

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL
DOUTORADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA SOBRE O DESENVOLVIMENTO E COMPOSTOS
SECUNDÁRIOS DA ESPINHEIRA-SANTA, ERVA-MATE E CEDRO-ROSA E NA
INCIDÊNCIA DA BROCA-DO-CEDRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

RAFAEL BORGES

LAGES, 2017

RAFAEL BORGES

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA SOBRE O DESENVOLVIMENTO E COMPOSTOS
SECUNDÁRIOS DA ESPINHEIRA-SANTA, ERVA-MATE E CEDRO-ROSA E NA
INCIDÊNCIA DA BROCA-DO-CEDRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em
Produção Vegetal do Centro de Ciências
Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito parcial para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientadora: Profa. Dra. Mari Inês Carissimi Boff
Co-orientador: Prof. Dr. Adelar Mantovani

LAGES, 2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Borges, Rafael

Influência da Cobertura Sobre o Desenvolvimento
e Compostos Secundários da Espinheira-Santa, Erva-
Mate e Cedro-Rosa e na Incidência da Broca-Do-Cedro
em Sistemas Agroflorestais / Rafael Borges. -
Lages , 2017.

112 p.: il.; 21 cm

Orientadora: Mari Inês Carissimi Boff

Co-orientador: Adelar Mantovani

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências

Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, Lages, 2017.

1. Cobertura dossel. 2. *Hypsipyla grandella*. 3.
Cedrela fissilis. 4. *Maytenus ilicifolia*. 5. *Ilex*
paraguariensis. I. Carissimi Boff, Mari Inês. II.
Mantovani, Adelar. III. Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal. IV. Influência da Cobertura Sobre o
Desenvolvimento e Compostos Secundários da Espinheira-
Santa, Erva-Mate e Cedro-Rosa e na Incidência da Broca-
Do-Cedro em Sistemas Agroflorestais.

RAFAEL BORGES

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA SOBRE O DESENVOLVIMENTO E
COMPOSTOS SECUNDÁRIOS DA ESPINHEIRA-SANTA, ERVA-MATE E
CEDRO-ROSA E NA INCIDÊNCIA DA BROCA-DO-CEDRO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Banca examinadora

Orientadora: _____
Prof.^a. Dr.^a. Mari Inês Carissimi Boff
UDESC/CAV – Lages - SC

Membro: _____
Dr. Alexandre Carlos Menezes-Neto
EPAGRI – Videira - SC

Membro: _____
Dr. Cristiano João Arioli
EPAGRI – São Joaquim - SC

Membro: _____
Dr. Tassio Dresch Rech
EPAGRI – Lages - SC

Membro: _____
Prof. Dr. Cláudio Roberto Franco
UDESC/CAV – Lages - SC

Lages, SC, 31/07/2017

Dedico

Ao meu querido pai e amigo Luiz Borges Júnior
(*in memorian*), dia virá em que os abraços
calorosos voltarão!

À minha querida mãe Luiza pelo exemplo de
superação.

Ofereço

À Camila, Pedro, Otávio e Isadora, meu
reconhecimento pelo auxílio, paciência e
carinho.

AGRADECIMENTOS

Às mãos de luz que conduziram, acalmaram, inspiraram e suportaram.

A todos os colegas em especial a Marla Hassemer e Diego Martins Magalhães.

À toda minha família pela força e carinho.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) pela possibilidade de realização do curso.

Aos meus orientadores Profa. Dra. Mari Inês Carissimi Boff e Prof. Dr. Adelar Mantovani por acreditarem que seria possível.

Aos professores e funcionários do Centro de Ciências Agroveterinárias.

À Dra. Maria Carolina Blassoli-Moraes e à Dra. Maria Izabel Radomski pelas orientações.

À FAPESC pelo financiamento das pesquisas com *Hypsipyla grandella*.

À CAPES pela bolsa sanduiche.

À Universidade da Califórnia, em especial ao Dr. Timothy Paine pela experiência e conselhos.

À Isca Technologies pelo suporte, em especial Dr. Agenor Mafra, Kim Spencer, Leandro Mafra, William Urrutia, Rodrigo Oliveira, Dra. Carmem Bernardi.

À Embrapa Cenargen, Embrapa Florestas e Embrapa Uva e Vinho, especialmente ao Dr. Miguel Borges, Dr. Raúl Laumann, Dr. André Biscaia de Lacerda, Dr. Henrique Santos e Daniel Antunes Santos.

À UNIARP em especial Talize Foppa, Marithsa Marchetti e Leyza Paloscki.

À Coopifrai por todo o apoio e auxílio.

Aos produtores Valéria Ciriello, Eduardo Ciriello, Joerberth Petkov e Márcio Dal Pizza por disponibilizarem as áreas para ensaios e coleta de insetos.

Obrigado

“O trabalho é a comunhão dos seres. Por ele nos aproximamos uns dos outros, aprendemos a auxiliarmo-nos, a unirmo-nos; daí à fraternidade só há um passo”

Léon Denis

RESUMO

BORGES, Rafael. **Influência da cobertura sobre o desenvolvimento e compostos secundários da espinheira-santa, erva-mate e cedro-rosa e na incidência da broca-do-cedro em sistemas agroflorestais.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. 112 p, Lages, SC, 2017.

A exploração racional de espécies nativas da região oeste catarinense, conduzidas em sistema agroflorestal, tem despertado o interesse de produtores pela crescente demanda de mercado por essências florestais com aplicação medicinal e cosmética. Neste sistema de consórcio de plantas a formação de um ambiente adequado às exigências de cada espécie é fundamental para sucesso dos empreendimentos, permitindo que a sucessão dos indivíduos no perfil do dossel traga altas produtividades aliada a sanidade e longevidade. Neste contexto, uma das questões fundamentais é o manejo da sombra. Este estudo avaliou o efeito do sombreamento no desenvolvimento e na produção de compostos secundários de três essências florestais: espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e cedro (*Cedrela fissilis*), consorciadas a outras espécies nativas pioneiras em sistemas agroflorestais. Foram estabelecidas duas áreas experimentais nos municípios de Lebon Régis e Fraiburgo-SC, contendo três diferentes faixas de cobertura do dossel (0-20%, 20-40% e 40-60%). Por ser o principal problema fitossanitário destacado pelos produtores nestes sistemas, a população da broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella*) foi amostrada e avaliada sua relação com a frequência de danos observada. A influência da sombra sobre a emissão de voláteis pelas plantas de *Cedrela fissilis* foi avaliada e o efeito destes compostos sobre os adultos da broca-do-cedro analisado em laboratório. A erva-mate apresentou maior produção de biomassa comercial sob sombreamento intenso (40-60%) com $845,83 \pm 580,05$ gramas por parcela quando comparada ao tratamento com menor sombreamento (0-20%) $518,33 \pm 391,99$ gramas por parcela. A biossíntese do composto secundário teobromina foi menor no tratamento 20-40% de sombra, enquanto o ácido clorogênico e a cafeína atingiram maiores concentrações nos tratamentos com taxas maiores que 20% de sombra. A espinheira-santa não apresentou diferença significativa de desenvolvimento e rendimento entre os tratamentos avaliados e a produção de compostos secundários foi favorecida pelo aumento de radiação das parcelas. Com relação ao cedro-rosa os resultados de campo indicaram que o tratamento com maior taxa de sombreamento apresentou os menores parâmetros de desenvolvimento de plantas em comparação com o sombreamento intermediário, a frequência de ataque de *H. grandella* foi maior no tratamento com menor sombreamento (0-20%). Nos experimentos de laboratório foi possível identificar 31 VOCs emitidos pelas plantas de cedro, dos quais quatro: salicilato de metila, (E)-ocimeno, DMNT e aromadendreno apresentaram variação na taxa de emissão conforme a mudança na intensidade de sombra. Foram identificadas respostas biológicas em antenas de adultos machos e fêmeas nos ensaios de eletroantenografia/GC-MS para os compostos nonanal, salicilato de metila, decanal e β -cariofileno e em túnel de vento com a mistura dos mesmos quatro compostos. Os resultados indicaram que em sombreamento variando de 20 a 40% foi possível aliar boas taxas de desenvolvimento inicial das plantas com baixa frequência de ataque da broca-do-cedro. *H. grandella* utiliza os compostos nonanal, salicilato de metila, decanal e β -cariofileno emitidos pelas plantas como recurso para a localização dos pontos de oviposição; e a hipótese mais provável que justifica os baixos índices de ataque em plantas sombreadas é a produção intensa de salicilato de metila que passa a ter efeito repelente às fêmeas de *H. grandella*.

Palavras-chave: Cobertura, Dossel, *Ilex paraguariensis*, *Maytenus ilicifolia*, *Cedrela fissilis*, *Hypsipyla grandella*.

ABSTRACT

BORGES, Rafael. **Influence of the cover on the development and secondary compounds of espinheira-santa, yerba mate and cedar and on the incidence of mahogany shoot borer in agroforestry systems.** Thesis (Doctorate in Crop Production) – Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. 112 p, Lages, SC, 2017.

The intended exploitation of native species in the mid-west region of the state of Santa Catarina in Brazil, conducted in an agroforestry system, has aroused the interest of producers considering the growing market demand for forest essences with medicinal and cosmetic application. In this intercropped system of plants, the development of an environment that meets the requirements of each species is paramount for the success of initiatives. It provides that the individual successions in the canopy profile bring high yields along with a healthy and long living system. Moreover, one of the main issues to this matter is shade management. This present study has assessed how shading might affect the development and production of secondary composites of three forest species: espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), yerba mate (*Ilex paraguariensis*), and cedar (*Cedrela fissilis*) intercropped with other pioneer native species in agroforestry systems. Two experimental areas were defined in the municipalities of Lebon Régis and Fraiburgo-SC, containing three different canopy cover (0-20%, 20-40% and 40-60%). Because this is the main plant-related problem highlighted by producers in these systems, the mahogany shoot borer (*Hypsipyla grandella*) drill population was sampled and assessed for their relationship with the frequency of injury found. The influence of shade over the emission of volatile by *Cedrela fissilis* plants was assessed and the effect of these compounds on fully grown cedar drill was studied in a laboratory. The yerba mate showed higher commercial biomass production under high shading (40-60%) and 845.83 ± 580.05 grams per plot when compared to treatment with less shading (0-20%) 518.33 ± 391.99 grams per plot. The production of the secondary composite theobromine was greater in the 0-20% shade treatment, while chlorogenic acid and caffeine reached higher concentrations in treatments with higher shade index. Regarding cedar, the field trial showed that treatment with higher shading rate had the lowest plant development parameters in comparison with intermediate shading. The attack frequency of *H. grandella* was greater in treatment with lower shading (0-20%). In laboratory experiments, it was possible to find 31 VOCs emitted by cedar plants, of which four: methyl salicylate, (E)- α -ocimene, DMNT and aromadendrene, presented variation in their emission rate, according to changes in shade intensity. Biological responses in adult female and male antennae were noted in the electroantennography / GC-MS assays for the nonanal, decanal, methyl salicylate and β -caryophyllene compounds; and in wind tunnel for the mixture of these same four compounds. Results suggest that in shading ranging from 20 to 40%, it was possible to combine good rates of initial development of plants with low attack frequency of *H. grandella* uses nonanal, decanal, methyl salicylate and β -caryophyllene emitted by plants as a resource to locate oviposition spots, and the most likely hypothesis that justifies the low attack rates in shaded plants is intense production of methyl salicylate, which starts to act as repellent to *H. grandella* female under such conditions.

Keywords: Canopy cover, *Ilex paraguariensis*, *Maytenus ilicifolia*, *Cedrela fissilis*, *Hypsipyla grandella*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das áreas de estudo.....	36
Tabela 2 – Dados de análise de solo	38
Tabela 3 – Percentual de interceptação das radiações ultravioleta (UV) e fotossinteticamente ativa (PAR) e relação vermelho.....	40
Tabela 4 – Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	46
Tabela 5 – Média \pm desvio padrão da produção de biomassa comercial (gramas) por parcela de plantas de erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	47
Tabela 6 – Média \pm desvio padrão da concentração dos compostos teobromina, ácido clorogênico e cafeína em $\mu\text{g/mL}$	49
Tabela 7 – Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	51
Tabela 8 – Média \pm desvio padrão da produção de biomassa comercial (gramas) por parcela de plantas de espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	53
Tabela 9 – Média \pm desvio padrão da concentração de fenóis totais em mg/mL e dos compostos naringina, catequina, epigallocatequina, epicatequina, epigallocatequina galato e ácido ferúlico em $\mu\text{g/mL}$	54
Tabela 10 – Percentagem radiação ultravioleta e radiação fotossinteticamente ativa.....	65
Tabela 11 - Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de cedro <i>Cedrela fissilis</i>	71
Tabela 12 – Porcentagem de plantas de cedro-rosa <i>Cedrela fissilis</i> atacadas pela broca-do-cedro <i>Hypsipyla grandella</i>	72
Tabela 13 - Média de capturas de <i>Hypsipyla grandella</i> por tratamento/ano \pm desvio padrão. 73	
Tabela 14 – Média da quantidade \pm desvio padrão em nanogramas ($\text{ng}/24\text{horas}$) dos voláteis de cedro <i>Cedrela fissilis</i>	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui esquemático de dois blocos experimentais indicando as distâncias entre as parcelas CAV/UDESC, 2017	38
Figura 2 – Equipamento fotográfico para registro da cobertura vegetal das parcelas experimentais.....	39
Figura 3 – Experimentos de Lebon Régis e Fraiburgo	41
Figura 4 – Secagem e pesagem das amostras e preparo dos extratos aquosos.....	43
Figura 5 – Detalhe do ataque de lagarta de espécie não identificada causando danos em folhas novas e ponteiros de espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	52
Figura 6 – Planta adulta de <i>Cedrela fissilis</i> à esquerda e ao lado planta de três anos de idade, CAV/UDESC, 2017.....	58
Figura 7 – Acima adultos de <i>Hypsipyla grandella</i> , abaixo à esquerda sintomas de dano inicial no meristema e ao lado, a larva e a galeria aberta no interior do ramo, CAV/UDESC, 2017.....	59
Figura 8 – Retrato panorâmico de um bloco experimental e croqui esquemático de dois blocos experimentais.....	62
Figura 9 – Detalhes das armadilhas utilizadas para o levantamento populacional de <i>Hypsipyla grandella</i>	64
Figura 10 - Esquema de montagem da estrutura para coleta de voláteis e imagem da estrutura de aeração em funcionamento, CAV/UDESC, 2017	66
Figura 11 – AGC-EAD utilizado para identificar respostas eletrofisiológicas da antena de <i>Hypsipyla grandella</i> aos compostos voláteis do cedro. B a antena montada no eletrodo, CAV/UDESC, 2017	68
Figura 12 – Túnel de vento utilizado para identificar respostas biológicas adultos de <i>Hypsipyla grandella</i> e a esquerda divisão esquemática das áreas consideradas para avaliação da reposta dos insetos, CAV/UDESC, 2017	69
Figura 13 – Média de capturas semanais de <i>Hypsipyla grandella</i>	74
Figura 14 – Análise de componentes principais (PCA) ordenados por componentes 1 e 2 dos voláteis emitidos por plantas de cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	78
Figura 15 – Cromatogramas CG/EAD dos voláteis de cedro extraídos por aeração por 24 horas (0,1 mg. mL ⁻¹) e a resposta de antenas de fêmeas (A) e macho (B): 1) Nonanal; 2) Salicilato de metila; 3) Decanal e 4) β-cariofileno.	80

Figura 16 – Cromatogramas CG/EAD dos compostos sintéticos 1) Nonanal; 2) Salicilato de metila; 3) Decanal e 4) β -cariofileno (0,1 mg. mL ⁻¹) e a resposta de antenas de fêmeas (A) e macho (B).	80
Figura 17 – Percentagem de atração \pm desvio padrão acima da nota 4 (quatro) de resposta de machos adultos de <i>Hypsipyla grandella</i> (n=7) ao tratamento testemunha e Hook [®] contendo os cairomônios de <i>Cedrela fissilis</i> em túnel de vento, CAV/UDESC, 2017.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP	Análise de Compostos Principais
CLSA	Closed-loop-stripping-analyses
CV	Coeficiente de Variação
DIC	Detector por ionização de chamas
EAG	Detector eletroantenográfico
GC	Cromatografia gasosa
GC-EAD	Cromatografia de gás acoplada a detector eletroantenográfico
GC-MS	Cromatografia de gás acoplada ao espectrômetro de massas
GLM	Modelos Lineares Generalizados
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PAST	Paleontological Statistics Software
PFNM	Produto Florestal não Madeirável
PIF	Phytochrome Interacting Factors
SAF	Sistema Agroflorestal
SAS	Síndrome de Escape ao Sombreamento
SMP	Índice Shoemaker, Mac Iean e Pratt
UPLC	Cromatografia líquida de Ultra Performace
UV	Ultravioleta
UVR8	UV Resistance Locus 8
VOCs	Compostos Voláteis Orgânicos

LISTA DE SÍMBOLOS

μg	Micrograma
μL	Microlitro
μm	Micrômetro
m.s^{-1}	Metros por segundo
mAU	Milli absorption units
mV	Milivolts
nm	Nanômetro
ns	Não significativo
$^{\circ}\text{C}$	Graus Célsius
p	Probabilidade de significância estatística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	17
2.2	ERVA-MATE (<i>Ilex paraguariensis</i>) A. St.-Hill.....	18
2.3	ESPINHEIRA-SANTA (<i>Maytenus ilicifolia</i>) Mart. ex Reissek	19
2.4	CEDRO-ROSA (<i>Cedrela fissilis</i>) Vell	20
2.5	BROCA-DO-CEDRO - <i>Hypsipyla grandella</i> (Zeller) (Lepidoptera, Pyralidae).....	21
2.5.1	Formas de controle	23
2.5.2	Semioquímicos	26
2.6	INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DESENVOLVIMENTO E NO METABOLISMO DAS PLANTAS.....	27
2.6.1	Sombreamento	28
2.7	FOTORRECEPTORES	29
2.8	METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DAS PLANTAS	31
2.8.1	Compostos orgânicos voláteis (VOCs)	32
3	EFEITO DA COBERTURA DO DOSSEL SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS DE ESPINHEIRA-SANTA (<i>Maytenus ilicifolia</i>) E ERVA-MATE (<i>Ilex paraguariensis</i>) CONDUZIDAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	33
3.1	RESUMO	33
3.2	INTRODUÇÃO	34
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.3.1	Montagem dos blocos experimentais	38
3.3.2	Colheitas e preparo de extratos	42
3.3.3	Análises de compostos secundários	43
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.4.1	Erva-mate	44
3.4.2	Espinheira-santa	50
3.5	CONCLUSÕES.....	54
4	INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO DOSSEL SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE SEMIOQUÍMICOS DO CEDRO-	

	ROSA (<i>Cedrela fissilis</i>) E NA DINÂMICA DOS DANOS CAUSADOS PELA BROCA-DO-CEDRO (<i>Hypsipyla grandella</i>) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS	56
4.1	RESUMO	56
4.2	INTRODUÇÃO	57
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	60
4.3.1	Experimento de campo	60
4.3.2	Monitoramento de adultos de <i>Hypsipyla grandella</i>	63
4.3.3	Cairomônios emitidos por <i>Cedrela fissilis</i>	64
4.3.4	Eletrofisiologia	67
4.3.5	Túnel de vento.....	68
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.4.1	Desenvolvimento de <i>Cedrela fissilis</i>	70
4.4.2	Flutuação populacional e danos de <i>Hypsipyla grandella</i>	72
4.4.3	Compostos voláteis	74
4.4.4	Respostas biológicas	80
4.5	CONCLUSÕES.....	83
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85
	APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da demanda pela erva-mate (*Ilex paraguariensis*) tem despertado o interesse de muitos produtores rurais para o seu cultivo (KRATZ et al., 2014; BARBOSA et al., 2015). Os ervais são uma excelente opção de renda para áreas anteriormente destinadas ao plantio de espécies exóticas como pinus e eucalipto (COELHO, 2010), mas também aproveitando as possibilidades criadas para o manejo agroflorestal da Reserva Legal estabelecidas pelo novo Código Florestal Brasileiro publicado em maio de 2012 (BRASIL, 2016). Os sistemas agroflorestais (SAF) são uma alternativa que se adequa às exigências legais para o estabelecimento da Reserva Legal por respeitarem a dinâmica sucessional das espécies nativas e ao mesmo tempo possibilitando a exploração comercial das plantas (ROSSA, 2013).

Nos arranjos para o sub-bosque dos SAF inseridos na região da Floresta com Araucária, outra essência de interesse é a espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*). Essa espécie é citada em levantamento realizado por Mazza et al. (2012), como o terceiro produto florestal não madeiráveis (PFNM) mais importante para as comunidades de agricultores, depois do pinhão e da erva-mate. Esse interesse pela espinheira-santa tem crescido depois do Ministério da Saúde incluir os fitoterápicos a base de *M. ilicifolia* na lista de medicamentos fornecidos pelo Sistema Único de Saúde-SUS (CARVALHO et al., 2008).

Com relação às espécies madeireiras preferidas para implantação destes SAF, o cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) merece especial destaque (ROSOT, 2007). Além do uso medicinal (CORTEZ et al., 1998), é apreciado pelas múltiplas aplicações da madeira que apresenta elevado valor comercial (REITZ, 1984).

Na cidade de Fraiburgo teve início em 2012 o plantio de SAF integrando a erva-mate, espinheira-santa e cedro-rosa, associados ao pinheiro (*Araucaria angustifolia*) e espécies pioneiras como bracatinga (*Mimosa scabrella*), fumeiro-bravo (*Solanum mauritianum*) e canela-guaicá (*Ocotea puberula*). Essa iniciativa é coordenada por uma cooperativa de pequenos produtores que implantou algumas áreas modelo na região.

Como é comum em todo processo de exploração sustentável de recursos florestais, especialmente dos PFNM, há poucas informações que possam orientar técnicos e produtores nas questões relacionados ao manejo, e que indiquem estratégias seguras de condução das áreas (FIGUEIREDO; WADT, 2000).

No sistema agroflorestal proposto pela cooperativa de Fraiburgo, a cobertura florestal tem papel de proteção das mudas de cedro-rosa e erva-mate das geadas no primeiro ano de plantio. Nos anos seguintes a poda das plantas, além de proporcionar maior disponibilidade de

luz para o sub-bosque, serve como adubo verde para as espécies comerciais. Entretanto, são desconhecidos os níveis ideais de sombreamento/radiação que permitam aliar produtividade a teores adequados de compostos secundários de interesse medicinal e nutricional.

A compreensão das condições ideais de luminosidade em sistemas agroflorestais é fundamental para o sucesso destes empreendimentos (CARNEVALE; MONTAGNINI, 2002). Poucos estudos tratam desta questão, havendo apenas dados empíricos sobre o efeito positivo do sombreamento na qualidade do chimarrão (DA CROCE, 1996; SUERTEGARA, 2002). Outros estudos demonstram que em plantas sombreadas há variação na biossíntese de compostos secundários (MAZZAFERA, 1994).

Quanto a *M. ilicifolia* e *C. fissilis*, as informações são ainda mais escassas. Há estudos que demonstram que mudas de cedro-rosa em pleno sol tem desenvolvimento superior àquelas mantidas em sombra (SANTOS et al., 2006). Outro fator de influência da sombra é a redução na intensidade do ataque da broca-do-cedro *Hypsipyla grandella*, um lepidóptero que na fase larval ataca o meristema das árvores provocando intenso rebrote e perda do valor econômico das plantas (VERGARA, 1997; RIBASKI G.; IRITANI; RIBASKI, J, 2002).

Esta pesquisa tem como objetivo identificar a influência do sombreamento no desenvolvimento vegetativo e na produção de compostos secundários de interesse nutracêutico e medicinal da erva-mate e espinheira-santa, bem como o reflexo na suscetibilidade do cedro ao ataque de *Hypsipyla grandella*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os sistemas são uma das formas utilizadas pelo homem para compreender o mundo, mas especialmente a natureza, tanto que a sua primeira aplicação prática foi proposta pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1988), na década de 50 ao estudar os organismos vivos. Como definição, sistema é o conjunto de dois ou mais elementos que interagem, com vistas a atingir um objetivo (CHURCHMAN, 1972).

Os sistemas agroflorestais (SAF) são sistemas de produção agrícola compostos por espécies arbóreas integradas a outras espécies vegetais com objetivo de produzir alimentos, fibras e madeira, através da ciclagem da biomassa (FRANKE; LUNZ; AMARAL, 1998). Cada espécie ocupa uma posição no dossel, adequada às suas características botânicas. A presença de múltiplos estratos integrados e produtivos se assemelha às condições ambientais e bióticas encontradas nas florestas nativas, favorecendo os processos naturais de regulação de distúrbios nutricionais e fitossanitários (GÖTSCH, 1995).

A sustentabilidade dos SAF depende da produção e ciclagem de grandes volumes de biomassa o que faz destes sistemas uma importante estratégia ecológica de reserva de carbono (KIRBY; POTVIN, 2007; LIMA et al., 2011). Há também a possibilidade de usá-los na conservação de plantas ameaçadas, desde que sejam considerados os interesses socioeconômicos das comunidades onde estas iniciativas são implementadas (PAQUETTE; MESSIER, 2010). Outra grande vantagem ambiental dos SAF está relacionada ao uso e conservação do solo, como a melhoria dos atributos químicos e físicos; aumento da fixação de nitrogênio; maior cobertura e redução de perdas de solo e nutrientes (SCHROTH et al., 2002; MORENO; OBRADOR; GARCÍA, 2007; IWATA et al., 2012).

Esse conjunto de características dos sistemas agroflorestais convergem para as demandas propostas pela FAO para a mitigação e adaptação dos sistemas produtivos de alimentos aos fatores geradores de mudanças climáticas relacionados à atividade agrícola (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2013).

Diversos estudos demonstram a vantagem dos SAF no aumento de rendimento em diversos cultivos, comparados à monocultura (LOREAU et al., 2001; PIOTTO et al., 2004; FORRESTER et al., 2006; HULVEY et al., 2013). Erskine, Lamb e Bristow (2006) salientam que o ganho é diretamente proporcional ao número de espécies utilizadas, no entanto, essas vantagens só podem ser observadas em arranjos bem dimensionados e manejados para adequar

as condições gerais às características botânicas de cada espécie (BAGGIO, 1992; PRETZSCH; SCHÜTZE, 2009).

No Brasil os SAF estão difundidos especialmente na região Amazônica, região Nordeste e Vale do Ribeira (SCHROTH et al., 2002; FROUFE; RACHWAL; SEOANEL, 2011; COSTA; DE ARAÚJO; DE SOUZA-MOTTA, 2016). Nestas regiões os SAF são socialmente importantes para a manutenção de muitas pequenas propriedades rurais dependentes da mão-de-obra familiar (ABDO et al., 2008).

Na região sul a realidade é bastante diferente; como os modelos convencionais de cultivo instalado nas propriedades rurais caracterizam-se pela intensa ocupação e resultados econômicos satisfatórios, isso reduziu o interesse pelos SAF (SCHREINER, 1994). Este cenário foi alterado a partir do novo Código Florestal em 2012, que determina a destinação de 20% da área das propriedades rurais como Reserva Legal, em imóveis localizados nas regiões de ocorrência do Bioma Mata Atlântica, sendo que essa não pode ser suprimida e poderá ser utilizada apenas sob regime de manejo florestal sustentável (BRASIL, 2016). Desta forma muitos produtores buscaram a recomposição das áreas destinadas a Reserva Legal com espécies nativas que possibilitassem algum tipo de exploração econômica implantando SAF (CORRÊA; FRANCO, 2014; WIVES; DE CASTILHO; MACHADO, 2015).

2.2 ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*) A. St.-Hill

A erva-mate é uma planta arbórea da família Aquifoliaceae, dióica, perenifólia, que em condições naturais atinge até 15 metros de altura (DICKEL; RITTER; BARROS, 2011). É uma espécie nativa da Mata com Araucária, adaptada ao desenvolvimento em condições de sub-bosque (LORENZI, 2000). Também pode ser encontrada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, nordeste da Argentina e leste do Paraguai (COELHO; MARIATH, 1996; COELHO; MARIATH; SCHENKEL, 2002).

As folhas e ramos da planta são usados na forma de infusão, a qual recebe o nome popular de chimarrão. A bebida é estimulante, tônica e diurética (BLUMENTHAL; GOLDBERG; BRINCKMANN, et al., 2000; WAINWRIGHT; PUTZ, 2014). O hábito do consumo da erva-mate remonta aos povos nativos do sul do Brasil e foi adotado pelos colonizadores, tornando-a uma das primeiras atividades econômicas nesta região. Até hoje nas propriedades localizadas no planalto norte e meio-oeste catarinense a erva-mate ocupa um papel de destaque como fonte alternativa de renda (COELHO; MARIATH; SCHENKEL, 2002). Esta

exploração é feita em sua maior parte em ervais nativos, com baixos níveis de produtividade, os quais vem sendo substituídos por culturas anuais como a soja (MELO, 2010).

Esta redução da oferta aliada às novas formas de consumo da erva-mate como bebida gelada e nutracêutica gerou aumento da demanda e do valor do produto em mais de 40% (ACISA, 2013). Os produtores, motivados pela alta nos preços, iniciaram a implantação de reflorestamentos com erva-mate consorciada com outras espécies florestais buscando a melhoria da matéria-prima produzida e maior rendimento econômico por unidade de área, pois o produto colhido de áreas sombreadas apresenta “gosto mais suave”, o que aumenta o valor pago pelo produto (DA CROCE, 1996; BOEGER et al., 2009).

A ação nutracêutica e medicinal da infusão de erva-mate tem sido comprovada especialmente como antioxidante (BRACESCO et al., 2003), diurética e lipolítica, podendo auxiliar em dietas de emagrecimento (SOUSA et al., 1991; ANDERSEN; FOGH, 2001). Esses efeitos se devem à presença de fenóis, flavonóides, cafeína, teobromina, teofilina, taninos e saponinas (SCHENKEL et al., 1997; FILIP et al., 2000; FILIP et al., 2001; BRANDÃO et al., 2013).

2.3 ESPINHEIRA-SANTA (*Maytenus ilicifolia*) Mart. ex Reissek

A espinheira-santa *Maytenus ilicifolia* é uma planta nativa da América do Sul, predomina no sul do Brasil, estendendo sua incidência para o Paraguai, Uruguai e leste da Argentina. No entanto, acredita-se que 40% da região de ocorrência corresponda aos três estados da região sul do Brasil (CARVALHO-OKANO, 1992). A denominação *ilicifolia* significa “o que tem folhas iguais ao *Ilex*” que é um azevinho usado como enfeite de Natal, do mesmo gênero que pertence a erva-mate (REIS; SILVA, 2004).

A planta é uma árvore perenifólia da família Celastraceae e as principais características da planta são folhas espinescentes e ramos angulosos tetra ou multicarenados (CARVALHO-OKANO; LEITÃO FILHO, 2004). Naturalmente ocupam as áreas de bordadura das matas, podendo adaptar-se a diferentes ambientes e exposições ao sol, porém o cultivo consorciado é uma estratégia para aumentar a longevidade das plantas (RADOMSKI, 1998; RADOMSKI et al., 2004).

O valor medicinal é popularmente difundido (MARIOT; BARBIERI, 2007), oficialmente é indicada pela Agência Nacional de Saúde - Anvisa para o tratamento de distúrbios digestivos, náuseas, azia e protetor da mucosa gástrica (BRASIL, 2011). Seu uso é feito através da infusão das folhas ou cápsulas contendo o extrato seco (BRASIL, 2016). Além

disso, diversos estudos demonstram outros efeitos da planta como calmante (ALONSO, 1998), antimicrobiano (ESTEVAM et al., 2009), antioxidante (MELO et al., 2001) e antineoplástica, combatendo o desenvolvimento de células cancerosas (SANTOS-OLIVEIRA; COULAUD-CUNHA; COLAÇO, 2009).

Um levantamento realizado por Mariot e Barbieri em 2010, indicou que a exploração comercial de espinheira-santa aumentou de forma progressiva, no entanto, 95% das folhas comercializadas eram oriundas de extrativismo, que em muitas áreas tem exaurido as plantas nativas. A domesticação e cultivo da espécie tem se mostrado necessária, para isso o conhecimento mais profundo de suas exigências é fundamental (REIS; SILVA, 2004).

A ação medicamentosa da espinheira-santa está relacionada principalmente à presença de triterpenos (GUTIÉRREZ et al., 2007). Em certas aplicações outros princípios ativos são utilizados como os glicolipídeos (MENDES; MACHADO; FALKENBERG, 2006), catequinas, quinonas, esteróides, saponinas, alcalóides, flavonóides e fenóis (CORSINO et al., 1998; ESTEVAM et al., 2009).

2.4 CEDRO-ROSA (*Cedrela fissilis*) Vell

O cedro-rosa é uma das árvores mais conhecidas da flora brasileira, segundo Reitz (1984). Pertence à família Meliaceae, sendo considerada uma espécie secundária, com distribuição espacial bastante ampla, compreendendo a região sul do Brasil e norte da Argentina, incluindo as Florestas Semidecíduas e Ombrófila Mista, e as demais formações florestais do território brasileiro, além de ocorrer no Paraguai, Bolívia, Peru, Colômbia e Venezuela (PENNINGTON; STYLES; TAYLOR, 1981; GARCIA et al., 2011). Em florestas primárias a densidade de plantas é baixa, no máximo três árvores por hectare, já nas formações secundárias a abundância é muito maior (GANDARA, 1996; CARVALHO, 2003).

O uso medicinal da planta baseia-se no conhecimento popular, aplicada como tônica, adstringente e no combate à febre (CARVALHO, 1994). Porém, sua aplicação mais comum é a produção de madeira, considerada leve a moderadamente pesada (densidade média de 0,55g/cm³), macia ao corte e notavelmente durável em ambiente seco (LORENZI, 2000). Suas aplicações são bastante variadas devido às suas ótimas e múltiplas propriedades, alta durabilidade quando exposta ao tempo e a facilidade em se trabalhar. É uma madeira largamente empregada em compensados, esculturas e obras de talha, modelos e molduras, esquadrias, marcenaria, na construção civil, naval, aeronáutica e instrumentos musicais (REITZ, 1984).

O grande interesse comercial fez do cedro-rosa uma das madeiras mais exploradas no Brasil (ANGELO; BRASIL, SANTOS, 2001). Os dados de exportações de madeiras nativas brasileiras relatam que o cedro-rosa aparece em quarto lugar dentre as espécies mais exportadas, apresentando ainda uma tendência crescente no mercado internacional de madeiras (LIMA; MUNK, 2015). O interesse econômico na espécie vem desde a época colonial motivando sua intensa exploração nas formações florestais nativas, exaurindo exemplares adultos com diâmetro e fuste adequados ao corte (MINETTI, 2006). Aliado a posterior expansão urbana e agrícola fizeram com que o cedro sofresse grande redução do número de indivíduos nas formações florestais (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INPE, 2016).

A espécie também é uma das árvores nativas mais eficientes no incremento médio anual em diâmetro, sendo que na região sul do Brasil, esse ganho é de 1,1 cm (CUSATIS et al., 2013). Quando comparada a outras cinco importantes plantas madeiráveis nativas, De La Reta et al. (2015) constataram que *C. fissilis* foi a que apresentou maior desenvolvimento em altura, diâmetro e produção de biomassa. Esta condição faz do cedro-rosa uma das principais essências nativas escolhida para plantios comerciais para fins madeireiros (GRIGNOLA et al., 2014), entretanto as iniciativas têm sido barradas pelos ataques da broca-do-cedro *H. grandella* (BYGRAVE; BYGRAVE, 2001).

2.5 BROCA-DO-CEDRO - *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera, Pyralidae)

O gênero *Hypsipyla* apresenta onze espécies, das quais quatro ocorrem nas Américas, dentre elas a mais conhecida é *H. grandella* (TAVERAS; HILJE; CARBALLO, 2004). No continente africano e asiático localizam-se as outras sete espécies, com destaque para *Hypsipyla robusta* que, da mesma forma que *H. grandella*, desperta interesse por atacar importantes essências florestais da família *Meliaceae* (GRIFFITHS, 2001).

A aérea de ocorrência de *H. grandella* se estende desde o sul do estado da Flórida (EUA), América Central e América do Sul (ENTWISTLE, 1967), correspondendo ao centro de origem do mogno (*Swietenia macrophylla*), cedro-espanhol (*Cedrela odorata*) e cedro-rosa (*Cedrela fissilis*). Esses dois gêneros de meliáceas são os principais hospedeiros de *H. grandella* (GRIFFITHS, 2001). Outros gêneros da família podem ser hospedeiros alternativos como *Guarea* e *Trichilia* (LAGO et al., 2006), enquanto as meliáceas dos gêneros *Toona* e *Khaya*, nativas da Ásia e África, são atacadas exclusivamente por *H. robusta*. Esta especificidade é devida aos grupos específicos de limonóides produzidos no lenho de cada grupo, fato que

sugere a co-evolução de cada espécie com seus respectivos hospedeiros (AGOSTINHO et al., 1994; BYGRAVE; BYGRAVE, 2001; OPUNI-FRIMPONG et al., 2008; PEREZ et al., 2010a).

Entre as espécies de interesse econômico hospedeiras de *H. grandella*, há evidências da existência de uma escala de preferência em que plantas do gênero *Cedrela* são mais atacadas que as do gênero *Swietenia* (D'OLIVEIRA, 2000). Yamazaki et al. (1992) relatam que essa preferência também pode ser observada dentro do gênero *Cedrela*, pois que plantas de *C. fissilis* foram atacadas com frequência duas vezes maior que plantas de *C. odorata* em plantios consorciados.

Os danos do inseto são relevantes em mudas e plantas jovens, é possível observar ataques em plantas adultas desde que haja brotações ou frutos suficientemente grandes para o desenvolvimento das lagartas (HOLSTEN; GARA, 1974). As mariposas fazem a postura no meristema apical e as lagartas ao eclodirem comem as folhas novas, perfuram o ramo principal e constroem uma galeria no tronco aonde se desenvolvem até a formação do pupário (LUNZ et al., 2010). A morte do meristema provoca a quebra da dominância apical resultando em intensa ramificação secundária, formação de plantas bifurcadas e tortuosas que perdem completamente seu valor comercial. Em casos de ataques sucessivos, além da redução do crescimento pode ocorrer a morte das plantas (YAMAZAKI et al., 1990).

De acordo com Gallo et al. (2002) e Grogan, Barreto e Veríssimo (2002), apesar do grande potencial madeireiro e o alto valor econômico das plantas de mogno e cedro-rosa, os ataques frequentes de *H. grandella* são responsáveis pelos frequentes fracassos de projetos de reflorestamento contendo tais essências florestais nas Américas. Essa realidade é ainda mais evidente nos plantios homogêneos (GUIMARÃES NETO et al., 2004; NAIR, 2007). Nem mesmo projetos de conservação e restauração florestal contendo estas espécies estão imunes à ação danosa da broca-do-cedro (BARROS et al., 2011).

O adulto de *H. grandella* é uma mariposa de hábito noturno, coloração cinza nas asas anteriores e branco hialino nas posteriores (BERTI FILHO; NAKANO, 1992). As fêmeas ao emergirem iniciam a dispersão na busca de hospedeiros. Esse voo é mais intenso nas duas primeiras noites, período em que a distância percorrida pode chegar a mais de 20 km (FASORANTI; GARA; GEISZLER, 1982).

Depois de encontrar o hospedeiro a fêmea produz o feromônio sexual para atrair os machos para cópula (HOLSTEN; GARA, 1977; BARRADAS-JUANZ; DIAZ-FLEISCHER; PÉREZ-STAPLES, 2016). Se após a cópula ocorrer alguma condição adversa, uma nova dispersão pode ser iniciada, porém as distâncias percorridas são menores (HOLSTEN; GARA,

1974). O período diário de maior intensidade de voo e postura das fêmeas é às 03h00min da madrugada, em temperaturas superiores a 15°C (GARA et al., 1976).

A capacidade das fêmeas em localizarem os hospedeiros depende do volume de folhas novas e brotos em crescimento presentes na planta, evidenciando que existe um atraente olfativo volatilizado das partes jovens do cedro e do mogno que permitem as fêmeas localizarem os pontos de postura (GRIJPMA; GARA, 1970).

O ciclo de biológico da broca-do-cedro é de 70 a 110 dias dependendo da temperatura (TAVERAS; HILJE; CARBALLO, 2004). No Brasil o número de gerações varia de 3,6 a 5 por ano (WREGGE; THOMAZINI, 2012). Cada fêmea pode depositar de 200 a 450 ovos num período de até 6,3 dias (COSTA et al., 2014) as posturas são feitas individualmente em folhas novas próximos aos ramos. As larvas eclodem após quatro dias em média, alimentam-se inicialmente das folhas novas, em seguida, iniciam o ataque ao ramo construindo o túnel onde se desenvolvem (GRIFFITHS, 2001). O período de menor viabilidade do inseto compreende o estágio de ovo até a entrada da lagarta no túnel formado nos ramos, estádios em que a ação de micro himenópteros e fungos entomopatogênicos é marcante (THOMAZINI; TEDESCHI, 2012).

2.5.1 Formas de controle

Nas últimas décadas, diversas iniciativas para o estabelecimento de estratégias de controle da broca-do-cedro vêm se mostrando infrutíferas. Isso se deve principalmente ao comportamento das lagartas de manterem-se protegidas nos túneis formados nos ramos apicais (VERGARA, 1997). No entanto, há outras características comportamentais que contribuem para tornar ainda mais complexo esse desafio, como a grande capacidade de dispersão dos adultos e a deposição dos ovos em múltiplos pontos (NEWTON et al., 1993; FLOYD et al., 2003; LUNZ et al., 2010).

O controle químico tem como alvo as lagartas no intervalo entre a eclosão e o início do ataque ao meristema com a formação do túnel, período que corresponde a no máximo 72 horas (VERGARA, 1997; COSTA, 2000). Esta condição exige que as plantas sejam mantidas sob pulverizações sucessivas de inseticidas tornando o método oneroso e extremamente prejudicial ao ambiente (WYLIE, 2001; MARTÍNEZ-VENTO et al., 2010). Alguns trabalhos de controle químico em escala experimental atingiram níveis de controle satisfatórios (GOULET; RUEDA; SHELTON, 2005; RIBEIRO, 2010), mas em condições de campo essa eficiência é afetada pela alta pluviosidade no período de incidência da praga e a dificuldade de cobertura adequada da

copa pelas pulverizações, especialmente após os dois primeiros anos de plantio (WYLIE, 2001; CUÉLLAR et al., 2009; LUNZ et al., 2010). A aplicação de inseticidas naturais formulados pelos produtores pode ser uma alternativa para redução dos custos das pulverizações, como sugerem Soto et al. (2007).

O gênero *Hypsipyla* apresenta dezenas de inimigos naturais conhecidos, entre os quais parasitóides de lagartas e pupas da ordem himenóptera, os níveis naturais de parasitismo podem chegar a 36% (BLANCO-METZLER; VARGAS; HAUXWELL, 2001; SANDS; MURPHY, 2001). Ensaio de laboratório conduzidos por Castro e Monnerat (2013) com estirpes selecionadas de *Bacillus thuringiensis* alcançaram eficácia de 100% para lagartas de 2º e 3º instar, indicando o controle biológico como uma ferramenta de manejo eficiente para *H. grandella*.

Estas evidências também indicam a possibilidade do uso da transgenia como uma estratégia futura para assegurar o cultivo intensivo de meliáceas sem o risco de perdas associadas a *H. grandella* (LOPEZ-OCHOA; APOLINAR-HERNÁNDEZ; PEÑA-RAMÍREZ, 2015).

A nutrição mineral dos hospedeiros pode interferir no ataque da broca-do-cedro, Silva Junior et al. (2014) observaram que adubações com cálcio reduziram os danos em plantas mantidas em casa de vegetação, possivelmente por induzir a formação de estruturas mais resistentes na epiderme do meristema. Em contrapartida, ensaios de campo conduzidos por Calixto et al. (2015) indicaram baixa efetividade do manejo da adubação como estratégia de controle da broca-do-cedro.

Duas outras estratégias culturais de controle merecem destaque: a poda das plantas atacadas que possibilita a retomada da estrutura original, por deixar apenas um ramo principal, a qual pode ser empregada em pequenas áreas de cultivo de meliáceas, mas não impede o atraso do desenvolvimento das plantas e alguma depreciação devido a tortuosidades das toras (CORNELIUS, 2001); e a enxertia de cedro e mogno sobre porta-enxertos de meliáceas resistentes ao ataque da *H. grandella* como *Khaya senegalensis* e *Toona ciliata* os quais transferem à copa características que reduzem de forma significativa os danos (DE PAULA et al., 1997; BYGRAVE; BYGRAVE, 2001; PEREZ et al., 2010a).

Este fato ocorre devido à alteração do arranjo dos limonóides e compostos fenólicos produzidos pelas plantas enxertadas (PEREZ et al., 2010b). Ensaio de laboratório demonstraram que a ação dos limonóides reduz a sobrevivência enquanto os alcalóides reduzem o metabolismo e o desenvolvimento das lagartas. Já os adultos sofrem malformações devido a ação dos fenóis (PÉREZ-FLORES; EIGENBRODE; HILJE-QUIROZ, 2012).

Apesar das inúmeras pesquisas visando o controle pontual do inseto, é consenso que o sucesso da mitigação dos danos de *H. grandella* no cultivo de meliáceas depende da integração de diversas estratégias (VERGARA, 1997; LUNZ et al., 2010; RUIZ et al., 2016).

Essas devem estar fundamentadas no sistema silvicultural escolhido na implantação da floresta. Exemplo disso é o efeito da densidade de plantas (PÉREZ-SALICRUP; ESQUIVEL, 2008) e o consórcio das meliáceas com outras essências florestais (COSTA et al., 2000; GUIMARÃES NETO et al., 2004; SILVA, 2007) reduzindo o nível de infestação do inseto. Este impacto positivo dos plantios consorciados é devido ao efeito barreira exercido pelas outras espécies, mas sobretudo pelo sombreamento que reduz a vulnerabilidade das meliáceas ao ataque da broca-do-cedro (SILVA; SANTOS ROSA; VIEIRA, 2013; RUIZ et al., 2016).

O emprego do sombreamento como estratégia de manejo é utilizada por muitos agricultores e comprovada por diversos pesquisadores (ENTWISTLE, 1967; BRIENZA JUNIOR, 1980; YARED; KANASHIRO; CONCEIÇÃO, 1988; SÁNCHEZ-SOTO; DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ; CORTÉS-MADRIGAL, 2009; PEREIRA et al., 2016). Entretanto, o desenvolvimento das plantas é menor requerendo a avaliação dos níveis adequados de sombra que permitam a associação de níveis aceitáveis de crescimento e baixas taxas de infestação de *H. grandella* (MAHROOF et al., 2002; RUIZ et al., 2016).

A razão das plantas sombreadas serem menos atacadas que aquelas mantidas a pleno sol precisa ser compreendida (CUNNINGHAM; FLOYD, 2002), mas há evidências que a resposta está na diferença de composição química das folhas (CUNNINGHAM; FLOYD, 2004).

Existe uma série de compostos voláteis utilizados pelos insetos para reconhecimento do ambiente e para comunicação, os quais são chamados de semioquímicos (ZARBIN; RODRIGUES; LIMA, 2009).

Alguns estão relacionados com a busca e a identificação de recursos alimentares e de locais de oviposição e recebem o nome de cairomônios (PRICE et al., 2011), enquanto outros, denominados feromônios, são voláteis produzidos por indivíduos da própria espécie e são úteis na comunicação para fins de reprodução, por exemplo (HOWSE; STEVENS; JONES, 2013). Esses semioquímicos são uma das alternativas mais promissoras para auxiliar no manejo integrado de *H. grandella* (LUNZ et al., 2010).

2.5.2 Semioquímicos

A aplicação mais comum dos feromônios sexuais é em armadilhas de monitoramento populacional de machos, orientando assim a aplicação de métodos de controle (HOWSE; STEVENS; JONES, 2013).

A identificação do feromônio sexual de *H. grandella* teve início com o trabalho de Borek et al. (1991). Análises do extrato das glândulas das fêmeas de populações da América Central indicaram três principais compostos: Z9E12-14:OH, Z3-16:Ac e 16:Ac. Posteriormente, Corrêa et al. (2000) avaliando populações brasileiras reportaram a presença de apenas dois compostos Z9E12-14:OH e Z9E12-14:Ac. Diferentes proporções dos compostos propostos foram testados em campo, sem que apresentassem efetividade na atração de machos em armadilhas (SILVEIRA et al., 2002).

Dois estudos recentes desenvolvidos com populações do México por Piñeda-Ríos (2014) e com populações brasileiras por Blassioli-Moraes et al. (2017) identificaram como feromônio sexual de *H. grandella* quatro componentes: Z9-14:OH, Z9E12-14:OH, Z9-14:Ac, Z9E12-14:OAc.

Além dos feromônios que agem na comunicação intraespecífica, há os semioquímicos produzidos pelas plantas que podem agir como cairomônios (SCHIESTL, 2010). O grupo dos cairomônios do cedro ativos para *H. grandella* é pouco conhecido, no entanto, há diversas evidências indicando que voláteis produzidos pelas folhas jovens de cedro, especialmente localizadas em pontos de intenso crescimento vegetativo, são utilizados pelas fêmeas de *H. grandella* na identificação dos nichos de oviposição onde as lagartas têm maior chance de sobrevivência (GRIJPMAN; GARA, 1970; GARA et al., 1976).

Estudos identificaram alguns compostos secundários voláteis presentes nos meristemas e folhas novas de meliáceas através da obtenção e extração dos óleos essenciais e análise química dos extratos desses óleos por GC-MS. Na sequência esses compostos foram avaliados quanto a resposta eletrofisiológica do extrato de *Swietenia macrophylla* (SOARES et al., 2003); *Guarea macrophylla* (LAGO et al., 2006); *Cedrela odorata* (DE PAULA et al., 1997; MARISCAL-LUCERO et al., 2015); *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* (MAIA et al., 2000). Entre os compostos identificados nas amostras e que apresentaram respostas nas antenas de *H. grandella* merecem destaque os sesquiterpenos β -cariofileno, ledol, 1-cubenol, guai-6-em-10 β -ol, 1-*epi*-cubenol e τ -muurolol.

Em pesquisa realizada por Abraham et al. (2014), foram identificados os cairomônios ativos para fêmeas *Hypsipyla robusta* a partir de ramos de meliáceas das espécies

Entandrophragma angolense, *Entandrophragma utile*, *Khaya anthotheca* e *Khaya ivorensis*, indicando como os principais ativos: (Z) - β -ocimeno, (Z) -3 acetato de -hex-1-enila, hexan-1-ol, nonanal, (Z)-3 butanoato de hex-1-enila, 2-ethyl hexan-1-ol, decanal, β -cariofileno, (Z)-3-hexanoato de hex-1-enila e germacreno D.

Apesar da obtenção de respostas em laboratório, não há relatos de respostas destes compostos em campo.

2.6 INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DESENVOLVIMENTO E NO METABOLISMO DAS PLANTAS

A radiação solar, composta por ondas de diferentes frequências (300 a 750 nm), é um dos principais fatores que afeta os vegetais. A luz é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas não apenas pelo aspecto energético, mas também pelos estímulos que regulam diversos processos metabólicos orientados pelas variações quantitativas e qualitativas da luz ambiente (GILMARTIN et al., 1990; ATROCH et al., 2001; FOLTA; CARVALHO, 2015).

A energia radiante que atinge as plantas sofre influência de fatores atmosféricos como a densidade do ar, umidade relativa, angulação dos raios solares, elevação, transmissividade atmosférica e cobertura de nuvens (DUGGAR, 1936; HOLMES; McCARTNEY, 1976); e localizados ou pontuais como a sombra provocada pela competição entre plantas (HOLMES; SMITH, 1977).

Plantas que se desenvolvem a pleno sol estão expostas a altos níveis de energia, entre elas a radiação ultravioleta (UV), que pode causar uma série de distúrbios conhecidos como foto-inibição e foto-oxidação (BARBER, 1995). Para evitar esses problemas, as plantas ampliam a eficiência fotossintética com o aumento da concentração da enzima rubisco e de compostos protetores dos centros de reação como as xantofilas, são capazes de absorver a radiação UV (TAIZ; ZEIGER, 2004). Outro efeito comum é o aumento na produção de compostos secundários (CECHINEL-FILHO, 2012), fato que também pode gerar alterações morfológicas como a formação de tricomas glandulares em diversas estruturas da planta (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

A radiação UV regula diversos fenômenos metabólicos e há um nível ótimo que varia entre as espécies e seu estágio de desenvolvimento (CALDWELL, 1971). Quando os níveis de radiação ultrapassam este limite, uma sequência de eventos passa ser observada como a redução da área foliar, aumento da grossura das folhas, encurtamento dos ramos e alterações na divisão,

alongamento e diferenciação celular (JANSEN, 2002; KLEM et al., 2012; ROBSON et al., 2015).

As diversas respostas à luz requerem das plantas um sofisticado aparato de identificação e transcrição das variações de intensidade, direção, duração e frequência de ondas radiantes (FANKHAUSER; CHORY, 1997). Essa função é realizada por um grupo de compostos conhecidos como fotorreceptores sensíveis as radiações UV-A, UV-B, azul, verde, vermelho e vermelho distante (KENDRICK; KRONENBERG, 1994).

2.6.1 Sombreamento

Em ambientes sombreados o balanço da radiação é alterado por haver grande redução das radiações nas faixas do azul e vermelho e em menor proporção nas do verde, amarelo e vermelho distante o qual em grande parte é transmitido para as camadas baixas do dossel (WOOLEY, 1971; HOLMES; McCARTNEY, 1976). Com isso a relação vermelho: vermelho-distante (V:VD) é reduzida bem como da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e os raios UV, prevalecendo as ondas de baixa frequência como o vermelho-distante no sub-bosque (FELDHAKKE, 2001).

As plantas apresentam diferentes níveis de exigência de luz. Finegam (1992) sugeriu a diferenciação em quatro grupos ecológicos: 1) Heliófilas efêmeras: alta capacidade fotossintética sob luz direta e baixa tolerância ao sombreamento; 2) Heliófilas duráveis: capacidade fotossintética intermediária sob luz direta e tolerância ao sombreamento em especial nos primeiros anos após a germinação; 3) Esciófitas parciais: são tolerantes mas não dependem da sombra, exigem níveis mais elevados de radiação nos estádios reprodutivos e 4) Esciófitas totais: requerem sombra em todos os estádios de desenvolvimento e não apresentam capacidade de incremento fotossintético sob radiação direta. Portanto, as condições ambientais mais adequadas ao desenvolvimento de cada planta são inerentes à espécie, ou seja, diferentes espécies podem apresentar desenvolvimento variado em resposta à determinada condição de radiação (BLOOMFIELD et al., 2014).

Especialmente o metabolismo primário é afetado pela redução da intensidade da luz incidente nas plantas, provocando ajustes morfofisiológicos na intenção de equilibrar o balanço fotossintético e a perda de água por transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2004). Estas respostas podem surgir em longo prazo, através do processo de adaptação ou através da aclimação ou plasticidade fenotípica (LUSK, 2004).

A alteração fisiológica mais comum em plantas sombreadas é o acúmulo dos compostos do fotossistema II rico em clorofila b. Dessa forma a absorção da luz vermelha pode ser aumentada na tentativa de equilibrar o fluxo energético entre os fotossistemas (RUBAN et al., 2014). As alterações morfológicas geralmente observadas são a redução da espessura e aumento da área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004) e estiolamento (VALLADARES; NIINEMETS, 2008).

Os efeitos da luz na planta são regulados por dois processos: os relacionados diretamente à fotossíntese e que envolvem processos do metabolismo primário; e aqueles controlados pelos fotorreceptores ligados à germinação, desenvolvimento das plântulas, formação do meristema apical, diferenciação, floração, produção de compostos secundários, etc (CECHINEL-FILHO, 2012; POCOOCK, 2015).

Nos sistemas agroflorestais, o conhecimento e a regulação do nível de radiação que chega a cada estrato do perfil é muito importante e em muitos casos é a prática de manejo fundamental para o sucesso dos plantios (OLDEMAN, 1990; BELLOW; NAIR, 2003). Nos estratos inferiores, o saldo de energia resulta da radiação difusa e feixes de luz direta que cruzam as plantas presentes nas camadas superiores (CHAZDON et al., 1996; BOSSELMANN et al., 2009). O efeito da cobertura vegetal nas características da radiação que atravessa o dossel varia grandemente e depende das espécies que o compõe (SIMS; GAMON, 2002). De forma geral a radiação que chega aos estratos inferiores apresenta redução das radiações na faixa do UV, azul e vermelho (ROBSON et al., 2015).

Plantas que se desenvolvem em ambientes sombreados tendem a concentrar maior biomassa nas folhas, produzindo área foliar mais ampla por unidade de massa (LEE et al., 2000). Em estudo desenvolvido por Vieira et al. (2003), a radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate, pois o microclima estabelecido pelo sombreamento influenciou de forma positiva o crescimento das plantas. Em trabalhos realizados com mudas de *Ilex paraguariensis* de até 6 meses, Inque (1983) identificou que níveis de sombreamento entre 15 e 50% foi o gradiente em que o desenvolvimento das plantas atingiu parâmetros superiores.

2.7 FOTORRECEPTORES

Os fotorreceptores são proteínas conectadas a moléculas capazes de absorver fótons de determinado comprimento de onda, conhecidas como cromóforos. A excitação destas moléculas induz a alterações na conformação eletromagnética dos fotorreceptores que convertem esta energia em potencial bioquímico (FOLTA; CARVALHO, 2015). O conjunto

cromóforo/fotorreceptor responde a radiações de comprimento de onda específico o que torna a resposta das plantas bastante precisa com relação às alterações da luz ambiente, os quais são divididos em quatro grupos principais: criptocromos, fototropinas, UVR8 (UV Resistance Locus 8) e fitocromos (SMITH, 2000; WU et al., 2012).

Os criptocromos são ativados pela luz azul e estão ligados ao florescimento e germinação, principalmente; as fototropinas tem afinidade além da luz azul ao verde e a UV-A, regulando os processos de fototropismo (CASAL, 2000).

O fotorreceptor UVR8 é ativado por pequenas elevações dos níveis de UV-B, induzindo a diversas respostas do metabolismo secundário envolvidos com a proteção das plantas (NAWKAR et al., 2013). Estas pequenas alterações podem gerar um estresse positivo nas plantas estimulando a produção de compostos antioxidantes (HIDEG; JANSEN; STRID, 2013; LIU et al., 2016), a síntese de fenóis e ativação do ácido jasmônico que contribuem para a resistência a insetos e fungos (DEMKURA; BALLARÉ, 2012).

Os fitocromos são os fotorreceptores mais estudados. Desde a primeira metade do século passado havia a suspeita de que compostos fotossensíveis modulavam diferentes comportamentos nos vegetais, mas foi após os estudos de Borthwick et al. (1952) que o mecanismo de ação dos fitocromos pode ser elucidado. Smith e Holmes (1977) demonstraram que a principal função dos fitocromos é a detecção da sombra de outras plantas gerando uma série de eventos conhecidos como Síndrome de Escape ao Sombreamento ou SAS – Shade-avoidance syndrome (SMITH, 2000). Esta resposta ao sombreamento é encontrada na maioria das angiospermas e pode ser diferente conforme a fotomorfogênese peculiar de cada espécie (BALLARÉ; CASAL, 2000; CASAL; CANDIA; SELLARO, 2013).

De maneira geral, a SAS inicia pela rápida biossíntese de auxinas e giberelinas resultando na elevação da altura, redução do diâmetro do caule, redução do número de internódios, maior expansão da área foliar individual e teores de clorofila mais altos por área foliar (HORNITSCHKE et al., 2012). Estas respostas, quando conhecidas, podem ser exploradas como uma eficiente estratégia de manejo (RUBERTI et al., 2012).

Dois tipos de fitocromos estão presentes nas plantas: o phyA que atua na germinação e o phyB que é o mais abundante depois de passado o estágio de plântula (SHARROCK; CLACK, 2002). A ativação do phyB se dá em condições de pleno sol quando a proporção entre as radiações vermelho: vermelho distante (V:VD) é elevada (SMITH, 1970). Quando essa razão diminui o phyB é parcialmente inativado dando início a um fenômeno conhecido como PIF – Phytochrome Interacting Factors, precursor do SAS (BALLARÉ, 2014). A redução da razão

V:VD é característica de ambientes sombreados em que a radiação vermelha é interceptada pelas plantas mais altas do dossel (SMITH, 1995).

A ocorrência da Síndrome de Escape ao Sombreamento – SAS depende do tempo em que o phyB é mantido desativado, permitindo a expressão da PIF que se evidencia pela transcrição de promotores de crescimento como auxina e giberelina (LI et al., 2012). Isso permite que a planta cresça rapidamente e colonize com sucesso estratos com maior disponibilidade de radiação no dossel (BALLARÉ, 2014).

2.8 METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DAS PLANTAS

Os metabólitos secundários são moléculas produzidas pelas plantas em resposta ao ambiente ou a ciclos de desenvolvimento internos (SCHMITZ et al., 2016). As pesquisas envolvendo esses compostos, que correspondem a menos de 1% do arranjo vegetal, tiveram início há menos de um século. Até então a atenção estava voltada ao metabolismo primário dos vegetais (BOURGAUD et al., 2001). Essa mudança também foi possível pelos avanços das técnicas de análise química como os métodos cromatográficos e de espectrometria de massas (BARTLE; MYERS, 2002).

A produção dos compostos secundários e seu acúmulo na planta geralmente partem de indutores externos, bióticos ou abióticos, que estimulam receptores endógenos a desencadear reações que visam a proteção ou a prevalência em caso de competição com outras plantas (ZHAO; DAVIS; VERPOORTE, 2005). Para que isso aconteça, as atividades comuns relacionadas ao metabolismo primário (crescimento, desenvolvimento e reprodução) são limitadas havendo o desvio de recursos para a produção dos metabólitos secundários (NEILSON et al., 2013).

Os metabólitos secundários podem ser divididos em quatro tipos principais: alcalóides, terpenóides, compostos fenólicos e compostos acetilênicos (HARRISON; WOODS; ROBERTS, 2012). A sua aplicação em alimentos, medicamentos e cosméticos tem gerado progressivo interesse de pesquisadores e indústrias, conforme destacam Wang et al. (2015) e Da Silva, Barreira e Oliveira (2016).

Entre as componentes da radiação solar, os raios ultravioletas (UV) são os que mais influenciam na dinâmica dos compostos secundários na planta (BOURGAUD et al., 2001), especialmente no aumento da produção de antioxidantes e filtros de defesa contra os efeitos deletérios associados a essa radiação como fenóis e carotenóides (KAROUSOU et al., 1998; JOHNSON et al., 1999). No entanto, o metabolismo e a acumulação dos compostos secundários

estimulada pela radiação UV é complexa e pode apresentar grande variação (SCHREINER et al., 2012), desde compostos que tem sua indução promovida por baixas taxas de UV (SCHREINER et al., 2009) até compostos que são favorecidos por determinadas faixas desta radiação e em casos de exposição a níveis maiores ou menores tem sua biossíntese prejudicada (JANSEN et al., 2008).

2.8.1 Compostos orgânicos voláteis (VOCs)

Todas as plantas produzem uma parcela volátil de compostos secundários a qual compõe o arranjo de compostos orgânicos voláteis (VOCs) existentes na atmosfera e que partem dos seres vivos presentes em ambientes naturais marinho e terrestre (CHAPPELL, 2008). Todas as estruturas das plantas produzem algum tipo de VOC, os quais exercem funções variadas na relação da planta com o ambiente (MAFFEI, 2010; LORETO et al., 2014).

Os VOCs são agentes diretos na relação planta-inseto, seja em eventos favoráveis como na atração de polinizadores (SCHIELSTL, 2010) e repelência de herbívoros (IIJIMA, 2014), ou prejudiciais quando favorecem a localização das plantas por insetos herbívoros (BRUCE; PICKETT, 2011).

As plantas emitem VOCs durante o crescimento e em casos de alterações ambientais como luz e temperatura, mas especialmente em resposta a condições de estresse abiótico: déficit hídrico, alta temperatura; biótico: herbívoros e patógenos (BRUNETTI et al., 2013; GLASIUS; GOLDSTEIN, 2016). Neste caso a síntese de VOCs funciona como estratégia de defesa que pode ser direta, quando afeta o agente biológico, ou indireta, quando o composto produzido atrai inimigos naturais deste agente (HILKER; MEINERS, 2011; MITHOFER; BOLAND, 2012; NIEDERBACHER; WINKLER; SCHNITZLER, 2015). Estas estratégias podem ser constitutivas, quando estão sempre presentes, ou induzidas quando surgem após iniciado o ataque de um herbívoro, por exemplo (PIERIK; BALLARE; DICKE, 2014). Qualquer das estratégias de defesa utilizadas pode sofrer influência das plantas vizinhas aumentando a resistência ou a susceptibilidade da planta (GLINWOOD; NINKOVIC; PETTERSSON, 2011).

3 EFEITO DA COBERTURA DO DOSSEL SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS DE ESPINHEIRA-SANTA (*Maytenus ilicifolia*) E ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*) CONDUZIDAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

3.1 RESUMO

O oeste e planalto catarinense dispõe de grande diversidade de essências florestais com aplicação medicinal e cosmética. Muitos destes recursos são mal explorados ou manejados de forma extrativista. O crescente interesse de produtores na implantação de sistemas agroflorestais busca explorar esse potencial de forma sustentável e viável economicamente. Esta pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito da cobertura das plantas pioneiras presentes no dossel no desenvolvimento, produção de biomassa e na produção de compostos secundários de duas essências florestais – espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) e erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Foram estabelecidas duas áreas experimentais nos municípios de Lebon Régis-SC e Fraiburgo-SC. As áreas foram implantadas no inverno de 2013, seguindo o mesmo espaçamento e arranjo de plantas. Após o primeiro ano foram instalados blocos experimentais com a poda das plantas pioneiras, estabelecendo três níveis de cobertura do dossel (0-20%, 20-40% e 40-60%) e marcadas três plantas de espinheira-santa e cinco de erva-mate por parcela, as quais foram acompanhadas quanto ao desenvolvimento e nas quais foi realizada a colheita da parte aérea com valor comercial. Com o material colhido foram preparados extratos aquosos que passaram por análises de teor dos compostos secundários ativos para cada espécie. A erva-mate apresentou maior produção de biomassa comercial sob cobertura intensa (40-60%) com $845,83 \pm 580,05$ gramas por parcela quando comparada ao tratamento com menor cobertura (0-20%), com $518,33 \pm 391,99$ gramas por parcela. A biossíntese do composto secundário teobromina foi menor no tratamento 20-40% de cobertura, enquanto o ácido clorogênico e a cafeína atingiram maiores concentrações nos tratamentos com taxas maiores que 20% de cobertura. A espinheira-santa não apresentou diferença significativa de desenvolvimento e rendimento entre os tratamentos avaliados e a produção de compostos secundários foi favorecida pelo aumento de radiação das parcelas, exceção feita ao composto epigallocatequina galato.

Palavras-chave: Abertura do dossel, metabolismo secundário, radiação fotossinteticamente ativa, radiação ultravioleta.

EFFECT OF CANOPY COVER ON THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF SECONDARY COMPOUNDS OF ESPINHEIRA-SANTA (*Maytenus ilicifolia*) AND ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*) CONDUCTED IN AGROFORESTRY SYSTEMS

ABSTRACT

The Midwest and plateau regions of the state of Santa Catarina in Brazil include a great diversity of forest essences with medicinal and cosmetic application, many of these resources are poorly exploited or managed in an extractive manner. The increasing interest of producers in the implementation of agroforestry systems leads to an interest in taking advantage of this potential in a sustainable and economically feasible manner. This research aimed to assess the effects of

canopy cover in the development and production of secondary composites of two forest essences - espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) and yerba mate (*Ilex paraguariensis*), intercropped with other pioneer native species. Two experimental areas were defined in the municipalities of Lebon Régis-SC and Fraiburgo-SC. These areas were planted in the winter of 2013, following the same spacing of planting and arrangement of plants. After the first year, experimental blocks were placed with the pruning of the pioneer plants, with three variable levels of canopy cover (0-20%, 20-40% and 40-60%). Three plants of espinheira santa and five plants of yerba mate were marked per plot, which were monitored for their development and their marketable vegetative parts were harvested. The harvested material was processed and aqueous extracts prepared to be analyzed for the presence of secondary composites. The yerba mate showed higher commercial biomass production under high cover (40-60%) with 845.83 ± 580.05 grams per plot when compared to treatment with less cover (0-20%) with 518.33 ± 391.99 grams per plot. The production of the secondary composite theobromine was greater in the 0-20% cover treatment, while chlorogenic acid and caffeine reached higher concentrations in treatments with higher cover index. Espinheira-santa showed no difference in development or yield among the assessment treatments and the production of secondary composites was favored by increased radiation in plots, except for epigallocatechin gallate.

Keywords: Canopy openness, secondary metabolism, photosynthetically active radiation, ultraviolet radiation.

3.2 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda pela erva-mate (*Ilex paraguariensis*) tem despertado o interesse de muitos produtores rurais (BARBOSA et al, 2015). Os ervais são uma excelente opção de renda para áreas anteriormente destinadas ao plantio de espécies exóticas como pinus e eucalipto, mas também aproveitando as possibilidades criadas para o manejo agroflorestal da reserva legal estabelecidas pelo novo Código Florestal de maio de 2012 (BRASIL, 2012). Outra essência florestal de interesse é a espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*), citada em levantamento realizado por Mazza et al. (2012) como o terceiro produto florestal não madeirável (PFNM) mais importante para as comunidades de agricultores da Floresta com Araucária, depois do pinhão e da erva-mate. Esse interesse pela espinheira-santa tem crescido especialmente depois do Ministério da Saúde iniciar em 2007 o programa de inclusão de fitoterápicos na lista de medicamentos fornecidos pelo Sistema Único de Saúde-SUS (CARVALHO et al., 2008).

Os sistemas de produção consorciados, em especial os sistemas agroflorestais (SAF) (NERLICH; GRAEFF-HÖNNINGER; CLAUPEIN, 2013), são destacados por Eibl et al. (2000) como o arranjo produtivo mais rentável e eficiente de produção de erva-mate. Partindo deste contexto, produtores cooperados da cidade de Fraiburgo SC, implantaram áreas modelo integrando a erva-mate, espinheira-santa e cedro-rosa associados a espécies pioneiras adultas como bracatinga (*Mimosa scabrella*), fumeiro-bravo (*Solanum mauritianum*), vassoura-de-folha-estreita (*Baccharis spicata*) e canela-guaicá (*Ocotea puberula*).

A cobertura florestal, no sistema agroflorestal proposto, tem o papel de proteção contra as geadas no primeiro ano. Nos anos seguintes, as plantas pioneiras são podadas para disponibilizar luz e matéria verde para a adubação das espécies comerciais (GÖTSCH, 1996). Neste momento surge a dúvida: qual a intensidade de cobertura ótima que alie alta produção de biomassa com valor comercial para erva-mate e espinheira-santa, bem como teores adequados de compostos secundários?

A compreensão das condições ideais de luminosidade em sistemas agroflorestais é fundamental para o sucesso destes empreendimentos (CARNEVALE; MONTAGNINI, 2002). Para erva-mate há o conhecimento do efeito positivo do sombreamento na qualidade do chimarrão (DA CROCE, 1996; SUERTEGARA, 2002), mas também na concentração de compostos secundários com valor nutracêutico como alcalóides, polifenóis e antocianinas (MAZZAFERA, 1994). Outros estudos indicam que o crescimento das plantas é superior quando mantidas sob coberturas artificiais entre 30 e 50% (MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007).

No caso da espinheira-santa há evidências que a relação entre a incidência de luz e a produtividade pode variar com o sistema de manejo empregado e o estágio de desenvolvimento da planta (STEENBOCK, 2003; ROCHA et al., 2014). A produção de compostos secundários está relacionada diretamente com o aumento dos índices de radiação (RADOMSKI; BULL, 2010), em especial a radiação ultravioleta (SCHREINER et al., 2012) que desencadeia a biossíntese de compostos antioxidantes como estratégia de defesa (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Este estudo objetiva identificar a influência da cobertura do dossel no desenvolvimento vegetativo, na produção de biomassa de interesse comercial e na dinâmica dos compostos secundários, com fins nutracêuticos e medicamentosos na erva-mate e espinheira-santa.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no período de agosto de 2013 a janeiro de 2017 em dois sistemas agroflorestais localizados nos municípios de Fraiburgo e Lebon Régis localizados no oeste catarinense. A precipitação média das áreas estudadas é de 1.500 mm/ano e a temperatura média anual de 15,3 °C (TRABAQUINI; VIEIRA, 2017). O clima é enquadrado no tipo Cfb - clima temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca, conforme classificação de Köppen (1948).

As características de cada área estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das áreas de estudo

Características	Chácara Refazenda	Sítio Butiá Verde
Coordenadas geográficas	27°01'43" S e 50°56'32"O	25°57'43"S e 50°49'44" O
Município	Fraiburgo	Lebon Régis
Área plantada (ha)	2,2	3
Altitude (m)	1.094	964
Relevo	Plano	Meia encosta – exposição sudeste
Aspecto do solo	Profundo com poucas pedras	Presença de pedras e cascalho
Uso anterior	Maçã	Milho/Soja
Tempo de regeneração*	6 anos	4 anos
Descrição da vegetação antes do plantio	Bracatinga (<i>Mimosa scabrella</i>), canela-guaicá (<i>Ocotea puberula</i>), uva-do-japão (<i>Hovenia dulcis</i>), fumeiro-bravo (<i>Solanum mauritianum</i>), eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i>)	Vassoura-de-folha-estreita (<i>Baccharis spicata</i>), vassoura-alecrim (<i>Baccharis dracunculifolia</i>), vassoura-lajeana (<i>Baccharis uncinella</i>) e algumas plantas de bracatinga, canela-guaicá

Fonte: Autor, 2017

* Neste período foram semeadas a lanço sementes de *Mimosa scabrella* e *Solanum mauritianum* nas duas áreas; na área de Fraiburgo foram plantados de forma aleatória 30 mudas de *Eucalyptus grandis* e semeadas a lanço sementes de *Hovenia dulcis*; as demais espécies surgiram espontaneamente.

Os SAF foram implantados no inverno de 2013, com o plantio de mudas de erva-mate e espinheira-santa foi consorciado de forma regular na linha de plantio na proporção 5x1, respectivamente. As linhas foram espaçadas de 2,5 m e a distância entre plantas foi de 1,5 m, resultando em uma densidade por hectare de 2.222 plantas de erva-mate e 444 plantas de espinheira-santa.

As mudas de erva-mate foram adquiridas junto a Associação APROMATE - Associação dos Produtores de Erva-mate de Machadinho-RS, todas originadas da progênie biclonal denominada Cambona 4 (CORREA et al., 2011). Desta forma foi possível estabelecer uma origem comum das plantas e reduzir a variabilidade fenotípica. Para o plantio, foram selecionadas mudas com altura de 15 ± 2 cm.

As mudas de espinheira-santa foram obtidas junto ao viveiro Eco Empreendimentos Ambientais sediado na cidade de Chapecó-SC, que mantém matrizes da espécie das quais retira as sementes para produção de mudas. A altura das plantas selecionadas para plantio foi de 23 ± 2 cm.

Antes do início do plantio foi feita amostragem de solo em vinte pontos escolhidos aleatoriamente, coletados a profundidade 0-20 cm com uso de trado. As análises de solo foram realizadas no Laboratório Terranálises Ltda.

Os plantios foram feitos em covas quadradas de 0,15 x 0,15 x 0,15m de profundidade, na área de Lebon Régis utilizou-se 40 gramas de adubo NPK proporção 9:33:12 por cova, enquanto na área de Fraiburgo não foi utilizada adubação, em função da diferença nos índices de fertilidade entre as áreas (Tabela 2).

Os tratos culturais foram o coroamento das mudas e roçada nos meses de outubro/novembro e outra roçada nos meses de fevereiro/março, os quais foram repetidos anualmente. Durante todo o primeiro ano foi mantida a vegetação arbórea original, com intuito de reduzir o efeito das geadas. Por esse motivo os tratamentos com diferentes níveis de cobertura foram instalados somente em agosto de 2014.

Para o acompanhamento do desenvolvimento das plantas durante o primeiro ano, foram selecionadas cinco fileiras distanciadas de 20 metros nas quais marcou-se oito plantas de *M. ilicifolia* e oito de *I. paraguariensis* distanciadas de no mínimo três metros, num total de 40 plantas de cada espécie. Foi avaliada a altura das plantas utilizando trena graduada e o diâmetro do coleto usando paquímetro (Starrett Brasil, modelo 125 MEBT-8/200), nos meses de janeiro e agosto de 2014.

Os parâmetros escolhidos para avaliação de desenvolvimento (altura e diâmetro de coleto) são destacados como os métodos mais eficientes e práticos para a definição de padrões de qualidade de plantas jovens bem como estimar o crescimento inicial no campo (SOUZA, 1981; MEXAL; LANDIS, 1990; CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2004).

Tabela 2 – Dados de análise de solo

Local	Argila	H2O(pH)	SMP	P	K	M.O. (%)	Carbono
				(mg/dm3)			
Fraiburgo	70	6,7	6,5	16,1	207	4,4	25,5
L. Régis	59	5,1	5,2	6,4	109	3,2	18,9
	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	%CTC (Bases)	
	(cmolc/dm3)						
Fraiburgo	0	14,9	3,5	2,5	18,9	88,5	
L. Régis	1,1	3,8	1,75	10,7	6,9	36,6	

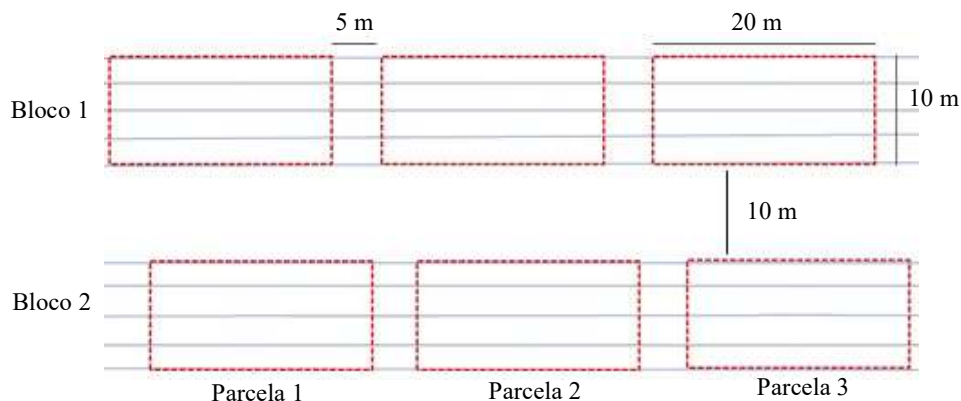
Fonte: Autor, 2017

Obs.: Coletados na profundidade 0-20 cm, das áreas experimentais na época da instalação dos sistemas agroflorestais (2013), CAV/UDESC, 2017

3.3.1 Montagem dos blocos experimentais

No segundo ano, durante os meses de agosto a outubro de 2014, foram instalados blocos experimentais utilizando o delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos e seis repetições. A distância mínima entre blocos foi de 10 metros e entre parcelas de 5 metros, cada parcela apresentou dimensões de 10 m (largura) x 20 m (comprimento) (Figura 1). Entre as parcelas de cada bloco foram sorteados os tratamentos: 0-20%, 20-40% e 40-60% de cobertura de dossel.

Figura 1 - Croqui esquemático de dois blocos experimentais indicando as distâncias entre as parcelas CAV/UDESC, 2017



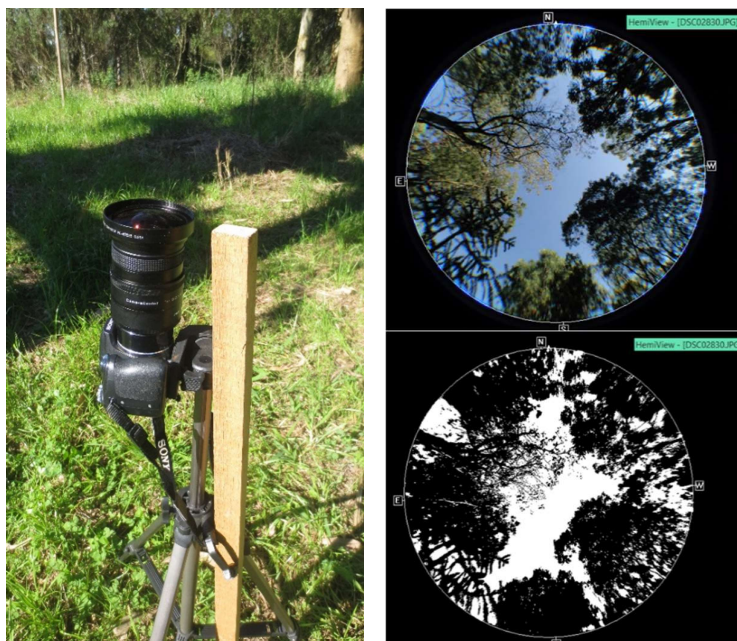
Fonte: Autor, 2017

Para obter o nível de cobertura estabelecido as plantas pioneiras (Tabela 1) foram cortadas até que a quantidade de cobertura desejada fosse atingida. Nesse trabalho foram

utilizados luxímetros digitais Lux Meter MLM-1011, aferindo três pontos por parcela, dois nos extremos e um central, no mesmo instante outro equipamento foi mantido a céu aberto para obtenção da luminosidade relativa. Esta metodologia serviu de parâmetro inicial para orientar a intensidade do desbaste das plantas pioneiras das parcelas. Foi estabelecida uma margem de segurança de 10% a mais de cobertura para futuras correções.

Na sequência, os níveis de cobertura foram corrigidos utilizando fotografias do dossel acima das parcelas utilizando uma máquina semi-profissional Sony Cyber-Shot DSC-HX1, munida de lente fisheye da marca Pixco, modelo FC-67E25 0,25X, montada sobre um tripé contendo dois níveis circulares e um nível tubular (Figura 2). O equipamento foi instalado com correção do nível, a um metro de altura do solo, capturando a imagem da cobertura vegetal existente. As imagens foram tratadas pelo programa HemiView da empresa Delta-T Devices Lda, estabelecendo a porcentagem de cobertura sobre quatro pontos distintos de cada parcela através de metodologia adaptada de Jonckheere et al. (2004). Foi calculada a média de cobertura vegetal por parcela e naquelas em que o nível ficou acima do desejado, novas podas das plantas pioneiras foram realizadas, seguidas de novas aferições por fotografias, até que fosse alcançado a cobertura ideal.

Figura 2 – Equipamento fotográfico para registro da cobertura vegetal das parcelas experimentais



Fonte: Autor, 2017

Obs.: Acima à direita uma imagem original e abaixo a mesma imagem tratada pelo programa HemiView, a proporção entre preto e branco da imagem é calculada para determinar a porcentagem de cobertura das parcelas, CAV/UDESC, 2017.

Com a conclusão das podas e cortes das árvores pioneiras, foram selecionadas cinco plantas de erva-mate e três de espinheira-santa por parcela, distanciadas de no mínimo três metros as quais foram marcadas com uma targeta de metal contendo uma identificação. A partir do segundo ano de estudos, essas foram as plantas utilizadas para avaliação dos parâmetros de desenvolvimento (altura e diâmetro de coleto) empregando a mesma metodologia descrita anteriormente. As avaliações foram realizadas no verão e inverno de 2015 e verão de 2016.

O índice de cobertura das parcelas foi reavaliado no mês de abril de 2015 através de novas fotografias do dossel em quatro pontos por parcela. Sempre que necessário foram feitas podas de correção para manter a porcentagem de cobertura estabelecida no início do experimento.

No dia 24 de janeiro de 2017 foi avaliada a influência dos tratamentos na interceptação da radiação solar incidente, na faixa de 300 a 750 nm. Foram feitas cinco aferições por parcela utilizando um espectroradiômetro marca Li-Cor Inc., modelo LI-1800, permitindo assim a avaliação da radiação ultra-violeta (UV), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e relação vermelho: vermelho-distante (V:VD) em comparação a condições de céu aberto (Tabela 3).

Os dados de altura e diâmetro de coleto foram submetidos a análise de variância ANOVA ($p < 0,05$), com o programa estatístico SAS (CARY, 2002), e as médias comparadas pelo teste t.

Tabela 3 – Percentual de interceptação das radiações ultravioleta (UV) e fotossinteticamente ativa (PAR) e relação vermelho

Local: Fraiburgo				
Radiação	λ	0-20%	20-40%	40-60%
UV	300-390 nm	65,9%	87,4%	95,6%
PAR	400-700 nm	57,0%	84,7%	95,9%
Relação V:VD		2,20	2,05	1,40
Local: Lebon Regis				
Radiação	λ	0-20%	20-40%	40-60%
UV	300-390 nm	71,4%	82,1%	95,4%
PAR	400-700 nm	63,0%	77,3%	94,8%
Relação V:VD		2,15	1,85	1,40

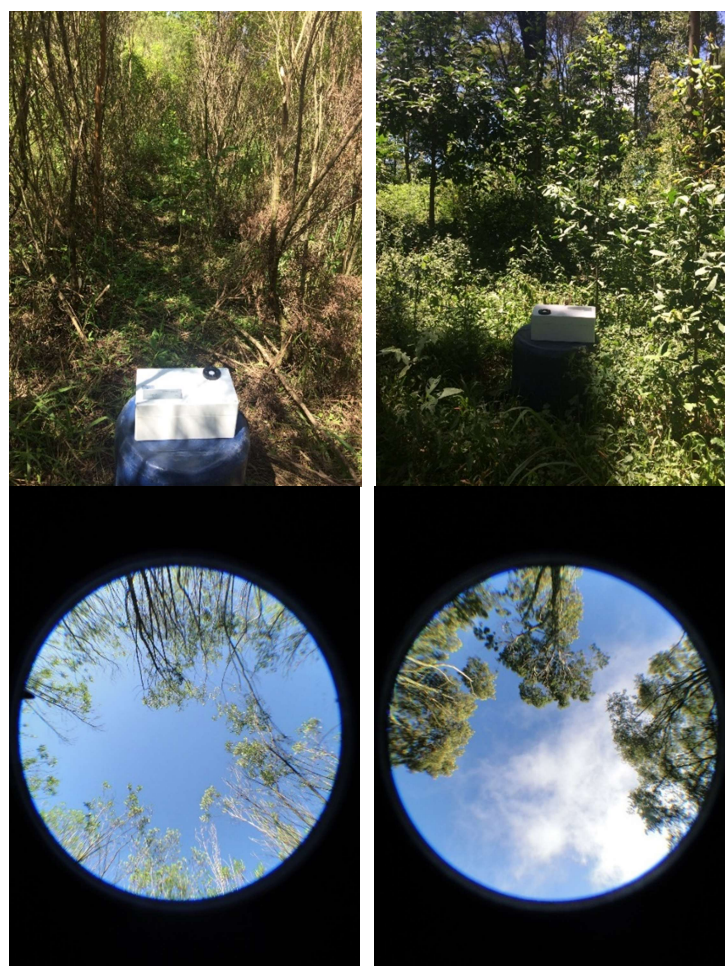
Fonte: Autor, 2017

Obs: Vermelho-distante (V:VD) nas três diferentes classes de cobertura em sistemas agroflorestais no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017

Os dados da Tabela 3 demonstram o comportamento diferenciado da luz incidente no sub-bosque das duas áreas experimentais conforme as características morfológicas das plantas

existentes no dossel (RICH et al, 1993; SCHLEPPI; PAQUETTE, 2017). A menor capacidade de interceptação das radiações ultravioleta (UV) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) promovida pela vegetação no tratamento intermediário (20-40%) da área de Lebon Régis é decorrente da estrutura morfológica das folhas do gênero *Baccharis*, principal grupo de plantas pioneiras da área, caracterizadas por Beretta et al. (2008) como estreitas e lanceoladas. Isso faz com que o regime de luz e sombra sofresse maior influência de fatores como o vento e posição do sol, possibilitando a entrada de muitos feixes de radiação que cruzam o dossel sem serem interceptados formando um mosaico de sombra e luz (Figura 3). No experimento de Fraiburgo a cobertura neste tratamento mostrou-se mais compacto.

Figura 3 – Experimentos de Lebon Régis e Fraiburgo



Fonte: Autor, 2017

Obs.: Imagens à esquerda mostrando o padrão sombra/luz das parcelas do tratamento 20-40% de cobertura no experimento de Lebon Régis, com dossel composto por plantas do gênero *Baccharis* e fotografia do dossel abaixo; ao lado direito os padrões de sombra/luz e fotografia do dossel do experimento de Fraiburgo para o mesmo tratamento, CAV/UDESC, 2017.

3.3.2 Colheitas e preparo de extratos

A colheita foi realizada nas mesmas plantas marcadas para o acompanhamento de desenvolvimento, como descrito no item anterior. As plantas de erva-mate passaram por duas colheitas: uma de formação, no mês de agosto de 2015, onde todos os ramos foram cortados a 20 cm de altura do chão; e uma segunda colheita, em agosto de 2016. Nos dois casos foi amostrada a biomassa comercial das parcelas separando as folhas e ramos com diâmetro inferior a 1 cm (CORREA et al., 2011). Para o preparo dos extratos e análise dos compostos secundários foi utilizado apenas o material da segunda colheita.

As plantas de espinheira-santa foram colhidas apenas no mês de outubro de 2016 com o corte de metade da área foliar. Os ramos retirados foram podados a altura de 20 cm do solo (MARIOT; BARBIERI, 2006). Para composição das amostras da biomassa comercial foram selecionadas apenas as folhas e os ramos menores que 2 mm.

Após a seleção, o material foi separado em sacos de papel identificados com o número da parcela. O processamento das amostras, uma de erva-mate e outra de espinheira-santa de cada parcela, foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) em Caçador SC, com a pesagem das amostras em balança de precisão (modelo AD5000 – Marte), trituração em moinho mecânico e separação de uma amostra de 30 gramas que foi seca em estufa a temperatura de 40°C até que o peso se mantivesse constante (Figura 4).

Os extratos aquosos foram preparados utilizando três gramas do material desidratado de espinheira-santa acrescidos de 150 mL água destilada a 90°C em um becker de vidro posteriormente tampado com vidro relógio (BRASIL, 2016). Os extratos de *I. paraguariensis* foram preparados pesando 35 gramas de erva-mate e adicionando água destilada a 80°C (HEINRICHS; MALAVOLTA, 2001), depois resfriados à temperatura ambiente. Os extratos foram filtrados em filtro de papel, acondicionados em tubos de vidro âmbar de 30 mL e congelados.

Figura 4 – Secagem e pesagem das amostras e preparo dos extratos aquosos



Fonte: Autor, 2017

Obs.: Secagem das amostras de erva-mate e espinheira-santa em estufa à esquerda; pesagem das amostras ao centro e preparo dos extratos aquosos à direita, CAV/UDESC, 2017

3.3.3 Análises de compostos secundários

Os alcalóides teobromina, ácido clorogênico e cafeína pertencentes ao grupo metilxantina foram os compostos avaliados quantitativamente nas amostras de erva-mate. Esta escolha foi devido a disponibilidade de padrões analíticos no mercado nacional. As análises foram realizadas na Central de Análises do Instituto de Biotecnologia da Universidade de Caxias do Sul -UCS em equipamento de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência – HPLC, marca HP, modelo 1100, coluna Lichrospher RP₁₈ (5µm) equipado com detector UV a 272 nm e sistema quaternário de bombas. A análise em fase reversa foi constituída de: solvente A – água Milli-Q com 1% de ácido acético e solvente B – metanol. O sistema de bombeamento da fase móvel foi isocrático, com 75% do solvente A. O fluxo padrão foi mantido a 0,4 mL/min e a coluna a 40°C, adaptado de Berté (2011). As amostras com volume de 30 mL de extrato foram filtradas em membranas de Nylon de 0,45 µm de diâmetro de poro. Os compostos foram identificados de acordo com sua ordem de eluição e por comparação de seu tempo de retenção com aqueles de seus padrões puros. A quantificação foi realizada pelo método de padronização externa, através da correlação da área (mAU*s) do pico do composto à curva padrão realizada com cada padrão avaliado (teobromina, ácido clorogênico e cafeína).

A quantificação de fenóis totais presentes nas amostras de espinheira-santa foi realizada no Laboratório de Farmácia da UNIARP utilizando o método proposto Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), no qual partindo de 0,25 mL de extrato adicionou-se 2 mL de água destilada e 0,25 mL do reagente do Folin Ciocateu após 3 min a temperatura ambiente foi

acrescido 0,25 mL de solução saturada de carbonato de sódio. Os tubos foram colocados a 37 °C durante 30 min para o desenvolvimento da cor. A absorbância de 750 nm foi determinada em espectrofotômetro e o conteúdo fenólico foi determinado utilizando uma curva padrão de ácido gálico.

As análises individualizadas dos compostos ativos epigallocatequina, catequina, epicatequina, epicatequina galato, ácido ferúlico e naringina, também escolhidos pela disponibilidade de padrões analíticos, foram realizadas na UCS em equipamento HPLC marca HP modelo 1100, coluna Lichrospher RP₁₈ (5µm) equipado com detector UV a 210 nm e sistema quaternário de bombas. A filtragem das amostras e a identificação dos compostos seguiu a mesma metodologia descrita para as amostras de erva-mate. A análise em fase reversa foi constituída de: solvente A – água Milli-Q com 1% de ácido fosfórico e solvente B – Acetonitrila. O sistema de bombeamento da fase móvel foi gradiente, com 90% do solvente A de 0 a 5 min, 60% de A de 5 a 40 min e 90% de A de 45 a 50 min. O fluxo padrão foi mantido a 0,5 mL/min de acordo com Morelli (2011).

Todas as análises de teor foram realizadas em triplicatas para cada parcela experimental, com as quais foi calculada a média de concentração dos compostos. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA ($p < 0,05$) com o programa estatístico SAS (CARY, 2002) e as médias comparadas pelo teste de Duncan.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Erva-mate

Os dados de altura e diâmetro de coleto das plantas de erva-mate na Tabela 4 mostram que na área de Fraiburgo não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na área de Lebon Régis o tratamento 0-20% de cobertura apresentou plantas com maior altura quando comparado ao tratamento intermediário (20-40%), os quais não diferiram do tratamento 40-60% de cobertura.

Este comportamento difere dos resultados publicados por diversos autores (INOUE, 1983; MORAES NETO et al., 2000; DA SILVA; NETO; FOLTRAN, 2007; MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007) que identificaram as maiores alturas em mudas expostas a sombreamentos intensos. Nestes estudos o comportamento observado se justifica por um fenômeno conhecido como Síndrome de Escape ao Sombreamento ou SAS – Shade-avoidance syndrome conforme descreve Ballaré (2014), em que ao serem expostas a

condições de sombreamento inicia-se, a partir da resposta de fotorreceptores, uma série de reações que resultam na transcrição de hormônios promotores de crescimento. Sansberro et al. (2002) identificaram que as giberelinas são o grupo de hormônios mais importantes para *Ilex paraguariensis* nestas condições.

Rakocevic, Medrado e Takaki (2003) destacam que o crescimento em altura da erva-mate é sustentado desde que a radiação incidente esteja no limite necessário à manutenção das plantas. Deve-se levar em conta os índices de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a relação entre as radiações vermelho (V) e vermelho distante (VD) V:VD a qual é responsável por ativar os fotorreceptores envolvidos na SAS.

Uma hipótese para responder as diferenças em altura observadas nos tratamentos na área de Lebon Régis leva em conta as características da cobertura existente no tratamento com 20-40% anteriormente destacadas (Figura 3). Nestas condições as células experimentam um regime de radiação em que elevadas taxas de fotossíntese não são possíveis pela existência de sombra sobre as plantas, ao mesmo tempo, muitos feixes de luz conseguem cruzar o dossel impedindo a expressão da SAS que se expressa depois de determinado tempo de exposição à sombra. Salter, Franklin e Whitlam (2003) demonstraram que as células de *Arabidopsis* iniciam a expressão do gene *ATHB-2*, um dos responsáveis pela SAS, 60 min depois de iniciada a exposição a sombra (níveis baixos de V:VD), assim que a célula passa a receber radiação direta (altos níveis de V:VD) todo o processo é interrompido.

As produtividades observadas nas colheitas seguem detalhadas na Tabela 5, na área de Lebon Régis não foi observada diferença entre os tratamentos, enquanto em de Fraiburgo a produção de biomassa comercial em gramas registrada na segunda colheita foi superior no tratamento 40-60% quando comparada ao tratamento com menores níveis de cobertura 0-20%. O aumento de produtividade da erva-mate em ambientes mais sombreados é frequentemente citado (COELHO et al., 2000; POLETTTO et al., 2010).

Em plantios consorciados de *I. paraguariensis* e bracinga (*Mimosa scabrella*) a produção de massa fresca aos 12 meses após o plantio foi superior nos tratamentos com cobertura de 47% e 74% quando comparados a pleno sol e 86% (ANDRADE, 2004). Da mesma forma, Westphalen (2016) observou que as plantas de erva-mate que se desenvolveram em ambientes com 40% menos radiação solar, em relação ao pleno sol, apresentaram maior produção de biomassa comercial. Este comportamento, característico de plantas tolerantes a sombra ou esciófitas (LORENZI, 2000) é esperado já que em pleno sol estas espécies redirecionam recursos para o crescimento de raízes no intento de minimizar as perdas de água por transpiração (POORTER, 1999; POORTER; NAGEL, 2000).

Tabela 4 – Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)

SAF Fraiburgo		Pré- instalação		
2014	Altura (cm)	janeiro	agosto	
	Diâmetro coleto (cm)			
janeiro, 2015	0-20%	20-40%	40-60%	CV(%)
	106,26 \pm 22,02	113,17 \pm 11,40	101,60 \pm 18,45	13,1
janeiro, 2016	1,40 \pm 0,25	1,36 \pm 0,16	1,37 \pm 0,23	12,02
	82,19 \pm 30,49	92,96 \pm 43,59	92,23 \pm 22,88	39,48
	1,87 \pm 0,24	2,00 \pm 0,38	2,01 \pm 0,25	13,73
SAF Lebon Regis		Pré- instalação		
2014	Altura (cm)	janeiro	agosto	
	Diâmetro coleto (cm)			
janeiro, 2015	0-20%	20-40%	40-60%	CV(%)
	71,62 \pm 37,77	71,56 \pm 36,95	73,29 \pm 35,11	38,81
janeiro, 2016	1,07 \pm 0,29	1,07 \pm 0,32	1,14 \pm 0,28	24,29
	101,30 \pm 38,58 a*	78,03 \pm 15,19 b	92,10 \pm 42,31 ab	13,60
	1,87 \pm 0,45	1,60 \pm 0,29	1,87 \pm 0,63	24,15

* Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de t ($p < 0,05$)

ns - não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Nos três primeiros anos de desenvolvimento em sistemas agroflorestais submetidas a três classes de cobertura de dossel (0-20%, 20-40% e 40-60%) no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017.

Em ambiente sombreado as plantas de *I. paraguariensis* expressam tal tolerância através do aumento da área foliar ampliando assim a superfície fotossinteticamente ativa o que favorece a produtividade das áreas (MAZUCHOWSKI; SILVA; MACCARI JUNIOR, 2007). Além de influenciar na produtividade, Caron et al. (2016) destacam o favorecimento da qualidade sensorial dos ervais cultivados na sombra.

Tabela 5 – Média \pm desvio padrão da produção de biomassa comercial (gramas) por parcela de plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)

	Colheita	0-20%	20-40%	40-60%	CV (%)
Fraiburgo	1 ^a	379,33 \pm 191,90 ns	379,17 \pm 67,74	401,67 \pm 99,87	31,91
	2 ^a	518,33 \pm 391,99 b*	618,33 \pm 149,96 ab	845,83 \pm 580,05 a	56,15
Lebon Régis	1 ^a	271,67 \pm 184,22 ns	209,67 \pm 207,75	215,33 \pm 112,77	71,08
	2 ^a	634,17 \pm 317,54 ns	504,00 \pm 379,69	550,00 \pm 361,90	61,31

* Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem pelo teste t (p<0,05)
ns - não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Nas duas primeiras safras em sistemas agroflorestais submetidas a três classes de cobertura (0-20%, 20-40% e 40-60%) no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017

A produção de compostos secundários foi influenciada pelos tratamentos (Tabela 6). Na área de Fraiburgo a concentração de teobromina foi superior no tratamento com maior cobertura quando comparada ao tratamento com cobertura intermediária (20-40%), sem diferenciarem do tratamento com menor cobertura (0-20%). Na área de Lebon Régis o teor de teobromina no tratamento 0-20% foi superior aos demais.

A biossíntese dos alcalóides do grupo xantinas pode ser influenciada pelo sombreamento (DARTORA et al., 2011), mas também por outros fatores como manejo, progênie, época de colheita, idade das plantas e método de processamento das folhas (REGINATTO et al., 1999; CARDOZO et al., 2007; STREIT et al. 2007; HECK; SCHMALKO; GONZALEZ DE MEJIA, 2008).

Ao avaliar o efeito da cobertura artificial de 75% sobre o teor de teobromina de plantas de erva-mate Girardi (2010) observou que tanto nas colheitas realizadas no inverno ou no verão as plantas sombreadas apresentaram maior teor de teobromina que aquelas mantidas em pleno sol.

A concentração do ácido clorogênico apresentou influência dos tratamentos apenas na área de Fraiburgo. O teor observado no tratamento com menor cobertura (0-20%) foi inferior aos demais tratamentos, esses dados divergem dos valores encontrados por Dartora et al. (2011) em que a concentração de ácido clorogênico em extratos aquosos de plantas sombreadas foi de $10,65 \pm 0,38$ mg/g enquanto em plantas em pleno sol o teor foi de $14,42 \pm 0,53$ mg/g.

A cafeína, a xantina mais abundante na erva-mate (SIMÕES et al, 2001), apresentou maiores concentrações no tratamento com maiores taxas de cobertura (40-60%) no experimento de Fraiburgo. Em contrapartida, na área de Lebon Régis o tratamento 40-60% apresentou os menores teores de cafeína, seguido do tratamento 0-20% de cobertura e o tratamento

intermediário (20-40%), os quais apresentaram diferenças significativas de concentração de cafeína entre si.

O aumento dos teores de cafeína em ervais sombreados foi observado em outros estudos (MACHADO et al., 2007; GIRARDI, 2010). Esse comportamento pode ser potencializado quando ao sombreamento é associada adubação química frequente (PIRES et al., 2016; WESTPHALEN, 2016).

Tabela 6 – Média \pm desvio padrão da concentração dos compostos teobromina, ácido clorogênico e cafeína em $\mu\text{g/mL}$

Compostos		Fraiburgo							
		0-20%		20-40%		40-60%		CV%	
Teobromina	μg/mL	103,48 ± 42,57	*	ab	93,11 ± 6,75	b	134,76 ± 51,18	a	24,05
Ác. Clorogênico		17,64 ± 2,41	*	b	20,94 ± 1,68	a	21,55 ± 2,74	a	4,56
Cafeína		352,79 ± 69,11	*	b	460,58 ± 142,93	b	607,47 ± 218,74	a	18,89
		Lebon Régis							
		0-20%		20-40%		40-60%		CV%	
Teobromina	μg/mL	232,67 ± 50,08	*	a	175,80 ± 74,64	b	159,55 ± 81,29	b	19,01
Ác. Clorogênico		32,78 ± 5,58	ns		34,78 ± 3,78		31,05 ± 1,97		9,63
Cafeína		586,55 ± 128,04	*	b	749,11 ± 245,58	a	394,64 ± 107,56	c	16,85

* Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$)

ns - não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Presentes em extratos aquosos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) submetidas a três classes de cobertura (0-20%, 20-40% e 40-60%) em sistemas agroflorestais no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017.

Ao analisarem os teores de xantinas em extratos aquosos obtidos de plantas mantidas em pleno sol e na sombra em quatro diferentes localidades da região sul do Brasil, utilizando o método de análise por cromatografia líquida de ultra performance (UPLC), Dartora et al. (2011) observaram que as concentrações de teobromina e cafeína foram superiores nas plantas mantidas sob céu aberto. Para os extratos obtidos de folhas desidratadas os teores de teobromina variaram de $2,59 \pm 0,64 \text{ mg/g}$ a $4,60 \pm 0,25 \text{ mg/g}$ e cafeína $9,48 \pm 0,72 \text{ mg/g}$ a $13,85 \pm 0,67 \text{ mg/g}$.

Em contrapartida, Coelho et al. (2000) observaram teores de teobromina variando entre $0,58 \pm 0,27 \text{ mg/g}$ a $3,84 \pm 2,24 \text{ mg/g}$ e cafeína de $2,31 \pm 3,09 \text{ mg/g}$ a $14,31 \pm 5,57 \text{ mg/g}$ em ervais localizados nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Em ambas as regiões os teores de xantinas foram superiores em plantas mantidas sob cobertura de mais de 50% em comparação com aquelas mantidas em céu aberto.

Rakocevic et al. (2006) observaram que plantas sombreadas apresentaram maiores teores de cafeína ($1,68 \text{ g/100g}$) que as mantidas em pleno sol ($1,34 \text{ g/100g}$), enquanto os teores de teobromina foram menores à sombra ($0,18 \text{ g/100g}$) que as plantas não sombreadas ($0,77 \text{ g/100g}$).

O efeito da radiação na produção de alcalóides está relacionada a ação dos raios ultravioleta (UV) na célula vegetal (SCHREINER et al., 2012), essa resposta pode provocar o

incremento ou a redução dos teores de alcalóides dependo da espécie estudada (GREGIANINI et al., 2003; GOBBO-NETO; LOPES, 2007; GAO et al., 2016).

Coelho et al. (2007) destacam que níveis moderados de sombreamento não causam grande variação nos teores de xantinas e acúmulo de biomassa em erva-mate, entretanto taxas intensas de sombra podem prejudicar o desenvolvimento das plantas e a produção de compostos secundários.

Nas condições em que nossos experimentos foram conduzidos, foi possível observar o efeito positivo do sombreamento sobre os parâmetros de produtividade de biomassa comercial e produção de compostos secundários em erva-mate. Alguns parâmetros avaliados foram favorecidos por taxas maiores de cobertura, enquanto outros pela cobertura intermediária (20-40%). A adequação da intensidade de sombra e luz nos plantios agroflorestais com erva-mate devem levar em conta o tipo de aplicação do produto colhido.

3.4.2 Espinheira-santa

As avaliações de altura e diâmetro de coleto da espinheira-santa *Maytenus ilicifolia* não indicaram diferença significativa entre os tratamentos testados nas duas áreas experimentais (Tabela 7).

Estudos conduzidos em casa de vegetação por Benedetti et al. (2009) indicaram o aumento da altura das plantas de *M. ilicifolia* na ordem de 44 cm no período de 11 meses. Em outro ensaio conduzido no município catarinense de São Bento do Sul, Hanisch et al. (2013) avaliaram a altura das plantas de espinheira-santa em três áreas de SAF, sendo observado um crescimento médio de 36 cm nos dois primeiros anos.

Em nosso estudo a média de ganho em altura no mesmo período foi de 60,5 cm para a área de Fraiburgo e 70,3 cm para Lebon Régis.

Tabela 7 – Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*)

SAF Fraiburgo		Pré-instalação				
2014			janeiro		agosto	
			Altura (cm)	29,07 ± 5,35	45,96 ± 16,76	
			Diametro coleto (cm)		0,33 ± 0,05	
			0-20%		20-40%	
			40-60%		CV(%)	
janeiro, 2015		61,28 ± 25,60 ns	63,01 ± 11,92	58,66 ± 7,29	27,01	
		0,24 ± 0,20 ns	0,13 ± 0,10	0,15 ± 0,09	28,29	
agosto, 2015		70,26 ± 23,09 ns	69,72 ± 19,78	68,56 ± 25,13	30,79	
		1,00 ± 0,25 ns	0,86 ± 0,18	0,95 ± 0,27	24,58	
janeiro, 2016		57,58 ± 16,23 ns	78,64 ± 19,83	70,03 ± 22,08	28,28	
		1,09 ± 0,37 ns	1,27 ± 0,24	1,09 ± 0,25	26,81	
agosto, 2016		85,99 ± 27,66 ns	86,92 ± 21,49	77,54 ± 21,40	31,94	
		1,18 ± 0,31 ns	1,28 ± 0,22	1,18 ± 0,30	26,98	

SAF Lebon Regis		Pré-instalação				
2014			janeiro		agosto	
			Altura (cm)	57,12 ± 13,00	59,10 ± 13,01	
			Diametro coleto (cm)		0,63 ± 0,12	
			0-20%		20-40%	
			40-60%		CV(%)	
janeiro, 2015		68,77 ± 17,60 ns	66,63 ± 18,73	69,10 ± 18,35	22,77	
		0,17 ± 0,15 ns	0,25 ± 0,20	0,17 ± 0,11	19,12	
agosto, 2015		74,87 ± 27,36 ns	81,06 ± 16,30	84,54 ± 10,01	23,16	
		1,14 ± 0,31 ns	1,06 ± 0,16	1,07 ± 0,18	19,85	
janeiro, 2016		87,51 ± 39,02 ns	77,59 ± 25,49	87,81 ± 38,62	30,53	
		1,53 ± 0,31 ns	1,38 ± 0,30	1,61 ± 0,22	20,75	
agosto, 2016		93,50 ± 37,39 ns	85,73 ± 17,29	100,81 ± 29,04	29,68	
		1,53 ± 0,45 ns	1,37 ± 0,29	1,67 ± 0,46	26,69	

ns- não significativo

ns- não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Nos três primeiros anos de desenvolvimento em sistemas agroflorestais submetidas a três classes de sombreamento (0-20%, 20-40% e 40-60%) no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017.

M. ilicifolia se destaca pela plasticidade quanto à demanda de luz (ROSA, 1994; RADOMSKI; BULL, 2010) podendo adaptar-se tanto a pleno sol como a luz difusa, condição esta que também foi observada em nossos experimentos.

Esta adaptabilidade foi comprovada em outras espécies de *Maytenus* como demonstrado por Terezinha e Paulilo (1999) ao avaliarem o desenvolvimento de *Maytenus robusta* em três

diferentes níveis de sombreamento. A plasticidade de *M. ilicifolia* pode ser influenciada por práticas de manejo. Ao estudarem a relação entre a poda de colheita associada a sombreamentos variados, Souza et al. (2008) e Rocha et al. (2014) observam que as plantas cultivadas à sombra apresentaram desenvolvimento pós-colheita superior em comparação àquelas mantidas em pleno sol.

Um importante registro a ser feito foram os ataques observados em diversas plantas durante a primavera de 2015 por uma lagarta, possivelmente pertencente à família Crambidae, que causou perdas consideráveis em alguns tratamentos, chegando a provocar a redução da altura das plantas (Figura 5).

Figura 5 – Detalhe do ataque de lagarta de espécie não identificada causando danos em folhas novas e ponteiros de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*)



Fonte: Autor, 2017

Obs.: À direita seta vermelha indicando a lagarta instalada abaixo da epiderme da folha se alimentando do mesófilo foliar, abaixo a direita uma folha totalmente danificada e uma folha sem danos entre elas uma lagarta em detalhe, CAV/UDESC, 2017.

A produção de biomassa comercial de *M. ilicifolia* (Tabela 8) seguiu a mesma tendência dos dados de desenvolvimento das plantas, não sendo observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Dados semelhantes foram obtidos por Boeger et al. (2009) ao avaliarem a produção de massa fresca de mudas de espinheira-santa plantadas em consórcio com outras duas espécies arbóreas no município de Castro-PR.

Radomski e Bull (2010) relatam que plantas adultas respondem ao aumento da disponibilidade de luz com maior produção de massa específica.

Tabela 8 – Média \pm desvio padrão da produção de biomassa comercial (gramas) por parcela de plantas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*)

Local	0-20%	20-40%	40-60%	CV (%)
Fraiburgo	73,33 \pm 45,13 ns	75,00 \pm 33,28	73,42 \pm 40,42	64,54
Lebon Régis	40,83 \pm 15,94 ns	45,83 \pm 17,03	46,67 \pm 18,35	42,41
ns - não significativo				

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Na primeira safra em sistemas agroflorestais submetidas a três classes de cobertura (0-20%, 20-40% e 40-60%) no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017.

A concentração de fenóis identificados nos extratos aquosos de espinheira-santa sofreu influência dos diferentes níveis de cobertura testados (Tabela 9). No experimento de Fraiburgo os tratamentos 0-20% e 20-40% de cobertura apresentaram maiores concentrações de fenóis que o tratamento com maior cobertura (40-60%). Na área Lebon Régis os tratamentos 0-20% de cobertura e 20-40% de cobertura não diferenciaram entre si, mas foram superiores ao tratamento 40-60%. Esses dados corroboram com outros estudos que também identificaram a influência positiva na radiação na produção de fenóis (RADOMSKI; BULL, 2010; ROCHA et al., 2014). O aumento da biossíntese de fenóis como estratégia de defesa contra a ação nociva dos raios ultravioletas é descrito em outras espécies (CARBONELL-BEJERANO et al., 2014; FORMICA-OLIVEIRA et al., 2017), por seu efeito antioxidante nas estruturas células expostas a radiação UV (BETA et al., 2017).

Ao avaliarmos separadamente alguns compostos fenólicos presentes nas amostras, observamos que naringina, um dos principais responsáveis pelo sabor amargo (SILVA et al., 2001), apresentou concentrações de $0,64 \pm 0,63$ $\mu\text{g/mL}$ na cobertura 20-40% superior ao teor observado no tratamento 40-60%, ambos não diferenciaram do tratamento 0-20% de cobertura.

No experimento de Lebon Régis o único composto que apresentou alterações significativas com a variação da cobertura foi o ácido ferúlico, no tratamento com maior cobertura (40-60%) seu teor foi inferior aos obtidos no tratamento 0-20% e 20-40%. O ácido ferúlico é destacado por Soares (2002) como o ácido fenólico com maior poder antioxidante.

O grupo dos taninos gálicos como a catequina e seus derivados são destacados por Santos-Oliveira, Coulaud-Cunha e Colaço (2009) como os principais responsáveis pelo efeito protetor da mucosa gástrica. Foi observado que no experimento de Fraiburgo a epigallocatequina galato apresentou concentrações menores no tratamento 0-20% de cobertura quando comparado aos tratamentos com taxas mais intensas de cobertura. Os demais taninos do grupo não

apresentaram alterações em resposta aos tratamentos testados. Ao analisarem a presença do composto epicatequina de 12 amostras de *Maytenus ilicifolia* colhidas em diferentes regiões do Estado do Paraná, Beltrame et al. (2012) observaram grande variação no teor do composto, desde 250 µg/mL até traços identificados em algumas amostras avaliadas.

Tabela 9 – Média ± desvio padrão da concentração de fenóis totais em mg/mL e dos compostos naringina, catequina, epigallocatequina, epicatequina, epigallocatequina galato e ácido ferúlico em µg/mL

		Fraiburgo				
Compostos		0-20%	20-40%	40-60%	CV%	
Fenóis	mg/mL	0,80 ± 0,22 * a	0,81 ± 0,19 a	0,69 ± 0,11 b	1,89	
Naringina		0,40 ± 0,68 * ab	0,64 ± 0,63 a	0,10 ± 0,24 b	20,48	
Catequina		2,15 ± 3,86 ns	2,86 ± 2,32	0,99 ± 1,79	35,42	
Epigallocatequina	µg/mL	0,23 ± 0,38 ns	0,13 ± 0,15	0,03 ± 0,06	14,55	
Epicatequina		10,04 ± 18,96 ns	9,65 ± 6,95	3,58 ± 6,35	52,46	
Epigallocatequina galato		1,07 ± 1,50 * b	4,30 ± 2,74 a	3,35 ± 2,86 a	13,27	
Ácido ferulico		10,02 ± 4,98 ns	12,31 ± 7,55	12,32 ± 0,82	8,57	
		Lebon Régis				
Compostos		0-20%	20-40%	40-60%	CV%	
Fenóis	mg/mL	1,51 ± 0,85 * a	1,35 ± 0,56 ab	1,17 ± 0,31 b	5,95	
Naringina		0,07 ± 0,20 ns	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	9,71	
Catequina		1,00 ± 2,10 ns	0,25 ± 0,22	0,20 ± 0,28	33,99	
Epigallocatequina	µg/mL	0,05 ± 0,14 ns	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	6,88	
Epicatequina		4,97 ± 10,07 ns	0,86 ± 1,02	0,32 ± 0,36	61,85	
Epigallocatequina galato		1,01 ± 0,25 ns	1,01 ± 1,50	1,36 ± 2,57	16,39	
Ácido ferulico		12,17 ± 1,65 * a	12,43 ± 0,66 a	9,42 ± 5,15 b	1,68	

* Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Duncan (p<0,05)
ns- não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Presentes em extratos aquosos de espinheiras-santas (*Maytenus ilicifolia*) submetidas a três classes de cobertura (0-20%, 20-40% e 40-60%) em sistemas agroflorestais no oeste de SC, CAV/UDESC, 2017.

3.5 CONCLUSÕES

1. Na área de Fraiburgo a produção de biomassa comercial de *Ilex paraguariensis* foi favorecida por sombreamentos acima de 20%;
2. O teor de teobromina nos extratos aquosos de plantas de erva-mate mantidas sob taxas de sombreamento intermediário de 20 a 40% é menor;
3. A biossíntese das xantinas cafeína e ácido clorogênico em plantas de erva-mate é favorecida em ambientes com mais de 20% de sombra;

4. Para *Maytenus ilicifolia* o desenvolvimento e a biomassa comercial não são afetados pela alteração das taxas de sombreamento;
5. O teor do tanino epigalocatequina galato é favorecido por sombreamento acima de 20% em espinheira-santa;
6. Os fenóis totais e especificamente os compostos naringina e ácido ferúlico tem a biossíntese reduzida por taxas de sombra acima de 40% em espinheira-santa.

4 INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO DOSSEL SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE SEMIOQUÍMICOS DO CEDRO-ROSA (*Cedrela fissilis*) E NA DINÂMICA DOS DANOS CAUSADOS PELA BROCA-DO-CEDRO (*Hypsipyla grandella*) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

4.1 RESUMO

O cedro-rosa *Cedrela fissilis* é uma importante espécie madeirável nativa da América do Sul que sofre frequente pressão do extrativismo ilegal. As iniciativas de cultivo comercial acumulam fracassos recorrentes pela ação da broca-do-cedro *Hypsipyla grandella* que ao atacar as plantas compromete sua aplicação comercial. Um dos métodos de manejo utilizados para reduzir os ataques do inseto é o plantio em locais sombreados, entretanto é desconhecido o fator que faz as plantas sombreadas serem menos atacadas. Utilizando deste princípio, grupos de produtores iniciaram plantios de cedro-rosa conduzidos em sistema agroflorestal. O estabelecimento dos parâmetros de cultivo em tal condição que alie desenvolvimento adequado das plantas e baixos índices de ataque de *H. grandella* foi o objetivo central deste estudo. Para isso foi acompanhado nos dois primeiros anos o crescimento em altura e diâmetro de coleto de mudas de cedro-rosa plantadas em sistemas agroflorestais nos quais foram testados três níveis de cobertura de dossel 0-20%, 20-40% e 40-60% quanto ao efeito no desenvolvimento das plantas e frequência de ataque de *H. grandella*. Em laboratório foram coletados os compostos orgânicos voláteis (VOCs) emitidos por plantas de cedro-rosa submetidas a sombreamento artificial de 50%, 30%, 15% e pleno sol utilizando um sistema de aeração por pressão positiva por 24 horas. Posteriormente os VOCs foram identificados e a resposta biológica de adultos de *H. grandella* avaliada em ensaios de eletroantenografia/GC-MS e túnel de vento. Os resultados de campo indicaram que o tratamento com maior taxa de cobertura apresentou os menores parâmetros de desenvolvimento de plantas em comparação com a cobertura intermediária, a frequência de ataque de *H. grandella* foi maior no tratamento com menor cobertura (0-20%). Nos experimentos de laboratório foi possível identificar 31 VOCs emitidos pelas plantas de cedro-rosa, dos quais quatro: salicilato de metila, (E)-ocimeno, DMNT e aromadendreno apresentaram variação na taxa de emissão conforme a mudança na intensidade de sombra. Foram identificadas respostas biológicas em antenas de adultos machos e fêmeas nos ensaios de eletroantenografia/GC-MS para os compostos nonanal, salicilato de metila, decanal e β -cariofileno e em túnel de vento com a mistura dos mesmos quatro compostos. Os resultados indicaram que em cobertura variando de 20 a 40% foi possível aliar boas taxas de desenvolvimento das plantas com baixa frequência de ataque da broca-do-cedro. *H. grandella* utiliza os compostos nonanal, salicilato de metila, decanal e β -cariofileno emitidos pelas plantas como recurso para a localização dos pontos de oviposição; e a hipótese mais provável que justifica os baixos índices de ataque em plantas sombreadas é a produção intensa de salicilato de metila que passa a ter efeito repelente às fêmeas de *H. grandella*.

Palavras-chave: *Cedrela fissilis*, *Hypsipyla grandella*, compostos orgânicos voláteis, sistemas agroflorestais.

CANOPY COVER EFFECT ON SEMIOCHEMICAL PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF CEDAR (*Cedrela fissilis*) AND ON THE ASPECTS OF DAMAGE CAUSED BY MAHOGANY SHOOT BORERS (*Hypsipyla grandella*) IN AGROFORESTRY SYSTEMS

ABSTRACT

Cedar (*Cedrela fissilis*) is an important woody species in South America. It is appreciated for its physical characteristics and, therefore, its native specimens are strongly exploited. Commercial cultivation initiatives have been continuously failing due to damage caused by mahogany shoot borers (*Hypsipyla grandella*), which attack plants and hinder their commercial applicability. Planting under shady sites has been one of the management methods used to reduce insect attacks. However, the reason why mahogany shoot borers do not attack shaded plants so often is still unknown. Based on this finding, producer groups began planting cedar under an agroforestry system. The aim of this research was to find cultivation parameters that could combine proper plant development and low *H. grandella* attack. In order to do so, growth in height and shoot diameter of seedlings of cedar planted in agroforestry systems were monitored for two initial years, in which three canopy covers, 0-20%, 20-40% and 40-60%, were tested for plant development and *H. grandella* attack frequency. In the laboratory, volatile organic compounds (VOCs) emitted by cedar plants were collected and submitted to artificial shading of 50%, 30%, 15% and full sun exposure, using a system of aeration by positive pressure for 24 hours. Later, VOCs were identified and biological response of adult *H. grandella* was assessed in electroantennography / GC-MS assays and wind tunnel. Field results showed that treatment with higher cover rate had the lowest plant development parameters in comparison with intermediate cover. The attack frequency of *H. grandella* was greater in treatment with lower cover (0-20%). In laboratory experiments, it was possible to find 31 VOCs emitted by cedar plants, of which four: methyl salicylate, (E) -ocimene, DMNT and aromadendrene, presented variation in their emission rate, according to changes in shade intensity. Biological responses in adult female and male antennae were noted in the electroantennography / GC-MS assays for the nonanal, decanal, methyl salicylate and β -caryophyllene compounds; and in wind tunnel for the mixture of these same four compounds. Results suggest that in canopy cover ranging from 20 to 40%, it was possible to combine good rates of initial development of plants with low attack frequency of *H. grandella* uses nonanal, decanal, methyl salicylate and β -caryophyllene emitted by plants as a resource to locate oviposition spots, and the most likely hypothesis that justifies the low attack rates in shaded plants is intense production of methyl salicylate, which starts to act as repellent to *H. grandella* female under such conditions.

Keywords: *Cedrela fissilis*, *Hypsipyla grandella*, volatile organic compounds, agroforestry.

4.2 INTRODUÇÃO

O cedro-rosa *Cedrela fissilis* é historicamente uma das principais plantas nativas de importância madeireira na porção austral do continente americano (GRIGNOLA et al., 2014). O seu elevado valor de mercado, conferido pelas excelentes características da madeira (CUSATIS et al., 2013), provocou intensa exploração dos exemplares adultos (Figura 6). Fazendo com que a espécie fosse incluída na lista das plantas ameaçadas de extinção na flora brasileira (CNCFlora, 2014).

Figura 6 – Planta adulta de *Cedrela fissilis* à esquerda e ao lado planta de três anos de idade, CAV/UEDESC, 2017.



Fonte: Mauro Guanandi, 2015



Fonte: Autor, 2017

A iniciativa de implantação de áreas comerciais com cedro-rosa tem sofrido reveses frequentes pelos ataques da broca-do-cedro *Hypsipyla grandella* nos primeiros anos de implantação, tornando inviáveis tais empreendimentos (MACÍAS-SÁMANO, 2001). Nos últimos anos os produtores do oeste catarinense iniciaram o cultivo consorciado de *C. fissilis* em sistemas agroflorestais. Entretanto, há pouco conhecimento de como o manejo da sombra nestes sistemas impacta no desenvolvimento das plantas e na frequência do ataque de *H. grandella*.

H. grandella é um lepidóptero da família Pyralidae. O inseto adulto apresenta coloração cinza nas asas anteriores e branco hialino nas posteriores (Figura 7), a envergadura das asas das fêmeas varia de 28 a 34 mm e do macho 20 a 26 mm (BERTI FILHO; NAKANO, 1992). Os adultos têm hábito noturno e as fêmeas acasaladas fazem posturas individuais nas folhas (HOWARD; MERIDA, 2004). O período de incubação dos ovos é em média de quatro dias, as lagartas no primeiro ínstar alimentam-se das gemas axiais migrando posteriormente para as gemas apicais, num total de seis ínstaes (HIDALGO-SALVATIERRA; BERRIOS, 1972). No meristema apical destroem a medula formando um túnel onde se desenvolvem e as pupas se formam geralmente no ápice deste túnel. Em condições de laboratório, 25°C e 60% de umidade relativa, as fases imaturas têm a seguinte duração: ovo – 4 dias, larva – 20 dias, pupa – 10 dias (BRICEÑO, 1997).

Figura 7 – Acima adultos de *Hypsipyla grandella*, abaixo à esquerda sintomas de dano inicial no meristema e ao lado, a larva e a galeria aberta no interior do ramo, CAV/UDESC, 2017.



Fonte: Daniel Janzen, 2008



Fonte: Autor, 2017



Fonte: Autor, 2017

A broca-do-cedro é o maior desafio fitossanitário para o cultivo de meliáceas como cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) (YAMAZAKI et al., 1992). Ao se alimentarem dos meristemas dos ramos apicais, as larvas provocam intensa brotação o que compromete a produção de árvores com fuste ereto (OHASHI et al., 2002), reduzindo o desenvolvimento e, em casos severos e repetidos, causam a morte da planta (OHASHI et al., 2005). O sintoma do ataque é a formação de exsudados com goma no ápice da planta e à medida que a larva se alimenta da medula é possível ver a morte das folhas mais novas com a formação de serragem em vários pontos do ramo (GRIFFITHS, 2001; LUNZ et al., 2010).

Alguns métodos de manejo e controle propostos como a aplicação de inseticidas (GOULET; RUEDA; SHELTON, 2005) e poda de rebrotes (CORNELIUS, 2001) mostraram-se inviáveis economicamente ou pouco eficientes. Uma alternativa utilizada por produtores, mas que até o momento não tem eficiência comprovada, é a manutenção das plantas jovens sob sombreamento de espécies arbóreas pioneiras em plantios consorciados (HERAUT-BRON et al., 1999). Por este motivo a opção de plantio do cedro em sistemas agroflorestais é recomendado por Pérez-Salicrup e Esquivel (2008).

Muitos pesquisadores buscam encontrar nos semioquímicos uma ferramenta de manejo eficiente para a broca-do-cedro (MACÍAS-SÁMANO, 2001; SOARES et al., 2003; LAGO et

al., 2006). A primeira pesquisa realizada no esforço de encontrar o feromônio sexual da espécie foi apresentada por Borek et al. (1991), indicando como os principais compostos Z9E12-14 OH, 16 Ac e Z3-16 Ac. Entretanto, as respostas de campo mostraram pouca efetividade da formulação conforme relatam Lunz et al. (2010). Uma nova mistura feromonal proposta por Piñeda-Rios et al. (2014) e Blassioli-Moraes et al. (2017) é formada pelos compostos Z9-14OH, Z9E12-14OH, Z9-14Ac e Z9E12-14Ac.

Outra linha de pesquisa está relacionada com o uso de cairomônios emitidos pelo cedro e que as fêmeas utilizam para identificar a planta hospedeira. O primeiro trabalho foi desenvolvido por Soares et al. (2003), analisando o óleo essencial de folhas de *S. macrophylla*. A pesquisa identificou β -cariofileno como principal composto ativo para fêmeas da espécie. Recentemente Abraham et al (2014) avaliaram os compostos orgânicos voláteis (VOCs) emitidos por diferentes espécies de meliáceas atacadas por *Hypsipyla robusta* identificando os seguintes grupos de compostos: monoterpenos, sesquiterpenos, aldeídos, alcanos, ésteres, álcoois, alcenos e cetonas. Os voláteis foram coletados pelo método closed-loop-stripping-analysis (CLSA) e identificados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS). Um dos compostos presentes e que apresentou respostas biológicas foi β -cariofileno.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da cobertura no desenvolvimento das plantas de cedro-rosa, incluindo a produção de VOCs, e como o cedro-rosa submetido aos diferentes regimes de luz influencia o comportamento de busca de *H. grandella* pelo hospedeiro em condições de campo e laboratório.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Experimento de campo

O experimento foi instalado em sistema agroflorestal (SAF) contendo plantios de cedro-rosa, no município de Fraiburgo no oeste catarinense, com dimensões de 2,2 hectares localizado nas coordenadas geográficas 27° 01' 43"S, 50° 56' 32"O. A precipitação média na região é de 1.500 mm/ano e a temperatura média anual de 15,3 °C (TRABAQUINI; VIEIRA, 2017). O clima enquadrado no tipo Cfb, conforme classificação de Köppen (1948).

O SAF foi implantado no mês de agosto de 2013, havendo além do cedro-rosa, erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*). O plantio foi instalado em área onde já existiam árvores pioneiras adultas como bracatinga (*Mimosa scabrella*), canela-guaicá (*Ocotea puberula*) e fumeiro-bravo (*Solanum mauritianum*). As mudas de cedro foram

obtidas no viveiro Eco Empreendimentos Ambientais sediada na cidade de Chapecó-SC, que mantem matrizes da espécie. As plantas foram selecionadas para altura 15 ± 2 cm e diâmetro de coleto $0,5 \pm 0,2$ cm, os plantios foram feitos na densidade de 50 plantas por hectare com espaçamento de 20 x 10 metros, não foi utilizada adubação de base ou cobertura.

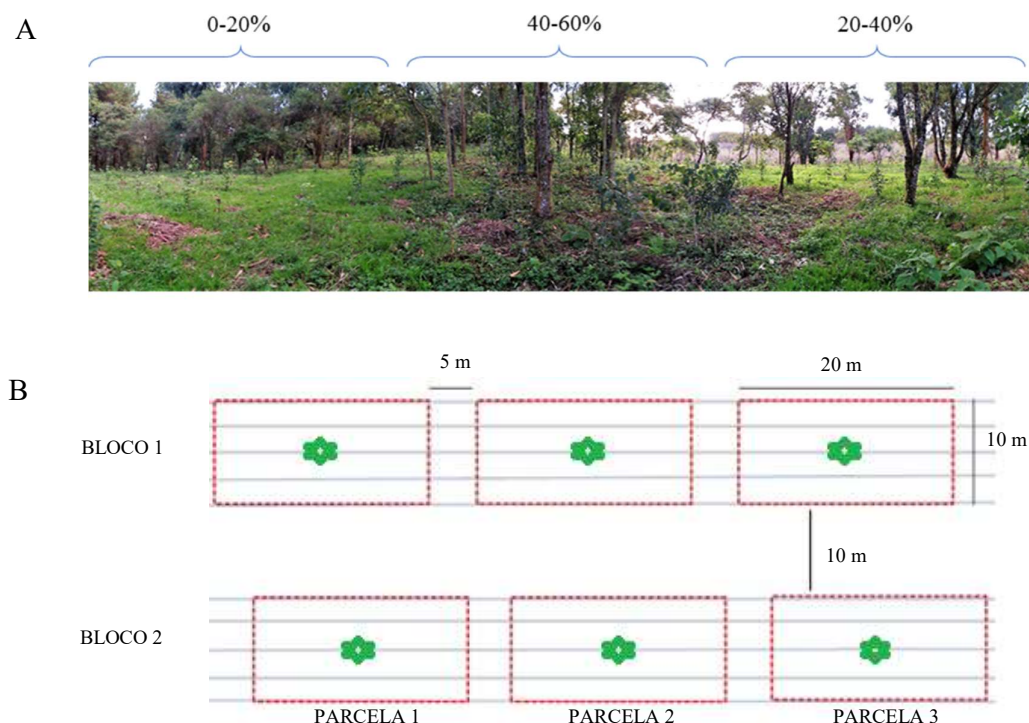
Os tratos culturais foram o coroamento das mudas e roçada nos meses de outubro/novembro e uma segunda roçada nos meses de fevereiro/março, repetidos anualmente. Durante todo o primeiro ano foi mantida a vegetação arbórea original, com intuito de reduzir o efeito das geadas. Por esse motivo não foram instalados os tratamentos com diferentes níveis de cobertura até o mês de agosto de 2014.

No primeiro ciclo, 2013-2014, o acompanhamento do desenvolvimento das plantas foi feito escolhendo cinco fileiras distanciadas de 20 metros nas quais foram marcadas quatro plantas ($n=20$). A altura foi mensurada utilizando trena graduada e o diâmetro do coleto com paquímetro (Starrett Brasil, modelo 125 MEBT-8/200). Os parâmetros escolhidos para análise de desenvolvimento (altura e diâmetro de coleto) são destacados como os métodos mais eficiente e prático para a definição de padrões de qualidade de plantas jovens bem como estimar o crescimento inicial no campo (SOUZA, 1981; MEXAL; LANDIS, 1990; CARNEIRO, 1995). As medições foram conduzidas nos meses de janeiro e agosto de 2014.

No segundo ano (2014-2015), durante os meses de agosto a outubro de 2014, foram instalados seis blocos experimentais utilizando delineamento de blocos ao acaso com três tratamentos e seis repetições. A distância mínima entre blocos foi de 10 metros e entre parcelas de 5 metros. Cada parcela apresentou dimensões de 10 m (largura) x 20 m (comprimento), contendo uma planta de cedro posicionada ao centro (Figura 8).

No bloco foram sorteados os tratamentos: 0 a 20%, 20-40% e 40-60% de cobertura de dossel. Para obter o nível de cobertura estabelecido, as plantas pioneiras foram cortadas ou podadas até que a intensidade de cobertura desejada fosse atingida, para orientar esse trabalho foram utilizados luxímetros digitais Lux Meter MLM-1011, aferindo três pontos por parcela, dois nos extremos e um central, no mesmo instante outro equipamento foi mantido em céu aberto, esta metodologia serviu de parâmetro inicial para orientar a intensidade do desbaste das plantas e ramos das parcelas, foi estabelecida uma margem de segurança de 10% a mais de cobertura para futuras correções.

Figura 8 – Retrato panorâmico de um bloco experimental e croqui esquemático de dois blocos experimentais



Fonte: Autor, 2017

Obs.: A. retrato panorâmico de um bloco experimental: a esquerda a parcela com tratamento 0-20% de cobertura, ao centro 40-60% e a direita 20-40%. B. croqui esquemático de dois blocos experimentais – de um total de seis - indicando as distâncias entre as parcelas e ao centro a posição central das mudas de *Cedrela fissilis*, CAV/UEDESC, 2017.

Após a primeira etapa, o nível correto da cobertura foi aferido com fotografias do dossel acima das parcelas, utilizando uma máquina semi-profissional Sony Cyber-Shot DSC-HX1, munida de lente fisheye da marca Pixco, modelo FC-67E25 0,25X, montada sobre um tripé contendo dois níveis circulares e um nível tubular. O equipamento foi instalado, com correção do nível, a um metro de altura do solo, capturando a imagem da cobertura vegetal existente. As imagens foram tratadas pelo programa HemiView (Delta-T Devices Lda), estabelecendo a porcentagem de cobertura sobre quatro pontos distintos de cada parcela através de metodologia adaptada de Jonckheere et al. (2004). Foi calculada a média de cobertura por parcela e naquelas em que o nível ficou acima do desejado, novas podas foram realizadas, seguidas de novas aferições por fotografias, até que fosse alcançado a cobertura desejada.

Durante a instalação do experimento, especialmente no processo de poda e corte das árvores pioneiras, foi tomado cuidado para que os galhos não atingissem a planta de cedro localizada na posição central da parcela. O acompanhamento do desenvolvimento das plantas nas parcelas foi realizado nos meses de janeiro e julho de 2015 e janeiro de 2016 com novas

medições da altura das plantas e diâmetro do coleto, utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente. O índice de cobertura das parcelas foi aferido no mês de abril de 2015, conforme metodologia anteriormente descrita. Sempre que necessário foram feitas podas de correção para manter a porcentagem de cobertura estabelecida no início do experimento.

As plantas foram vistoriadas semanalmente para identificar danos iniciais causados pela broca-do-cedro (*H. grandella*), como os ataques foram concentrados entre os meses de novembro a fevereiro, não foi possível avaliar o número de ataques por planta e sim qualificar as plantas como atacadas ou não atacadas, este fato teve influência na análise estatística dos dados utilizando-se assim o teste não paramétrico Q de Cochran.

Os dados de desenvolvimento das plantas foram submetidos a análise de variância ANOVA ($p < 0,05$), com o programa estatístico SAS (CARY, 2002), e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

4.3.2 Monitoramento de adultos de *Hypsipyla grandella*

A estratégia utilizada neste estudo para o monitoramento da broca-do-cedro foi o uso de semioquímicos. Em primeiro plano os feromônios sexuais da espécie, mas também uma mistura de cairomônios comerciais eficiente para diversos lepidópteros (FALEIRO et al., 2016), para estimar a população da espécie no campo. As armadilhas foram mantidas a campo entre os meses de setembro a abril durante os anos 2013 a 2016. Foram testados quatro tratamentos utilizando o delineamento de blocos casualizados com cinco repetições: 1) 1 mg da formulação feromonal proposta por Blassioli-Moraes et al. (2017) impregnada em septo de borracha, em armadilha Delta plástica; 2) 0,5 mg da formulação feromonal proposta por Borek (1991) impregnada em septo de borracha, em armadilha Delta plástica; 3) Atrativo comercial com cairomônios para lepidópteros NOCTOVI® (Isca Tecnologias Ltda) na dose de 200 mL instalados em armadilhas Ajar (CICHON et al., 2013); 4) Testemunha absoluta contendo septo de borracha sem feromônios em armadilha Delta plástica (Figura 9). As armadilhas foram fixadas em pontos marcados a 1,80 metros de altura e amostradas semanalmente. Para eliminar influência da posição das armadilhas na captura dos insetos, a cada monitoramento foi feito o rodízio da posição dos tratamentos dentro dos blocos. A distância entre as armadilhas foi de 25 metros e 40 metros entre blocos. O atrativo NOCTOVI® foi trocado a cada 15 dias, os septos de borracha trocados mensalmente. Os dados de capturas foram submetidos à análise de variância ANOVA ($p < 0,05$), com o programa estatístico SAS (CARY, 2002) e as médias comparadas pelo teste de Duncan.

Figura 9 – Detalhes das armadilhas utilizadas para o levantamento populacional de *Hypsipyla grandella*



Fonte: Autor, 2017

Obs.: À esquerda armadilha modelo Ajar, ao centro armadilha modelo Delta e a direita painel com cola com destaque para os machos de *H. grandella* capturados, CAV/UDESC, 2017.

4.3.3 Cairomônios emitidos por *Cedrela fissilis*

- Insetos

Os insetos foram coletados diretamente de ramos atacados em plantios de cedro-rosa e mogno na fazenda Tropical Flora em Garça-SP. Estes foram transferidos para sala de criação na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília-DF em ambiente controlado 27 ± 2 °C, umidade 60-80% e fotoperíodo de 12:12. As lagartas foram criadas em ramos de cedro com 15 cm de comprimento e diâmetro mínimo de 1,5 cm dos quais foi retirado 2 cm da medula para induzir as lagartas a ocuparem esse espaço formando uma nova galeria de alimentação. Semanalmente os ramos foram trocados e as lagartas transferidas até atingirem o estágio de pupa. As pupas foram separadas por sexo observando os seguimentos terminais da capsula pupal.

- Plantas

As mudas com 20 ± 2 cm de altura foram adquiridas no viveiro Eco Empreendimentos Ambientais Ltda, plantadas individualmente em vasos de 1,0 L com solo e substrato orgânico na proporção 1:1. As plantas foram transferidas para casa de vegetação e divididas em quatro grupos de 12 indivíduos que receberam por 45 dias níveis distintos de sombreamento: pleno sol, 15%, 30% e 50% de sombra, obtido através de telas plásticas Sombrite®.

A influência das telas na interceptação da radiação solar incidente, na faixa de 300 a 750 nm, foi aferida através de três medições com o espectroradiômetro marca Li-Cor Inc., modelo LI-1800, como era esperado não houve diferenças entre as aferições realizadas. Esta mesma aferição foi feita nas parcelas do experimento de campo amostrando cinco pontos por parcela (Tabela 10). Os dados permitiram o cálculo da porcentagem de redução provocada pelos

tratamentos na radiação ultravioleta (UV), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em relação ao pleno sol, bem como mensurar a relação vermelho: vermelho-distante (V:VD).

Tabela 10 – Percentagem radiação ultravioleta e radiação fotossinteticamente ativa

A	Radiação	λ	0%	15%	30%	50%
	UV	300-390 nm	100%	0,692%	0,566%	0,334%
	PAR	400-700 nm	100%	0,707%	0,605%	0,367%
	Relação V:VD		2,27	2,37	2,27	2,56

B	Experimento campo				
	Radiação	λ	0-20%	20-40%	40-60%
	UV	300-390 nm	65,9%	87,4%	95,6%
	PAR	400-700 nm	57,0%	84,7%	95,9%
	Relação V:VD		2,20	2,05	1,40

Fonte: Autor, 2017

Obs.: A: Percentagem de radiação ultravioleta (UV) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que as telas Sombrite® permitiram chegar às plantas em relação ao pleno sol (0%) e relação vermelho-distante (V:VD); B: Percentual médio de interceptação das radiações ultravioleta (UV) e fotossinteticamente ativa (PAR) e relação vermelho: vermelho-distante (V:VD) nas três diferentes classes de cobertura em sistemas agroflorestais em Fraiburgo, SC, CAV/UDESC, 2017.

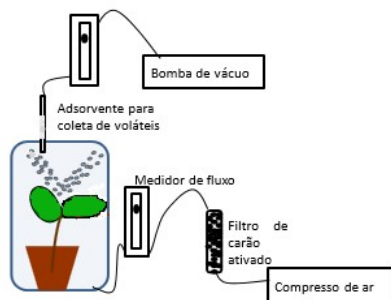
- Coleta de voláteis

Para avaliar a influência do sombreamento na produção dos compostos orgânicos voláteis (VOCs) liberados pelas plantas de cedro-rosa, foi realizada a aeração das plantas submetidas aos diferentes tratamentos de sombra por 45 dias. A coleta de voláteis foi conduzida no mês de fevereiro de 2015, no Laboratório de Semioquímicos da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia em Brasília-DF no qual as plantas foram expostas a um sistema de aeração com pressão positiva por 24 horas. Foram feitas 12 aerações por tratamento (quatro repetições contendo três plantas cada), durante todo o processo as plantas foram mantidas cobertas pela tela plástica correspondente e o vaso com solo isolado com papel alumínio para reduzir a emissão de voláteis destes pontos.

O método consiste em inserir as plantas em câmeras de vidro individuais de 10 L contendo dois orifícios (Figura 10): um destinado a entrada de ar previamente filtrado por carvão ativado, a um fluxo de $1,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ localizado na base da câmara; e um segundo na extremidade superior destinado à saída de ar (fluxo de $0,6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) passando por um tubo contendo adsorvente polimérico Super Q (100 mg, 80-100 mesh, Alltech, PA, USA). Esse fluxo de ar forma uma pressão positiva dentro da câmara e impede que ar não filtrado entre na câmara. Os voláteis liberados pelas plantas são puxados pela bomba de vácuo para o adsorvente.

Passadas 24 horas os tubos de adsorventes foram eluídos com 0,5 mL de hexano redestilado. As amostras foram concentradas sob fluxo de nitrogênio para um volume de 50 μL e estocadas em frascos de vidro a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 10 - Esquema de montagem da estrutura para coleta de voláteis e imagem da estrutura de aeração em funcionamento, CAV/UEDESC, 2017



Fonte: Autor, 2017

Os extratos da aeração das plantas foram analisados quantitativamente através de cromatografia gasosa (CG) pelo equipamento Agilent 7890A acoplado a uma detecção por ionização de chamas (DIC) mantido a $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma coluna DB-5MS (60 m x 0,32 mm x 0,25 μm , Supelco, PA, USA). A programação do forno cromatográfico: temperatura inicial de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 min, com aumento de $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ até $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantendo por 0,1 min, depois aumentando $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ até $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ e mantendo por 20 min; como gás de arraste foi usado hélio ($1,5\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$); e a temperatura do injetor a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um microlitro de cada amostra foi injetado, a quantificação dos compostos liberados pelas plantas foi realizada pelo método do padrão interno (PI) adicionando o composto 16-hexadecanolactona na concentração final de 0,01 mg/mL em cada amostra. Para a quantificação foram comparadas as áreas do PI com a área dos compostos de interesse.

A identificação dos compostos foi realizada através de cromatografia gasosa acoplada ao detector de espectrometria de massas (CG-EM) (Agilent 5975-MSD) equipado com analisador quadrupolar e uma coluna DB-5MS (30 m x 0,32 mm x 0,25 μm , Supelco, PA, USA), um injetor splitless e hélio como gás de arraste, mantendo a mesma programação de forno descrita anteriormente para as análises no CG-DIC.

Os dados foram coletados e analisados com o *software* Agilent ChemStation. A identificação dos voláteis foi realizada por comparação do padrão de fragmentação dos

compostos da amostra com os dados catalogados em bibliotecas espectrais (NIST, 2008) e também pelo cálculo do índice de retenção (IR). Os índices de retenção foram calculados usando tempos de retenção de uma série linear de alcanos (C₈-C₂₄) (LUCERO et al., 2009). Quando possível a identificação foi confirmada por injeção de padrões autênticos.

A influência dos tratamentos sobre a produção de compostos pelas plantas foi avaliada por Modelos Lineares Generalizados - GLM e análise de variância, com distribuição gamma e função de ligação inversa. Quando a análise mostrou diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas usando análise de contraste. A análise foi realizada com o *software* estatístico R-Studio (Foundation for Statistical Computing, versão 0.99.467). Como os dados de produção de voláteis por plantas não são independentes, uma vez que as rotas biosintéticas estão interligadas, esses dados também foram analisados por análise multivariada e análise de componentes principais (ACP) usando o *software* PAST Paleontological Statistics *Software* (PAST version 3.10).

4.3.4 Eletrofisiologia

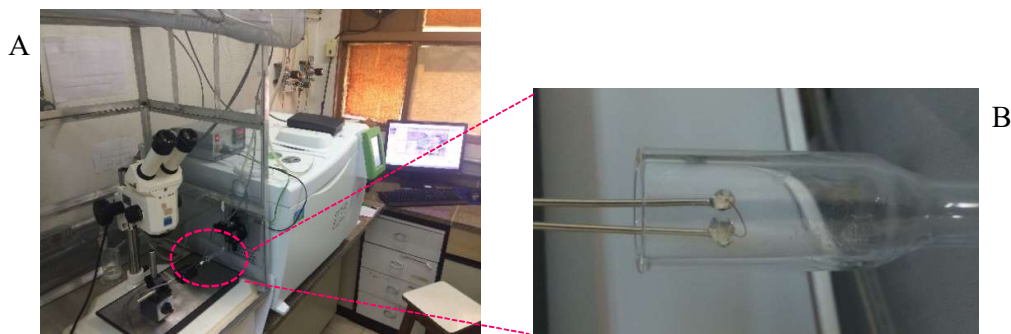
A resposta das antenas de machos e fêmeas de *H. grandella* aos voláteis emitidos por *C. fissilis* foi testada através de medidas eletroantegráficas usando os extratos obtidos na aeração das plantas expostas a pleno sol. Este tratamento foi escolhido por ser a condição em que a maior frequência de danos é observada em campo (MACÍAS-SÁMANO, 2001; MARTÍNEZ; RANGEL, 2004; GROGAN et al., 2005).

Todos os insetos adultos usados nos estudos de CG-EA haviam emergido há pelo menos 24 horas. Nos estudos de GC-EAD utilizou-se um CG (Perkin Elmer Clarus 600 (Branchburg, NY) GC-EAD (Syntech Inc., Hilversum, The Netherlands) acoplado a um detector DIC e um detector EAD. O fluxo da coluna foi dividido de forma igual para os dois detectores, permitindo obter a resposta do DIC e da antena no EAD simultaneamente (Figura 11). O GC foi equipado com uma coluna DB-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm, J&W Scientific, Folsom, CA) e um injetor splitless tendo hélio como gás de arraste (1 mL.min⁻¹). A programação do forno cromatográfico: 50 °C por 2 min, com aquecimento de 15 °C.min⁻¹ até 250 °C por 10 min e injetor a 250 °C. A temperatura da interface do GC com o EAD foi mantida em 195 °C.

A antena foi preparada fazendo um corte na altura do pedicelo, sob estereomicroscópio binocular com auxílio de uma tesoura microcirúrgica. A antena posicionada em eletrodo bifurcado de prata. A extremidade basal da antena foi aderida ao eletrodo de referência e a apical ao eletrodo de trabalho, ambas imersas em gel (Signa gel, Parker®) possibilitando a

condutividade elétrica da amostra. O eletrodo com a antena foi conectado a um pré-amplificador IDAC-2 (Syntech, Inc.) e um fluxo de ar umidificado (1 L.min^{-1}) através do equipamento Stimulus Controller CS-55 (Syntech, Inc) sobre a antena para evitar a desidratação.

Figura 11 – AGC-EAD utilizado para identificar respostas eletrofisiológicas da antena de *Hypsipyla grandella* aos compostos voláteis do cedro. B a antena montada no eletrodo, CAV/UEDESC, 2017



Fonte: Autor, 2017

As respostas das antenas foram medidas em despolarizações (mV), os sinais obtidos foram amplificados por um amplificador de alta impedância (UN-06, Synthec, Holanda) e os registros simultâneos das respostas do EAD e do DIC foram analisadas utilizando um *software* EAD (versão 2.3, Synthec, Holanda). Foram realizadas quatro repetições com as antenas de machos e fêmeas para cada tratamento avaliado, extrato de aeração de plantas e soluções sintéticas. A solução sintética em hexano foi preparada contendo 0.01 mg/mL de cada um dos compostos os quais foram observadas respostas consistentes nas quatro antenas testadas de cada sexo, nonanal; salicilato de metila; decanal e β -cariofileno.

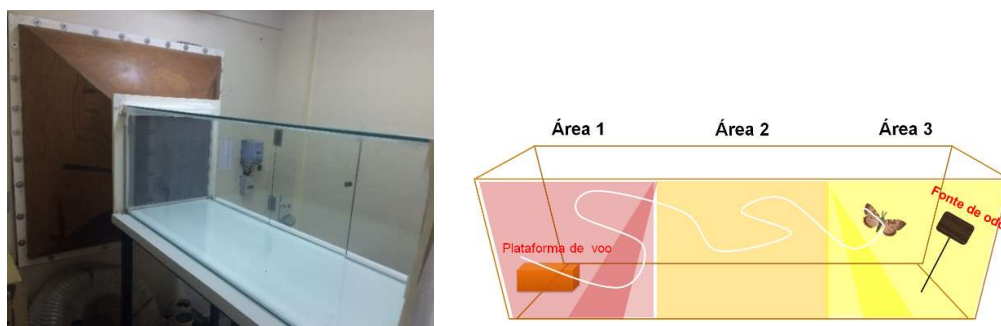
4.3.5 Túnel de vento

Os bioensaios com túnel de vento foram conduzidos no mês de março de 2017. Foi utilizado um túnel de vento com dimensões de $1,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}$ (Figura 12), com fluxo de vento controlado ($0,5 \text{ m.s}^{-1}$) por ventilador ligado a um inversor de frequência (CFW 08, WEG Brasil), um filtro de carvão instalado no início do sistema de alimentação acoplado a uma estrutura em formato de favo de mel garantiram a pureza e baixa turbulência do fluxo de ar dentro do túnel. Os testes foram conduzidos com insetos machos ($n=7$) por não haver disponibilidade de fêmeas na criação. Os insetos foram colocados individualmente em um cilindro transparentes de acrílico (10 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro) tampado com

algodão nas duas pontas e posicionados na extremidade oposta a entrada de ar e a 15 cm de altura no interior do túnel.

Foram avaliados dois tratamentos: 1) liberador Hook® (testemunha) (EL-SHAFIE et al., 2011) e 2) liberador Hook® contendo os atrativos sintéticos biologicamente ativos identificados na etapa de eletroantenografia na proporção similar à encontrada nos extratos obtidos na aeração de plantas em pleno sol. Uma dose de 3 mL contendo os tratamentos foi colocada em um vidro relógio com 5 cm de diâmetro o qual foi inserido no interior de uma gaiola feita de tela metálica (15 cm de comprimento e 7 cm de diâmetro) a qual ficou suspensa na extremidade da entrada do ar a 15 cm de altura dentro do túnel de vento.

Figura 12 – Túnel de vento utilizado para identificar respostas biológicas adultos de *Hypsipyla grandella* e a esquerda divisão esquemática das áreas consideradas para avaliação da reposta dos insetos, CAV/UDESC, 2017



Fonte: Autor, 2017

Os insetos foram liberados individualmente retirando o algodão das extremidades do tubo cilíndrico, a distância de um metro do ponto de liberação (tratamento). Os ensaios foram conduzidos em sala escura utilizando luz vermelha (Sollar Light, 21W), com temperatura (27 °C) e umidade (55%) constantes.

Com a intenção de facilitar a comparação entre os tratamentos, o comportamento dos insetos foi registrado por 10 min conforme a seguinte escala de resposta; 1) Repouso; 2) Anda na plataforma; 3) Voo até área 1; 4) Voo até área 2; 5) Voo até área 3 e 6) Pousou na fonte. Para fins de análise dos dados, foi determinado que apenas as respostas de nível 4 (voo até área 2) ou superior, indicaram atratividade do tratamento avaliado aos insetos. Os dados de resposta no túnel de vento foram analisados usando modelo linear generalizado com distribuição binomial e o intervalo de confiança dos insetos respondendo a cada tratamento foi calculado. A análise estatística foi conduzida através do programa R 3.0.1 (R Development Core Team, 2007).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Desenvolvimento de *Cedrela fissilis*

Na Tabela 11 é possível observar que o desenvolvimento das plantas ao final do primeiro ano, período anterior à instalação do experimento. Ao acompanhar o crescimento inicial de plantas de cedro-rosa por nove meses, Linzmeier (2011) identificou que ao final do período as plantas apresentavam 27,94 cm de altura e 0,72 cm de diâmetro de coleto.

Após 17 meses da instalação do experimento, as plantas submetidas a cobertura intermediário (20-40%) apresentaram altura e diâmetro de coleto superiores às que se desenvolveram sob cobertura mais intenso (40-60%). Ambos tratamentos não diferiram do tratamento 0-20% de cobertura (Tabela 11). Ao acompanhar por 33 meses o incremento inicial de mudas *C. fissilis*, Souza (1981) concluiu que a cobertura artificial de 29% conferiu às plantas altura superior às que submetidas a 55% de cobertura ou pleno sol. Inoue, Roderjan e Kuniyoshi (1984) observaram que plantas de cedro com dois anos de idade, desenvolvendo-se em áreas de preservação permanente no Estado do Paraná, podem atingir mais de 3 metros de altura desde que submetidas a sombreamento parcial.

Tabela 11 - Média da altura \pm desvio padrão (cm) e diâmetro do coleto \pm desvio padrão (cm) de plantas de cedro *Cedrela fissilis*

	Pré-instalação					
			janeiro		agosto	
	Altura (cm)		20,97 \pm 5,04		32,75 \pm 19,05	
2014	Diâmetro coleto (cm)		0,73 \pm 0,17		2,09 \pm 1,15	
	0-20%		20-40%		40-60%	
janeiro, 2015	55,50 \pm 30,74	ns	43,53 \pm 9,34		49,28 \pm 11,94	37,82
	1,95 \pm 1,47	ns	1,09 \pm 0,12		1,42 \pm 0,60	66,11
agosto, 2015	59,77 \pm 32,23	ns	51,70 \pm 22,45		55,97 \pm 17,76	29,74
	2,26 \pm 1,85	ns	1,96 \pm 1,53		1,56 \pm 0,99	39,96
janeiro, 2016	83,00 \pm 62,40	*ab	116,92 \pm 88,71	a	58,87 \pm 25,68	b 44,12
	2,83 \pm 2,11	*ab	3,36 \pm 2,92	a	1,78 \pm 0,79	b 41,58
* Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05)						
ns - não significativo						

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Nos três primeiros anos de desenvolvimento em sistema agroflorestal, submetidas a três classes de cobertura natural (0-20%, 20-40% e 40-60%) em Fraiburgo, SC, CAV/UDESC, 2017

Este comportamento é explicado por Ballaré (2014) através da ação do fotorreceptor phyB e de uma série de fenômenos fisiológicos conhecidos como Síndrome de Escape ao Sombreamento ou SAS – Shade-avoidance syndrome. Em pleno sol a relação entre os raios solares vermelho (V) e vermelho-distante (VD) V:VD é alta (Tabela 10), nestas condições phyB encontra-se ativado. À medida que aumenta o sombreamento a radiação ao nível do vermelho (620-700 nm) é absorvida pelas folhas da parte alta do dossel e o vermelho-distante (700-750 nm) é refletida, com isso a razão V:VD diminui. A partir daí o phyB é parcialmente inativado permitindo a expressão dos Fatores de Interação do Fitocromo (PIF), os quais promovem a transcrição de promotores de crescimento como auxinas e giberelinas.

Este efeito da sombra originando o SAS é chamado por Hideg, Jansen e Strid (2013) de o “bom estresse”. No entanto, há limites além dos quais o desenvolvimento é comprometido (SANTOS et al., 2006). Sob sombreamento intenso observa-se a expressão do SAS, mas o crescimento passa a ser progressivamente menor a medida que as reservas da planta se esgotam e as taxas fotossintéticas são insuficientes para suportar a demanda energética (SANTOS et al., 2006; PAULILO, 2007; SANCHES; MARZINEK; BRAGIOLA, 2017).

4.4.2 Flutuação populacional e danos de *Hypsipyla grandella*

Outro fato a ser destacado é que o desenvolvimento inicial das plantas no tratamento 0-20% foi bastante afetado nos dois anos pelos ataques frequentes da broca-do-cedro *Hypsipyla grandella* como demonstrado na Tabela 12. O efeito danoso do inseto em plantios novos de cedro e mogno é destacado por diversos autores (BARROS et al., 2011; DE LA RETA et al., 2015; PEREIRA et al., 2016).

A maior suscetibilidade das meliáceas ao ataque de *H. grandella* quando expostas a altos índices de radiação solar é comprovado em muitos estudos (BRIENZA JUNIOR, 1980; YARED; KANASHIRO; CONCEIÇÃO, 1988; COSTA et al., 2000; MAHROOF; HAUXWELL; EDIRISINGHE, 2000; GUIMARÃES NETO et al., 2004; SILVA, 2007; RUIZ et al., 2016). O comportamento dos danos observados em nosso experimento de campo, especialmente no ciclo 2015/2016 (Tabela 12), comprova essas referências onde a frequência de ataque no tratamento 0-20% foi superior ao observado na cobertura de 20-40% e de 40-60% onde não foram encontradas plantas atacadas durante todo período de amostragens.

Tabela 12 – Porcentagem de plantas de cedro-rosa *Cedrela fissilis* atacadas pela broca-do-cedro *Hypsipyla grandella*

Ciclo	Pré-instalação			
2013/2014	0 %			
	0-20%	20-40%	40-60%	CV%
2014/2015	50 % ns	50 %	0 %	136,93
2015/2016	50 % *a	16 % b	0 % b	129,54

*Dados seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo Teste Q de Cochran ($p < 0,05$)

ns - não significativo

Fonte: Autor, 2017-09-11

Obs.: Nas três diferentes classes de cobertura natural em sistemas agroflorestais em Fraiburgo, SC, CAV/UDESC, 2017

Sánchez-Soto, Domínguez-Domínguez e Cortés-Madrigal (2009) observaram que plantas de mogno mantidas em pleno sol apresentaram 55,5% de dano, enquanto naquelas mantidas sob sombreamento natural de 40% e 80% os ataques foram de 15,2% e 9,1% respectivamente. Esses dados seguem a mesma tendência observada em nosso estudo. Este comportamento foi relatado em trabalhos com *Hypsipyla robusta* em plantios de meliáceas na Nigéria por Entwistle (1967). Em pleno sol os ataques foram de 85%, com 16% nas plantas submetidas a 50% de sombra e nas que foram totalmente sombreadas não observou-se ataques.

Mahroof et al. (2002) apontam o hábito das fêmeas do gênero *Hypsipyla*, como o fator que justifica esse comportamento. Em ensaios de campo os autores encontraram 77% mais ovos em plantas mantidas em pleno sol que naquelas expostas à sombra.

O monitoramento de *H. grandella* na área experimental (Tabela 13) mostrou que a mistura feromonal proposta por Blassioli-Moraes et al. (2017) – tratamento 1 (T1), não diferiu de T2 feromônio proposto por Borek et al. (1991) durante o ciclo 2014/2015, mas foi superior a T3 (NOCTOVI®) e T4 (testemunha). No ciclo 2015/2016 observa-se que T1 superou todos os outros tratamentos. Estes dados são semelhantes aos publicados por Blassioli-Moraes et al. (2017).

Tabela 13 - Média de capturas de *Hypsipyla grandella* por tratamento por ano \pm desvio padrão

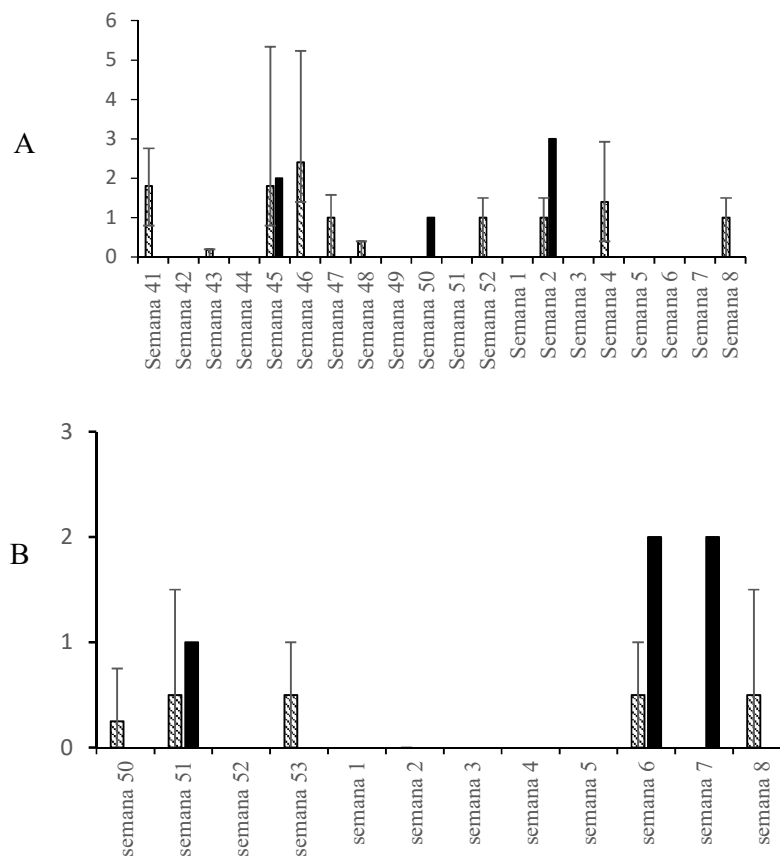
Período	Tratamentos				CV (%)
	T1	T2	T3	Test.	
2013/14	1,00 \pm 0,63 ns	0,60 \pm 0,40	0,20 \pm 0,20	0,00 \pm 0,00	197,12
2014/15	8,60 \pm 3,09 a*	3,20 \pm 1,62 ab	0,00 \pm 0,00 b	0,20 \pm 0,20 b	110,67
2015/16	2,25 \pm 0,94 a*	0,25 \pm 0,25 b	0,00 \pm 0,00 b	0,00 \pm 0,00 b	84,13

* Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$)
ns – não significativo

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Em armadilhas Delta iscada com septos de borracha (T1, T2 e Testemunha) e Ajar iscadas com liberador Hook® contendo cairomônios para atração de lepidópteros NOCTOVI® (T3). Em sistema agroflorestal em Fraiburgo, SC, CAV/UDESC, 2017.

Importante notar que as armadilhas de feromônio identificaram pequenas flutuações populacionais do inseto, as quais muitas vezes não tiveram reflexos no aumento de danos nas plantas (Figura 13). Esta condição sugere que o feromônio sexual avaliado pode ser utilizado como ferramenta de monitoramento populacional para orientar a tomada de decisão quanto a aplicação de medidas de controle do inseto (METCALF; LUCKMANN, 1994).

Figura 13 – Média de capturas semanais de *Hypsipyla grandella*

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Em armadilhas Delta iscadas com feromônio sexual (colunas listradas) e número de danos identificados por semana em plantas de cedro *Cedrela fissilis* (colunas negras) nos ciclos 2014/2015 (A) e 2015/2016 (B) em sistema agroflorestal em Fraiburgo, SC, CAV/UDESC, 2017.

4.4.3 Compostos voláteis

Foram identificados 31 compostos voláteis emitidos por plantas de cedro expostas a diferentes níveis de sombra artificial (Tabela 14). Dos 31 compostos, o grupo com maior número de representantes identificados foram os sesquiterpenos ($n=11$), seguidos dos monoterpenos ($n=6$). O efeito dos tratamentos foi marcadamente observado na produção do composto salicilato de metila, plantas com nenhum sombreamento produziram aproximadamente $95,2 \pm 2,3$ ug/24 horas, com 15% de sombreamento a produção média foi de $300 \pm 213,7$ ug/24h, com 30% de $522,2 \pm 229,8$ ug/24h, alcançando o ápice de produção no sombreamento de 50% com $752,0 \pm 286,4$ ug/24h, aliado ao desvio padrão proporcionalmente menor demonstra a alta influência do tratamento sobre todos os indivíduos.

Tabela 14 – Média da quantidade \pm desvio padrão em nanogramas (ng/24horas) dos voláteis de cedro *Cedrela fissilis*

n°	Composto	0%	15%	30%	50%
Monoterpenos					
1	α -pineno	46,5 \pm 21	78,5 \pm 23,4	79 \pm 20,9	48,4 \pm 23
2	Canfeno	10,8 \pm 6,7	17,8 \pm 4,4	13 \pm 10,2	7 \pm 7,7
3	Eucaliptol	7,2 \pm 7,1	20 \pm 4,5	11,8 \pm 8,6	11,8 \pm 7,9
4	(E)-ocimeno	7 \pm 4,7	14,8 \pm 6,9	8,1 \pm 7,2	9 \pm 5,8
5	Limoneno	23,5 \pm 11,6	32,5 \pm 17,1	37,2 \pm 12,9	34,7 \pm 12,5
6	Isoborneol acetato	0,3 \pm 0,6	1,8 \pm 3,6	1,4 \pm 1,6	1,5 \pm 2
Sesquiterpenos					
7	α -cariofileno	39 \pm 22,1	48,3 \pm 16,5	37,9 \pm 7,5	40,9 \pm 1,7
8	α -copaeno	2,4 \pm 3,5	0,2 \pm 0,4	2,2 \pm 4,2	8,9 \pm 15,9
9	α -farneseno	34,2 \pm 16,7	30,6 \pm 15,1	33,1 \pm 21,6	20 \pm 9,9
10	Aromadendreno	12,8 \pm 7,9	31 \pm 29,7	38,3 \pm 25,6	18,3 \pm 13,9
11	β -cariofileno	97 \pm 123,9	147,5 \pm 118,9	52,6 \pm 40	76,4 \pm 13,6
12	β -cubebeno	5,4 \pm 3,8	9,9 \pm 2,6	16,6 \pm 10,6	16,5 \pm 15,2
13	β -elemeno	31,5 \pm 33,9	32,2 \pm 36,3	14,8 \pm 4,5	14 \pm 3,9
14	Bicicloelemeno	29,3 \pm 12,9	42,8 \pm 15,5	37,8 \pm 4,9	32,4 \pm 4,5
15	Elixeno	70 \pm 29,5	133,7 \pm 50,9	88,7 \pm 22,5	90,3 \pm 11,1
16	Germacreno D	252,7 \pm 423,3	329,6 \pm 378,2	86,2 \pm 46,5	157,2 \pm 65,5
17	Linalol	39,7 \pm 25	64,1 \pm 33,7	55,4 \pm 20,7	51,6 \pm 11,9
Homoterpenos					
18	(E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno (DMNT)	12,3 \pm 8,9	35,2 \pm 24,8	19 \pm 10,7	20,2 \pm 6,1
19	(E,E)-4,8,12-trimetil-1,3,7,11-tridecatetraeno (TMTT)	19,6 \pm 27,5	13,2 \pm 2,4	36 \pm 37,6	18,4 \pm 8,4
Álcool					
20	Diidromicernol	1,2 \pm 1	3,5 \pm 3,2	4,5 \pm 3	5 \pm 1,6
Aldeídos					
21	Metil-5metilhexanoato	14,3 \pm 13,5	35,2 \pm 24,5	43,4 \pm 35,5	21,4 \pm 15,4
22	Nonanal	165,4 \pm 97,2	185,2 \pm 28,5	159,1 \pm 30,5	168,5 \pm 26,7
23	Decanal	217,9 \pm 163,8	270,8 \pm 74	240,4 \pm 68,5	251,2 \pm 35,5
Acetonas					
24	Sulcatone (6M5H2O)	29,4 \pm 12,1	18,9 \pm 4,6	18,9 \pm 6,1	17,6 \pm 5,8
25	Geranil acetone	14,4 \pm 17,8	44,2 \pm 51,8	21,4 \pm 29,5	43,3 \pm 58,1
Ester					
26	Salicilato de metila	95,2 \pm 57,8	300,4 \pm 213,7	522,2 \pm 229,8	725 \pm 286,4
Heterocíclico aromático					
27	Benzotiazol	2,4 \pm 2,3	5,6 \pm 3,3	5,2 \pm 4,7	8,1 \pm 9
Alcanos					
28	Tridecano	108,9 \pm 86,9	128,1 \pm 61,7	167,6 \pm 133,1	162,2 \pm 134,4
29	Tetradecano	264,1 \pm 165,6	298,7 \pm 24,1	259,6 \pm 87,6	253,5 \pm 63,7
30	Pentadecano	46,8 \pm 77,3	8,9 \pm 2,9	41 \pm 24,6	16,2 \pm 10,2
31	Hexadecano	65,7 \pm 33,5	95,4 \pm 48,8	67,1 \pm 15,3	69,6 \pm 8,7

Fonte: Autor, 2017

Obs.: Coletados em 24 horas pelo método de aeração de plantas expostas a quatro diferentes níveis de sombreamento obtido através de Sombrite® em Brasília, DF, CAV/UDESC, 2017.

Os sesquiterpenos são os compostos secundários mais abundantes em diversas espécies de plantas. Sua função ecológica vem sendo revelada, mas sua importância nas relações das plantas com insetos e patógenos é notadamente reconhecida (CHENG et al., 2007).

Mariscal-Lucero et al. (2015) ao avaliarem a variação de compostos nas folhas do cedro espanhol (*Cedrela odorata*) provenientes de diferentes localidades do México, através de extratos fenólicos e acetônicos das folhas, identificaram que os sesquiterpenos são o grupo de compostos voláteis mais frequentes, com destaque para β -elemeno, β -cariofileno e aromadendreno e que as diferenças de concentração deste grupo permitem a identificação da origem das populações estudadas. Outros trabalhos reiteram a importância dos sesquiterpenos como os principais voláteis para *C. odorata* (DE PAULA et al., 1997; VILLANUEVA et al., 2009). Ao analisarem os óleos essenciais de folhas de mogno (*Swietenia macrophylla*) coletados em cinco regiões da Amazônia brasileira, Soares et al. (2010) também destacam os sesquiterpenos como o principal grupo de voláteis com destaque para germacreno D, biciclogermacreno, α -cubebeno e β -cariofileno, salientando que as diferentes concentrações encontradas entre as distintas regiões de coleta podem estar associadas à variação da suscetibilidade das populações ao ataque de *H.grandella*.

A predominância dos sesquiterpenos como voláteis das meliáceas também foi observada por Maia et al. (2000) ao analisarem óleos essenciais de folhas e ramos de *C. odorata*, *C. fissilis* e *Toona ciliata* (cedro australiano). No entanto, os autores destacam que o arranjo de sesquiterpenos do gênero *Cedrela* diverge dos de *Toona*. Diferentemente dos dados encontrados neste estudo, os autores destacam os compostos α -cubebeno, β -longipineno, cis-4(14),5-muroladieno e biciclogermacreno como os principais sesquiterpenos encontrados em folhas de *C. fissilis*.

Ao analisar o arranjo de voláteis coletados pelo método closed-loop-stripping-analysis (CLSA) de brotações de meliáceas dos gêneros *Entandrophragma* e *Khara* hospedeiros de *Hypsipyla robusta*, Abraham et al. (2014) identificaram 29 compostos dos quais 10 foram ésteres com destaque para salicilato de metila e oito sesquiterpenos: α -copaeno, α -farneseno, β -elemeno, β -cariofileno e germacreno D.

A análise de GLM seguida por análise de variância mostrou que há diferença entre os tratamentos para o composto salicilato de metila ($\chi^2=32.680$, $df=3$, $p<0,001$), (*E*)-ocimeno, ($\chi^2=12.422$, $df=3$, $p<0,001$), DMNT ($\chi^2=7.848$, $df=3$, $p=0,05$) e o sesquiterpeno aromadendreno ($\chi^2=9.337$, $df=3$, $p=0,03$). A análise de contraste mostrou que os tratamentos com 15% ($t=2,40$, $df=44$, $p=0,02$), 30% ($t=2,97$, $df=44$, $p=0,005$) e 50% ($t=3,18$, $df=44$, $p=0,003$) de

sombreamento produziram uma mistura de voláteis diferente do tratamento sem sombreamento. Plantas submetidas a 15% de sombreamento produziram quantidades semelhantes de salicilato de metila comparado a plantas submetidas a 30% de sombreamento ($t=1,36$, $df=44$, $p=0,18$), mas menos do que plantas submetidas a 50% de sombreamento ($t=2,00$, $df=44$, $p=0,05$). Já plantas submetidas a 30% de sombreamento produziram a mesma quantidade de salicilato de metila que as plantas submetidas a 50% de sombreamento ($t=0,84$, $df=44$, $p=0,40$).

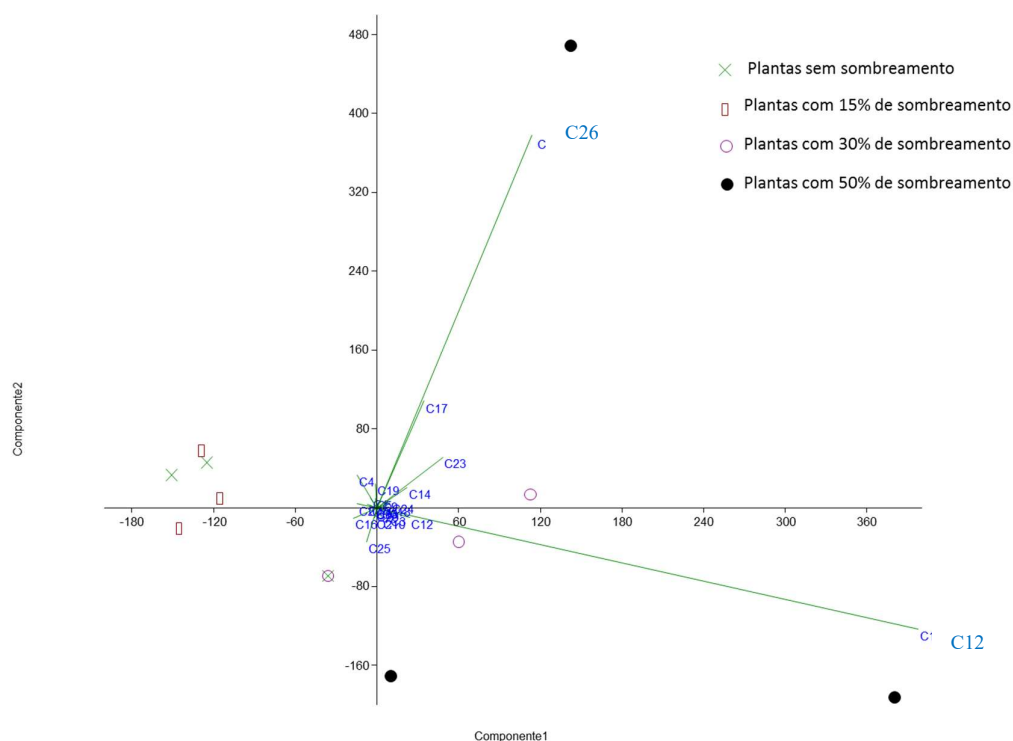
A análise de contraste mostrou que plantas que não foram submetidas a sombreamento produziram as mesmas quantidades de (*E*)-ocimeno que plantas submetidas a 15% de sombreamento ($t=1,9$, $df=44$, $p=0,06$). Já plantas submetidas ao sombreamento de 30% ($t=2,2$, $df=44$, $p=0,03$) e 50% ($t=2,3$, $df=44$, $p=0,02$) produziram uma quantidade menor de (*E*)-ocimeno do que plantas não submetidas a sombreamento (Tabela 14). A análise de contraste mostrou não haver diferença na produção de (*E*)-ocimeno entre os tratamentos com sombreamento: o tratamento 15% não foi diferente de 30% ($t=0,58$, $df=44$, $p=0,56$) e de 50% ($t=0,82$, $df=44$, $p=0,41$), os tratamentos 30% e 50% de sombreamento também não diferenciaram entre si ($t=0,25$, $df=44$, $p=0,80$).

A análise de contraste mostrou que o DMNT foi produzido em maior quantidade pelas plantas de cedro com sombreamento de 15%, ($t=2,28$, $df=44$, $p=0,03$), mas quando o sombreamento aumentou, a produção deste composto não diferenciou das plantas com sombreamento de 30% ($t=1,10$, $df=44$, $p=0,27$) ou 50% ($t=1,24$, $df=44$, $p=0,22$). Quando se comparou a produção do composto entre as plantas sombreadas não houve diferenças na liberação de DMNT entre os tratamentos: 15% não foi diferente de 30% de sombreamento ($t=-1,51$, $df=44$, $p=0,14$) e de 50% de sombreamento ($t=-1,38$, $df=44$, $p=0,17$). Plantas sob 30% de sombreamento produziram a mesma quantidade de DMNT que plantas com 50% de sombreamento ($t=0,16$, $df=44$, $p=0,87$).

A liberação de aromadendrene foi maior nas plantas submetidas a 15% de sombreamento ($t=1,97$, $df=44$, $p=0,05$) e 30% ($t=2,29$, $df=44$, $p=0,03$) comparada as plantas sem sombreamento. Já as plantas submetidas a 50% de sombreamento produziram a mesma quantidade de aromadendrene que as plantas sem sombreamento ($t=0,90$, $df=44$, $p=0,37$). Plantas submetidas a 15% de sombreamento não diferenciaram das plantas submetidas a 30% de sombreamento ($t=0,54$, $df=44$, $p=0,59$) ou 50% ($t=-1,27$, $df=44$, $p=0,21$). O mesmo quando comparamos a liberação de aromadendrene por plantas com 30% e 50% de sombreamento ($t=-1,7$, $df=44$, $p=0,09$). Para todos os demais compostos a análise por GLM não mostrou diferença entre os tratamentos

Na avaliação da influência do sombreamento no arranjo dos voláteis de *C. fissilis* pela análise de componentes principais (Figura 14) é possível observar que o composto β -cubebeno (C12) foi um dos responsáveis pela separação do tratamento com 50% de sombreamento dos demais tratamentos. Já o composto salicilato de metila (C26) separou o tratamento 30 e 50% dos demais tratamentos. O composto β -cubebeno (C12) na média não mostrou variabilidade entre os tratamentos quando aplicamos os GLM e análise de variância, mas a análise de PCA foi capaz de perceber a sua influência no tratamento de 50% de sombreamento. Já o composto salicilato de metila mostrou diferença significativa em relação aos outros tratamentos na análise por GLM e análise de variância. Nos dois compostos a quantidade é crescente a medida que aumenta o sombreamento das plantas.

Figura 14 – Análise de componentes principais (PCA) ordenados por componentes 1 e 2 dos voláteis emitidos por plantas de cedro (*Cedrela fissilis*)



Fonte: Autor, 2017

Obs.: Submetidas a quatro diferentes níveis de sombreamento através de telas Sombrite®, as quais apresentaram diferentes emissões dos voláteis (C 26) salicilato de metila e (C12) β cubebeno no período de 24 horas, C1) α -pineno, C2) canfeno, C3) eucaliptol C4) (E)-ocimeno, C5) limoneno, C6) isoborneolacetato, C7) α -cariofileno, C8) α -copaeno, C9) α -farneseno, C10) aromadendrene, , C11) β -cariofileno, C12) β -cubebeno, C13) β -elemeno, C14) bicicloelemeno, C15) elixeno, C16) germacreno D, C17) linalol, C18) DMNT, C19) TMTT, C20) diidromircenol, C21) metil-5-metil-hexanoato, C22) nonanal, C23) decanal, C24) sulcatone, C25) geranil acetona, C26) salicilato de metila, C27) benzotiazol, C28) tridecano, C29) tetradecano, C30) pentadecano e C31) hexadecano CAV/UDESC, 2017.

O β -cubebeno apresenta odor amadeirado e ligeiramente canforado (LAWLESS, 1995), é o principal componente extraído das folhas das plantas do gênero *Magnolia* (LEE; CHAPPELL, 2008). Sua função biológica conhecida está relacionada a polinização em diferentes espécies vegetais (RICHMOND et al., 2009; FORMISANO et al., 2010). Salicilato de metila (MeS) é reconhecidamente um dos compostos de defesa das plantas aos ataques de insetos e fungos (DUDAREVA et al., 2006). É considerado a forma móvel (volátil) do fito hormônio ácido salicílico (AS) a partir do qual é produzido pela ação da enzima AS metil transferase (PARK et al., 2007).

Para a maioria das espécies vegetais a concentração celular de MeS é pequena (HATANAKA, 1993), geralmente a sua síntese está relacionada a algum tipo de injúria biótica ou abiótica (WINZ; BALDWIN, 2001; AMENT et al., 2004; WU; BALDWIN, 2009; KAWAZU et al., 2012). Diversos estudos demonstram o aumento considerável dos níveis de MeS em plantas pós herbivoria (KRIPS et al., 2001; LUCAS-BARBOSA; VAN LOON; DICKE, 2011; COPOLOVICI et al., 2017). A presença de altas concentrações de AS e MeS nas plantas causa a inviabilidade de larvas e pupas (DAMODARAM et al., 2015), fazendo com que as fêmeas evitem ovipositar nas estruturas ou plantas que manifestem a presença destes compostos como demonstrado por War, Hussain e Sharma (2013).

A radiação solar também influencia na dinâmica do AS na célula vegetal, em especial a radiação UV (300 a 390 nm) por provocar o incremento da concentração de AS e MeS (DEMKURA; BALLARÉ, 2012). Na Tabela 10 é possível observar os dados de radiação UV, PAR e relação V:VD a que as plantas de cedro foram expostas por 45 dias até a coleta de voláteis. Conclui-se que o comportamento das plantas de cedro quanto ao teor de MeS emitido foi inversamente proporcional a intensidade de radiação UV a que foram expostas. Esses dados contrariam a maior parte dos estudos relacionados a biossíntese do composto e a influência da luz como mostra a revisão publicada por Kurepin et al. (2013). Estas pesquisas levam em conta a biossíntese de AS como composto de defesa produzido através da rota clássica em que atua a enzima fenilalanina amônio liase (PAL) e esta reação é uma resposta das plantas a algum tipo de estresse biótico por herbivoria ou abiótico promovido pela radiação UV (LAMB et al., 1989). Nas plantas analisadas em nosso estudo não houve casos de herbivoria que justificassem o estresse biótico. Uma hipótese que pode responder esse comportamento das plantas de cedro, está relacionado a pesquisas que indicaram a existência de uma segunda via metabólica do AS, conhecida como *isochorismate sintase* (ICS) (DEMPSEY et al., 2011) a qual vem sendo observada em algumas espécies (AN; MOU, 2014). Considerando que a rota ICS também possa ser importante para *C. fissilis* é possível que a biossíntese de AS seja favorecida por quantidades

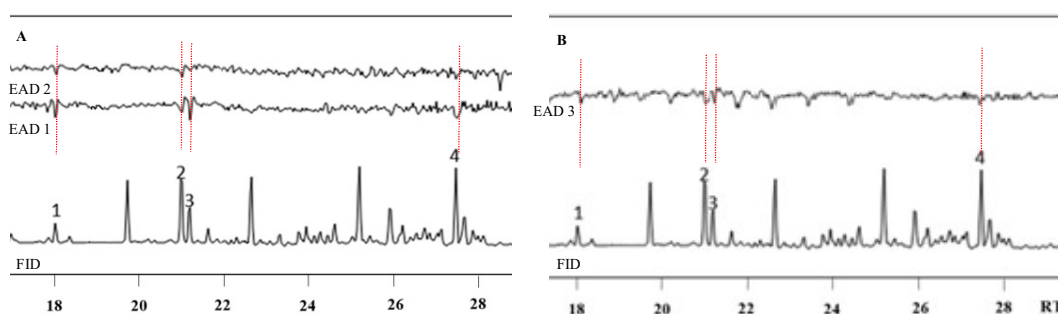
reduzidas de radiação UV como observado por Catinot et al. (2008) com plantas mutantes de *Nicotiana benthamiana*, no entanto essa hipótese é pouco provável.

Uma segunda hipótese leva em conta outra função do MeS na planta; como agente de alelopatia. Algumas espécies quando expostas a ambientes onde haja competição por luz, aumentam a biossíntese de MeS (NOVOPLANSKY, 2009; KEGGE; PIERIK, 2010) que ao ser absorvido pelas plantas competidoras provoca inibição de crescimento tanto de ramos como de raízes (BI et al., 2007). Nesta nova ótica o papel do MeS nas plantas sombreadas de *C. fissilis* tem a função de gerar uma vantagem competitiva em relação a outras plantas, provocando indiretamente um efeito sobre as fêmeas de *H. grandella* por tornarem a planta inadequada como local de oviposição (MAHROOF et al., 2002; WAR; HUSSAIN; SHARMA, 2013).

4.4.4 Respostas biológicas

Na etapa de eletroantenografia CG/EAG foram obtidas respostas biológicas de antenas de machos e fêmeas de *H. grandella* (Figura 15) de quatro compostos entre os 31 voláteis identificados na etapa anterior: Nonanal (C22); Salicilato de metila (C26); Decanal (C23) e β -cariofileno (C11).

Figura 15 – Cromatogramas CG/EAD dos voláteis de cedro extraídos por aeração por 24 horas ($0,1 \text{ mg. mL}^{-1}$) e a resposta de antenas de fêmeas (A) e macho (B): 1) Nonanal; 2) Salicilato de metila; 3) Decanal e 4) β -cariofileno.

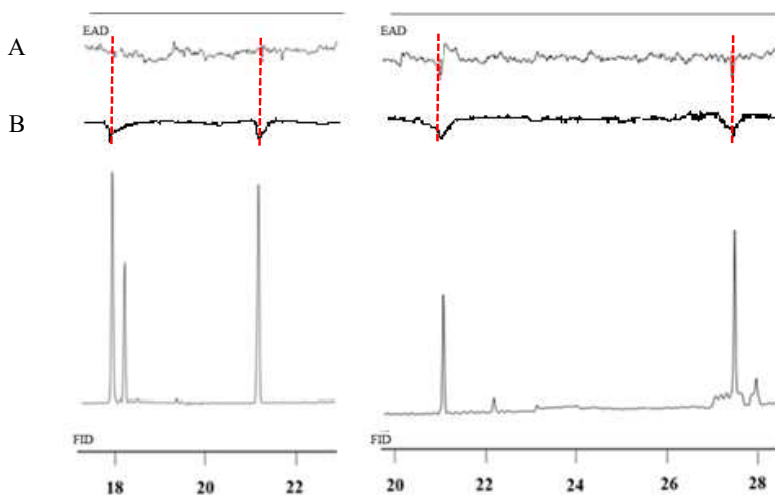


Fonte: Autor, 2017

Obs.: Os traços pontilhados destacam os pontos em que houve respostas aos picos cromatográficos. EAD – detector eletroantenográfico; FID - detector por ionização de chama e RT – tempo de retenção, CAV/UDESC, 2017.

As mesmas respostas foram obtidas pelas versões sintéticas dos compostos (Figura 16).

Figura 16 – Cromatogramas CG/EAD dos compostos sintéticos 1) Nonanal; 2) Salicilato de metila; 3) Decanal e 4) β -cariofileno ($0,1 \text{ mg. mL}^{-1}$) e a resposta de antenas de fêmeas (A) e macho (B).



Fonte: Autor, 2017

Obs.: Os traços pontilhados destacam os pontos em que houve respostas aos picos cromatográficos. EAD – detector eletroantenográfico; FID - detector por ionização de chama e RT – tempo de retenção, CAV/UDESC, 2017.

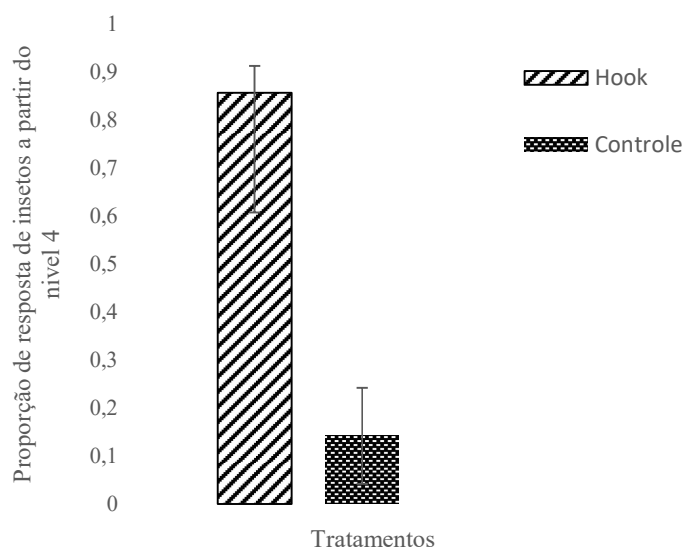
A atratividade do composto β -cariofileno para fêmeas de *H. grandella* já havia sido relatada por Soares et al. (2003) ao testarem a resposta biológica de óleos essenciais de folhas maduras de mogno. Nas análises dos óleos essenciais, tanto das folhas maduras como terminais do mogno os autores não identificaram a presença de nonanal, decanal e salicilato de metila nas amostras. Uma hipótese que justifica essa diferença pode estar relacionada ao método escolhido para extração dos voláteis que pode ter desconsiderado tais compostos.

A análise da resposta biológica de antenas de fêmeas de *H. grandella* para o óleo essencial de outra meliácea *Guarea macrophylla* identificou cinco compostos ativos: Ledol; 1-cubenol; Grai-6-en-10 β -ol; 1-*epi*-cubenol e τ -muurolol. Neste estudo Lago et al. (2006) identificaram a presença de β -cariofileno nas amostras, entretanto não obtiveram respostas na eletroantenografia.

Abraham et al. (2014) ao avaliar a resposta de compostos voláteis de quatro meliáceas a antenas de fêmeas de *H. robusta* encontraram respostas biológicas para 10 compostos, entre eles nonanal, decanal e β -cariofileno. As amostras testadas continham salicilato de metila, no entanto, não foi obtido resposta biológica para o composto. Os bioensaios conduzidos em túnel de vento com o liberador Hook[®] contendo os quatro compostos: nonanal, decanal, salicilato de metila e (*E*)- β -cariofileno na mesma proporção encontrada em plantas em pleno sol, mostrou que 85,7% dos insetos foram atraídos pelos voláteis sintéticos identificados nas plantas, enquanto 14,2% dos insetos testados apresentaram comportamento de atração pela testemunha contendo somente o liberador (Figura 17). São resultados preliminares, mas indicam que estes

quatro compostos voláteis da *C. fissilis* estão envolvidos na comunicação química *C. fissilis* x *H. grandella*, e podem ser usados pela mariposa para encontrar a planta hospedeira.

Figura 17 – Percentagem de atração \pm desvio padrão acima da nota 4 (quatro) de resposta de machos adultos de *Hypsipyla grandella* (n=7) ao tratamento testemunha e Hook[®] contendo os cairomônios de *Cedrela fissilis* em túnel de vento, CAV/UEDESC, 2017



Fonte: Autor, 2017

A atratividade de machos aos cairomônios de *Cedrela odorata* não foi identificada em estudos de campo realizados por Grijpma e Gara (1970), diferentemente dos resultados encontrados nos testes de eletroantenografia e túnel de vento.

O arranjo de voláteis utilizados por uma espécie para identificação dos hospedeiros pode variar e a tarefa de estabelecer quais são fundamentais na relação planta-inseto é um grande desafio (KESSLER; BALDWIN, 2002; SCHIESTL, 2010). Apesar disso é possível destacar o papel marcante do β -cariofileno como composto-chave utilizado por *Hypsipyla grandella* para identificação dos hospedeiros. Da mesma forma há evidências que os compostos nonanal e decanal também são importantes voláteis para o gênero *Hypsipyla* como cairomônios de oviposição, bem como o salicilato de metila. Os compostos β -cariofileno, nonanal, e decananal não tiveram a quantidade liberada pelas plantas de cedro modificada pela variação de sombreamento, mas o salicilato de metila sim, e sua biossíntese pelas plantas de cedro é progressivamente maior à medida que aumentam os níveis de sombra sobre as plantas. Isso pode indicar que a proporção entre estes quatro compostos pode ser importante para o

reconhecimento da planta de cedro pela mariposa *H. grandella*. Novos estudos em laboratório e campo devem ser conduzidos para avaliação desta hipótese.

A reunião dos dados obtidos em nosso estudo, desde os testes de campo que comprovaram a redução do ataque de *H. grandella* nas plantas de *Cedrela fissilis* sombreadas, seguida da identificação da variação progressiva de salicilato de metila com as taxas de sombreamento e a confirmação de ser este um dos compostos bioativos para adultos de *H. grandella*, nos indicam o papel marcante do salicilato de metila como volátil utilizado pelas plantas de *Cedrela fissilis* nas estratégias de competição e defesa contra os ataques de *Hypsipyla grandella*, mesmo que de forma indireta.

4.5 CONCLUSÕES

1. Para as condições nas quais os ensaios foram conduzidos, conclui-se que o desenvolvimento inicial de *Cedrela fissilis* é superior quando mantidas sob taxas de sombra abaixo de 40%;
2. A incidência de ataque de *Hypsipyla grandella* é menor em plantas de *C. fissilis* mantidas em sombreamento acima de 20%;
3. A redução dos ataques de *H. grandella* em plantas de cedro-rosa é proporcional ao aumento das taxas de sombreamento sobre as plantas;
4. O feromônio sexual de *H. grandella* é uma ferramenta eficiente para amostragem populacional;
5. As plantas de *C. fissilis* alteram o arranjo de voláteis emitidos em resposta a variação dos níveis de sombreamento, evidenciada pela mudança nas proporções dos compostos (E)-ocimeno, DMNT, aromadendreno e salicilato de metila;
6. Destes quatro compostos, salicilato de metila é o único que apresenta um comportamento linear de aumento, proporcional ao incremento de sombra sobre as plantas de *C. fissilis*;
7. Entre todos os compostos voláteis emitidos pelas plantas de *C. fissilis*, quatro apresentam respostas biológicas para insetos adultos de *Hypsipyla grandella*, tanto fêmeas como machos: β -cariofileno, nonanal, decanal e salicilato de metila.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao voltarmos nosso interesse às virtudes dos sistemas agroflorestais (SAF), como modelo produtivo, muitas vezes não nos damos conta do quanto a diversidade de espécies torna complexa as relações entre as populações nestes ambientes. Este é um desafio técnico de cunho multidisciplinar, mas principalmente de sensibilidade àqueles que desejarem trabalhar com SAF.

Nosso estudo pode demonstrar as diferentes respostas de três espécies de interesse econômico: erva-mate, espinheira-santa e cedro-rosa, as variações de sombra em dois sistemas agroflorestais com diferentes conformações estruturais (solo, plantas pioneiras, relevo, etc) tanto com relação ao desenvolvimento e produção quanto ao reflexo no metabolismo secundário das plantas. Essas informações são o relato de mais uma experiência, que por se tratar de SAF não deve ser considerada como única diretriz a ser seguida; o que temos aqui é mais uma peça que integrada às demais já existentes nos permitirá compreender e montar sistemas cada vez mais complexos, dinâmicos e eficientes.

No que tange o trabalho com *Hypsipyla grandella*, consideramos que o diferencial desta pesquisa foi integrar dois pontos que até então não haviam sido testados: a escolha de *Cedrela fissilis* como a meliácea de interesse e o uso de métodos de coleta de voláteis mais próximos às condições reais de campo. Isso nos permitiu identificar compostos que norteiam a relação *C. fissilis* x *H. grandella*, os quais devem ser melhor estudados em ensaios de campo que permitam sua aplicação em sistemas de Manejo Integrado deste importante inseto.

REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, V., S.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2, 2008.
- ABRAHAM, J. et al. Olfactory cues of mahogany trees to female *Hypsipyla robusta*. **Bulletin of Insectology**, v. 67, n.1, p.21-30, 2014.
- ACISA - ASSOCIAÇÃO COMERCIAL INDUSTRIAL DE SERVIÇOS E AGROPECUÁRIA. **Mercado da Erva-mate**. Disponível em <<http://acisa.org.br/erva-mate>> Acesso em: 11 de nov. 2013.
- AGOSTINHO, S. M. et al. Limonoids from *Toona ciliata* and speculations on their chemosystematic and ecological significance. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 22, p. 323-328, 1994.
- ALONSO, J. R. **Tratado de fitomedicina bases clinicas y farmacológicas**. Buenos Aires, Isis Ediciones SRL, p. 828-834, 1998.
- AMENT, K. et al. Jasmonic acid is a key regulator of spider mite-induced volatile terpenoid and methyl salicylate emission in tomato. **Plant Physiology**, v. 135, n. 4, p. 2025-2037, 2004.
- AN, C.; MOU, Z. Salicylic acid and defense responses in plants, In: **Phytohormones: A Window to Metabolism, Signaling and Biotechnological Applications**, Springer New York, p. 191-219, 2014.
- ANDERSEN, T.; FOGH, J. Weight loss and delayed gastric emptying following a South American herbal preparation in overweight patients. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 14, n. 3, p. 243-250, 2001.
- ANDRADE, F. D. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, Crescendo Sob Sombreamento e Pleno Sol**. 2004. 95 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ANGELO, H.; BRASIL, A.A.; SANTOS, J. Madeiras tropicais: análise econômica das principais espécies florestais exportadas. **Acta Amazônica**, v.31, n. 2, p. 237-248, 2001.
- ATROCH, E. M. A. C. et al. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forticata* submetidas à diferentes 74 condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2001.
- BAGGIO, A. J. Alternativas agroflorestais para recuperação de solos degradados na região Sul do País. In: Simpósio Nacional de recuperação de áreas degradadas, Curitiba. **Anais...** Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, v. 1, p. 126-131, 1992.
- BALLARÉ, C. L. Light regulation of plant defense. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, p. 335-363, 2014.

- BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p.149-160, 2000.
- BARBER J. Molecular-basis of the vulnerability of photosystem-II to damage by light. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 201–208, 1995.
- BARBOSA, J. Z. et al. Composition, Hot-Water Solubility of Elements and Nutritional Value of Fruits and Leaves of Yerba Mate. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 6, p. 593-603, 2015.
- BARRADAS-JUANZ, N.; DIAZ-FLEISCHER, F.; PÉREZ-STAPLES, D. Mating Behavior of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) Under Laboratory Conditions, **Annals of the Entomological Society of America**, v. 109, n. 3, p. 377-38, 2016.
- BARROS, P. L. C. et al. **Ecology and Silviculture of Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Western Brazilian Amazon**. Belem: Foundation for Supporting Research Extension and Teaching in Agrarian Sciences (FUNPEA) 2011, 103 p.
- BARTLE, K. D.; MYERS, P. History of gas chromatography. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 9, p. 547-557, 2002.
- BELLOW, J. G.; NAIR, P. K. R. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. **Agricultural and forest meteorology**, v. 114, n. 3, p. 197-211, 2003.
- BELTRAME, F. L. et al. A quantitative validated method using liquid chromatography and chemometric analysis for evaluation of raw material of *Maytenus ilicifolia* (Schrud.) Planch., Celastraceae. **Química Nova**, v. 35, n. 2, 327-331, 2012.
- BENEDETTI, E. L. et al. Calagem e adubação no crescimento de espinheira-santa [*Maytenus ilicifolia* (Schrud.) Planch.] em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.11, n.3, p.269-276, 2009.
- BERETTA, M. E. et al. A família *Asteraceae* no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. 3, 2008.
- BERTÉ, K.A.S. **Tecnologia da erva-mate solúvel**. 2011, 160 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, 2011.
- BERTI FILHO, E., L.C.; NAKANO, O. Pragas de interesse florestal, p. 631-671. In FEALQ (ed), **Curso de entomologia aplicada à agricultura**, Piracicaba, 1992, 760p.
- BETA, T. et al. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 78, p. 151-159, 2017.
- BI, H. H. et al. Rice allelopathy induced by methyl jasmonate and methyl salicylate. **Journal of chemical ecology**, v. 33, n. 5, p. 1089-1103, 2007.
- BLANCO-METZLER H.; VARGAS, C.; HAUXWELL, C. Indigenous parasitoids and exotic introductions for the control of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). In: **Latin America Proceedings of an International Workshop**, p. 140-145, 2001.

BLASSIOLI-MORAES, M. C. et al. **Field evaluation of a new blend of the sex pheromone from a Brazilian population of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae)**, 2017.

BLOOMFIELD, K. J. et al. Contrasting photosynthetic characteristics of forest vs. savanna species (Far North Queensland, Australia). **Biogeosciences**, v. 11, n. 24, p. 7331, 2014.

BLUMENTHAL, M.; GOLDBERG, A.; BRINCKMANN, J. **Herbal Medicine. Expanded Comission e Monographs**. American Botanical Council, New- ton, 2000, 519 pp.

BOEGER, M. R. T. et al. Variação estrutural foliar de espécies medicinais em consórcio com erva-mate, sob diferentes intensidades luminosas, **Floresta**, v. 39, n.1, p.215-225, 2009.

BOREK, V. et al. Sex pheromone gland volatiles from *Hypsipyla grandella* females (Lepidoptera, Pyralidae, Phycitinae). **Acta Entomológica Bohemoslovaca**. v. 88: p.181-186, 1991.

BORTHWICK, H. A. et al. A reversible photoreaction controlling seed germination. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 38, p. 662-666, 1952.

BOSSELMANN, A. S. et al. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 129, n. 1, p. 253-260, 2009.

BOURGAUD, F. et al. Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. **Plant science**, v. 161, n. 5, p. 839-851, 2001.

BRACESCO, N. et al. Antioxidant activity of a botanical extract preparation of *Ilex paraguariensis*: prevention of DNA double-strand breaks in *Saccharomyces cerevisiae* and human low-density lipoprotein oxidation. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 9, p. 379-387, 2003.

BRANDÃO, M. G. L. et al. Changes in the trade in native medicinal plants in Brazilian public markets. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, p. 7013–7023, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopéia Brasileira/ANVISA**, 1. Ed., p. 126, 2011.

_____. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Memento Fitoterápicos Farmacopéia Brasileira/ANVISA**, 1. ed., p. 115, 2016.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, seção 1, p. 1, de 28 maio de 2012.

BRICEÑO VERGARA, A. J. Aproximación hacia un manejo integrado del barrenador de las Meliaceas, *Hypsipyla grandella* (Zeller). **Revista Forestal Venezolana**, v. 41, n. 1, p. 23-28, 1997.

BRIENZA JUNIOR, S. **Ensaio de espécies florestais sob duas diferentes condições ecológicas**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropico Úmido - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, documento 17, p.12, 1980.

BRUCE, T. J. A.; PICKETT, J. A. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects—finding the right mix, **Phytochemistry**, v. 72, n. 13, p. 1605-1611, 2011.

BRUNETTI, C. et al. Metabolomics in plant environmental physiology, **Journal of Experimental Botany**, v.64, n. 13, p. 4011-4020, 2013.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. Host preference of the Meliaceae shootborer *Hypsipyla*: further information from grafting *Cedrela odorata* and *Cedrela fissilis* on *Toona ciliata* (Australian red cedar), **Australian Forestry**, v. 64, p. 216-219, 2001.

CALDWELL, M. M. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants, **Photophysiology**, v. 7, A.C. Giese, ed (New York: Academic Press), p. 131-177, 1971.

CALIXTO, C.G. et al. Crescimento de *Cedrela odorata* e incidência de *Hypsipyla grandella* em resposta ao manejo nutricional, **Bosque**, v.36, p.265-273, 2015.

CARBONELL-BEJERANO, P. et al. Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses, **BMC plant biology**, v. 14, n. 1, p.183, 2014.

CARDOZO, E. L. et al. Methylxanthines and phenolic compounds in mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) progenies grown in Brazil, **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 7, 553-558, 2007.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba-PR: Editora UFPR/FUPEF, 451 p., 1995.

CARNEVALE, N. J.; MONTAGNINI, F. Facilitating regeneration of secondary forests with the use of mixed and pure plantations of indigenous tree species, **Forest Ecology and Management**. v. 163, p. 217-277, 2002.

CARON, B. O. et al. Efficiency of the use of Yerba Mate Solar Radiation in Intercropping or Monocropping for the Accumulation of Carbon. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 983-990, 2016.

CARVALHO, A. C. B. et al. Situação do registro de medicamentos fitoterápicos no Brasil, **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 18, n. 2, p.314-319, 2008.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. (2003). Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/index_especies.htm>. Acesso em: 10 nov. 2016.

_____. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 639p.

CARVALHO-OKANO, R.M. **Estudos taxonômicos do gênero *Maytenus* Mol. Emend. Mol. (Celastraceae) do Brasil extra-amazônico**. 1992. Tese (Doutorado em Ciências - Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 257p.

CARVALHO-OKANO, R.M.; LEITÃO FILHO, H.F. O gênero *Maytenus* Mol. (Celastraceae) no Brasil extra-amazônico. In: REIS, M.S.; SILVA, S.R. (organizadores). **Conservação e uso sustentável de plantas medicinais e aromáticas: *Maytenus* spp., espinheira-santa**. Brasília: IBAMA. p.11-51, 2004.

CARY, N. C. SAS Institute Inc. USA, **SAS for Windows Release, 8**, 2002.

CASAL, J. J. Phytochromes, Cryptochromes, Phototropin: Photoreceptor Interactions, **Plants Photochemistry and Photobiology**, v. 71, p. 1-11, 2000.

CASAL, J. J.; CANDIA, A. N.; SELLARO, R. Light perception and signaling by phytochrome A. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 11, p. 2835-2845, 2013.

CASTRO, M. T.; MONNERAT, R. G. Avaliação do Biocontrole de *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) Utilizando Estirpes *Bacillus thuringiensis* [Evaluation of biocontrol *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) using strains of *Bacillus thuringiensis*] in: **Encontro do Talento Estudantil da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 18**, 2013, Brasília, DF. Resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

CATINOT, J. et al. Salicylic acid production in response to biotic and abiotic stress depends on isochorismate in *Nicotiana benthamiana*, **Febs Letters**, v. 582, p. 473–478, 2008.

CECHINEL-FILHO V. **Plant Bioactives and Drug Discovery Principles, Practice, and Perspectives**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 586 p., 2012.

CHAPPELL, J. Production platforms for the molecular pharming of alkaloid diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 23, p. 7897-7898, 2008.

CHAZDON, R. L. et al. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: **Tropical forest plant ecophysiology** Springer US, pp. 5-55. 1996.

CHENG, A.X. et al. Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, p.179–186, 2007.

CHURCHMAN, C. W. **Introdução à Teoria dos Sistemas**. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1972.

CICHON, L. et al. Monitoring oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) with sticky traps baited with terpinyl acetate and sex pheromone. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, p. 275-281, 2013.

CNCFLORA - CENTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA FLORA. **Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Ministério do Meio Ambiente. Lista Vermelha**. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/plataforma2/book/pub.php?id=9990>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

COELHO, G. C. et al. Effect of light intensity on methylxanthine contents of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. **Biochemical systematics and ecology**, v. 35, n. 2, p. 75-80, 2007.

COELHO, G. C. Restauração florestal em pequenas propriedades: desafios e oportunidades. **Gestão ambiental nos municípios: instrumentos e experiências na administração pública**. (Hüller A ed). FURI, Santo Angelo, Brazil, p. 195-215, 2010.

COELHO, G. C.; MARIATH, J. E. A. Inflorescences morphology of *Ilex* L. (Aquifoliaceae) species from Rio Grande do Sul, Brazil. **Feddes Repertorium**, v. 107, p. 19-30, 1996.

COELHO, G. C.; MARIATH, J. E. D. A.; SCHENKEL, E. P. Populational diversity on leaf morphology of maté (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., Aquifoliaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 1, 47-51, 2002.

COELHO, G. et al. Efeito do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da erva-mate. In: Congresso Sul-Americano Da Erva-mate, 2.; Encantado. **Anais...** Porto Alegre: Comissão dos Organizadores / Universidade do Rio Grande do Sul / Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, p. 396-399, 2000.

COPPOLOVICI, L. et al. Disproportionate photosynthetic decline and inverse relationship between constitutive and induced volatile emissions upon feeding of *Quercus robur* leaves by large larvae of gypsy moth (*Lymantria dispar*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 138, p. 184-192, 2017.

CORNELIUS, J. P. The effectiveness of pruning in mitigating *Hypsipyla grandella* attack in young mahogany (*Swietenia macrophylla*) trees. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 287-289, 2001.

CORRÊA, A.G. et al. Síntese dos Componentes do Feromônio Sexual da Broca-do-Cedro, *Hypsipyla grandella*, 100 pp., In: **Proceedings, 23rd. Reunião Anual da SBQ**, Poços de Caldas. v. 2, 2000.

CORRÊA, C. J. P., FRANCO, F. S. Adequação Ambiental em Assentamentos do Estado de São Paulo e a Utilização de Sistemas Agroflorestais. **Revista Eletrônica Retratos de Assentamentos**, v. 17, n. 2, p. 149-170, 2014.

CORREA, G. et al. Cambona 4: desenvolvimento de uma progênie biclonal de erva-mate em Machadinho, RS, **Embrapa Florestas-Documents** (INFOTECA-E), Colombo-PR, 2011.

CORSINO, J. et al. Bioactive sesquiterpene pyridine alkaloids from *Maytenus aquifolium*. **Phytochemistry**, v. 48, p. 137-140, 1998.

CORTEZ, D. A. G. et al. Atividade antibacteriana de extratos do caule de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) **Acta Scientiarum**, v. 20, n. 2, p. 243-245, 1998.

COSTA, F. S. S. et al. Aspectos biológicos de *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) em condições de laboratório. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 25., Goiânia. **Anais...** XXV Congresso Brasileiro de Entomologia. Goiânia, p. 1750, 2014.

COSTA, M. **Controle de *Hypsipyla grandella* Zeller (Broca do Mogno) utilizando a planta resistente *Toona ciliata* Roem (Cedro australiano) e os Métodos Mecânico e Cultural no Plantio de *Swietenia macrophylla* King (Mogno)**. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 2000. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - FCAP, 2000.

COSTA, M. S. S. et al. **Controle da broca do mogno através da preferência de ovoposição de *Hypsipyla grandella* Zeller sobre *Toona ciliata* M. J. Roem. plantado em consórcio com *Swietenia macrophylla* King**. Comunicado técnico Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, n° 47, 2000.

COSTA, P. M. O.; DE ARAÚJO, M. A. G.; DE SOUZA-MOTTA, C. M. Dynamics of leaf litter and soil respiration in a complex multistrata agroforestry system, **Brazil Environment Development and Sustainability**, p. 1-15, 2016.

CUÉLLAR, G. et al. Comportamiento y control de la *Hypsipyla grandella* Zéller en plantaciones de *Cedrela odorata* L. (Cedro) en condiciones Cubanas. **Cuba Tabaco Ciências Técnicas**, v. 10, n. 1, p. 3-8, 2009.

CUNNINGHAM, S. A.; FLOYD, R. B. Insect resistance and silvicultural control of the shoot borer *Hypsipyla robusta*, feeding on species of Meliaceae in the Asia-Pacific region. Final Report to the Australian Centre for International Agricultural Research, **Annual Report January**, v. 1, 2002.

_____. Leaf compositional differences predict variation in *Hypsipyla robusta* damage to *Toona ciliata* in field trials. **Canadian journal of forest research**, v. 34, p. 642-648, 2004.

CUSATIS, A. C. et al. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p.287-297, 2013.

DA CROCE, D. M. **Cadeia Produtiva da erva-mate em Santa Catarina**. Boletim de Pesquisa Chapecó: EPAGRI/ CPPP, 35 p. 1996.

DA SILVA, B. V.; BARREIRA, J. C.; OLIVEIRA, M. B. P. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 50, p. 144-158, 2016.

DA SILVA, E. T.; NETO, H. B.; FOLTRAN, B. N. Materiais de cobertura na produção de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill). **Scientia Agraria**, v. 8, n. 1, p. 103-109, 2007.

DAMODARAM, K. J. P. et al. Salicylic Acid Induces Changes in Mango Fruit that Affect Oviposition Behavior and Development of the Oriental Fruit Fly, *Bactrocera dorsalis*. **PloS one**, v. 10, n. 9, 2015.

DARTORA, N. et al. UPLC-PDA-MS evaluation of bioactive compounds from leaves of *Ilex paraguariensis* with different growth conditions, treatments and ageing. **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1453-1461, 2011.

DE LA RETA, L. et al. Sobrevivencia y Crecimiento Inicial de Cinco Espécies Nativas *Handroanthus heptaphyllus*; *Cedrela fissilis*; *Cordia trichotoma*; *Araucaria angustifolia*; *Myrcarpus frondosus*, en el ne de corrientes. **XXIX Jornadas Forestales de Entre Rios**, Concórdia, 2015.

DE PAULA, J. R. et al. Sesquiterpenes, triterpenoids, limonoids and flavonoids of *Cedrela odorata* Graft and speculations on the induced resistance against *Hypsipyla grandella*. **Phytochemistry**, v. 44, p. 1449-1454, 1997.

DEMKURA, P. V.; BALLARÉ, C. L. UVR8 mediates UV-B-induced Arabidopsis defense responses against *Botrytis cinerea* by controlling sinapate accumulation. **Molecular Plant**, v. 5, n. 3, p. 642-652, 2012.

DEMPSEY, D.A. et al. Salicylic Acid biosynthesis and metabolism. **The Arabidopsis book**, American Society of Plant Biologists, p.156, 2011.

DICKEL, M.; RITTER, M. R.; BARROS, I. *Ilex paraguariensis*: Erva-mate. In. CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 934p.

D'OLIVEIRA, M.V.N. Artificial regeneration in gaps and skidding trails after mechanised forest exploitation in Acre, Brazil. **Forest ecology and management**, v. 127, p. 67-76, 2000.

DUDAREVA, N. et al. Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives, **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, n.5, p. 417-440, 2006.

DUGGAR, B. M. Biological Effects of Radiation, **Soil Science**, v. 42, n. 5, p. 399, 1936.

EIBL, B. et al. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. **Agroforestry Systems**, v. 48, n. 1, 1-8, 2000.

EL-SHAFIE, H. A. F. et al. Bait-free attract and kill technology (Hook™ RPW) to suppress red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in date palm. **Florida Entomologist**, v. 94, n. 4, p.774-778, 2011.

ENTWISTLE, P.F. The current situation on shoot, fruit and collar borers of the Meliaceae. Proceedings of the **9th British Commonwealth Forestry Conference**, Commonwealth Forestry Institute, Oxford, UK, 15 pp., 1967.

ERSKINE, P. D.; LAMB, D.; BRISTOW, M. Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? **Forest Ecology and Management**, v. 233 p. 205–210, 2006.

ESTEVAM, C. S. et al. Perfil fitoquímico e ensaio microbiológico dos extratos da entrecasca de *Maytenus rigida* Mart. (Celastraceae), **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.19, n. 1B, p. 299-303, 2009.

FALEIRO, J. R. et al. Controlled Release Products for Managing Insect Pests. **Outlooks on Pest Management**, v. 27, n. 4, p.175-180, 2016.

FANKHAUSER, C.; CHORY, J. Light control of plant development. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 13, n. 1, p. 203-229, 1997.

FASORANTI, J. O.; GARA, R. I.; GEISZLER, D. R. Laboratory studies on the flight capacity of the Mahogany Shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera, Pyralidae). **Zeitschrift für Angewandte Entomologie**, v. 93, p. 182-186, 1982.

FELDHAKE, C. M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p. 297-303, 2001.

FIGUEIREDO, O.E.; WADT, L.H.O. **Aspectos fundamentais para o manejo de produtos não madeireiros**. Circular Técnica EMBRAPA, p. 4, 2000.

FILIP, R. et al. Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, v. 72, p. 774–778, 2001.

_____. Antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* and related species. **Nutrition Research**, v. 20, p. 1437-1446, 2000.

FLOYD, R. et al. Taxonomy, ecology and control of *Hypsipyla* shoot borers of Meliaceae. **Ecological Studies**, v. 159, n. 4, p. 381-394, 2003.

FOLTA, K. M.; CARVALHO, S. D. Photoreceptors and Control of Horticultural Plant Trait. **HortScience**, v. 50, p. 1274-1280, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) **Climate change guidelines for forest managers**, Rome, FAO Forestry Paper, n. 172), 2013.

FORMICA-OLIVEIRA, A. C. et al. Effects of UV-B and UV-C combination on phenolic compounds biosynthesis in fresh-cut carrots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 127, p. 99-104, 2017.

FORMISANO, C. et al. Volatile compounds of flowers and leaves of *Sideritis italica* (Miller) Greuter et Burdet (Lamiaceae), a plant used as mountain tea. **Natural product research**, v.24, p.640-646, 2010.

FORRESTER, D. I. et al. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: A review, **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 211–230, 2006.

FRANKE, I. L.; LUNZ, A. M. P.; AMARAL, E. F. **Metodologia para planejamento, implantação e monitoramento de sistemas agroflorestais: um processo participativo**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1998.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANEL, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154, 2011.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2016. <<https://www.sosma.org.br/>>. Acesso em: 08 set. 2016. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Período de 2014–2015. Relatório Parcial. Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba, SP: FEALQ. 920p. 2002.

GANDARA, F. B. **Diversidade genética, taxa de cruzamento e estrutura espacial dos genótipos em uma população de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae)**. 1996. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

GAO, C. et al. Enhanced metabolic process to indole alkaloids in *Clematis terniflora* DC. after exposure to high level of UV-B irradiation followed by the dark. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 231, 2016.

GARA, R. et al. Comportamiento en vuelo y seleccion de hospedero del barrenador de las meliaceas, *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepid., Phycitidae), In: J. L. Whitmore (ed.), **Studies on the shoot borer *Hypsipyla grandella* (Zeller) Lep. Pyralidae**, vol. 2. IICA Misc. Publication No. 101. Centro Agronomico Tropical de Invetigacion y Ensenanza (CATIE), Turrialba, pp. 116–121, 1976.

GARCIA, M. G. et al. Molecular evidence of cryptic speciation, historical range expansion, and recent intraspecific hybridization in the Neotropical seasonal forest tree *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 61, p. 639-649, 2011.

GILMARTIN, P. M. et al. Molecular light switches for plant genes. **Plant Cell**, v. 2, p. 369-378, 1990.

GIRARDI, J. D. S. **Avaliação da influência das condições de cultivo sobre os teores de compostos de interesse presentes nos extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) obtidos por CO₂ a altas pressões**. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2010.

GLASIUS, M.; GOLDSTEIN, A. H. Recent discoveries and future challenges in atmospheric organic chemistry. **Environmental Science Technology**, v. 50, n. 6, p. 2754-2764, 2016.

GLINWOOD, R.; NINKOVIC, V.; PETTERSSON, J. Chemical interaction between undamaged plants-effects on herbivores and natural enemies. **Phytochemistry**, v. 72, n. 13, p. 1683-1689, 2011.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, p. 374-381, 2007.

GOMES, K. C. D. O. et al. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v. 28, n.6, p. 785-792, 2004.

GÖTSCH, E. **O renascer da agricultura**. Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1996.

_____. **Renascer da agricultura**. Rio de Janeiro: AS –PTA. 1995.

GOULET, E.; RUEDA, A.; SHELTON, A. Management of the mahogany shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (*Lepidoptera: Pyralidae*), through weed management and insecticidal sprays in 1-and 2-year-old *Swietenia humilis* Zucc. plantations. **Crop Protection**, v. 24, n. 9, p. 821-828, 2005.

GREGIANINI, T. S. et al. The alkaloid brachycerine is induced by ultraviolet radiation and is a singlet oxygen quencher. **Photochemistry and photobiology**, v. 78, n. 5, p. 470-474, 2003.

GRIFFITHS, M. W. The biology and ecology of *Hypsipyla* shoot borers. In: FLOYD, R. B.; HAUXWELL, C. (Ed.) **Hypsipyla Shoot Borers in Meliaceae**: Proceedings of an International Workshop. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, p. 74-80, 2001.

GRIGNOLA, J. et al. Potencialidad de especies y procedencias de *Cedrela* para el establecimiento de plantaciones sustentables en diferentes ambientes del Noroeste Argentino. **RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v. 40, n. 3, p. 260-268, 2014.

GRIJPMMA, P.; GARA, Y. R. Host selection behavior, In P. Grijpma (ed.), **Studies on the shoot borer *Hypsipyla grandella* (Zeller)**, IICA Misc. Publication No. 101, Centro Agronomico Tropical de Invetigacion y Ensenanza (CATIE), Turrialba, pp. 26-33, 1970.

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. **Mogno na Amazônia Brasileira: Ecologia e Perspectivas de Manejo**, Imazon, 2002. 40 p.

GROGAN, J. et al. Growth response by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) advance seedling regeneration to overhead canopy release in southeast Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 204, n. 2, p.399-412, 2005.

GUIMARÃES NETO, A.B. et al. Avaliação do plantio homogêneo de mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, após 40 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p.777-784, 2004.

GUTIÉRREZ, F. et al. Terpenoids from the medicinal plant *Maytenus ilicifolia*. **Journal of natural products**, v. 70, p. 1049-1052, 2007.

HANISCH, A. L. et al. Persistência de plantas medicinais em sistemas agroflorestais no município de São Bento do Sul, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 4, supl. 1, p.774-779, 2013.

HARRISON J. F.; WOODS, H. A.; ROBERTS, S. P. **Ecological and environmental physiology of insects**. Oxford University Press, New York, 377 pp., 2012.

HATANAKA, A. The biogeneration of green odour by green leaves. **Phytochemistry**, v.34, p.1201-1218, 1993.

HECK, C. I.; SCHMALKO, M.; GONZALEZ DE MEJIA, E. Effect of growing and drying conditions on the phenolic composition of mate teas (*Ilex paraguariensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 18, p. 8394-8403, 2008.

HEINRICHS R; MALAVOLTA E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Ciência Rural**, v. 31, p. 781-785, 2001.

HERAUT-BRON, V. et al. Effect of light quality (R: FR ratio) and irradiance on photosynthesis of developing leaves in white clover. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p.1425-1431, 1999.

HIDALGO-SALVATIERRA, O.; BERRIOS, F. Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* Zeller. (Lep., Pyralidae). XII Determination of the LC50 of *Metarrhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin spores on fifth instar larvae. **Turrialba**, v. 22, n. 4, p. 435-438, 1972.

HIDEG, E.; JANSEN, M. A. K.; STRID, A. UV-B exposure, ROS, and stress: Inseparable companions or loosely linked associates. **Trends in plant science**, v. 18, n. 2, p. 107-115, 2013.

HILKER, M.; MEINERS, T. Plants and insect eggs: how do they affect each other? **Phytochemistry**, v. 72, p. 1612-1623, 2011.

HOLMES, M. G.; MCCARTNEY, H. A. In: Smith, H. (ed.) **Light and Plant Development**, Butterworth, London, p. 467-476, 1976.

HOLMES, M. G.; SMITH, H. The function of phytochrome in the natural environment - II. The influence of vegetation canopies on the spectral energy distribution of natural daylight. **Photochemistry and photobiology**, v. 25, p. 539-45, 1977.

HOLSTEN, E. H.; GARA, R. I. Flight of the mahogany shootborer, *Hypsipyla grandella*. **Annals of the Entomological Society of America**, v.68, p. 319-320, 1974.

_____. Mating behaviour of the mahogany shootborer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep.: Pyralidae). **Turrialba**, v. 27, p. 125-127, 1977.

HORNITSCHKE, P. et al. Phytochrome interacting factors 4 and 5 control seedling growth in changing light conditions by directly controlling auxin signaling. **The Plant Journal**, v. 71, n. 5, p. 699-711, 2012.

HOWARD, F. W.; MERIDA, M. A. **Mahogany shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae)**. Florida: University of Florida, 10 p. (IFAS Extension. EENY-336), 2004.

HOWSE, P.; STEVENS, J. M.; JONES, O. T. **Insect pheromones and their use in pest management**. Springer Science & Business Media, 369 p., 2013.

HULVEY, K. B. et al. Benefits of tree mixes in carbon plantings, **Nature Climate Change**, v.3, p. 869-874, 2013.

IJIMA, Y. Recent advances in the application of metabolomics to studies of biogenic volatile organic compounds (BVOC) produced by plant. **Metabolites**, v. 4, n. 3, p. 699-721, 2014.

INOUE, M.T. Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas. In: **A Silvicultura de Espécies Nativas**. Curitiba: FUEF, p. 1-18, 1983.

INOUE, M.T.; RODERJAN, V.C.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba-PR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p. 86- 91, 1984.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 7, 2012.

JANSEN, M. A. K. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. **Physiologia Plantarum**, v. 116, p. 423-429, 2002.

JANSEN, M. A. K. et al. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? **Plant Science**, v. 175, n. 4, p. 449-458, 2008.

JOHNSON, C. B. et al. Substantial UV-B-mediated induction of essential oils in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Phytochemistry**, v. 51, n. 4, p. 507-510, 1999.

JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1, p. 19-35, 2004.

KAROUSOU, R. et al. Effects of enhanced UV-B radiation on *Mentha spicata* essential oils. **Phytochemistry**, v. 49, n. 8, p. 2273-2277, 1998.

KAWAZU, K. et al. Different expression profiles of jasmonic acid and salicylic acid inducible genes in the tomato plant against herbivores with various feeding modes. **Arthropod-Plant Interact**, v.6, p. 221-230, 2012.

- KEGGE, W.; PIERIK, R. Biogenic volatile organic compounds and plant competition. **Trends in plant science**, v.15, n. 3, p.126-132, 2010.
- KENDRICK, R. E.; KRONENBERG, G. H. M. (Eds.), **Photomorphogenesis in Plants**, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, ed. 2, 1994.
- KESSLER, A.; BALDWIN, I. T. Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. **Annual review of plant biology**, v. 53, n. 1, p.299-328, 2002.
- KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, v. 246, p. 208-221, 2007.
- KLEM, K. et al. Interactive effects of PAR and UV radiation on the physiology, morphology and leaf optical properties of two barley varieties. **Environmental and Experimental Botany**, v. 75, p. 52-64, 2012.
- KÖPPEN, W. Climatologia. México. **Fundo de Cultura Econômica**, 1948.
- KRATZ, D. et al. Produção de mudas de erva-mate por ministaquia em substratos renováveis. **Floresta**, v. 45, n. 3, p. 609-616, 2014.
- KRIPS, O. E. et al. Comparison of cultivars of ornamental crop *Gerbera jamesonii* on production of spider mite-induced volatiles, and their attractiveness to the predator, *Phytoseiulus persimilis*. **Journal of Chemical Ecology** v. 27, p.1355-1372, 2001.
- KUREPIN, L. V. et al. Interplay between environmental signals and endogenous salicylic acid concentration. In: **Salicylic Acid**, p. 61-82. Springer Netherlands, 2013.
- LAGO, J. H. G. et al. Volatile oil from *Guarea macrophylla* ssp. *tuberculata*: Seasonal variation and electroantennographic detection by *Hypsipyla grandella*. **Phytochemistry**, v. 67, p. 589-594, 2006.
- LAMB, C. J. et al. Signals and transduction mechanisms for activation of plant defenses against microbial attack. **Cell**, v. 56, n. 2, p. 215-224, 1989.
- LAWLESS, J. **The Illustrated Encyclopedia of Essential Oils: The Complete Guide to the Use of Oils in Aromatherapy and Herbalism**, Element Books, Conari Press, 1995.
- LEE, D. W. et al. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, p. 447-455, 2000.
- LEE, S.; CHAPPELL, J. Biochemical and genomic characterization of terpene synthases in *Magnolia grandiflora*. **Plant Physiology**, v.147, p.1017–1033, 2008.
- LI, L. et al. Linking photoreceptor excitation to changes in plant architecture. **Genes & development**, v. 26, n. 8, p. 785-790, 2012.
- LIMA, G. R.; MUNK, N. 2 Political economy considerations of the forest and timber sectors and natural forest management certification in Brazil. **The context of natural forest management and FSC certification in Brazil**, v. 148, p. 9, 2015.

LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.51-60, 2011.

LINZMEIER, D. M. **The development of seedlings of Cedrela fissilis, Ocotea porosa and Vitex megapotamica under different lighting**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR, 2011.

LIU, J. et al. The distribution of profilin in root-tip cells of wheat seedlings exposed to enhanced UV-B radiation. **Frontiers in Life Science**, v. 9, n. 1, p. 44-51, 2016.

LOPEZ-CHOA, L. A.; APOLINAR-HERNÁNDEZ, M. M.; PEÑA-RAMÍREZ, Y. J. Characterization of chloroplast region rrn16-rrn23S from the tropical timber tree *Cedrela odorata* L. and de novo construction of a transplastomic expression vector suitable for Meliaceae trees and other economically important crops. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 1, p. 1469-1478, 2015.

LOREAU, M. et al. Ecology-biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. **Science**, v. 294, p. 804-808, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, v.1, 3. ed. Nova Odessa/SP, Instituto Plantarum, 2000.

LORETO, F. et al. Plant volatiles and the environment. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 8, p. 1905-1908, 2014.

LUCAS-BARBOSA D.; VAN LOON, J.J.A.; DICKE M. The effects of herbivore-induced plant volatiles on interactions between plants and flower-visiting insects. **Phytochemistry**, v.72, p.1647-54, 2011.

LUCERO, M. et al. A retention index calculator simplifies identification of plant volatile organic compounds. **Phytochem Analysis**, v. 20, p.378- 384, 2009.

LUNZ, A. M. et al. *Hypsipyla grandella* em mogno (*Swietenia macrophylla*): situação atual e perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.59, p.45, 2010.

LUSK, C. H. Leaf area and growth of juvenile temperate evergreens in low light: species of contrasting shade tolerance change rank during ontogeny. **Functional Ecology**, v. 18, n. 6, p. 820-828, 2004.

MACHADO, C. C. B. et al. Determinação do perfil de compostos voláteis e avaliação do sabor e aroma de erva-mate. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 513-518, 2007.

MACÍAS-SÁMANO, J.E. Interacciones químicas entre *Hypsipyla grandella* y sus plantas hospedantes. **Manejo Integrado de Plagas**, v.60, p.15-21, 2001.

MAFFEI, M. E. Sites of synthesis, biochemistry and functional role of plant volatiles. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 4, p. 612-631, 2010.

MAHROOF, R. et al. Effects of artificial shade on attack by the mahogany shoot borer, *Hypsipyla robusta* (Moore). **Agricultural and Forest Entomology**, v. 4, n. 4, p. 283-292, 2002.

MAHROOF, R. HAUXWELL, C.; EDIRISINGHE, J. Responses of *Swietenia macrophylla* (King) seedlings to different sizes of canopy openings in mixed mahogany plantations. **Tropical Agricultural Research**, v.12: p.127-137, 2000.

MAIA, B. H. L. N. S. et al. Essential oils of *Toona* and *Cedrela* species (Meliaceae): taxonomic and ecological implications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v.11, p. 629-639, 2000.

MARIOT, M. P.; BARBIERI, R. L. **Espinheira-santa**: uma alternativa de produção para a pequena propriedade. Embrapa Clima Temperado-Documents (*INFOTECA-E*), Pelotas-RS, 2006.

_____. O Conhecimento Popular Associado ao Uso da Espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* e *M. aquifolium*), **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 666-668, 2007.

_____. Divergência genética entre acessos de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek e *M. aquifolium* Mart.) com base em caracteres morfológicos e fisiológicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.12, n. 3, p. 243-249, 2010.

MARISCAL-LUCERO, S. R. et al. Evaluación de fenoles y limonoides en hojas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) de una plantación experimental establecida en Tezonapa Veracruz, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 63, n. 2, p.545-558, 2015.

MARTÍNEZ, B. A.; RANGEL, C. I. Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación. **Foresta Veracruzana**, v. 6, n.1, pp. 45-51, 2004.

MARTÍNEZ-VENTO, N. et al. Bioplaguicida de *Azadirachta indica* A. Juss (Nim) y la poda, una alternativa para el control de *Hypsipyla grandella* Zeller en plantaciones de *Cedrela odorata* L. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 61-68, 2010.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; SILVA, E. T. D.; MACCARI JUNIOR, A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 619-627, 2007.

MAZZA, C. A. S. et al. **Conservação e uso dos recursos florestais não madeiráveis da floresta com araucária**: Programa Conservabio [recurso eletrônico]. Dados eletrônicos - Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 6, p. 149-151, 1994.

MELO, I. B. **Mapeamento da cadeia produtiva da erva-mate no município de Machadinho**: desafios e propostas. 2010. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Agronegócio). Universidade de Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

MELO, S. F. et al. Effect of the *Cymbopogon citratus*, *Maytenus ilicifolia* and *Baccharis genistelloides* extracts against the stannous chloride oxidative damage in *Escherichia coli*. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 496, p. 33-38, 2001.

MENDES, B. G.; MACHADO, M. J.; FALKENBERG, M. Triagem de glicolipídios em plantas medicinais, **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.16, n. 4, p. 568-575, 2006.

METCALF, R. L.; LUCKMANN, W. H. **Introduction to insect pest management**. v.101. John Wiley & Sons, 1994.

MEXAL, J. L.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: **Target Seedling Symposium**, Meeting of the Western Forest. 1990.

MINETTI, J. M. **Aprovechamiento forestal de cedro en las Yungas de Argentina. Ecología Y Producción de Cedro (genero Cedrela) En Las Yungas Australes**. LIEY-proyungas, Argentina, 143-154, 2006.

MITHOFER, A.; BOLAND, W. Plant defense against herbivores: chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 431-450, 2012.

MORAES NETO, S. P. et al. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de adubação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.1, 2000.

MORELLI, L.L.L. **Avaliação de compostos fenólicos majoritários em geléia de uva produzida com a variedade IAC-138-22 (máximo)**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: [s.n], Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2011.

MORENO, G.; OBRADOR, J. J.; GARCÍA, A. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.119, p.270-280, 2007.

NAIR, K. S. S. **Tropical Forest Insect Pests: Ecology, Impact and Management**. New York: Cambridge University Press. 2007, 404 p.

NAWKAR, G. M. et al. UV-induced cell death in plants. **International journal of molecular sciences**. v. 14, p. 1608-1628, 2013.

NEILSON, E. H. et al. Plant chemical defense: at what cost? **Trends in plant science**, v. 18, n. 5, p. 250-258, 2013.

NERLICH, K.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; CLAUPEIN, W. Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 2, p. 475-492, 2013.

NEWTON, A. C. et al. The mahogany shoot-borer, prospects for control. **Forest Ecology and Management**, v. 57, p. 301–328, 1993.

NIEDERBACHER, B., WINKLER, J. B., SCHNITZLER, J. P. Volatile organic compounds as non-invasive markers for plant phenotyping. **Journal of Experimental Botany**, v. 66(18), p. 5403-5416, 2015.

NIST. **Software** NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2008.

NOVOPLANSKY, A. Picking battles wisely: plant behaviour under competition. **Plant, cell & environment**, v. 32, n. 6, p. 726-741, 2009.

OHASHI, O. S. et al. Danos e controle da broca *Hypsipyla grandella* em plantios de mogno *Swietenia macrophylla* no Estado do Para. In: Poltronieri, L. S., Trindade, D. R.; Santos, I. p. (Ed.). **Pragas e doenças de cultivos amazônicos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 125-144, 2005.

OHASHI, O. S. et al. Manejo integrado da broca do mogno *Hypsipyla grandella* Zeller (Lep. Pyralidae). **Manejo integrado das principais pragas e doenças de cultivos amazônicos**, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 91-120, 2002.

OLDEMAN, R. A. A. **Forests: elements of silvology**. Springer Science & Business Media, 1990, 624 p.

OPUNI-FRIMPONG, E. et al. Relative susceptibility of four species of African mahogany to the shoot borer *Hypsipyla robusta* (Lepidoptera: Pyralidae) in the moist semideciduous forest of Ghana. **Forest ecology and management**, v. 255, n. 2, p. 313-319, 2008.

PAQUETTE, A.; MESSIER, C., The role of plantations in managing the world's forest in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, p. 27-34, 2010.

PARK, S. W. et al. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance. **Science**, v. 318, p. 113-116, 2007.

PAULILO, M. T. S. Responses to light changes in tropical seedlings of the Brazilian Atlantic rainforest tree species *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae) and *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **Australian Journal of Botany**, v.55, p.795-802, 2007.

PENNINGTON, T. D.; STYLES, B. D.; TAYLOR, D. A. **Meliaceae. Flora Neotropica Monograph**, New York, v. 28. p. 235 - 244, 1981.

PEREIRA, L. D. et al. Suscetibilidade do cedro ao ataque de pragas em Floresta Estacional Decidua, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.5, p. 607-614, 2016.

PEREZ, J. et al. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world Meliaceae species. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 618-625, 2010a.

_____. Leaves from grafted Meliaceae species affect survival and performance of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. **Journal of Pest Science**, v. 83, n. 2, p. 95-104, 2010b.

PÉREZ-FLORES, J.; EIGENBRODE, S. D.; HILJE-QUIROZ, L. Alkaloids, limonoids and phenols from Meliaceae species decrease survival and performance of *Hypsipyla grandella* larvae. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, p. 988-994, 2012.

PÉREZ-SALICRUP, D. R., ESQUIVEL, R. Tree infection by *Hypsipyla grandella* in *Swietenia macrophylla* and *Cedrela odorata* (Meliaceae) in Mexico's southern Yucatan Peninsula. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 2, p.324-327, 2008.

PIERIK, R.; BALLARE, C. L.; DICKE, M. Ecology of plant volatiles: taking a plant community perspective. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 8, p. 1845-1853, 2014.

PIÑEDA-RÍOS, J. **Isolation and identification of the sex pheromone of *Hypsipyla grandella* Zeller**. 2014. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Colégio de Postgraduados da Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México, 2014.

PIOTTO, D. et al. Forest plantations in Costa Rica and Nicaragua: performance of species and preferences of farmers. **Journal of Sustain Forestry**, v.18, p. 59-77, 2004.

PIRES, D. A. D. C. K. et al. A Erva-Mate no Planalto Norte Catarinense: os compostos bioativos como variável na determinação das especificidades necessárias ao reconhecimento como Indicação Geográfica. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 6, n. 2, p. 207-227, 2016.

POCOCK, T. Light-emitting diodes and the modulation of specialty crops: Light sensing and signaling networks in plants. **HortScience**, v. 50, p. 1281–1284, 2015.

POLETO, I. et al. Influência da inoculação de *Fusarium* spp. e níveis de sombreamento no crescimento e desenvolvimento da erva-mate. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 513-521, 2010.

POORTER H.; NAGEL O. The role of biomass allocation in the growth response of plant to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 27, p. 595-607, 2000.

POORTER. L. Growth responses of 15 rainforest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. 13, p. 396-410, 1999.

PRETZSCH, H.; SCHÜTZE, G. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level, **European Journal of Forest Research**, v.128, p.183-204, 2009.

PRICE, P. W. et al. **Insect ecology: behavior, populations and communities**. Cambridge University Press, 791 p., 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>, 2007.

RADOMSKI, M. I.; BULL, L. T. Caracterização ecológica e fitoquímica de quatro populações naturais de *Maytenus ilicifolia* no Estado do Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 01, 2010.

RADOMSKI, M. I. et al. Caracterização de ambientes de ocorrência natural e sua influência sobre o peso específico e o teor de polifenóis totais de folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*. Mart.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 6, n. 2, p. 65-68, 2004.

RADOMSKI, M.I. **Caracterização ecológica e fitoquímica de *Maytenus ilicifolia* Mart., em populações nativas no município da Lapa – Paraná.** Curitiba, 1998. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RAKOCEVIC, M. et al. Influência do sexo, da sombra e da idade de folhas no sabor do chimarrão. **Análise**, v. 8, p. 10, 2006.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; TAKAKI, M. Aspectos fotomorfogenéticos de plantas jovens de erva-mate. In: **Congresso Sul-Americano Da Erva-Mate**, v. 3, pp. 250-256. Posadas: INTA. 2003.

REGINATTO, F. H. et al. Methylxanthines accumulation in *Ilex* species-caffeine and theobromine in erva-mate (*Ilex paraguariensis*) and other *Ilex* species. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.10, n. 6, p.443-446, 1999.

REIS, M.S.; SILVA, S.R. **Conservação e uso sustentável de plantas medicinais e aromáticas: *Maytenus* spp., espinheira-santa.** Brasília: Ibama, 2004.

REITZ, J.R. Meliaceae. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, 1984.

RIBASKI, N. G.; IRITANI, C.; RIBASKI, J. Embriogênese somática de *Cedrela fissilis* Vell: alternativa para gerar plantas resistentes ao ataque da broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella*). In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida, **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2002.

RIBEIRO, A. M. B. **Controle Químico da Broca das Meliaceas *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) em Mogno Sul Americano (*Swietenia macrophylla* KING).** 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – FCA. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas.

RICH, P. M. et al. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, n. 1-2, p. 107-127, 1993.

RICHMOND, J.D. et al. Essential oil compositions and cytotoxic activities of *Dendropanax capillaris*, *Oreopanax nubigenus*, and *Schefflera rodrigueziana* from Monteverde, Costa Rica. **Natural Product Communications**, v.4, p. 271-274, 2009.

ROBSON, M. T. et al. Re-interpreting plant morphological responses to UV-B radiation. **Plant, cell & environment**, v. 38, n. 5, p. 856-866. 2015.

ROCHA, J. N. et al. Desenvolvimento de *Maytenus ilicifolia* e de seus polifenóis totais sob condição de sombreamento e poda. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, supl. 1, p. 663-669, 2014.

ROSA, S. G. T. **Caracterização das sementes de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss, espinheira-santa e viabilidade de sua propagação sexuada.** 1994. 106 f. Dissertação (Mestrado) UFRGS. Porto Alegre, UFRGS, 1994.

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo – PR, n. 55, p. 75-85, 2007.

ROSSA, U. B. **Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RUBAN, A.V. Evolution under the sun: optimizing light harvesting in photosynthesis, **Journal of experimental botany**, v. 66, p. 7-23, 2014.

RUBERTI, I. et al. Plant adaptation to dynamically changing environment: the shade avoidance response. **Biotechnology advances**, v. 30, n. 5, p. 1047-1058, 2012.

RUIZ, B. A. et al. Valoración de métodos convencionales y no convencionales para el control del taladrador de las meliáceas en América. **Bosque**, v. 37, n. 1, p. 13-19, 2016.

SALTER, M. G.; FRANKLIN, K. A.; WHITELAM, G. C. Gating of the rapid shade-avoidance response by the circadian clock in plants. **Nature**, v. 426, n. 6967, p. 680, 2003.

SANCHES, M.C.; MARZINEK, J.; BRAGIOLA, N.G. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation, **Trees**, v.31: p.215-221, 2017.

SÁNCHEZ-SOTO, S.; DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, M.; CORTÉS-MADRIGAL, H. Efecto de la sombra en plantas de caoba sobre la incidencia de *Hypsipyla grandella* Zeller y otros insectos, en tabasco, México. **Universidad y Ciencia**, v. 25, p. 225-232, 2009.

SANDS, D. P. A.; MURPHY, S. T. Prospects for biological control of *Hypsipyla* spp. with insect agents. In: Floyd RB, Hauxwell C (eds) **Hypsipyla shoot borers in Meliaceae**. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, pp 121-130, 2001.

SANSBERRO, P. A. et al. Shoot growth in *Ilex paraguariensis* plants grown under varying photosynthetically active radiation is affected through gibberellin levels. **Plant growth regulation**, v. 38, n. 3, p. 231-236, 2002.

SANTOS, D. L. et al. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, p.171–172, 2006.

SANTOS-OLIVEIRA, R.; COULAUD-CUNHA, S.; COLAÇO, W. Revisão da *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek, Celastraceae. Contribuição ao estudo das propriedades farmacológicas **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 19, n. 2B, p. 650-659, 2009.

SCHENKEL, E. P. et al. Saponins from mate (*Ilex paraguariensis*) and other South American *Ilex* species: ten years research on *Ilex* saponins. **Ciência e Cultura**, v. 49, p. 359-363, 1997.

SCHIESTL, F. P. The evolution of floral scent and insect chemical communication. **Ecology Letters**, v. 13, n. 5, p. 643-656, 2010.

SCHLEPPI, P.; PAQUETTE, A. Solar radiation in forests: theory for hemispherical photography. In **Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications** (pp. 15-52). Springer Netherlands, 2017.

SCHMITZ, C. et al. Statistical experimental designs for the production of secondary metabolites in plant cell suspension cultures. **Biotechnology letters**, v. 38, n. 12, p. 2007-2014, 2016.

SCHREINER, H. G. Pesquisa em agrossilvicultura no Sul do Brasil: resultados, perspectivas e problemas. **Seminário Sobre Sistemas Agroflorestais na Região Sul**, Colombo, v. 1, p. 387-398, 1994.

SCHREINER, M. et al. Short-term and moderate UV-B radiation effects on secondary plant metabolism in different organs of nasturtium (*Tropaeolum majus* L.). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 10, n. 1, p. 93-96, 2009.

SCHREINER, M. et al. UV-B-induced secondary plant metabolites-potential benefits for plant and human health. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 31, n. 3, p. 229-240, 2012.

SCHROTH, G. et al. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p. 131-150, 2002.

SHARROCK, R. A.; CLACK, T. Patterns of expression and normalized levels of the five Arabidopsis phytochromes. **Plant Physiology**, v. 130, p. 442-456, 2002.

SILVA JUNIOR, M. L. da et al. Crescimento de mogno-brasileiro e resistência a *Hypsipyla grandella* em função do cálcio e do boro. **Árvore**, v.38, p.1085-1094, 2014.

SILVA, M. **Influência do arranjo espacial do mogno (*Swietenia macrophylla* King) com o nim (*Azadirachta indica* a. Juss) como barreira natural ao ataque da *Hypsipyla grandella* Zeller**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - UFRA, 2007.

SILVA, M. C. A.; SANTOS ROSA, L. dos; VIEIRA, T. A. Eficiência do nim (*Azadirachta indica* A. Juss) como barreira natural ao ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) sobre o mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, p. 19-24, 2013.

SILVA, R. R. D. et al. Efeito hipolipidêmico dos flavonóides naringina e rutina. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 51, n. 3, p. 258-264, 2001.

SILVEIRA, N. A. et al. Síntese dos componentes do feromônio da broca-do-cedro, *Hypsipyla grandella*. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, v. 25, 2002. Resumos...

SIMÕES, C.A.M. et al. **Farmacognosia da Planta ao Medicamento**. 3.ed. Porto Alegre/Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2001. 833p.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337-354, 2002.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SMITH, H. Physiological and ecological function within the phytochrome family. **Annual Review of Plant Biology**, v. 46, n. 1, p. 289-315, 1995.

_____. Phytochrome and photomorphogenesis in plants. **Nature**, v. 227, p. 665-668, 1970.

_____. Phytochromes and light signal perception by plants - an emerging synthesis. **Nature**, v. 407, p. 585-591, 2000.

SMITH, H.; HOLMES, M. G. The function of phytochrome in the natural environment. Measurement and calculation of phytochrome photoequilibria. **Photochemistry and Photobiology**, v. 25, p. 547-550, 1977.

SOARES, M. G. et al. Electrophysiological responses of female and male *Hypsipyla grandella* (Zeller) to *Swietenia macrophylla* essential oils. **Journal of Chemical Ecology**, v. 29, p. 2143-2151, 2003.

SOARES, M. G. et al. Interspecific variation in the composition of volatile oils from the leaves of *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1141-1144, 2010.

SOARES, S. E. Phenolic acids as antioxidants. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOTO, F. et al. Systemic activity of plant extracts in *Cedrela odorata* (Meliaceae) seedlings and their biological activity on *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 9, p. 221-226, 2007.

SOUSA, M. P. et al. Constituintes Químicos Ativos de Plantas Medicinais Brasileiras. **Laboratório de Produtos Naturais**, Fortaleza, 1991, 416 p.

SOUZA, J. D. et al. Desenvolvimento da espinheira-santa sob diferentes intensidades luminosas e níveis de poda. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 40-44, 2008.

SOUZA, L. J. B. **Fotomorfose e crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. no viveiro e no plantio de enriquecimento em linha**. 1981. 117 f. Tese (Mestrado em Ciências Agrárias), Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1981.

STEENBOCK, W. **Fundamentos para o manejo de populações naturais de espinheira-santa, *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss. (Celastraceae)**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), UFSC. Florianópolis, UFSC, 2003.

STREIT, N. M. et al. Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*), **Food Chemistry**, v. 102, n. 3, p. 560-564, 2007.

SUERTEGARA, C. E. O. **Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) em sistemas agroflorestais e monocultivos**. 2002. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Centro de Ciências Agrárias da Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.

TAVERAS, R.; HILJE, L.; CARBALLO, M. Development of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) in response to constant temperatures. **Neotropical Entomology**, v.33, n.1, p.1-6, 2004.

TEREZINHA, I. S. B. E. M.; PAULILO, S. Efeito da Luz na Germinação e no Crescimento Inicial de *Maytenus robusta* Reiss e *Hedyosmum brasiliense* Mart. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 243-248, 1999.

THOMAZINI, M. J.; TEDESCHI, V. H. P. Dinâmica populacional da broca-do-mogno, *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) em Garça, SP. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 24., 2012, Curitiba. **Anais web**. Curitiba: SEB: UFPR, 2012.

TRABAQUINI, K.; VIEIRA, H.J. (Orgs.). **Boletim Ambiental. Síntese Trimestral: Primavera 2016**. Florianópolis: Epagri, 77p. (Epagri. Documentos, 270), 2017.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, p. 237-257, 2008.

VERGARA, A. J. B. Aproximación hacia un manejo integrado del barrenador de las Meliaceas, *Hypsipyla grandella* (Zeller). **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, n. 41, p. 23-28, 1997.

VIEIRA, A. R. R. et al. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 11, n. 1, p. 91 - 97. 2003.

VILLANUEVA, H. E. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the bark essential oil of *Cedrela odorata* from Monteverde, Costa Rica. **Der Pharma Chemica**, v. 1, n. 2, p. 14-18, 2009.

VON BERTALANFFY, L. **A Pioneer of General Systems Theory**. Working paper by TE Weckowicz. Canada: University of Alberta Center for Systems Research, 29 p., 1988.

WAINWRIGHT, A. E.; PUTZ, F. E. A misleading name reduces marketability of a healthful and stimulating natural product: A comparative taste test of infusions of a native florida holly (*Ilex vomitoria*) and Yerba Mate (*I. paraguariensis*). **Economic Botany**, v. 68(3), p. 350-356, 2014.

WANG, H. M. D. et al. Exploring the potential of using algae in cosmetics. **Bioresource Technology**, v.184, p.355-362, 2015.

WAR, A. R.; HUSSAIN, B.; SHARMA, H. C. Induced resistance in groundnut by jasmonic acid and salicylic acid through alteration of trichome density and oviposition by *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **AoB Plants**, v.5, 2013.

WESTPHALEN, D. J. **Produção, qualidade e viabilidade econômica da erva-mate em sistema agroflorestal no terceiro planalto paranaense**. 2016. 165 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2016.

WINZ, R. A.; BALDWIN, I. T. Molecular interactions between the specialist herbivore *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host *Nicotiana attenuata*. IV. Insect-

induced ethylene reduces jasmonate induced nicotine accumulation by regulating putrescine N-methyl transferase transcripts **Plant Physiology**, v.125, p. 2189–2202, 2001.

WIVES, D. G.; DE CASTILHO, C. B.; MACHADO, J. A. D. Resiliência social na Floresta Atlântica do Rio Grande do Sul: o uso dos sistemas ecológicos na produção de banana. **Colóquio**, v. 12, n. 1, p. 11-26, 2015.

WOOLEY, J. T. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant physiology**, v. 47, n. 5, p. 656-662, 1971.

WREGE, M. S.; THOMAZINI, M. J. Zoneamento Ecológico de *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) no Brasil. In: **Workshop Sobre Mudanças Climáticas E Problemas Fitossanitários**, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 7, 2012.

WU, D. et al. Structural basis of ultraviolet-B perception by UVR8. **Nature**, v. 484, p. 214-219, 2012.

WU, J.Q.; BALDWIN, I.T. Herbivory-induced signaling in plants: perception and action. **Plant Cell Environment**, v.32, p.1161-1174, 2009.

WYLIE, F.R. Control of *Hypsipyla* spp. shoot borers with chemical pesticides: a review. In: Floyd, R.B., Hauxwell, C. (Eds.), **Hypsipyla Shoot Borers in Meliaceae**. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, pp. 109-115, 2001.

YAMASAKI, S. et al. Ecology of *Hypsipyla grandella* and its seasonal changes in population density in Peruvian Amazon forest. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, n. 24, p. 149-155, 1990.

YAMAZAKI, S. et al. Attack by the mahogany shoot borer, *Hypsipyla-grandella* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae), on the Meliaceae trees in the Peruvian Amazon. **Applied Entomology and Zoology**, v.27, p.31–38, 1992.

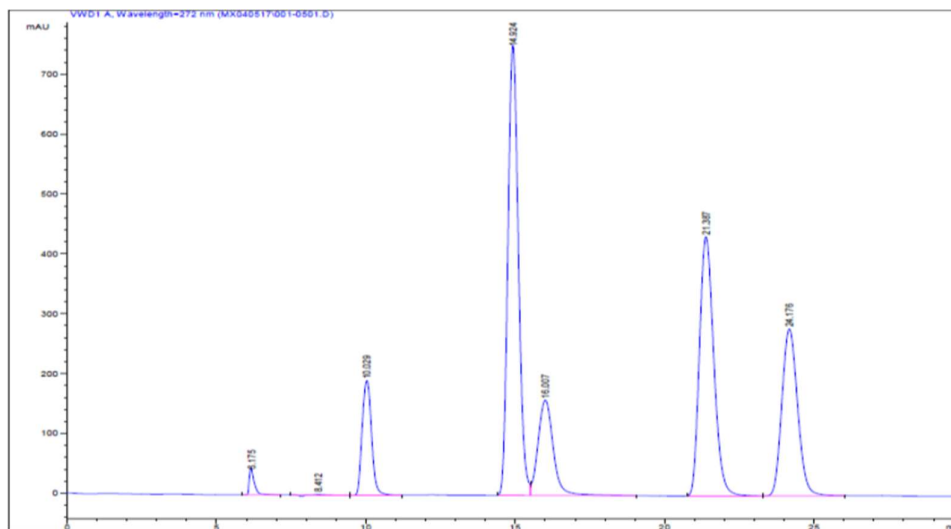
YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. **Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós**. Belém: EMBRAPA-CPATU, Documentos, 49, 29 p., 1988.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M.; LIMA, E. R. Insect pheromones: technology and challenges for a competitive agriculture in Brazil. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009.

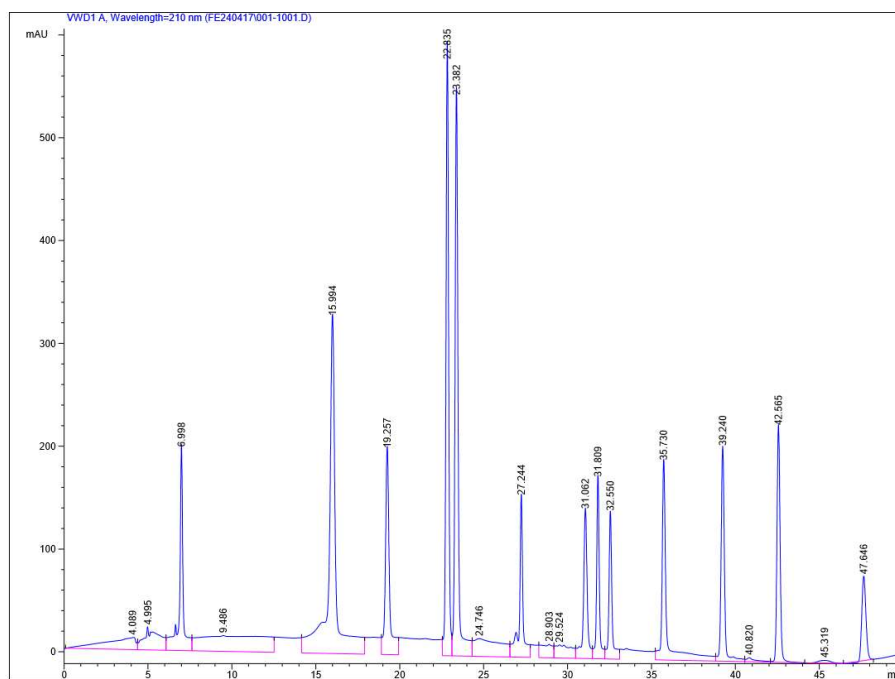
ZHAO, J.; DAVIS, L. C.; VERPOORTE, R. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. **Biotechnology advances**, v. 23, n. 4, p. 283-333, 2005.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Perfil cromatográfico dos padrões teobromina, teofilina, ácido clorogênico, cafeína e ácido cafeico, respectivamente.



Apêndice 2 – Perfil cromatográfico dos padrões ácido gálico, epigallocatequina, catequina, epicatequina, epicatequina galato, rutina, ácido ferulico, naringina, hesperidina, miricetina, resveratrol, quercetina e apigenina, respectivamente.



Apêndice 3 – Perfil cromatográfico do extrato hexanóico da aeração por 24 horas de plantas de cedro-rosa expostas a pleno sol por 45 dias.

