptus globulus*, na região do litoral norte da Bahia. 1A: Galha foliar; 1B: Medições de galhas com paquímetro digital; 1C: Galhas em folhas novas; 1D: Galhas desenvolvidas em folhas maduras; 1E: Galhas desenvolvidas na fase de mudança de cor; 1F: Galhas nos ramos.

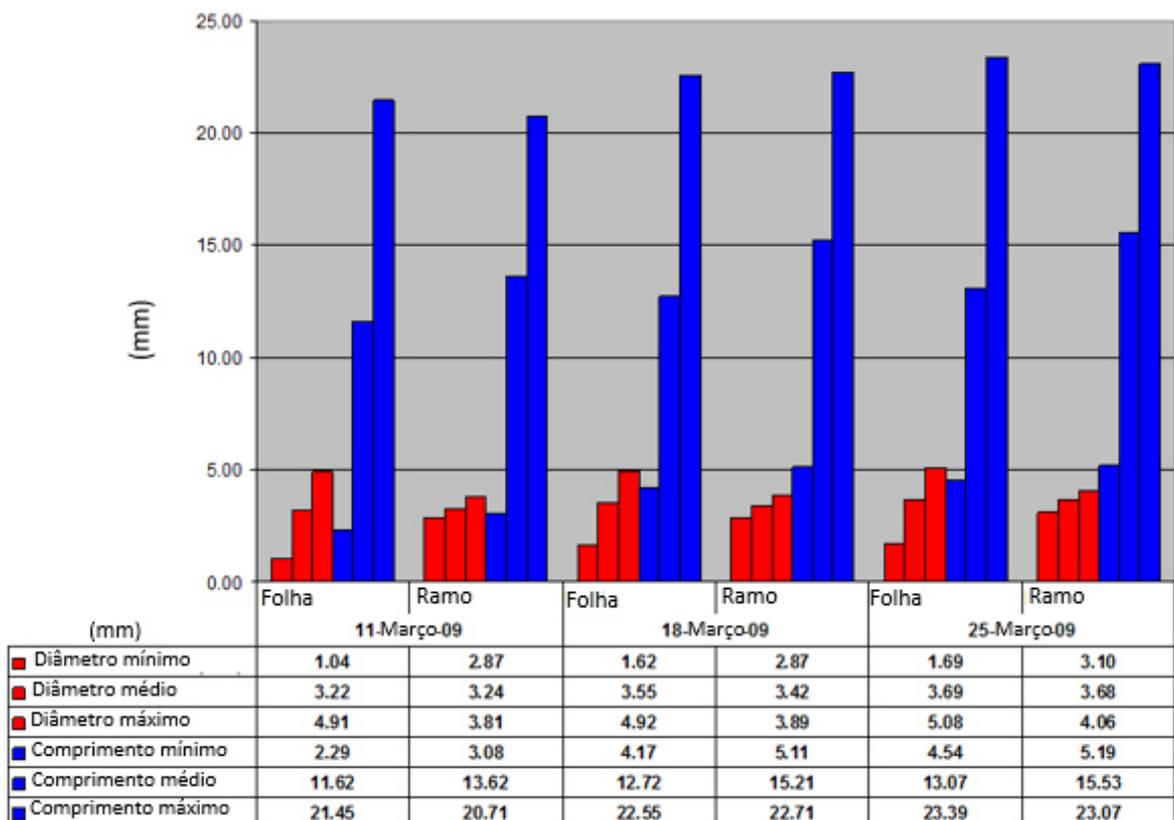


Figura 2: Galhas de *Leptocybe invasa*: diâmetro e comprimento mínimos, médios e máximos observados nas folhas e galhos de *Eucalyptus globulus* ao longo de três semanas, na região do litoral norte da Bahia.

Nas três avaliações, os diâmetros médios das galhas foliares foram 3,22, 3,55 e 3,69 mm, com desvio padrão de 1,23, 1,09 e 1,13 mm, respectivamente, e os diâmetros médios das galhas nos ramos foram 3,24, 3,42 e 3,68 mm, com desvio padrão de 0,50, 0,52 e 0,51, mm respectivamente (Figura 3). Os comprimentos médios das galhas foliares foram 11,62, 12,72 e 13,07 mm, com desvio padrão de 6,18, 5,88 e 5,95 mm, respectivamente (Figura 4). Finalmente, os comprimentos médios das galhas dos ramos foram 13,62, 15,21 e 15,53 mm, com desvio padrão de 9,31, 9,08 e 9,26 mm, respectivamente (Figura 4).

Foram obtidas as seguintes equações: $(y) = 0,2356(x) + 3,0115$, $R^2 = 0,9491$, onde (y) = diâmetro da galha da folha e (x) = tempo em semanas (Figura 3); $(y) = 0,2167(x) + 3,0144$, $R^2 = 0,9905$, onde (y) = diâmetro da galha do ramo e (x) = tempo em semanas (Figura 3); $(y) = 0,7244(x) + 11,02$, $R^2 = 0,9155$, onde (y) = comprimento da galha foliar e (x) = tempo em semanas (Figura 4); $(y) = 0,9567(x) + 12,872$, $R^2 = 0,8714$, onde (y) = comprimento da galha do ramo e (x) = tempo em semanas (Figura 4). Usando essas equações de regressão, o tamanho da galha pode ser estimado para *E. globulus*. Em *E. camaldulensis*, as galhas atingiram tamanhos médios de $2,7 \pm 0,5$ mm, semelhante às galhas em *E. globulus* (MENDEL et al., 2004).

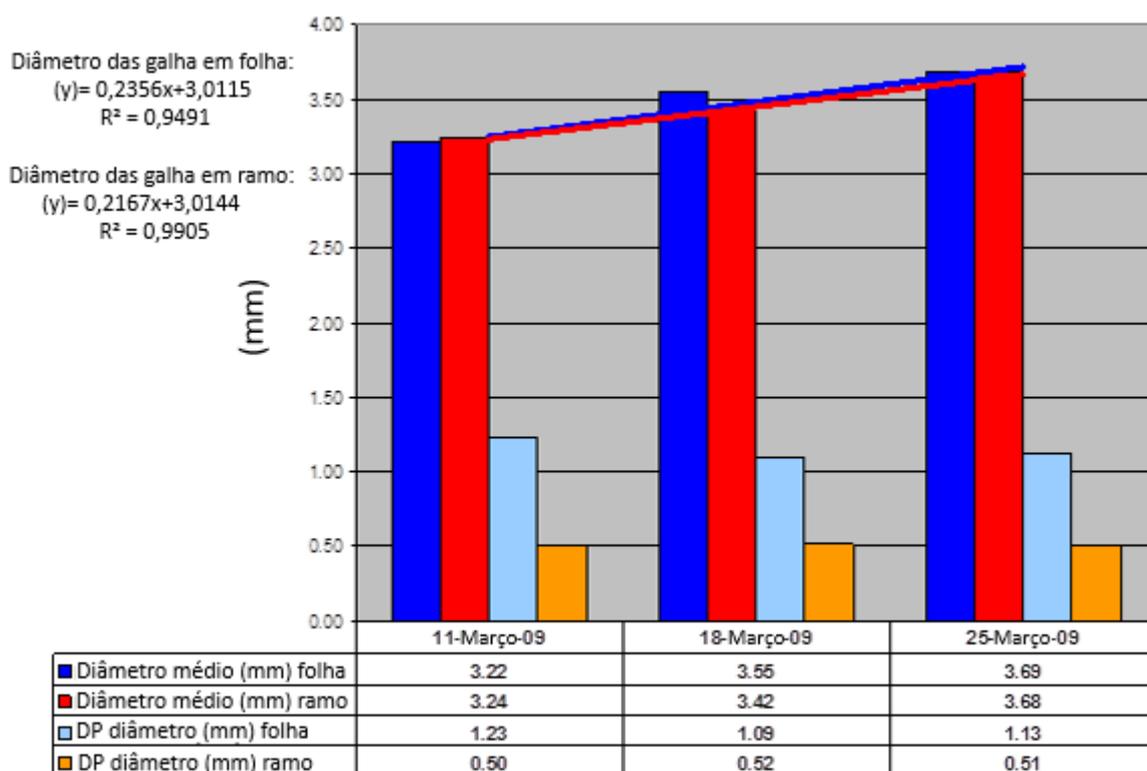


Figura 3: Média e desvio padrão (DP) do diâmetro de galhas de *Leptocybe invasa* observadas nas folhas e ramos de *Eucalyptus globulus* em três avaliações semanais, na região do litoral norte da Bahia.

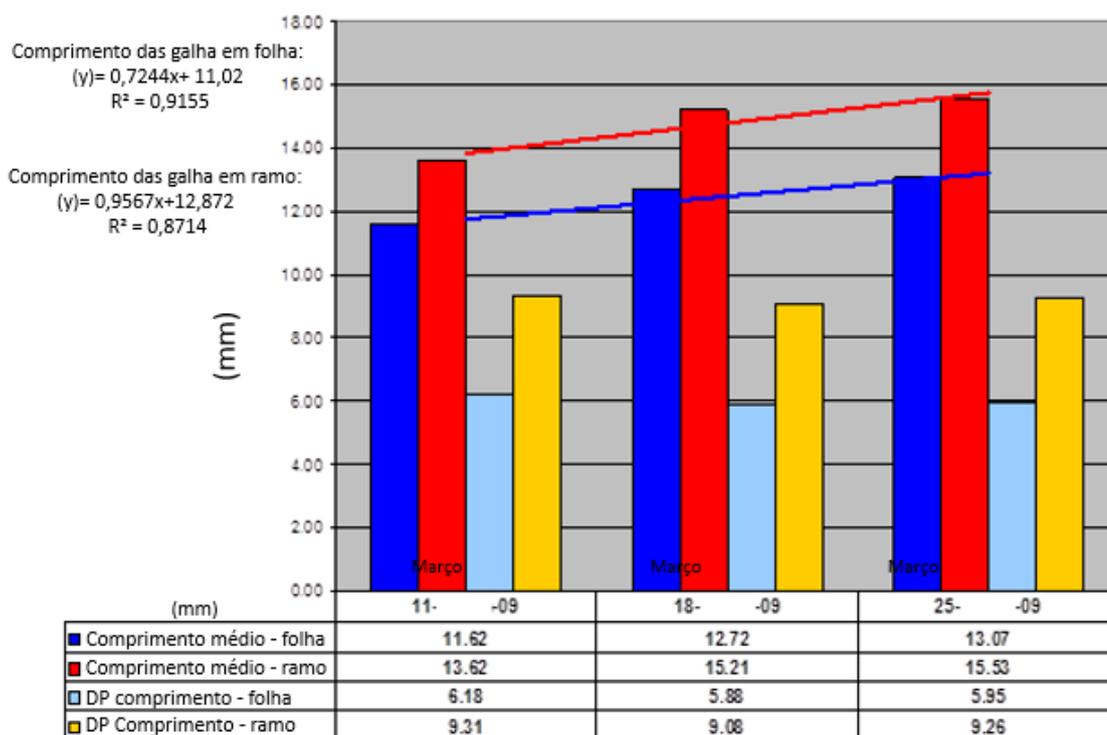


Figura 4: Média e desvio padrão (DP) do comprimento de galhas de *Leptocybe invasa* observadas nas folhas e ramos de *Eucalyptus globulus*, em três avaliações semanais, na região do litoral norte da Bahia.

5.4. Conclusões

Considerando que *Leptocybe invasa* é um inseto praga recém-chegado ao Brasil e que possui um amplo espectro de ação e alto potencial de adaptação a novas espécies de eucalipto, medidas de mitigação precisam ser tomadas para diferentes regiões. Pesquisas visando à implantação de um sistema de Manejo Integrado de *L. invasa* constitui estratégia mais adequada para controlar a disseminação deste inseto no Brasil, evitando maiores danos às plantações de eucalipto.

5.5. Referências Bibliográficas

DOGANLAR, O. (2005). Occurrence of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Chalcidoidea) on *Eucalyptus camaldulensis* in Turkey, with a description of the male sex. *Zoology in the Middle East*, 35, 112-114.

IBÁ (2017) Indústria Brasileira de Árvores. Relatório de atividades 2017, 80 p.

MENDEL, Z., PROTASOV, A., FISHER, N., LASALLE, J. (2004). Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen. & sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. *Australian Journal of Entomology*, 43 (2), 101-113.

WILCKEN, C.F., BERTI-FILHO, E. (2008). Vespa-da-galha do eucalipto (*Leptocybe invasa*) (Hymenoptera: Eulophidae): nova praga de florestas de eucalipto no Brasil. Alerta Protef, IPEF, Piracicaba.

6. ARTIGO 2: ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES DE GENÓTIPOS DE *EUCALYPTUS* INDUZIDAS POR *LEPTOCYBE INVASA* FISHER & LA SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE).

A ser submetido

RESUMO

O eucalipto é cultivado em todo o mundo para a produção de madeira, lenha, celulose, óleos essenciais. A vespa-da-galha *Leptocybe invasa* oviposita na nervura central das folhas, pecíolos e brotações jovens, causando a formação de galhas e comprometendo o crescimento das plantas. Com o objetivo de avaliar as alterações anatômicas causadas pela formação de galhas em alguns genótipos de *Eucalyptus*, a anatomia foliar foi analisada qualitativa e quantitativamente. Ocorreu a oviposição da vespa-da-galha nos quatro genótipos de eucalipto estudados, porém não houve formação de galhas no genótipo 1404, classificado como resistente e utilizado como parâmetro de comparação dos níveis de danos presentes nos outros três genótipos suscetíveis (baixa suscetibilidade no genótipo 1277, média no 1724 e muito alta no 1262). Os feixes vasculares e as células do parênquima nas folhas e pecíolos foram desorganizados na área das galhas. Houve redução de área dos feixes vasculares e com emergência dos insetos adultos verificou-se rupturas nos feixes vasculares, parênquima e epiderme, causando necrose e seca foliar.

Palavras-chave: pragas florestais, vespa-da-galha, silvicultura.

ABSTRACT

Anatomical modifications in leaves of *Eucalyptus* spp. by gall formation induced by *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae).

Eucalyptus is grown worldwide for production of wood, firewood, cellulose, essential oils. *Leptocybe invasa* lay eggs in the midrib of leaves, petiole, and in young shoots, causing galls and compromising the normal growth of plants. In order to evaluate the anatomical changes in *Eucalyptus*, caused by gall formation, the anatomy of the vascular bundles were analyzed qualitatively and quantitatively. Wasp oviposition occurred in the 4 eucalyptus genotypes studied, but no gall formation was observed in genotype 1404, which was classified as resistant and used as a parameter to compare the damage levels present in the others susceptible genotypes (low susceptibility in genotype 1277, moderate in 1724 and very high in 1262). The vascular bundles and parenchyma cells in the leaves and petioles became disorganized. There was a reduction in the area of vascular bundles and the emergence of adult insects caused ruptures in the vascular cells, parenchyma, and epidermal cells, resulting in necrosis and leaf dryness.

Key-words: forest pests, gall wasp, forest pests, gall wasp, forestry.

6.1. Introdução

O eucalipto é nativo da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania, com aproximadamente 700 espécies [1, 2], e cerca de 20 delas são cultivadas comercialmente em todo o mundo [3]. As plantações de eucalipto são economicamente importantes em vários países [4], com aproximadamente 20 milhões de hectares plantadas em mais de 100 países [5]. No Brasil, as plantações de eucalipto atingiram 5,8 milhões de hectares em 2017 [6, 7], destinados à produção de madeira [8], celulose, papel, lenha e carvão na indústria siderúrgica e outros usos [9, 10, 11].

Acredita-se que as primeiras mudas de eucalipto foram plantadas no Brasil em 1824 e os estudos iniciados em 1904 por Edmundo Navarro [12, 13]. Devido às condições favoráveis de clima e de solos, as plantações de eucalipto obtiveram rápido crescimento, atingindo os mais altos índices de produtividade no mundo [3]. Além disso, a silvicultura de eucalipto no Brasil foi favorecida pelo melhoramento genético através de critérios de seleção genética, onde se busca a maximização de características desejáveis [14], principalmente celulose de alta qualidade. Por outro lado, essa expansão favoreceu o aumento da população de vários insetos nativos e de pragas exóticas, que foram introduzidos, incluindo a vespa-da-galha *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) [3].

Originária da Austrália, *L. invasa* foi relatada pela primeira vez em 2000 no Oriente Médio, e atualmente existem registro da praga na Europa, Ásia, África, Oceania e América [8, 15]. Registrada pela primeira vez no Brasil em 2008, no nordeste do estado da Bahia [16], a vespa-da-galha oviposita em folhas, galhos jovens e pecíolos, causando a formação de galhas em várias espécies de eucalipto [8, 17, 18].

As galhas são alterações dos tecidos vegetais causadas pelos indutores, sendo que o estímulo pode estar contido na saliva injetada durante a alimentação como ocorre nos pulgões, nas secreções maternas injetadas durante a oviposição, no caso das moscas, ou como nas secreções larvais de origem desconhecida das vespas cinipídeas [19, 20, 21, 22]. Esses estímulos causam hipertrofia celular e hiperplasia tecidual [23, 24, 25], responsável pelas várias formas estruturais da galha [26, 27]. Estudo das galhas e das alterações provocadas nas plantas hospedeiras é de grande importância para a silvicultura e agricultura, uma vez que podem causar redução da área foliar e dos feixes vasculares, interferindo na fotossíntese, condutância estomática e transporte de assimilados [28].

Vários cruzamentos entre espécies de eucalipto foram realizados em busca de plantas que apresentavam características de interesse econômico, como celulose de boa qualidade e facilidade de clareamento. Nesse processo, híbridos com características diferentes foram produzidos, incluindo plantas resistentes e com diferentes níveis de suscetibilidade ao ataque de vespas [17, 29]. A resistência das plantas ao ataque de insetos pode ser promovida por fatores físicos e/ou químicos, impedindo a entrada de artrópodes e patógenos ou impedindo seu desenvolvimento, respectivamente [30].

As espécies de eucalipto e híbridos apresentam diferentes níveis de suscetibilidade ao ataque de *L. invasa* [8, 17], que depende de fatores ambientais e genéticos [31]. *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, *E. camaldulensis* Dehn e *E. tereticornis* Sm são considerados mais suscetíveis ao desenvolvimento de galhas induzidas por *L. invasa* [17, 32]. O nível de suscetibilidade dos genótipos de eucalipto está relacionado ao número de galhas e, conseqüentemente, às alterações estruturais das plantas. Algumas características anatômicas podem ser modificadas pelas galhas, como a redução da condutância hidráulica do caule e das folhas [15], interrupção do transporte de substâncias pelo xilema e floema [33] e deformação e redução da área foliar [34].

Como existem poucos trabalhos relacionados às alterações anatômicas do eucalipto, objetivou-se estudar se a vespa oviposita nos genótipos resistentes do eucalipto e se a

formação de galhas pode desorganizar e/ou reduzir os tecidos condutores de folhas e pecíolos de quatro genótipos de eucalipto infestados por *L. invasa*.

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Local de estudo e material vegetal

Quatro genótipos de *Eucalyptus*, codificados como: 1404 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus* sp.); 1724 (*E. grandis* x *Eucalyptus* sp.); 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) foram fornecidos pela Bracell Cellulose (Copener Florestal), localizada em Alagoinhas - Bahia. As plantas foram cultivadas em baldes plásticos de cinco litros, contendo substrato composto por terra preta, areia e esterco bovino (3:1:1), ao ar livre no viveiro da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristóvão.

Todos os genótipos de eucalipto estudados foram infestados pela vespa no viveiro da Copener Florestal, sendo que os genótipos 1724, 1277 e 1262 apresentaram desenvolvimento de galhas com diferentes níveis de infestação e, o genótipo 1404, embora infestado, não apresentou formação de galhas, sendo considerado resistente à ação de vespa e usado para comparar os níveis de dano com os outros genótipos.

6.2.2. Determinação da suscetibilidade dos genótipos de *Eucalyptus*

Para determinar o nível de ataque de *L. invasa* nos genótipos de *Eucalyptus*, foi feita uma adaptação do Índice de Fournier (1975) [35], originalmente usado para estudos de fenologia. O índice de Fournier estima a porcentagem de intensidade de um determinado evento em plantas usando uma escala semiquantitativa com intervalos de 25%, permitindo o agrupamento de eventos em cinco categorias (0 a 4).

O nível 0 representa a ausência de galhas, portanto o genótipo é considerado resistente à formação de galhas. O nível 1 representa a formação de galhas entre 1% e 25% das estruturas estudadas (folhas, pecíolos e galhos jovens), sendo o genótipo considerado de baixa suscetibilidade. No nível 2, a incidência de galhas está entre 26% e 50%, genótipos de médio suscetível. Nível 3 a presença de galhas 51% e 75%, genótipos de alta suscetibilidade; e para o nível 4 a magnitude do evento entre 76% e 100%, genótipos considerados de suscetibilidade muito alta.

6.2.3. Análises morfológicas e anatômicas

Para caracterizar as alterações morfológicas, as plantas foram fotografadas com uma câmera digital OLYMPUS® e um microscópio estereoscópico ZEISS® no Laboratório de Entomologia Florestal da UFS (LEFLO).

A caracterização das alterações anatômicas dos feixes vasculares dos genótipos de eucalipto causados pelas galhas, folhas e pecíolos das plantas foram analisadas no Laboratório de Anatomia Vegetal e Dendroecologia. Os cortes transversais foram feitos à mão livre e em um micrótomo HYRAX S 50® (20 µm de espessura) e lâminas semipermanentes foram preparadas.

Dez cortes histológicos de cada estrutura da planta (in vivo) foram montados em lâminas para serem observados ao microscópio BIOVAL® e fotografadas com uma câmera digital SAMSUNG® (ampliação de 100-400x). Em seguida esses cortes histológicos foram desidratados em séries alcoólicas (50%, 70% e 90%), coloridos com solução alcoólica de Safranin (1%) e colocados em lâminas permanentes para novas observações e novas fotografias [36]. Foram obtidos cortes anatômicos de 3 folhas e 3 pecíolos por planta de cada genótipo e foram repetidas 3 plantas por genótipo e analisados qualitativamente. A partir

dessas seções histológicas foram medidos 10 feixes vasculares de pecíolos e 10 de nervura central das folhas.

Todos os cortes histológicos dos 4 genótipos de eucalipto estão depositados na coleção ASEw. As alterações anatômicas dos feixes vasculares foram caracterizadas por morfometria, onde as áreas dos feixes vasculares foram medidas (μm) usando o programa IMAGE-PRO PLUS®.

6.2.4. Desenho experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro genótipos de eucalipto e diferentes níveis de ataque de vespa. A análise anatômica foi realizada utilizando 10 repetições por genótipo. Para as características anatômicas, os quatro genótipos foram comparados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Dunnet ($P < 0,05$), a fim de avaliar as diferenças entre os genótipos.

6.3. Resultados e Discussão

De acordo com o índice de Fournier (1975) [35], adaptado para determinar os níveis de resistência e suscetibilidade à galha, os genótipos de eucalipto foram classificados como nível 0, resistente à formação de galhas 1404 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus* sp); nível 1, baixa suscetibilidade 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*); nível 2, média suscetibilidade 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) e nível 4, suscetibilidade muito alta 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*).

O genótipo 1404 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus* sp) possui folhas lanceoladas com nervura central visível, veias secundárias dispostas em penínervia e pecíolos sem alterações morfológicas, sendo resistente à formação de galhas (Figuras 2A, B, C), mesmo com oviposição foliar (Figura 1). O genótipo 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresenta baixa suscetibilidade com presença de galha na nervura central das folhas e pecíolos, mas em pequeno número (Figuras 2D, E, F).

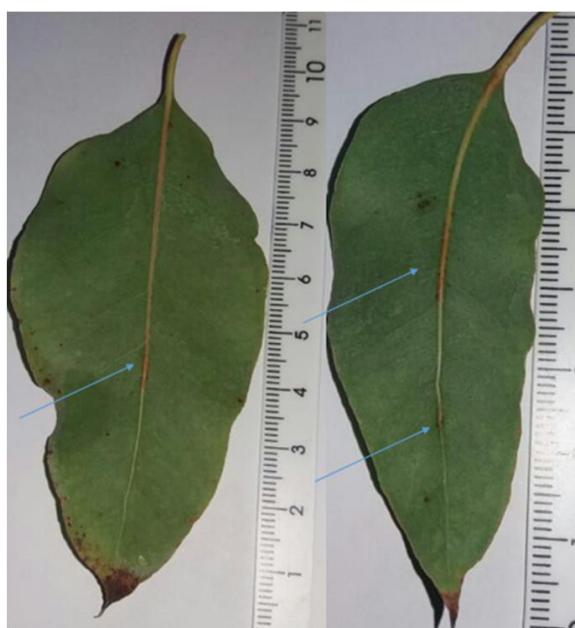


Figura 1: Oviposição de *Leptocybe invasa* (seta) em folhas de genótipos de eucalipto (1404) (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus* sp) resistente.

O genótipo 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) exibiu maior quantidade de galha na nervura central, pecíolos e ramos jovens (Figuras 2G, H, I); porém o número de galhas é ainda maior no genótipo 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*), considerado altamente suscetível. Neste último, foi observada alta infestação de *L. invasa* no pecíolo, nervura central das folhas e ramos jovens, causando perda da dominância apical de seus galhos e desenvolvendo um processo de ramificação ou envassouramento (Figuras 2J, K, L).

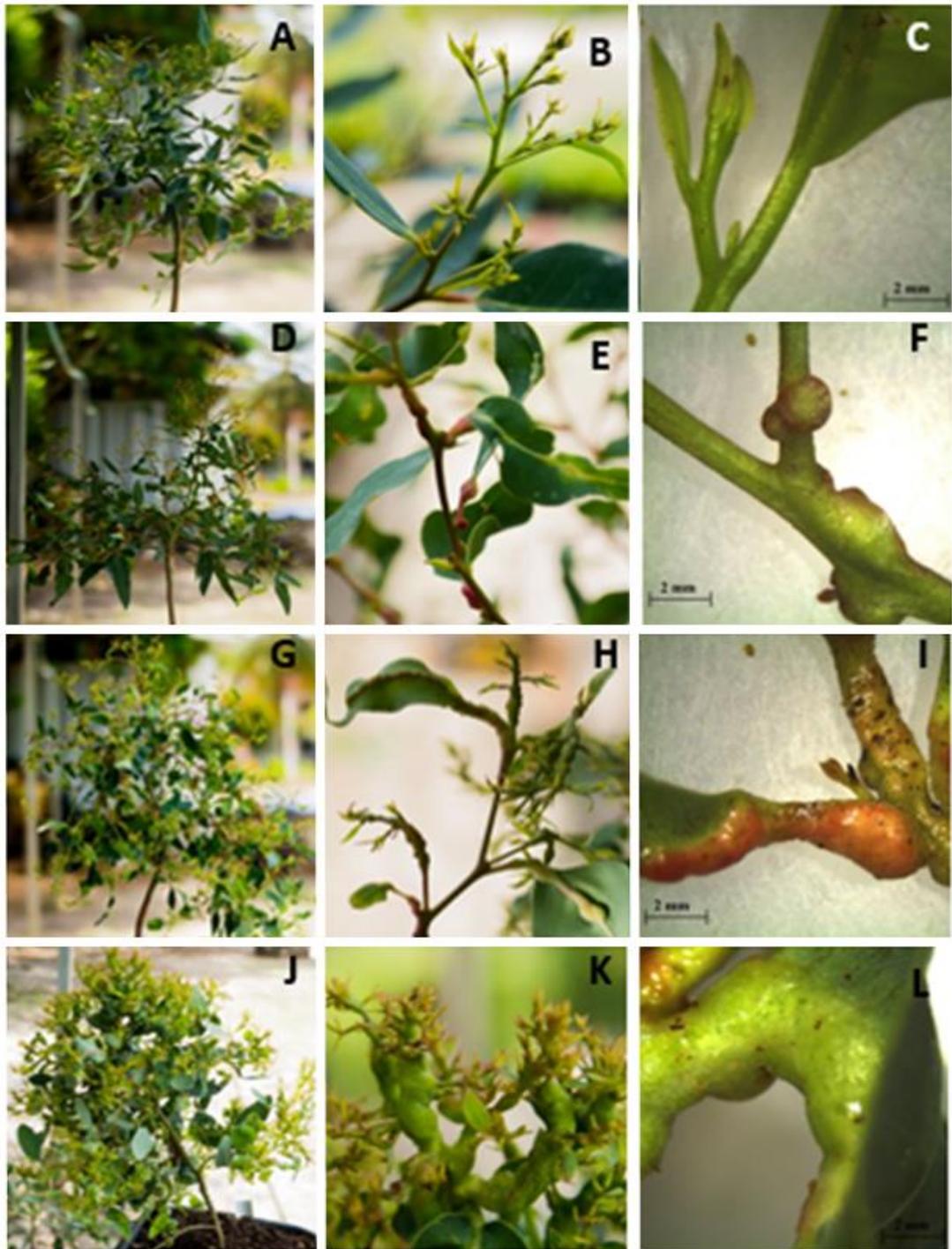


Figura 2: Genótipos de eucalipto 1404 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) (A, B, C); 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) (D, E, F); 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) (G, H, I); 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) (J, K, L) em fotografia macroscópica (A - K) e usando estereomicroscopia (C - L, barra 2mm).

O genótipo de *Eucalyptus* resistente à formação de galhas (1404: *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) apresentou os feixes vasculares das folhas em arco aberto delimitado por parênquima e fibras dispersas. Apresentou colênquima subepidérmico ao redor do parênquima cortical, e estes envolvem os feixes vasculares de floema e xilema (Figura 3A, B, C, D).

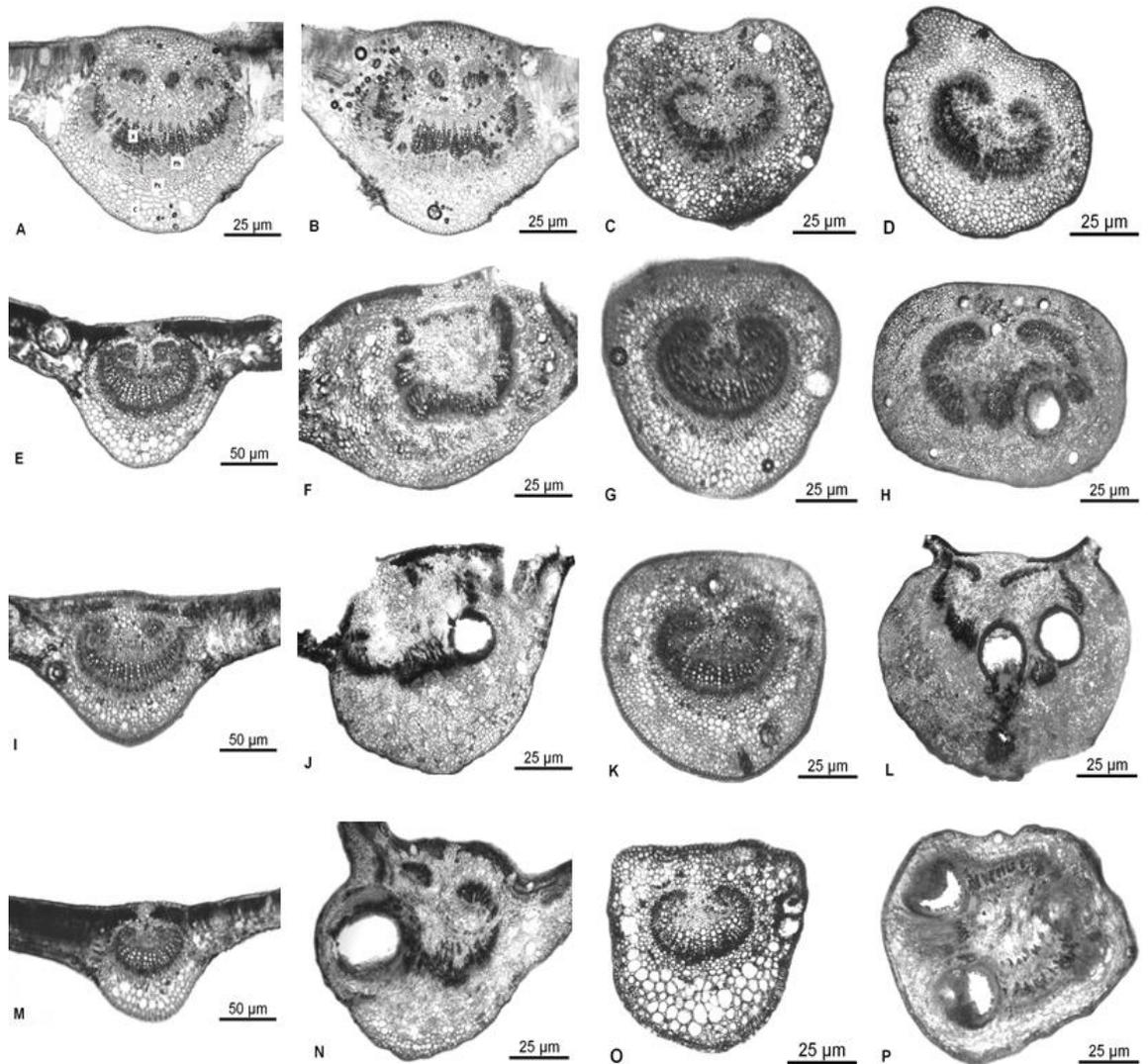


Figura 3: Cortes transversais das folhas (A, B, E, F, I, J, M, N) e pecíolo (C, D, G, H, K, L, O, P) de quatro genótipos de eucalipto: 1404 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) (A, B, C, D); 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) (E, F, G, H); 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) (I, J, K, L) e 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) (M, N, O, P); folhas sem ataque (A, E, I, M); folhas com ataque (F, J, N); pecíolo sem ataque (C, G, K, O); pecíolo com ataque (H, L, P).

No genótipo 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.), com o nível 2 de ataque (média suscetibilidade), as estruturas da nervura central das folhas apresentaram desarranjo dos feixes vasculares e do parênquima (Figura 3F). Os feixes vasculares começam a perder sua estrutura em arco aberto, enquanto o parênquima cortical aumenta sua área de abrangência e as células do colênquima são difusas na subepiderme. Sob esse mesmo nível de ataque, esses tecidos nos pecíolos também apresentaram alterações (Figura 3H), com a formação de um arco plano e desorganização do parênquima.

Os genótipos de eucalipto 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) com o nível 1 ao ataque de *L. invasa* (média suscetibilidade) apresentaram maior deformidade no pecíolo (Figura 3L) do que na nervura central (Figura 3J). O grau de ataque neste genótipo não apenas alterou o arranjo dos feixes vasculares, mas também sua área de ocorrência, que diminuiu em função do estágio avançado de desenvolvimento das larvas de *L. invasa*. No terceiro nível de ataque da vespa (suscetibilidade muito alta), o genótipo 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*), exibiu nos feixes vasculares e no parênquima da nervura central (Figura 3N) e no pecíolo (Figura 3P) deformações graves em relação à organização e área de cobertura.

Além dos danos causados pelo desenvolvimento das galhas nos genótipos suscetíveis, a eclosão dos imagos causa a ruptura dos tecidos vasculares, do parênquima e epidérmico, abrindo espaço para micro-organismos, causando necrose e secagem das folhas (Figura 4A, B).



Figura 4: Corte transversal do pecíolo de eucalipto (A) atacado por *Leptocybe invasa* após a emergência de adultos com necrose foliar (B), comum em genótipos suscetíveis. Região apical da folha do genótipo 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) com ataque severo (C).

A região apical da folha apresentou apenas deformação no genótipo 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) sob ataque mais severo (Figura 4C) quanto à organização dos feixes vasculares e aumento da área do parênquima e dos tecidos corticais. Embora os outros genótipos apresentassem deformações evidentes nos feixes vasculares da nervura central e pecíolo, a região pós-ataque permaneceu homogênea. Este resultado atesta a não influência do ataque de vespas nessa região da folha; no entanto, o fluxo de seiva para a região apical pode ser reduzido ou interrompido devido aos danos causados no pecíolo e na nervura central das folhas.

Das três regiões sob ataque da vespa analisadas, a nervura central e o pecíolo apresentaram diferenças significativas entre os genótipos suscetíveis e o resistente, o que corrobora com os diferentes níveis de ataque das vespas, o grau de suscetibilidade dos genótipos ao ataque desse inseto e a possibilidade de danos às plantas devido a este ataque (Figura 5). Na região do pecíolo, houve uma diferença significativa entre o genótipo resistente e sob ataque, no entanto, apenas o genótipo 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) (cujo ataque foi o mais grave) diferiu do genótipo resistente (Figura 5A). No genótipo 1724 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.), houve uma grande variação na área do feixe vascular em função do ataque da vespa, o que pode ser considerado uma influência da ação do inseto sobre estas plantas, mas que não foi significativo. Nos genótipos 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), não foi observada nenhuma diferença em relação ao genótipo resistente, o que mostra uma resposta diferente à observada na nervura central das folhas (Figura 5A).

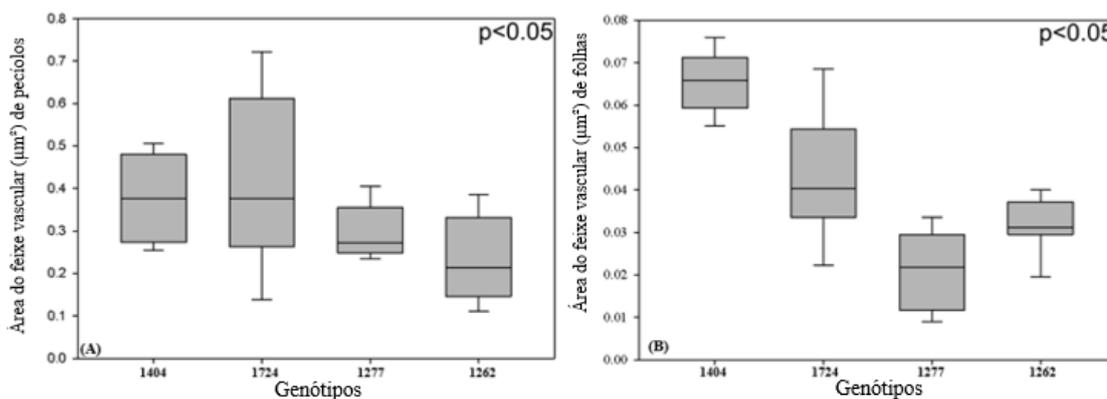


Figura 5: Área do feixe vascular de pecíolos (A) e nervura central das folhas (B) dos genótipos de eucalipto, resistentes (1404: *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) e suscetíveis (1724: *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp., 1277: *E. grandis* x *E. camaldulensis*, 1262: *E. grandis* x *E. urophylla*) ao ataque de *Leptocybe invasa*.

A região da nervura central das folhas dos genótipos suscetíveis foram diferentes significativamente dos indivíduos resistentes, com uma variação gradual na área dos feixes induzida pelo ataque (Figura 5B). Todos os genótipos sob ataque exibiram redução em suas regiões do feixe vascular, sendo que os indivíduos mais danificados foram os do genótipo 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), com a maior redução observada e consequente dano à condução da seiva (Figura 5A). A região apical da folha (pós-ataque), que também foi avaliada, não apresentou diferenças significativas entre os genótipos resistentes e suscetíveis, portanto considerou-se que, apesar do ataque em anterior à nervura central, há rearranjo dos feixes vasculares na região apical, a qual não adquire alterações significativas na região dos feixes devido ao ataque.

Em geral, foi observado que o ataque de *L. invasa* causa sérios danos estruturais às folhas e pecíolos do eucalipto, bem como o desarranjo do transporte de solutos orgânicos foliares, que interferem diretamente no processo fotossintético e, conseqüentemente, no rendimento florestal deste táxon.

Macroscopicamente, o genótipo 1404 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) diferiu dos genótipos suscetíveis ao desenvolvimento da galha. Nas plantas suscetíveis, os pecíolos e nervuras centrais das folhas infestadas ficam retorcidas, causando redução e deformação da folha. Esse aspecto foliar foi observado por Richardson et al. (2017) [22], em galhas jovens formadas em *Populus angustifolia* James, induzidas por *Pemphigus betae* Doene (Hemiptera: Aphididae), onde a galha promove uma curvatura na nervura central formando uma dobra no lado abaxial da folha, e por Fernandes et al. (1988) [37] em *Myrcia itambensis* Berg.

Modificações semelhantes da área foliar foram relatadas por Tong et al. (2016) [15] em *E. camaldulensis* causada por *L. invasa*. Essa redução influencia a absorção de luz e provavelmente no processo fotossintético, uma vez que Larson (1998) [38], comparando folhas com galhas, induzida por ácaros em *Prunus serotina*, observou redução de 52% na taxa fotossintética, além de reduzir a condutância estomática, a transpiração [39].

Sob alta infestação por *L. invasa*, as plantações de eucalipto podem ter sua produtividade comprometida [40, 41], pois o crescimento de mudas e árvores pode ser retardado pela presença maciça de galhas [31], podendo até mesmo causar a morte das plantas [29], como ocorreu com os genótipos suscetíveis aqui estudados (1724: *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp., 1277: *E. grandis* x *E. camaldulensis*, 1262: *E. grandis* x *E. urophylla*). Nessas plantas, a incidência de galhas nos ramos jovens compromete o tecido meristemático, causando perda de dominância apical e, conseqüentemente, o desenvolvimento de gemas axilares em um processo de crescimento excessivo dos ramos secundários, comprometendo a estrutura e o crescimento normal das plantas, que perdem seu valor comercial.

O genótipo de eucalipto 1404 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.) apresentou estruturalmente um padrão normal no feixe vascular, enquanto os genótipos suscetíveis apresentaram modificações e uma redução na área do feixe vascular. Essa redução pode afetar a condução hidráulica ou o transporte de água para as folhas em até 60%, uma vez que a condução é determinada principalmente pelo raio do vaso condutor e, conseqüentemente, afeta as características funcionais das folhas [15], incluindo a fotossíntese.

Para o crescimento, as plantas dependem da produtividade primária das folhas, que por sua vez dependem da função da arquitetura hidráulica. Portanto, os graves danos aos genótipos de *Eucalyptus* causados pela formação de galhas de *L. invasa* provavelmente estão alinhados às alterações na função da arquitetura hidráulica das folhas [15] e na condutância estomática, um fenômeno fisiológico que interfere na fotossíntese. Assim, provavelmente reduz a taxa fotossintética, diminui a produtividade primária e reduz o crescimento das plantas, como observado nos genótipos suscetíveis testados.

Além dos danos causados pelo desenvolvimento da galha, a eclosão dos adultos da vespa-da-galha através de orifícios feitos por elas [8] causa rompimento dos tecidos vasculares, parênquima e epiderme. As lesões nos tecidos vasculares diminuem o transporte de água [15] e assimilados na planta, principalmente quando as lesões estão nos pecíolos, dificultando o metabolismo e a manutenção das folhas. Nos genótipos com suscetibilidade severa, ocorre necrose e secagem das folhas. Além disso, as lesões podem facilitar a contaminação dos tecidos da planta por micro-organismos.

6.4. Conclusões

O trabalho evidenciou que existem genótipos de eucalipto resistentes e suscetíveis em diferentes níveis à formação de galhas. A resistência não é um fator físico, pois a oviposição ocorre em plantas resistentes (1404: *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.), embora não ocorra desenvolvimento de galha. As galhas causam redução da área foliar, perda de dominância apical, desarranjo e redução da área do tecido vascular nos genótipos suscetíveis. Durante a eclosão dos insetos, eles causam a ruptura de vários tecidos, promovendo a necrose e queda de folhas. A vespa tem alta especificidade para genótipos de eucalipto e pode servir como modelo evolutivo entre os organismos envolvidos.

6.5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) - Brasil, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e a Financiadora de Estudos e Projetos - Brasil (FINEP) e o Instituto Federal de Sergipe.

6.6. Referências Bibliográficas

1. Batish DR, Singh HP, Kohli RK, Kaur S. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 2008 Ago; 256:2166–2174, doi: 10.1016/j.foreco.2008.08.008.
2. Brisola SH, Demarco D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. Urophylla* e *E. Grandis* x *E. urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. *Scientia Forestalis*. 2011 set; 39(91): 317-330.
3. Queiroz DL. Pragas exóticas e potenciais a Eucaliptocultura no Brasil. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia; 2009. Capítulo 20, Manejo fitossanitário de cultivos Agroenergéticos; p. 239-249.
4. Dittrich-Schroder G, Wingfield MJ, Hurley BP, Slippers B. Diversity in *Eucalyptus* susceptibility to the gall-forming wasp *Leptocybe invasa*. *Agricultural and Forest Entomology*. 2012; 14(4):419-427. Doi: 10.1111/j.1461-9563.2012.00583.x.
5. Myburg AA, Grattapaglia D, Tuskan GA, Hellsten U, Hayes RD, Grimwood J, Jenkins J, Lindquist E, Tice H, Bauer D, Goodstein DM, Dubchak I, Poliakov A, Mizrahi E, Kullán ARK, Hussey SG, Pinard D, Merwe K, Singh P, Jaarsveld I, Silva Junior OB, Togawa RC, Pappas MR, Faria DA, Sansaloni CP, Petroli CD, Yang X, Ranjan P. The genome of *Eucalyptus grandis*. *Nature*. 2014; 510(1):356-374, doi: 10.1038/nature13308.
6. Abraf. Anuário estatístico Abraf 2013: ano base 2012. Brasília: Abraf; 2013. 148p.
7. Ibá. Relatório anual da Indústria brasileira de árvores, Poyry consultoria em gestão e negócios Ltda, 2018. 80p.
8. Mendel Z, Protasov A, Fisher N, La Salle J. Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen. & sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. *Australian Journal of Entomology*. 2004; 43:101–13, doi:10.1111/j.1440-6055.2003.00393.x
9. Mora, A. L., Garcia, C. H. A. A cultura do eucalipto no Brasil. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura; 2000. 112 p.
10. Carvalho AM, Nahuz MAR. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. *Scientia Forestalis*. 2001 jun; 59:61-76.
11. Ishii, K. DNA markers in *Eucalyptus* with emphasis on species identification. *Environment Control in Biology*. 2009; 47(1):1-11.
12. Bertola A. Eucalipto, 100 anos de Brasil: “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. Setor de Inventário Florestal. Curvelo-MG:V&M Florestal Ltda; 2013. 91p.
13. Marchiori JNC. Primórdios da silvicultura no Rio Grande do Sul. 1-Nota sobre a introdução do gênero *Eucalyptus* L’Her. *Balduinia*. 2014; 44:21-31, doi:10.5902/23581980.
14. Tung ESC, Freitas MLM, Florsheim SMB, Lima IL, Longui EL, Santos FW, Moraes MLT, Sebbenn AM. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) fr. Allem. *Scientia Forestalis*. 2010; 38(87):499-508.
15. Tong YG, Ding XX, Zhang KC, Yang X, Huang W. Effect of the gall wasp *Leptocybe invasa* on hydraulic architecture in *Eucalyptus camaldulensis* plants. *Frontiers in Plant Science*. 2016; 7:1-7, doi: 10.3389/fpls.2016.00130.
16. Costa VA, Berti Filho E, Wilcken CF, Stape JL, Lasalle J, Teixeira LD. *Eucalyptus* gall wasp, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) in Brazil: New Forest Pest Reaches the New World. *Revista de Agricultura*. 2008; 83:136-139.
17. Thu PQ, Dell B, Burgess TI. Susceptibility of 18 eucalyptus species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. *Science Asia*. 2009; 35(2):113-117, doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.113.

18. Petro R, Madoffe SS, Iddi S, Musgasha WA. Impact of *Eucalyptus* gall wasp, *Leptocybe invasa* infestation on growth and biomass production of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* seedlings in Tanzania. *International Journal of Pest Management*. 2015; 61(3):220-227, doi: 10.1080/09670874.2015.1039096.
19. Stone GN; Schönrogge K. The adaptive significance of insect gall morphology. *Trends in Ecology and Evolution*. 2003; 18(10):512-522, doi: 10.1016/S0169-5347(03)00247-7.
20. Shorthouse JD, Wool D, Raman A. Gall-inducing insects – nature’s most sophisticated herbivores. *Basic and Applied Ecology*. 2005; 6:407-411, doi: 10.1016/j.baae.2005.07.001.
21. Alamada ED, Fernandes GWA. Insetos indutores de galhas em florestas de terra firme e em reflorestamentos com espécies nativas na Amazônia oriental, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*. 2011 mai-ago; 6(2):163-196.
22. Richardson RA, Body M, Warmund M, Schultz JC, Appel HM. Morphometric analysis of young petiole galls on the narrow-leaf cottonwood, *Populus angustifolia*, by the sugarbeet root aphid, *Pemphigus betae*. *Protoplasma*. 2017; 254(1):203–216, doi:10.1007/s00709-015-0937-8.
23. Isaias RMS, Oliveira DC, Carneiro RGS. Role of *Euphalerus ostreoides* (Hemiptera: Psylloidea) in manipulating leaflet ontogenesis of *Lonchocarpus muehlbergianus* (Fabaceae). *Botany*. 2011; 89(9):581–592, doi: 10.1139/b11-048.
24. Ferreira BG, Isaias RMS. Developmental stem anatomy and tissue redifferentiation induced by a galling lepidoptera on *Marcetia taxifolia* (Melastomataceae). *Botany*. 2013; 91(11):752–760, doi: 10.1139/cjb-2013-0125.
25. Magalhães TA, Oliveira DC, Suzuki AYM, Isaias RMS. Patterns of cell elongation in the determination of the final shape in galls of *Baccharopelma dracunculifoliae* (Psyllidae) on *Baccharis dracunculifolia* dc (Asteraceae). *Protoplasma*. 2014; 251(4):747-53, doi: 10.1007/s00709-013-0574-z.
26. Isaias RMS, Carneiro RGS, Oliveira DC, Santos JC. Illustrated and annotated checklist of Brazilian gall morphotypes. *Neotropical Entomology*. 2013; 42:230-239, doi: 10.1007/s13744-013-0115-7.
27. Isaias RMS, Oliveira DC, Moreira ASFP, Soares GLG, Carneiro RGS. The imbalance of redox homeostasis in arthropod-induced plant galls: mechanisms of stress generation and dissipation. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2015; 1850(8):1509–1517, doi:10.1016/j.bbagen.2015.03.007.
28. Fernandes GW, Martins RP. As galhas: tumores de plantas. *Ciência Hoje*. 1985; 4:58-64.
29. Nyeko P, Mutitu KE, Otieno BO, Ngae GN, Day RK. Variations in *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) population intensity and infestation on eucalyptus germplasms in Uganda and Kenya. *International Journal Pest management*. 2010, 56(2):137-144, doi: 10.1080/09670870903248835.
30. Aoyama EM, Labinas AM. Características estruturais das plantas contra a herbivoria por insetos. *Enciclopédia Biosfera*. 2012 nov; 8 (15):365-386.
31. Wilcken CF, Zaché B, Masson MV, Pereira RA, Barbosa LR, Zanuncio JC. Vespa-da-galha-do-eucalipto, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle. Piracicaba: Fealq; 2015. Capítulo 12, Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros; p. 898–908.
32. Nugnes F, Gebiola M, Monti MM, Gualtieri L, Giorgini M, Wang J, Bernardo H. Genetic diversity of the invasive gall wasp *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) and of its rickettsia endosymbiont, and associated sex-ratio differences. *Plos One*. 2015; 10(5):1–19, doi:10.1371/journal.pone.0124660.
33. Gonzalez AM, Solís SM. Anatomía y morfogénesis de las agallas producidas por *Leptocybe invasa* en plantas de *Eucalyptus*. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*. 2015; 50(2):141-151.

34. Constantino PAL, Monteiro RF, Wilson MD. Gall midge attack intensity and host-plant response in a Neotropical coastal ecosystem. *Revista Brasileira de Entomologia*. 2009 set; 53(3): 391–397.
35. Fournier LA. 1974. Un metodo cuantitativo para la medicionde características fenológicas en arboles. *Turrialba*. 1974; 24(4):422-423.
36. Cutler, D. F., Botha, T., Stevenson, D. W. *Anatomia Vegetal: uma abordagem aplicada*. São Paulo: Artmed, 2011. 304p.
37. Fernandes GWAF, Neto Tameirão E, Martins RP. Ocorrência e caracterização de galhas entomógenas na vegetação do Campus Pampulha da Universidade de Federal de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Zoologia*. 1988 jul; 5(1):11-29.
38. Larson K. The impact of two gall-forming arthropods on the photosynthetic rates of their host. *Oecologia*. 1998; 115:161-166, doi: 10.1007/s004420050503.
39. Florentine SK, Ramam A, Dhileepan K. Effects of gall induction by *Epiblema strenuana* on gas exchange, nutrients, and energetics in *Parthenium hysterophorus*. *Biological Control*. 2005; 50:787-801. doi: 10.1007/s10526-004-5525-3.
40. Lawson S, Griffiths M, Nahrung H, Noack A, Wingfield M, Wilcken, C. Biological control of eucalypt pests overseas and in Australia. Report Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 2014, 40p.
41. Zheng XL, Li J, Yang ZD, Xian ZH, Wei JG, Lei CL, Wang XP, LU W. A review of invasive biology, prevalence and management of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae: Tetrastichinae). *African Entomology*. 2014; 22(1):68-79, doi: 10.4001/003.022.0133.

7. ARTIGO 3: DIAGNÓSTICO PRECOCE DE RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE *EUCALYPTUS* À FORMAÇÃO DE GALHAS INDUZIDAS POR *LEPTOCYBE* INVASA FISHER & LA-SALLE, 2004 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE).

A ser submetido

RESUMO

Os eucaliptos são plantas nativas do continente australiano e atualmente cultivados em diversas regiões do mundo, nesta expansão diversos insetos nativos e exóticos passaram a utilizar estas plantas para sua sobrevivência, dentre estes a vespa-da-galha *Leptocybe invasa*. Esta oviposita em folhas, ramos jovens e pecíolos provocando a formação de galhas, em plantas de eucalipto, no entanto alguns genótipos são resistentes à formação de galhas. Neste trabalho objetivou-se comparar a constituição química dos genótipos de eucalipto relacionando-a à resistência e susceptibilidade à formação de galhas. Foi realizada a extração dos óleos das folhas e as composições foram analisadas. Na composição dos óleos essenciais dos genótipos resistentes ocorreram um conjunto de cinco constituintes que provavelmente sejam responsáveis pela resistência destas plantas à formação de galhas. Desta forma, sugerimos uma avaliação precoce dos genótipos de eucalipto quanto à resistência e suscetibilidade, com base na composição química dos óleos essenciais destas plantas, evitando perdas econômica com o cultivo dos genótipos suscetíveis.

Palavras-chave: vespa-da-galha, óleo essencial, composição química.

ABSTRACT

Early diagnosis of susceptible or resistant *Eucalyptus* genotypes to gall induced by *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae).

Eucalyptus are native plants to Australian continent and, currently, they are cultivated in several regions of the world. In this expansion several native and exotic insects started to use these plants for their survival such as *Leptocybe invasa*. The wasp lay eggs on leaves, young branches and petioles causing the formation of galls. However, there are resistant eucalyptus genotypes and susceptible to gall formation. The objective of this work was to compare the chemical composition of eucalyptus genotypes related to resistance and susceptibility to gall formation. The oils were extracted from the leaves and the compositions were analyzed. In the composition of the essential oils of the resistant genotypes there was a set of five constituents that are probably responsible for the resistance of these plants to the formation of galls. In this study, we suggest an early evaluation of eucalyptus genotypes for resistance or susceptibility, based on the chemical composition of the essential oils of these plants, avoiding economical losses and the cultivation of susceptible genotypes.

Key-words: galls wasp, essential oil, chemical composition.

7.1. Introdução

O gênero *Eucalyptus* L'Heritier 1789 é originário da Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné. Devido a sua grande adaptabilidade a diversas condições de solos e climas, seu cultivo se expandiu em todo o mundo. No entanto, o monocultivo favoreceu a expansão de alguns insetos nativos e exóticos, que passaram a causar danos econômicos a esta cultura, incluindo a vespa-da-galha *Leptocybe invasa* (SILVA et al., 2014; VECHI; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018).

A vespa-da-galha é uma praga de origem australiana, relatada pela primeira vez em Israel em 2000 e desde então, se espalhou em vários continentes (MENDEL et al., 2004; THU et al., 2009). No Brasil, foi registrada no estado da Bahia em 2008 (WILCKEN; BERTI-FILHO, 2008) e encontra-se estabelecida em diversos estados (COSTA et al., 2008; GARLET et al., 2013, RINALDI et al., 2013).

L. invasa tem coloração marrom com 1,2 mm de comprimento. Apesar de haver registro de machos (DOGANLAR, 2005), reproduzem-se por partenogênese telítica (MENDEL et al., 2004). Normalmente oviposita na nervura central das folhas, pecíolos e ramos jovens da planta, induzindo à formação de galhas para proteção e nutrição dos imaturos (MENDEL et al., 2004; THU et al., 2009). O desenvolvimento das galhas causa a seca dos ponteiros e super brotamentos dos ramos, impedindo o crescimento normal da plantas (GARLET et al., 2013).

Diversos métodos de controle vêm sendo aplicados no manejo da praga em cultivos comerciais no mundo, principalmente com uso de inseticida. No entanto, seu uso constante pode favorecer a resistência da praga e dificultar o seu controle a longo prazo (RINALDI et al., 2013). Desta forma, a resistência varietal é um método de controle, que preconiza a obtenção e utilização de cultivares resistentes, sendo considerado o método ideal (LARA, 1991; ALVES et al., 2005), trazendo benefícios econômicos e ecológicos para a agricultura (SMITH; CLEMENT, 2012). Apesar disso, o desenvolvimento de cultivares e híbridos de eucalipto são lentos e requerem muito tempo para serem lançados. Como também, por serem alógamas, podem apresentar alta variabilidade nos níveis de resistência dos híbridos, sendo encontrados materiais suscetíveis e resistentes oriundos de um mesmo material genético (LARA, 1991; ELDRIDGE et al., 1993; ALVES et al., 2005).

Este método provavelmente seja a estratégia mais adequada para plantações de eucalipto nas regiões onde ocorre a vespa-da-galha, pois técnicas eficientes para a identificação de plantas resistentes a insetos são uma preocupação primordial dos programas de melhoramento (THU et al., 2009; KULKARNI, 2010; NYEKO et al., 2010; NADEL; SLIPPERS, 2011, DITTRICH-SCHODER et al., 2012; PORTO et al., 2019). Apesar dos danos causados pela vespa-da-galha, inexiste uma metodologia que determine precocemente genótipos resistentes e suscetíveis, o que dificulta a seleção de materiais genéticos promissores. Uma vez que o cultivo de árvores é um processo demorado e requer recursos, um método que reduza o ciclo da cultura ou avance no processo de seleção podem contribuir significativamente para o sucesso do programa de melhoramento de eucalipto, sendo a seleção precoce uma das alternativas (CORRÊA et al., 2017). A resistência de plantas a pragas e doenças pode ser por mecanismos físicos e químicos (CARRANO-MOREIRA, 2014), incluindo os constituintes de óleo essenciais.

Os compostos voláteis emitidos por plantas de eucalipto, possuem ação inseticida contra pragas de interesse agrícola e florestal, sendo essas, responsáveis pela ação de defesa a estresses bióticos (FARASHIANI et al., 2016; BETT et al., 2017).

Apesar da existência de mecanismos químicos de defesa em plantas de eucalipto, o ataque da vespa-da-galha é observado em materiais genéticos utilizados em diversos plantios. A existência de genótipos suscetíveis foi verificada por Dittrich-Schroder et al. (2012), onde identificaram que 30 dos 50 genótipos apresentaram sintomas do ataque dessa praga. Além disso, os híbridos oriundos do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus*

camaldulensis expressaram maior variabilidade na severidade de infestação (0-52,34%). No entanto, até o momento é inexistente os fatores que favorecem a resistência e a suscetibilidade dos híbridos à praga, como também, a relação entre seu metabolismo secundário e a incidência da *Leptocybe invasa* em cultivos comerciais.

Os óleos essenciais são substâncias lipídicas líquidas com combinações complexas de compostos químicos, sendo em sua maioria mono e sesquiterpenos de baixo peso molecular, que conferem volatilidade em exposição ao ambiente (FRANZ; NOVAK, 2010; REHMAN et al., 2016; ZAHARAN et al., 2017).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho propor um diagnóstico rápido de resistência e susceptibilidade dos genótipos de *Eucalyptus* à formação de galhas induzidas pela oviposição de *L. invasa* através da análise da composição química dos óleos essenciais.

7.2. Material e Métodos

7.2.1. Material vegetal

Dez genótipos de *Eucalyptus* híbridos (Tabela 1) foram fornecidos pela empresa Bracell Ltda (Copener Florestal) e cultivados em baldes plásticos de 5 litros com substrato composto por terra preta, areia lavada e esterco bovino (3:1:1), no viveiro da Universidade Federal de Sergipe (UFS)/Campus São Cristóvão.

Tabela1: Genótipos de *Eucalyptus* e seus parentais cedidos pela Bracell Ltda/Copener Florestal.

Genótipos	Filiação		Procedência
	Espécie mãe	Espécie pai	
1404	<i>E. urophylla</i>	<i>Eucalyptus</i> sp.	Inhambuque / Copener
1249	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Inhambuque / Copener
1250	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Inhambuque / Copener
0321	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Entre Rios/Copener
5341	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Eucalyptus</i> sp.	Aracruz/Aracruz
1724	<i>E. urophylla</i>	<i>Eucalyptus</i> sp.	- -
1277	<i>E. grandis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	Sátiro Dias/Copener
1262	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Inhambuque / Copener
1275	<i>E. camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus</i> sp.	Sátiro Dias/Copener
0292	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Entre Rios/Copener

7.2.2. Extração e análise da composição química dos óleos essenciais

As folhas dos genótipos de eucalipto foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a 40°C durante cinco dias. Os óleos essenciais foram extraídos em triplicata por hidrodestilação em aparelho Clevenger modificado, utilizando amostras de 50 g de folhas secas em 2000 mL de água destilada por 140 minutos (EHLERT et al., 2006). Os óleos essenciais foram armazenados em frascos âmbar a -20°C até a análise.

As análises foram realizadas utilizando um CG/EM/DIC (GCMSQP2010 Ultra, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com um amostrador com injeção automática AOC-20i (Shimadzu). As separações foram realizadas em uma coluna capilar de sílica fundida Rtx®-5MS Restek (5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano) 30 m x 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 µm de espessura de filme, em um fluxo constante de Hélio 5.0 com taxa de 1,0 mL min⁻¹.

A temperatura de injeção foi de 280°C, 1,0 µL (10 mg mL⁻¹) de amostra foi injetado, com uma razão de *split* de 1:30. A programação de temperatura do forno iniciou-se a partir de 50°C (isoterma durante 1,5 min), com um aumento de 4°C min⁻¹, até 200°C, em seguida, a 10°C min⁻¹ até 300°C, permanecendo por 5 min. Para o CG/EM as moléculas foram ionizadas por elétrons com energia de 70 eV. Os fragmentos analisados por um sistema quadrupolar programado para filtrar fragmentos/ions com *m/z* na ordem de 40 a 500 Da e detectados por um multiplicador de elétrons.

O processo de ionização para o CG/DIC foi realizado pela chama proveniente dos gases hidrogênio 5.0 (30 mL min⁻¹) e ar sintético (300 mL min⁻¹). As espécies coletadas, e a corrente elétrica gerada foi amplificada e processada. O processamento de dados foi realizado utilizando o software CG Postrun Analysis (Labsolutions- Shimadzu).

A identificação dos constituintes foi realizada com base na comparação dos índices de retenção da literatura (ADAMS, 2007). Para o índice de retenção foi utilizando a equação de Van den Dool e Kratz (1963) em relação a uma série homóloga de *n*-alcanos (*n*C9- *n*C18). Também foram utilizadas três bibliotecas do equipamento WILEY8, NIST107 e NIST21, que permitem a comparação dos dados dos espectros com aqueles constantes das bibliotecas utilizando um índice de similaridade de 80%.

7.2.3. Determinação da suscetibilidade e resistência dos genótipos de eucalipto

O nível de suscetibilidade dos genótipos de *Eucalyptus* foi determinado por meio da adaptação do Índice de Fournier (1975) que permite estimar a porcentagem de intensidade de um dado evento nas plantas. Utilizando uma escala semiquantitativa com intervalos de 25%, permite agrupar os genótipos em cinco categorias (0 a 4), onde “0” é a ausência do evento; “1” a magnitude do evento entre 1% e 25%; “2” a magnitude do evento entre 26% e 50%; “3” a magnitude do evento entre 51% e 75% e “4” a magnitude do evento entre 76% e 100%. Neste trabalho avaliamos a incidência de galhas nas plantas, considerando 0 para genótipos resistentes, 1 baixa suscetibilidade, 2 suscetibilidade média, 3 alta suscetibilidade e 4 muito alta.

7.2.4. Análise estatística

O teor dos óleos essenciais dos genótipos de *Eucalyptus* foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), utilizando o software Sisvar®. Para a composição química dos óleos essenciais foram realizadas duas análises multivariadas, agrupamento e análise de componentes principais (PCA), utilizando o software Statistical 7.0. Posteriormente, uma matriz de dissimilaridade foi construída com base na constituição química dos óleos essenciais de cada genótipo com base em suas distâncias euclidianas. A matriz de dissimilaridade foi simplificada com dendrogramas usando o método de agrupamento de Ward. Os constituintes químicos médios e os respectivos erros padrão das médias foram obtidos com o software Graph Pad Prism®.

7.3. Resultados

Aplicando o índice de Fournier (1975), os genótipos de eucalipto 1404 (*E. urophylla* x *Eucalyptus* sp.), 1249 (*E. grandis* x *E. urophylla*), 1250 (*E. grandis* x *E. urophylla*), 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e 5341 (*Eucalyptus* sp. x *Eucalyptus* sp.) foram classificados como resistentes à formação de galhas, os genótipos 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e 1275 (*E. camaldulensis* x *Eucalyptus* sp.) como baixa suscetibilidade, 1724 (*E. urophylla* x

Eucalyptus sp.) como suscetibilidade média e 1262 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e 0292 (*E. grandis* x *E. urophylla*) como suscetibilidade muito alta.

O teor de óleos essenciais dos genótipos de eucalipto variou de 2,60 % a 1,20%. Nos genótipos resistentes o teor médio de óleo foi 1,49% e nos genótipos suscetíveis foi de 2,09%. De acordo com a análise química 35 compostos foram identificados no óleo essencial dos genótipos de *Eucalyptus*, tendo como principais constituintes o 1,8-cineol, α -pineno, *p*-cimeno, α -terpineol, γ -terpineno, α -terpinil acetato, trans-pinocarveol e borneol (Tabela 2).

Tabela 2: Teores (%) dos constituintes dos óleos essenciais dos genótipos de *Eucalyptus* resistentes (R) e suscetíveis(S) a formação de galhas, causadas por oviposição de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae).

Composto	IR	1404R	1249 R	1250R	0321R	5341R	1724S	1277S	1262S	1275S	0292S
α -pineno	932	43,97	22,26	42,37	37,74	34,36	5,73	39,42	32,59	15,31	1,60
Canfeno	946	1,37	0,62	1,06	1,31	0,82	0,25	0,75	0,43	0,34	-
β -pineno	974	0,41	0,12	0,23	0,21	0,36	1,50	2,60	0,23	-	-
α -felandreno	1002	0,66	0,18	0,17	0,26	0,27	-	-	-	-	-
Isoamil isobutirato	1007	0,92	0,30	0,12	0,16	0,17	-	-	0,08	-	-
<i>p</i> -cimeno	1020	2,79	-	0,33	0,40	0,87	7,73	0,37	2,18	6,51	32,17
1,8 cineol	1026	29,93	56,37	31,14	34,49	36,41	60,53	47,12	53,75	66,64	14,18
(Z)-b-ocimeno	1032	0,98	0,47	1,57	0,90	0,78	1,66	-	-	-	0,43
γ -terpineno	1054	0,32	0,30	-	-	0,17	17,27	0,27	1,86	3,55	42,22
(Z)-óxido de linalol	1067	-	0,24	-	0,16	0,25	-	-	-	-	-
Terpinoleno	1086	0,69	0,66	0,49	0,39	0,60	0,24	0,33	0,23	-	0,26
Linalol	1095	0,23	0,37	0,17	0,35	0,31	-	-	-	-	-
Endo-fenchol	1114	0,92	0,43	0,89	0,89	0,58	0,25	0,66	0,37	0,33	-
α -canfolenal	1122	0,37	0,28	0,35	0,46	0,43	-	0,13	0,20	-	-
Allo-ocimeno	1128	-	-	0,39	0,14	0,18	-	-	-	-	-
Trans-pinocarveol	1135	2,43	1,55	2,68	2,72	2,26	-	1,98	1,81	1,44	-
Pinocarvona	1160	0,97	0,55	0,81	1,10	0,76	-	0,61	0,58	0,44	-
Borneol	1165	1,99	0,92	2,03	1,97	1,34	0,42	0,98	0,82	0,75	-
Terpinen-4-ol	1174	0,59	0,90	2,07	0,26	0,83	1,46	0,53	0,39	0,96	3,07
α -terpineol	1186	4,29	2,29	4,02	4,85	1,74	1,82	2,40	3,62	2,19	0,94
Mirtenol	1194	-	-	-	0,16	0,92	-	0,17	-	-	-
γ -terpineol	1199	1,91	-	-	-	0,40	-	-	-	-	-
(Z)-carveol	1226	-	0,59	0,24	0,29	0,24	-	-	-	-	-
Menta-1(7),8-dien-2-ol	1227	-	1,60	0,26	0,29	0,31	-	0,26	-	0,55	-
(E)-óxido acetato de linalol	1287	-	0,17	0,13	0,35	-	-	-	-	-	-
α -terpinil acetato	1346	2,83	2,23	5,57	4,74	3,38	-	-	-	-	-
(E)-cariofileno	1417	0,41	0,37	0,54	0,58	2,50	0,47	-	0,08	-	0,16
Biclogermacreno	1500	-	-	0,23	0,39	0,21	-	-	-	-	-
(Z)-calameneno	1528	-	-	-	0,17	0,35	-	-	-	-	-
Espatuleno	1577	0,29	0,38	0,15	0,23	1,00	0,17	-	0,06	-	0,24
Globulol	1590	0,39	0,49	0,69	0,79	1,44	0,22	-	0,15	-	0,16
Viridiflorol	1592	0,23	0,28	0,53	0,74	0,44	-	-	-	-	-
Iso-leptospermona + (?)	1621	-	1,41	1,43	0,58	0,29	0,29	-	0,27	-	1,49
Leptospermona	1629	-	0,38	0,32	0,37	0,23	-	-	0,27	-	0,43
Sesquiterpeno oxigenado	1637	0,18	0,27	0,39	0,32	0,94	-	-	-	-	-
Teor de óleo (%)	-	1,20c	1,73b	1,80b	1,66b	1,26c	2,13a	1,73b	2,60a	2,26a	1,73b

IR: Índice de retenção

O componente principal primário representou 42,72% da variância total e foi relacionado negativamente com os compostos α -canfolenal ($r = -0,98$), α -terpeil acetato ($r = -0,91$), viridiflorol ($r = -0,89$), borneol ($r = -0,89$), canfeno ($r = -0,88$), linalol ($r = -0,86$), trans-pinocarveol ($r = -0,84$), endofechol ($r = -0,83$), globulol ($r = -0,81$), sesquiterpeno oxigenado ($r = -0,78$), α -pineno ($r = -0,77$), terpinoleno ($r = -0,76$) e α -felandreno ($r = -0,72$) (Figura 1).

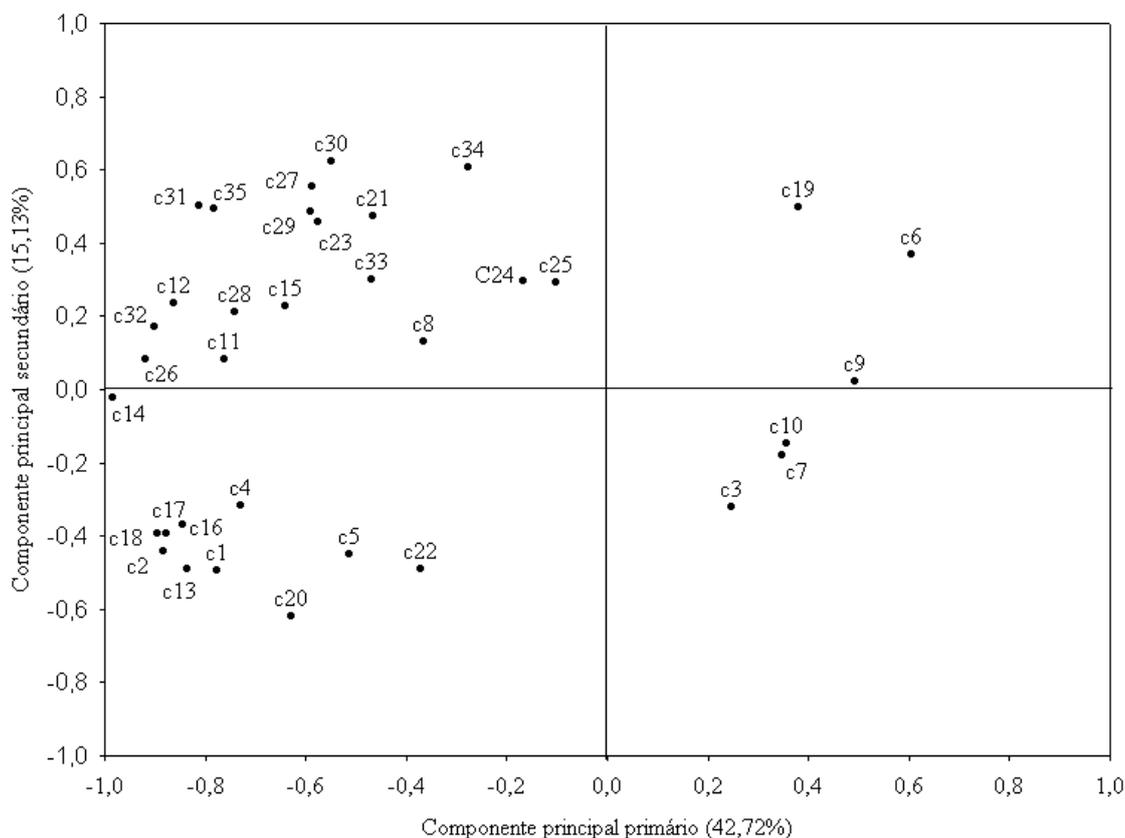


Figura 1: Distribuição dos constituintes químicos do óleo essencial de genótipos de *Eucalyptus* spp. resistentes (R) e suscetíveis (S) à *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) em relação aos dois componentes principais através da análise de componente principal (ACP). Compostos: (C₁) α -pineno, (C₂) canfeno, (C₃) β -pineno, (C₄) α -felandreno, (C₅) isoamil isobutirato, (C₆) *p*-cimeno, (C₇) 1,8-cineol, (C₈) (*Z*)-*b*-ocimeno, (C₉) γ -terpineno, (C₁₀) (*Z*)-óxido-de-linalol, (C₁₁) terpinoleno, (C₁₂) linalol, (C₁₃) endo-fenhol, (C₁₄) α -canfolenal, (C₁₅) allo-ocimeno, (C₁₆) trans-pinocarveol, (C₁₇) pinocarvona, (C₁₈) borneol, (C₁₉) terpinen-4-ol, (C₂₀) α -terpineol, (C₂₁) mirtenol, (C₂₂) γ -terpineol, (C₂₃) (*Z*)-carveol, (C₂₄) menta-1(7),8-dien-2-ol, (C₂₅) (*E*)-óxido acetato de linalol, (C₂₆) α -terpinil acetato, (C₂₇) (*E*)-cariofileno, (C₂₈) biciclogermacreno, (C₂₉) (*Z*)-calameneno, (C₃₀) espatulenol, (C₃₁) globulol, (C₃₂) viridiflorol, (C₃₃) iso-leptospermona, (C₃₄) leptospermona, (C₃₅) sesquiterpeno oxigenado.

A análise de grupamento definiu a formação de quatro grupos químicos. Grupo I representado pelo genótipo 0292 (S) com principais constituintes o γ -terpineno (42,22%), *p*-cimeno (32,17%) e 1,8 cineol (14,18%); Grupo II: 1249 (R), 1724 (S) e 1275 (S) com o 1,8 cineol (56,37% a 66,64%), α -pineno (5,73% a 22,26%), γ -terpineno (0,30% a 17,24%) e α -terpineol (1,82% a 2,29%); Grupo III: 1277 (S) e 1262 (S) com o 1,8 cineol (47,12% a 53,75%), α -pineno (32,59% a 39,42%), α -terpineol (2,40% a 3,62%) e trans-pinocarveol (1,81% a 1,983%) e o Grupo IV: 1404 (R), 1250 (R), 0321 (R), 5341 (R) com 1,8 cineol

(36,41% a 29,93%), α -pineno (34,36% a 43,97%), α -terpineol (1,74% a 4,85%) e α -terpinil acetato (2,83% a 5,57%) como principais constituintes (Figuras 2 e 3).

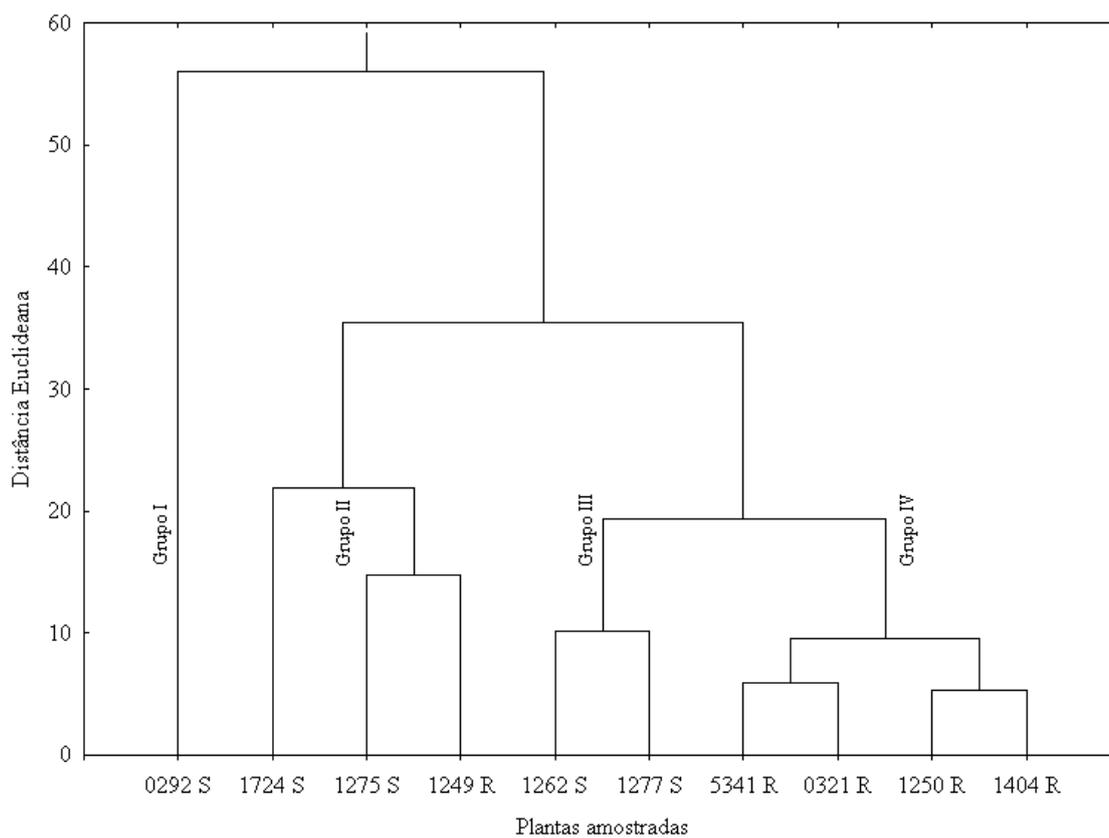


Figura 2: Dendrograma bidimensional representando a similaridade entre genótipos de *Eucalyptus* resistentes (R) e suscetíveis (S) à *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) para composição química do óleo essencial.

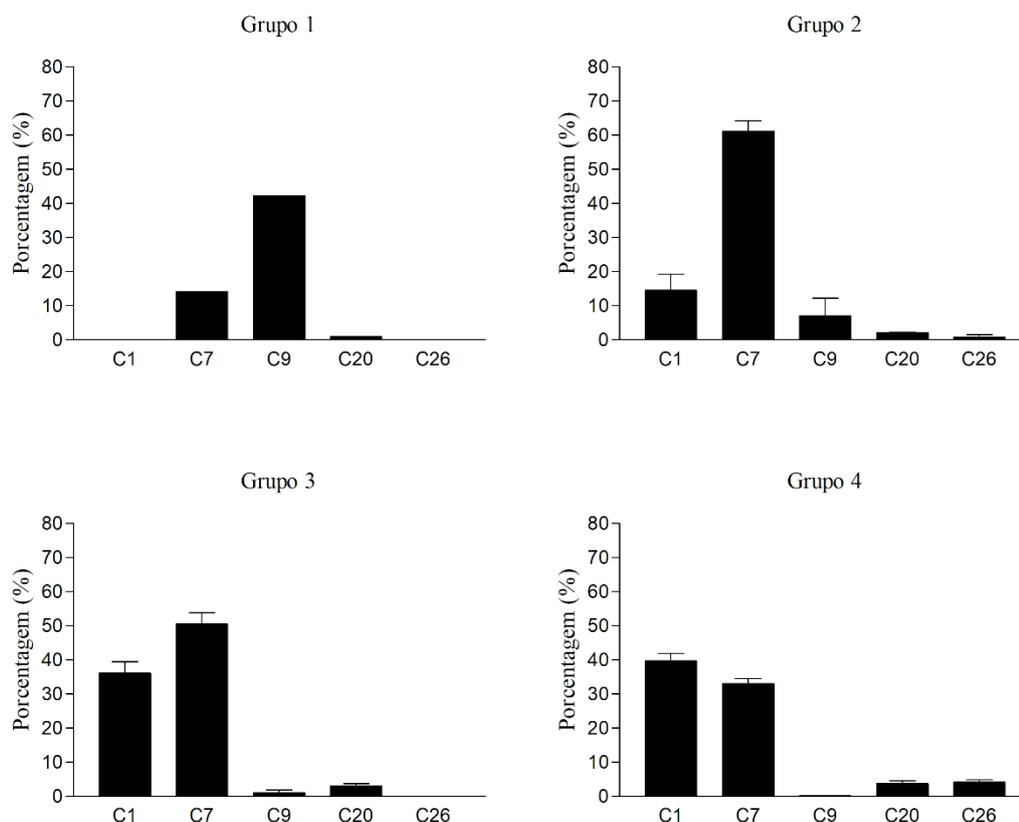


Figura 3: Médias dos constituintes químicos dos óleos essenciais dos genótipos de eucaliptos, grupos de 1-4. (C1) α -pineno, (C7) 1,8-cineol, (C9) γ -terpineno, (C20) α -terpineol, (C26) α -terpinil acetato.

Os constituintes químicos α -felandreno, linalol, α -terpinil acetato, viridiflorol, sesquiterpeno oxigenado foram produzidos por todos os genótipos de *Eucalyptus* resistentes à formação de galhas (1404, 1249, 1250, 0321 e 5341). Além destes, os compostos (Z)-óxido de linalol, allo-ocimeno, γ -terpineol, (Z)-carveol, (E)-óxido acetato de linalol, biciclogermacreno e (Z)-calameneno foram identificados apenas nos genótipos resistentes, porém nem todos os genótipos resistentes os produziram (Tabela 2).

As correlações entre α -felandreno e isoamilisobutirato ($r=0,94$), α -terpinil acetato e biciclogermacreno com o viridiflorol (0,95 e 0,92 respectivamente), foi positiva. Os compostos α -felandreno e γ -terpineol ($r=0,88$), α -canfolenal, (Z)-carveol e viridiflorol com o linalol (0,85, 0,83 e 0,83), allo-ocimeno e α -terpinil acetato (0,82), (Z)-carveol e iso-leptospermona (0,83), α -terpinil acetato e biciclogermacreno (0,82), espatulenol, globulol e sesquiterpeno oxigenado com o (Z)-calameneno (0,84, 0,88 e 0,87) e o espatulenol e mirtenol com sesquiterpeno oxigenado (0,89 e 0,85) correlacionaram-se positivamente entre si (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficiente de correlação para os constituintes químicos (C1 a C35) do óleo essencial de genótipos de *Eucalyptus* spp.

Compostos	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17	c18	c19	c20	c21	c22	c23	c24	c25	c26	c27	c28	c29	c30	c31	c32	c33	c34	c35	
c1		0,88	0,12	0,58	0,48	-0,74	-0,18	0,05	-0,54	-0,28	0,53	0,45	0,92	0,79	0,47	0,95	0,91	0,88	-0,59	0,76	0,25	0,41	0,18	-0,05	-0,12	0,63	0,21	0,45	0,25	0,11	0,38	0,55	0,22	-0,07	0,41	
c2			-0,02	0,80	0,65	-0,65	-0,28	0,32	-0,42	-0,27	0,64	0,67	0,98	0,87	0,47	0,88	0,94	0,97	-0,52	0,82	0,19	0,54	0,31	0,01	-0,06	0,80	0,26	0,60	0,31	0,19	0,49	0,75	0,27	-0,03	0,46	
c3				-0,25	-0,21	-0,21	0,23	-0,01	0,34	-0,24	-0,10	-0,37	0,08	-0,26	-0,22	-0,11	-0,15	-0,13	-0,22	-0,16	0,05	-0,08	-0,33	-0,21	-0,19	-0,35	-0,15	-0,24	-0,15	-0,25	-0,31	-0,34	-0,29	-0,58	-0,26	
c4					0,94	-0,32	-0,39	0,34	-0,33	-0,25	0,77	0,66	0,69	0,72	0,17	0,56	0,68	0,73	-0,31	0,54	0,18	0,88	0,20	-0,01	0,04	0,60	0,34	0,26	0,26	0,41	0,46	0,51	0,06	-0,08	0,44	
c5						-0,26	-0,27	0,21	-0,27	-0,22	0,71	0,50	0,54	0,52	-0,07	0,41	0,53	0,57	-0,30	0,48	-0,05	0,93	0,11	0,03	0,16	0,36	0,10	-0,05	-0,01	0,23	0,19	0,24	0,01	-0,17	0,18	
c6							-0,46	-0,10	0,07	0,04	-0,37	-0,46	-0,71	-0,60	-0,30	-0,75	-0,70	-0,67	0,80	-0,58	-0,23	-0,12	-0,39	-0,31	-0,19	-0,44	-0,23	-0,32	-0,23	-0,10	-0,33	-0,43	-0,39	0,26	-0,37	
c7								-0,24	0,51	0,50	-0,40	-0,22	-0,21	-0,35	-0,36	-0,14	-0,19	-0,25	-0,48	-0,12	-0,16	-0,31	0,03	0,39	0,28	-0,42	-0,22	-0,36	-0,22	-0,29	-0,34	-0,37	0,03	-0,48	-0,28	
c8									0,44	-0,39	0,36	0,28	0,33	0,28	0,55	0,01	0,06	0,38	0,28	0,23	0,01	0,18	0,16	-0,21	-0,12	0,56	0,32	0,40	0,11	0,22	0,42	0,46	0,40	0,02	0,31	
c9										0,08	-0,38	-0,41	-0,38	-0,52	-0,26	-0,62	-0,59	-0,41	0,09	-0,29	-0,20	-0,17	-0,31	-0,22	-0,14	-0,40	-0,09	-0,28	-0,21	-0,18	-0,26	-0,39	-0,15	-0,47	-0,33	
c10											-0,62	-0,31	-0,23	-0,42	-0,19	-0,09	-0,13	-0,19	-0,06	-0,17	-0,15	-0,14	-0,23	0,17	-0,11	-0,30	-0,24	-0,20	-0,15	-0,30	-0,34	-0,28	-0,27	-0,39	-0,24	
c11												0,79	0,56	0,76	0,30	0,48	0,53	0,57	-0,16	0,29	0,32	0,55	0,59	0,31	0,43	0,63	0,48	0,24	0,32	0,61	0,62	0,54	0,45	0,24	0,62	
c12													0,56	0,85	0,37	0,58	0,67	0,64	-0,33	0,39	0,39	0,27	0,83	0,52	0,50	0,78	0,54	0,60	0,55	0,63	0,76	0,83	0,56	0,42	0,72	
c13														0,81	0,54	0,90	0,92	0,97	-0,50	0,82	0,15	0,45	0,25	-0,02	-0,12	0,78	0,20	0,59	0,24	0,09	0,43	0,71	0,30	-0,11	0,41	
c14															0,56	0,84	0,89	0,86	-0,44	0,66	0,45	0,37	0,56	0,14	0,11	0,87	0,56	0,72	0,59	0,53	0,79	0,87	0,43	0,33	0,74	
c15																0,55	0,45	0,62	0,20	0,37	0,29	-0,13	0,34	-0,06	-0,19	0,82	0,44	0,74	0,36	0,27	0,63	0,73	0,59	0,36	0,62	
c16																	0,97	0,91	-0,59	0,77	0,29	0,31	0,33	0,11	-0,05	0,73	0,27	0,60	0,36	0,17	0,49	0,69	0,31	0,05	0,51	
c17																			0,93	-0,63	0,82	0,27	0,41	0,35	0,09	-0,03	0,75	0,27	0,63	0,39	0,20	0,50	0,74	0,25	0,07	0,49
c18																																				0,50
c19																																				-0,13
c20																																				0,07
c21																																				0,85
c22																																				0,14
c23																																				0,14
c24																																				0,18
c25																																				0,07
c26																																				0,69
c27																																				0,94
c28																																				0,62
c29																																				0,87
c30																																				0,89
c31																																				0,98
c32																																				0,70
c33																																				0,33
c34																																				0,29
c35																																				

Compostos: (C1) a-pineno, (C2) canfeno, (C3) b-pineno, (C4) a-felandreno, (C5) isoamil isobutirato, (C6) p-cimeno, (C7) 1,8-cineol, (C8) (Z)-b-ocimeno, (C9) g-terpineno, (C10) (Z)-óxido-de-linalol, (C11) terpinoleno, (C12) linalol, (C13) endo-fenhol, (C14) a-canfolenal, (C15) allo-ocimeno, (C16) trans-pinocarveol, (C17) pinocarvona, (C18) borneol, (C19) terpinen-4-ol, (C20) a-terpineol, (C21) mirtenol, (C22) g-terpineol, (C23) (Z)-carveol, (C24) menta-1(7),8-dien-2-ol, (C25) (E)-óxido acetato de linalol, (C26) a-terpinil acetato, (C27) (E)-cariofileno, (C28) biciclogermacreno, (C29) (Z)-calameneno, (C30) espatulenol, (C31) globulol, (C32) viridiflorol, (C33) iso-leptospermona, (C34) leptospermona, (C35) sesquiterpeno oxigenado.

7.4. Discussão

Os teores de óleos essenciais são relativamente maiores nos genótipos de eucalipto suscetíveis à formação de galhas induzida por *L. invasa*, como os óleos essenciais são metabólitos secundários produzidos para defesa das plantas (KNAAK; FIUZA, 2010), provavelmente os genótipos com ataque da vespa-da-galha e desenvolvimento de galhas produzam maiores teores de óleo essenciais como defesa. Corroborando com Morais e Castanha (2012), que observaram maiores concentrações de monoterpenos no óleo essencial de manjeriço atacados por cochonilhas e por Queiroz-Voltan et al. (1995) em populações de *Hyptis suaveolens* com ataque de herbívoros, onde produziram maior quantidade de óleo essencial.

Os genótipos de eucalipto foram caracterizados pela alta variabilidade dos constituintes nos óleos essenciais. Essa alta variabilidade foi observada dentro de genótipos suscetíveis e resistentes de modo que os genótipos foram distribuídos dentro dos grupos de resistência e susceptibilidade, com exceção do grupo II, que agrupou genótipos suscetíveis (1724, 1275) com o genótipo resistente (1249). Essa variação na composição química dos óleos essenciais é relatada em diversos trabalhos (BATISH et al., 2008; AKIN et al., 2010; HUANG et al., 2015; SEWANU et al., 2015; KNEZEVIC et al., 2016; HAMZAVI; MOHARRAMIPOUR, 2017) e pode estar associada a fatores abióticos, como: luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição, época e horário de coleta, técnicas de colheita e pós-colheita (MORAES, 2009; BAPTISTA et al., 2015), pela idade da folha e fase fenológica (MORAES, 2009; SALEM et al., 2018). Como as plantas aqui pesquisadas estavam submetidas às mesmas condições ambientais e manejo, provavelmente a genética (MORAES, 2009; GHAFAR et al., 2015; SEBEI et al., 2015) e a interação inseto-planta (MORAES, 2009) influenciaram na diversidade de constituintes químicos de óleos essenciais dos genótipos de eucalipto.

Foi também observado que plantas com os mesmos parentais apresentaram variação na composição química dos óleos essenciais e no nível de resistência e susceptibilidade (Tabelas 1 e 2). Cruzamentos interespecíficos entre espécies puras formam genótipos híbridos que podem sintetizar novos compostos diferindo de seus pais (LOUMOAMOU et al., 2009), uma vez que sua estrutura genética é resultante da combinação dos genes dos parentais, além do citoplasma do genitor feminino com o DNA das mitocôndrias e cloroplastos (SUN et al., 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013), onde o conjunto de genes herdados podem ou não se expressarem em determinadas plantas.

Segundo Sun et al. (2004), mesmo que todos os genes dos parentais sejam herdados pelo híbrido, seu desempenho ou fenótipo pode ser diferente de seus pais, demonstrando a heterose. Pois com raras exceções, as células de um organismo possuem os mesmos genes, mas durante o desenvolvimento deste, as exigências metabólicas são diferentes e os mecanismos de controle liga e desliga genes expressam um conjunto de metabólitos específicos (MARTINS; MACIEL FILHO, 2010) e a evolução do fenótipo é decorrente das mudanças nos padrões espaciais e temporais da expressão gênica (DOEBLEY et al., 1998).

Os genótipos de *Eucalyptus* analisados não apresentam resistência física, visto que ocorre oviposição da vespa-da-galha inclusive nas plantas resistentes à formação de galhas. O que provavelmente promove a resistência dos genótipos de *Eucalyptus* analisados é o sinergismo dos compostos identificados nos óleos essenciais destes genótipos, uma vez que mesmo tendo oviposição não ocorre a formação de galhas.

Desta forma, propõe-se aqui um método precoce de seleção de genótipos de eucalipto suscetíveis ou resistentes ao desenvolvimento de galhas provocado pela *L. invasa*, pela ocorrência destas substâncias na composição do óleo essencial das plantas, evitando despesas com plantio e manutenção das plantas em campo e, assim, ganho de tempo uma vez que não seria necessário aguardar o desenvolvimento da planta para verificar se houve ou não formação de galhas.

A resistência varietal é uma ferramenta valiosa para o Manejo Integrado de Pragas, trazendo benefícios econômicos e ecológicos para a agricultura (SMITH; CLEMENT, 2012). Estudos de seleção precoce vêm sendo desenvolvidos com diversas espécies florestais como o carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*) (FARIAS NETO, 2003), a seringueira (*Hevea brasiliensis*) (GONÇALVES et al., 1998), pinheiros (*Pinus taeda*) (XIANG et al., 2002; PALUDZYSZYN FILHO et al., 2003) (*Pinus banksiana*) (WENG et al., 2007), incluindo o *Eucalyptus* sp. para diversos fins (CHAVES et al., 2004; MASSARO et al., 2010; SAMPAIO et al., 2016).

7.5. Conclusões

Cinco dos dez genótipos de eucalipto avaliados foram resistentes à formação de galhas oriundas da oviposição por *L. invasa*. Os constituintes dos óleos essenciais foram identificados como marcadores relevantes para a resistência dos genótipos de eucalipto à formação de galhas. Os genótipos resistentes foram agrupados com sucesso quando submetidos à comparação de seus constituintes de óleos essenciais em estágios iniciais de desenvolvimento.

7.6. Referências Bibliográficas

ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**, 4th Edition. Illinois USA: Allured Publishing Corporation, Carol Stream, p 804, 2007.

AKIN, M.; AKTUMSEK, A.; NOSTRO, A. Antibacterial activity and composition of the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. and *Myrtus communis* L. growing in Northern Cyprus. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n.4, p. 531-535, 2010.

ALVES, A. C.; LOURENÇÃO, A. L.; MELO, A. M. T. Resistência de Genótipos de Aboboreira a *Bemisia tabaci* (Genn.) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 973-979, 2005.

BAPTISTA, E.B.; ZIMMERMANN-FRANCO, D.C.; LATALIZA, A.A.B.; RAPOSO, N.R.B. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Eucalyptus smithii* against dermatophytes. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 48, n.6, p. 746-752, 2015.

BATISH D.R.; SINGH H.P.; KOHLI R.K.; KAUR S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 2166–2174, 2008.

BETT, P. K.; DENG, A. L.; OGENDO, J. O.; KARIUKI, S. T.; KAMATENESI-MUGISHA, M.; MIHALE, J. M.; TORTO, B. Residual contact toxicity and repellence of *Cupressus lusitanica* Miller and *Eucalyptus saligna* Smith essential oils against major stored product insect pests. **Industrial Crops and Products**, v.110, n.30, p.65-74, 2017.

CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo integrado de pragas: Fundamentos ecológicos, conceitos e táticas de controle**. Technical books editora, 2014, 349p.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.

CORRÊA, T. R.; PICOLI, E. A. T.; SOUZA, G. A. S.; CONDÉ, S. A.; SILVA, N. M.; LOPES-MATTOS, K. L. B.; RESENDE, M. D. V.; ZAUZA, E. A. V.; ODA, S. Phenotypic markers in early selection for tolerance to dieback in Eucalyptus. **Industrial Crops & Products**, 107, p. 130 -138, 2017.

COSTA V. A.; BERTI FILHO, A.; WILCKEN, C. F.; STAPE, J. L. LASALLE, J.; TEIXEIRA, L. D. Eucalyptus gall wasp, *Leptocybe invasa* Fisher & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) in Brazil: New forest pest reaches the New World. **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 2, p. 136-139, 2008.

DANTAS, J. O.; ARAGÃO, J. R. V.; LISI, C. S. SILVA, E. C.; ANCHIETA, R. L.; MOURA, C. S.; MASSON, M. V.; RIBEIRO, G. T. Oviposition of the gall wasp *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) and morphological changes in *Eucalyptus* spp. genotypes susceptible. Submetido a revista Scientia Plena.

DITTRICH-SCHODER, G.; WINGFIELD, M.; HURLEY, B.; SLIPPERS, B. Diversity in *Eucalyptus* susceptibility to the gall-forming wasp *Leptocybe invasa*. **Agricultural and Forest Entomology**, p1-9, 2012.

DOEBLEY, J.; LUKENS, L. Transcriptional regulators and the evolution of plant form. **Plant Cell**, v. 10, p. 1075-1082, 1998.

DOGANLAR, O. Occurrence of *Lectocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Chalcidoidea) on *Eucalyptus camaldulensis* in Turkey, with a description of the male sex, **Zoology in the Middle East**, v. 35, n.1, p. 112-114, 2005.

EHLERT, P. A. D.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; PAULA, J. W. A.; CAMPOS, D. A.; ALVIANO, C. S. Tempo de hidrodestilação na extração de óleo essencial de sete espécies de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, n. 8, p. 79-80, 2006.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, I.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1993. 288 p.

FARASHIANI, M. E.; AWANG, R. M.; ASSAREH, M. H.; OMAR, D.; RAHMANI, M. Fumigant toxicity of 53 Iranian *Eucalyptus* essential oils against stored product insect, *Sitophilus oryzae* L. **Iranian Journal of Forest and Range Protection Research**, v. 13, n. 2, p. 132-139, 2016.

FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V.; BIANCHETTI, A. Aplicação da seleção precoce em famílias de meio - irmãos de taxi-branco. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 1, p. 85-91, 2003.

FOURNIER L.A.; CHARPANTIER C. El tamaño de la muestra y la frecuencia de observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. **Turrialba**, n. 25, p. 45-48, 1975.

FRANZ, C.; NOVAK, J. **Sources of Essential Oils**. In: BASER, K.H.C.; BUCHBAUER, G. Handbook of Essential Oils, Science, Technology and Applications. CRC Press, p.39-82, 2010.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDINI, J.; DEPONTI, G.; SHWENGBER, C. R.; MACHADO, L. M. *Leptocybe invasa* em *Eucalyptus* sp. no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v.43, n.12, p.2175-2177, 2013.

GHAFFAR, A.; YAMEEN, M.; KIRAN, S.; KAMAL, S.; JALAL, F.; MUNIR, B.; SALEEM, S.; RAFIQ, N.; AHMAD, A.; SABA, I.; JABBAR, A. Chemical Composition and in-Vitro Evaluation of the Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential Oils Extracted from Seven *Eucalyptus* Species. **Molecules**, n. 20, p. 20487–20498, 2015.

GONÇALVES, P. S.; BORTOLETTO, N.; FONSECA, F. S.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLANI, A. A. Early selection for growth vigor in rubber tree genotypes in northwestern São Paulo State (Brazil). **Genetic and Molecular Biology**, v. 21, n. 4. 1998.

HAMZAVI, F.; MOHARRAMIPOUR, S. Chemical composition and antifeedant activity of essential oils from *Eucalyptus camaldulensis* and *Callistemon viminalis* on *Tribolium confusum*. **International Journal of Agricultural Technology**, v. 13, n. 3, p. 413-424, 2017.

HUANG, H. C.; HO, Y. C.; LIM, J. M.; CHANG, T. Y.; HO, C. L.; CHANG, T. M. Investigation of the Anti-Melanogenic and Antioxidant Characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* Flower Essential Oil and Determination of Its Chemical Composition. **International Journal of Molecular Sciences**, n. 16, p.10470-10490, 2015.

KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Potencial dos óleos essenciais de plantas no controle de insetos e microrganismos. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. 2, p. 120-132, 2010.

KNEZEVIC, P.; ALEKSIC, V.; SIMIN, N.; SVIRCEV, E.; PETROVIC, A.; MIMICA-DUKIC, N. Antimicrobial activity of *Eucalyptus camaldulensis* essential oils and their interactions with conventional antimicrobial agents against multi-drug resistant *Acinetobacter baumannii*. **Journal of Ethnopharmacology**, n 178, p. 125–136, 2016.

KULKARNI, H. D. Screening eucalyptus clones against *Leptocybe invasa* Fisher and La Salle (Hymenoptera: Eulophidae). **Karnataka J. Agric. Sci.**, v. 23, n. 1, p 87-90, 2010.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2. ed. São Paulo: Icone, 1991. 336 p.

LOUMOUAMOU, A. N.; SILOU, T. H.; MAPOLA, G. Yield and Composition of Essential Oils From *Eucalyptus citriodora* x *Eucalyptus torelliana*, a Hybrid Species Growing in Congo-Brazzaville. **Journal Essential Oil Res.**, v. 21, p. 295-299, 2009.

MARTINS, E. A. C.; MACIEL FILHO, P. R. Mecanismos de expressão gênica em eucariotos. **Revista da Biologia**, v. 4, p. 1-5, 2010.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4. p. 597- 609, 2010.

MENDEL, Z.; PROTASOV, A.; FISHER, N.; LASALLE, J. The taxonomy and natural history of *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) gen & sp. nov., an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. **Australian Journal of Entomology**, v. 43, p. 101–113, 2004.

MORAES, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, n. 27, v. 2, p.4050-4063, 2009.

MORAIS, L. A. S., CASTANHA, R. F. Composição química do óleo essencial de manjerição naturalmente submetido ao ataque de cochonilhas. **Horticultura Brasileira**, n. 30, p. 2178-2182, 2012.

NADEL, R.; SLIPPERS, B. *Leptocybe invasa*, the Blue Gum Chalcid wasp. Information Sheet ICFR/TPCP, v. 1, p. 1-5, 2011.

NYEKO, P.; MUTITU, K. E.; OTIENO, B. O.; NGAIE, G. N.; DAY, R. K. Variations in *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) population intensity and infestation on eucalyptus germplasms in Uganda and Kenya. **International Journal of Pest Management**, v. 56, p. 137-144, 2010.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SHIMOYAMA, V. R. S.; MORA, A. L. Seleção Precoce para Incremento Simultâneo do Crescimento e da Qualidade da Madeira em *Pinus taeda* L. **Boletim Pesquisa Florestal**, n. 46, p. 31- 46, 2003.

PORTO, N. A.; ROQUE, J. V.; WARTHA, C. A.; CARDOSO, W.; PETERNELLI, L.A.; BARBOSA, M. H. P.; TEÓFILO, R. F. Early prediction of sugarcane genotypes susceptible and resistant to *Diatraea saccharalis* using spectroscopies and classification techniques. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 218, p. 69-75, 2019.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; STUBBLEBINE, W. H.; SHEPHERD, G. Variação de terpenos em *Hyptis suaveolens* e seu papel na defesa contra herbívoros. *Bragantia*, v. 54, n. 2, p 217-135, 1995.

REHMAN, R.; HANIF, M. A.; MUSHTAQ, Z.; AL-SADI, A. M. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. *Food Reviews International*, v. 32, p. 117-160, 2016.

RINALDI, D. A. M. F.; BARBOSA, L. R.; WILCKEN, C. F.; ZACHÉ, B.; ARAÚJO, M. M.; CARVALHO, R. C. Z. Ocorrência de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) em mudas de eucalipto no estado do Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 75, p. 327-330, 2013.

SALEM, N.; KEFI, S.; TABBEN, O.; AYED, A.; JALLOULI, S.; FERES, N.; ELKAHOUI, S. Variation in chemical composition of Eucalyptus globulus essential oil under phenological stages and evidence synergism with antimicrobial standards. *Industrial Crops and Products*, n. 124, p. 115–125, 2018.

SAMPAIO, T. F.; DALCIN, T. E.; BOGIANI, J. C.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A. Selection of Eucalyptus clones and adjustment of potassium doses for extended drought in Bahia savanna. *Revista Árvore*, v.40, n.6, p.1031-1039, 2016.

SEBEI, K.; SAKOUHI, F.; HERCHI, W.; KHOUJA, M. L.; BOUKHCHINA, S. Chemical composition and antibacterial activities of seven Eucalyptus species essential oils leaves. *Biological Research*, v. 48, n. 7, p. 1-5, 2015.

SEWANU, S. O.; BONGEKILE, M. C.; FOLUSHO, O. O.; ADEJUMOBI, L. O.; ROWLAND, O. A. Antimicrobial and efflux pumps inhibitory activities of *Eucalyptus grandis* essential oil against respiratory tract infectious bacteria. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 9, n. 10, p. 343-348, 2015.

SILVA, D.E.M.; AZEVEDO, L.A.S.; POLTRONIERI, T.P.S. Avaliação da resistência de espécies de eucalipto à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter). *Summa Phytopathologica*, v.40, n.1, p.54-62, 2014.

SMITH, C.M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annual Review Entomology*, v. 57, p.309–328, 2012.

SUN, Q.; WU, L.; NI, Z.; MENG, F.; WANG, Z.; LIN, Z. Differential gene expression patterns in leaves between hybrids and their parental inbreds are correlated with heterosis in a wheat diallel cross. *Plant Science*, v. 166, n. 3, p. 651–657, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre:Artemed, 2013. 954p.

THU, P. Q.; DELL, B.; BURGESS, T. I. Susceptibility of 18 eucalypt species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. *Science Asia*, v.35, p.113-117, 2009.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P.D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography**, n. 11, p. 463-471, 1963.

VECHI, A.; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. **Revista Valore**, v. 3, n. 1, p. 495-507, 2018.

WENG, Y. H.; TOSH, K. J.; PARK, Y. S.; FULLARTON, M. S. Age-related trends in genetic parameters for jack pine and their implications for early selection. **Silvae Genetica**, v. 56, n. 5, p. 242-252, 2007.

WILCKEN, C. F.; BERTI FILHO, E. **Vespa-da-galha do eucalipto (Leptocybe invasa) (Hymenoptera: Eulophidae): nova praga de florestas de eucalipto no Brasil**. Piracicaba: IPEF, 2008. 11p.

XIANG, B.; LI, B.; ISIK, F. Time trend of genetic parameters in growth traits of *Pinus taeda* L. **Silvae Genetica**, v. 52, n. 3-4, p. 114-121, 2002.

ZAHARAN, H. El-D. M.; ABOU-TALEB, H. K.; ABDELGALEIL, S. A. M. Adulticidal, larvicidal and biochemical properties of essential oils against *Culex pipiens* L. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, p. 133–139, 2017.

3. CONCLUSÕES GERAIS

Eucalipto é uma planta produzida em diversos países e utilizada para diversos fins, gerando emprego e renda. O Brasil oferece condições adequadas para sua produção e atualmente existem grandes áreas plantadas em todas as regiões do país. Com a expansão dos plantios, diversos insetos nativos passaram a causar danos nas plantações e, portanto, tornaram-se pragas, além de outros insetos que aqui foram introduzidos. Esses insetos estão distribuídos em diversas ordens e famílias, com diversos hábitos alimentares, incluindo os galhadores.

Os insetos galhadores fazem parte de uma guilda especializada que induz a formação de galhas nas plantas hospedeiras. A vespa-da-galha *Leptocybe invasa* oviposita na nervura central das folhas, pecíolos e ramos jovens de diversas espécies de eucalipto induzindo a formação de galhas. A galha é formada pela hiperplasia e hipertrofia celular servindo de abrigo e fonte de nutrição para as formas imaturas da vespa.

No entanto, existem genótipos de eucalipto que não desenvolvem galhas apesar da ocorrência de oviposição da vespa. Assim, existem genótipos suscetíveis e genótipos resistentes à formação de galhas, nos perguntamos, qual seria a natureza da resistência. Portanto, neste trabalho objetivou-se analisar se a resistência é de natureza física ou química, além de registrar pela primeira vez a ocorrência de galhas em *Eucalyptus globulus* na região Nordeste da Bahia.

Após as análises morfológica e química dos genótipos de eucalipto, pode-se concluir que provavelmente o sinergismo dos componentes dos óleos essenciais promovem a resistência à formação de galhas, uma vez que ocorre oviposição em genótipos resistentes mas não houve o desenvolvimento das galhas.