

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR**

**ESTIMATIVAS DE ATAQUE E DA DIVERGÊNCIA MORFOMÉTRICA EM  
SUBPOPULAÇÕES DE *Sirex noctilio* FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE  
*Pinus taeda* L.**

TESE DE DOUTORADO

**SILVIO CAROLO JUNIOR**

**IRATI – PR  
2020**

**SILVIO CAROLO JUNIOR**

**ESTIMATIVAS DE ATAQUE E DA DIVERGÊNCIA MORFOMÉTRICA EM  
SUBPOPULAÇÕES DE *Sirex noctilio* FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE  
*Pinus taeda* L.**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi  
Orientador

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniele Ukan  
Coorientadora

Dr<sup>a</sup> Susete do Rocio Chiarello Penteado  
Coorientadora

IRATI, PR  
2020

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da Unicentro

C292e Carolo Junior, Silvio  
Estimativas de ataque e da divergência morfométrica em subpopulações de *Sirex noctilio* Fabricius em povoamentos de *Pinus taeda* L. / Silvio Carolo Junior. -- Irati, 2020.  
x, 59 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2020.

Orientador: Evandro Vagner Tambarussi  
Coorientadora: Daniele Ukan  
Coorientadora: Susete do Rocio Chiarello Penteadó  
Banca examinadora: Edson Tadeu Iede, Ananda Virginia de Aguiar, Luciano Rodrigo Lanssanova

Bibliografia

1. Ciências Florestais. 2. Vespa-da-madeira. 3. Modelo matemático. 4. Morfometria. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

| CDD 634.9



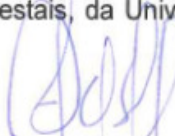
## TERMO DE APROVAÇÃO


Defesa de Tese Nº 20

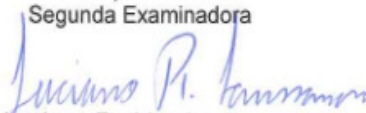
**Silvio Carolo Junior**


**“Estimativas de ataque e da divergência morfométrica em subpopulações de *Sirex noctilio* Fabricius em povoamentos de *Pinus taeda* L.”**

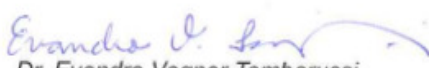
Tese aprovada em 13/02/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

  
Dr. Edson Tadeu Iede  
Embrapa Florestas  
Primeiro Examinador

  
Dra. Ananda Virginia de Aguiar  
Embrapa Florestas  
Segunda Examinadora

  
Dr. Luciano Rodrigo Lanssanova  
Instituto Federal de Mato Grosso  
Terceiro Examinador

  
Dra. Daniele Ukan  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Quarta Examinadora

  
Dr. Evandro Vagner Tambarussi  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR  
2020

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85015-430 – GUARAPUAVA - PR

Campus Cedeteg: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carlí – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85040-167 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000  
CEP 84505-677 – IRATI – PR

*O homem só pode descobrir novos  
oceanos se tiver coragem de perder a terra  
de vista*

*André Gide*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos recebidas e por sempre me dar forças para nunca desistir.

À minha amada esposa Deise Thais Natsume Carolo e nossa filha Melissa Natsume Carolo por todo amor, companheirismo, ajuda, dedicação e por sempre estarem ao meu lado e me incentivarem.

Aos meus familiares Silvio Carolo, Maria Irena Carolo, Silvia Maria Carolo, Bento Carolo, Renato Natsume e Sirlei Teresinha Natsume por todo incentivo, carinho e acolhimento sempre me ajudando sem medir esforços.

Ao professor Dr. Evandro Vagner Tambarussi pela valiosa orientação, pelos ensinamentos repassados e por não medir esforços para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

À professora Dr<sup>a</sup> Daniele Ukan pela orientação, auxílio e amizade, do fundo do coração meus sinceros agradecimentos por todas as revisões e sugestões as quais foram primordiais para o enriquecimento deste trabalho.

À Dr<sup>a</sup> Susete do Rocio Chiarello Penteado pela coorientação neste trabalho colaborando de forma imensurável com sugestões valorosas.

Aos membros da banca examinadora Dr. Edson Tadeu Iede, Prof. Dr. Luciano Rodrigo Lansanova e Dr<sup>a</sup> Ananda Virginia de Aguiar pelos pareceres e valiosas sugestões ao trabalho.

Ao amigo Renan Portela, pela disponibilidade, paciência e auxílio para o enriquecimento deste trabalho.

Aos amigos Rodrigo de Vargas Pinheiro, Matheus Schneider, Mateus Chagas e Pedro Paulo Gomes de Oliveira pela ajuda na coleta e processamento de dados.

Aos amigos Douglas, Thiago, Ricardo, Oldemar, Emanuel, Helio, Reinaldo, Mauricio, Esmael e Eder pela amizade incondicional.

Às amigadas que conquistei ao longo desta jornada Murilo, Mario, Marcos, Thiago, Armando, Luciano, Emilio, Karla, Fernando, Pedro, Willian, Luciano e Alexandre.

À empresa Refflorasul Agroflorestral S.A. por todo o suporte e por permitir a utilização dos dados.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela realização do Curso de Doutorado.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Uma das principais pragas das plantações de *Pinus* spp. é a *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae). Está distribuída em seis continentes, provocando danos e prejuízos econômicos aos plantios florestais. Esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um modelo para estimativa do número de árvores.ha<sup>-1</sup> de *Pinus* atacadas por *S. noctilio* e estimar a variabilidade genética entre populações da praga florestal. O estudo foi realizado em povoamentos de *Pinus taeda* pertencentes a empresa Refflorasul, localizada no município de Palmas, estado do Paraná. Para o desenvolvimento do modelo matemático foram utilizadas como variáveis independentes do modelo a serem selecionadas pelo método *Stepwise* a amostragem sequencial, número de indivíduos da parcela, árvores-armadilha, diâmetro à altura do peito (DAP) médio, altura média, volume médio individual, volume da parcela, idade, espaçamento, sitio, área basal da parcela, área transversal média, diâmetro médio quadrático e o DAP estratificado em três classes de diâmetro, das quais apenas a amostragem sequencial e o número de indivíduos da parcela foram selecionadas para compor o modelo, descrito como  $\delta = \beta_0 + \beta_1AS + \beta_2n + \varepsilon$ . Para estimar a divergência genética de *S. noctilio* foram avaliadas quatro subpopulações (área 1, 2, 3 e 4). Os adultos de *S. noctilio* foram coletados de árvores-armadilhas instaladas e inspecionadas em setembro de 2017 e junho de 2018, respectivamente. Após a emergência, os indivíduos foram armazenados em álcool 70% para posteriormente serem avaliados. Os caracteres mensurados foram comprimento da asa, do abdômen e total para ambos os sexos, sendo que nas fêmeas o comprimento do ovipositor também foi medido. O agrupamento das subpopulações foi realizado pelo método de otimização de Tocher. Nos machos ocorreu a formação de dois grupos distintos independente do caractere avaliados. Quando o agrupamento foi realizado considerando somente as fêmeas e os machos e as fêmeas em conjunto, houve a formação de grupamentos distintos dependendo do caractere analisado, indicando haver divergência genética entre as subpopulações analisadas.

**Palavras-chave:** Vespa-da-madeira; modelo matemático; morfometria

## ABSTRACT

One of the main pests that affect *Pinus* spp. plantations is *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae). The pest, which has been identified across six continents, affects not only forest management planning but also causes economic losses. The general objective of this study is to develop a model to estimate the number of pine trees per hectare attacked by *S. noctilio* and to understand the genetic variability among these forest pest populations. The study was carried out in *Pinus taeda* stands belonging to the Reflorasul company, located in Palmas, Paraná State, Brazil. For the development of the mathematical model, sequential sampling, number of individuals in the plot, trap trees, average diameter at breast height (DBH), average height, average individual volume, plot volume, age, spacing, site, basal area of the plot, mean cross-sectional area, quadratic mean diameter, and the DBH stratified into three diameter classes were used as independent variables of the model. Of these, only sequential sampling and the number of individuals in the plot were selected to compose the model, defined as  $\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$ . To determine the genetic diversity of *S. noctilio*, four subpopulations (areas 1, 2, 3, and 4) were evaluated. Trap trees were installed in September 2017 and *S. noctilio* adults were collected in June 2018. After emergence, individuals were stored in 70% alcohol for subsequent assessment. The following characteristics were measured: wing, abdomen, and total length for both sexes, and ovipositor length in females. The grouping of subpopulations was carried out using the Tocher optimization method. In males, two distinct groups were formed regardless of the evaluated characteristic. When grouping was performed considering only females and both males and females together, distinct groups were identified depending on the characteristic analyzed, indicating that there is genetic divergence between the analyzed subpopulations.

**Keywords:** Woodwasp; mathematical model; morphometry



## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1: MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE ATAQUE DE *Sirex noctilio* FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.**

**Figura 1.** Distribuição gráfica dos resíduos dos modelos utilizados para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*. (a) Modelo 1 (b) Modelo 3, em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR .....31

### **CAPÍTULO 2: MORFOMETRIA DE *Sirex noctilio*: UM ENFOQUE GENÉTICO POPULACIONAL**

**Figura 1.** Mapa entre as quatro áreas estudadas no município de Palmas, PR.....44

**Figura 2.** Diagrama de interações entre os agentes que interferem na dinâmica populacional de *S. noctilio*.....51

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1: MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE ATAQUE DE *Sirex noctilio* FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

- Tabela 1.** Descrição das áreas de coleta dos dados para o teste dos modelos estatísticos no município de Palmas, PR.....24
- Tabela 2.** Correlação entre as variáveis candidatas para compor o modelo em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.....26
- Tabela 3.** Variáveis selecionadas e não selecionadas como termos independentes no modelo pelo método *Stepwise* em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.....28
- Tabela 4.** Coeficientes e estatísticas dos modelos desenvolvidos para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio* em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.....29
- Tabela 5.** Análise de Variância para o modelo 1 em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.....32
- Tabela 6.** Comparação do número de árvores/atacadas por *S. noctilio* observadas com os valores estimados pela amostragem sequencial e pelo modelo  $\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$ , em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.....34
- Tabela 7.** Tabela de estimativa de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*, em plantio de *P.taeda* no município de Palmas, PR.....35

## **CAPÍTULO 2: MORFOMETRIA DE *Sirex noctilio*: UM ENFOQUE GENÉTICO POPULACIONAL**

**Tabela 1.** Descrição das áreas de coleta para obtenção dos adultos de *S. noctilio*, ano de 2019 no município de Palmas, PR.....44

**Tabela 2.** Descrição do número de indivíduos emergidos (machos e fêmeas) por área do estudo no município de Palmas, PR, 2019.....46

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas sobre os caracteres mensurados em milímetros (mm), em *S. noctilio* no município de Palmas, PR em 2019.....47

**Tabela 4.** Agrupamento das subpopulações de *S. noctilio*, pelo método de otimização de Tocher, a partir da distância euclidiana para os caracteres comprimento da asa, do abdômen, total e ovipositor (fêmeas).....48

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 1: MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE ATAQUE DE <i>Sirex noctilio</i> FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> L.....</b>	<b>21</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	23
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	24
OBTENÇÃO DE DADOS DE AMOSTRAGEM.....	24
ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	25
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS.....	26
SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS E AJUSTE DOS MODELOS.....	27
VALIDAÇÃO DO MODELO.....	33
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 2: MORFOMETRIA DE <i>Sirex noctilio</i>: UM ENFOQUE GENÉTICO POPULACIONAL.....</b>	<b>41</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	44
COLETA E MORFOMETRIA DOS ADULTOS DE <i>S. noctilio</i> .....	45
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
AGRUPAMENTOS MORFOMÉTRICOS .....	47
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O acelerado crescimento da demanda por produtos florestais exige cada vez mais tomadas de decisões rápidas e adequadas ao mercado no que diz respeito ao planejamento do manejo dos plantios florestais, possibilitando assim, atendê-lo de forma rápida e objetiva.

No entanto, quando os plantios não são conduzidos utilizando as técnicas adequadas, tais como: preparo do solo, escolha da espécie florestal, práticas silviculturais e manejo apropriado, os mesmos tornam-se locais ideais para o surgimento de pragas florestais. Há que considerar ainda que, a disponibilidade de alimentos e a ausência ou baixa efetividade de inimigos naturais favorecem o estabelecimento e dispersão de pragas.

Dentre as principais pragas florestais pode-se citar *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae), popularmente conhecida como vespa-da-madeira, a qual ataca povoamentos de *Pinus* spp., provocando severos danos aos mesmos. A espécie é originária da Europa, Ásia e norte da África (SPRADBERY; KIRK, 1978). Em 1900, estabeleceu-se na Nova Zelândia e entre os anos 1940 a 1949 causou elevada mortalidade nos povoamentos de *Pinus radiata*. Em 1952, foi introduzida na Austrália, sendo que várias tentativas para erradicar a praga não obtiveram efeito (RIBAS JUNIOR, 1993).

Na década de 1980 *S. noctilio* foi registrada na América do Sul, mais precisamente no Uruguai (REBUFFO, 1990). Na Argentina foi detectada, pela primeira vez, em 1985 na província de Entre Ríos, próxima à divisa com o Uruguai e em 1993, na zona de San Carlos de Bariloche, Província de Río Negro (KLASMER et al., 2000). Em fevereiro de 1994, no Vale de Calamuchita na Província de Córdoba (SENASA, 2004).

No Brasil, a primeira ocorrência foi no ano de 1988, no estado do Rio Grande do Sul, nos municípios de Gramado, Canela e São Francisco de Paula (IEDE et al., 1988). No ano de 1989 foi registrada a presença desta praga no município de Lages – SC, e em 1994, em Palmas no Paraná, ambas em grupamentos de árvores-armadilha (PENTEADO, 1995).

Até o ano de 2004, a *S. noctilio* ficou restrita aos estados do sul do país, quando foi então detectada em São Paulo, nos municípios de Jundiá, Capão Bonito, Itapeva e Itapirapuá Paulista (IEDE; ZANETTI, 2007). Recentemente foi observada a presença de *S. noctilio* realizando oviposição em um plantio de *Pinus taeda* L. no município de

Botucatu, ampliando a distribuição geográfica desta praga no estado de São Paulo (WILCKEN et al., 2018). Em janeiro de 2005 foi detectada em plantios de *Pinus patula* em Minas Gerais (IEDE; ZANETTI, 2007).

Em 1994 *S. noctilio* foi encontrada na África do Sul (TRIBE, 1994) e em 2001 em Los Andes/Guardia Vieja região central do Chile, em árvores de *P. radiata* (CISTERNAS, 2007). Nos Estados Unidos foi detectada em 2005 em Nova York (HOEBEKE et al., 2005) e no Canadá em 2006, em Ontario (DE GROOT et al., 2006). No ano de 2013 foi constatada sua presença em um povoamento de *Pinus sylvestris* com 35-40 anos de idade, em Daqing na província de Heilongjiang, na China (LI et al., 2015).

Até o momento não há evidências do estabelecimento de *S. noctilio* no Paraguai, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia e Venezuela. Esses países possuem áreas com disponibilidade de hospedeiros, bem como, condições climáticas favoráveis para o surgimento da praga (IRELAND et al., 2018).

Após a constatação da vespa-da-madeira em um determinado local, deve-se adotar medidas de controle para reduzir os prejuízos causados pela praga. O controle biológico é a estratégia mais utilizada para manejar as populações de *S. noctilio* (HURLEY et al., 2008), além disso, práticas silviculturais efetivas como os desbastes, colaboram para reduzir a incidência de ataque da praga.

Os principais agentes de controle biológico da vespa-da-madeira são o nematoide, *Deladenus siricidicola* (Bedding) e o parasitoide *Ibalia leucospoides* (Hochenwarth). Destes, destaca-se o nematoide *D. siricidicola*, o qual apresenta dois ciclos de vida, sendo um micetófago ou de vida livre e o outro de vida parasítica, atingindo parasitismo superior a 70% (PENTEADO et al., 2015).

As fêmeas de *S. noctilio* parasitadas pelo nematoide, ao depositar seus ovos nas árvores de pinus, os quais contêm nematoides juvenis, depositam também os esporos do seu fungo simbionte, *A. areolatum*, o qual é a fonte alimentar do nematoide e da vespa-da-madeira em sua forma larval. Os juvenis do nematoide começam a se alimentar deste fungo e tornam-se adultos micetófagos, se acasalam, e a fêmea coloca uma quantidade elevada de ovos na árvore. Entretanto, nas proximidades das larvas de *S. noctilio*, devido à presença de altas concentrações de CO<sub>2</sub> e um baixo pH, os nematoides juvenis de vida livre podem se transformar em adultos de vida parasitária. As fêmeas adultas do nematoide de vida parasitária ou infectivas, após o acasalamento, penetram nas larvas de *S. noctilio* (BEDDING, 1972).

Dentro do hospedeiro, as fêmeas infectivas do nematoide liberam os juvenis, que migram para os órgãos reprodutores do hospedeiro e, no caso das fêmeas, os nematoides penetram em todos os ovos, suprimindo o desenvolvimento dos ovários, tornando-as estéreis. Cada ovo pode conter de 50 a 200 nematoides. Nos hospedeiros machos, os testículos tornam-se uma sólida massa de milhares de nematoides juvenis. No entanto, os machos permanecem férteis, pois no início da pupação do hospedeiro, a maioria dos espermatozoides passam para as vesículas seminais, onde os nematoides não conseguem penetrar, e assim, os espermatozoides são normalmente transferidos durante a cópula (BEDDING, 1972).

Portanto, quando a fêmea da vespa-da-madeira parasitada emerge de uma árvore, ela irá acasalar e realizar posturas normalmente. Porém, seus ovos não serão férteis e cada um pode conter até 200 nematoides. Assim, além da fêmea não mais se reproduzir, ela disseminará o nematoide para outras árvores e até para outros locais, auxiliando na efetividade do controle (PENTEADO et al., 2015).

*Ibalia leucospoides* é um endoparasitoide de ovos e larvas de primeiro e segundo instar, com níveis de parasitismo de cerca de 25% (IEDE et al., 2009). Antes de iniciar a postura, a fêmea de *I. leucospoides* realiza uma inspeção na casca da árvore, com o auxílio de suas antenas. Quando encontra um local adequado introduz as antenas dentro do orifício de postura de *S. noctilio* e inspeciona os túneis realizados pela fêmea de seu hospedeiro e realiza a postura. *I. leucospoides* passa por quatro estágios de desenvolvimento larval, sendo que três deles são dentro das larvas da vespa e o último externamente. Nesta fase permanecem nas galerias construídas pelas larvas da vespa-da-madeira, quando irão empupar próximo à casca e emergir, normalmente, um ano após postura (PENTEADO et al., 2015). O período de emergência dos adultos ocorre entre os meses de novembro e janeiro e entre abril e maio (CARVALHO, 1992).

A avaliação da eficiência destes inimigos naturais é de fundamental importância no monitoramento do *S. noctilio*. Isto auxiliará na tomada de decisões sobre a necessidade de novas inoculações do nematoide e liberação dos parasitoides (PENTEADO et al., 2015).

Os principais métodos de monitoramento da vespa-da-madeira são as árvores-armadilha, a amostragem sequencial e a amostragem sistemática. Para que uma árvore funcione como armadilha, ela deverá ser estressada lentamente, tornando-se atrativa à vespa-da-madeira, o que poderá ser feito pela aplicação de um herbicida. A instalação das árvores-armadilha deve ser realizada no período de agosto e setembro e a inspeção

entre os meses de março a agosto do ano subsequente (PENTEADO et al., 2015). Este método de monitoramento permite a detecção precoce da praga (EMBRAPA FLORESTAS, 2011), bem como, a imediata introdução de inimigos naturais, para que se reestabeleça o equilíbrio populacional (RODIGHERI et al., 2006).

A amostragem sequencial tem por objetivo determinar a porcentagem de árvores atacadas por *S. noctilio* no povoamento, portanto a forma de caminhamento e a disposição das amostras devem se adequar ao tamanho e às condições do talhão, abrangendo a maior área possível. Neste método a amostra é dimensionada no campo em função dos níveis de ataque, desse modo, não ocorre falta de precisão por tamanhos reduzidos e nem desperdício com amostras muito grandes. Recomenda-se realizar a amostragem entre os meses de março a agosto (PENTEADO et al., 2015).

A amostragem sistemática consiste em, no primeiro ano de avaliação do talhão, entrar na quinta linha do plantio e avaliar todas as árvores presentes em três linhas sequenciais. Em seguida, intercalar nove linhas e avaliar mais 3 linhas e assim sucessivamente até o final do talhão. No segundo ano, entrar na oitava linha do plantio e avaliar todas as árvores presentes em três linhas sequenciais, intercalar nove linhas e avaliar mais três linhas e assim sucessivamente até o final do talhão. Desta forma, em quatro anos todo o talhão é amostrado. (PENTEADO et al., 2017).

No presente estudo utilizou-se as informações oriundas dos grupamentos de árvores-armadilha e das amostragens sequenciais, como possíveis candidatas a variáveis independentes em um modelo matemático a ser desenvolvido. Neste sentido, o modelo matemático é um conjunto de equações composto pelas variáveis dependente e a(s) variável(eis) independentes(s) localizadas do lado esquerdo e direito do sinal de igualdade, respectivamente (GUJARATI; PORTER, 2011). Regressão é a ferramenta utilizada para construção de equações a partir de modelos matemáticos. É uma das técnicas que permitem analisar a relação existente entre duas ou mais variáveis (SANQUETTA et al., 2014).

Na área florestal modelos matemáticos baseados em regressão possuem uma diferente gama de aplicações podendo ser ajustados para obtenção de diversas respostas, como exemplo: volume, altura, sortimento de árvores, mortalidade do povoamento, sitio, estoques de biomassa e carbono em florestas, incidência de doenças e pragas, avaliação de risco, entre outros. Portanto percebe-se a importância destas ferramentas para determinar dados relevantes do povoamento, bem como de seu manejo. Modelos



de regressão depois de validados, podem ser utilizados para prever a mortalidade causadas por populações de insetos (PINTO, 1998).

Crespo (2013), atribui a análise de regressão a situações onde se deseja estudar uma determinada variável em função de outra e tem por objetivo descrever por meio de um modelo matemático a relação entre duas variáveis, partindo de observações das mesmas, onde a variável sobre a qual deseja-se fazer uma estimativa recebe o nome de dependente e a outra recebe o nome de variável independente.

A utilização da análise de regressão para definir um grau de associação entre as variáveis, passa pela determinação de qual modelo matemático deve ser utilizado para a função que será ajustada. Para tanto, são realizados testes para mais de um modelo e com base nos resultados e testes estatísticos, escolhe-se aquele que melhor se ajusta aos dados, bem como, representa o fenômeno estudado na ocasião (REGAZZI, 2003).

Através dos indicadores de ajuste são selecionados os melhores modelos, ou seja, aqueles que melhor explicam a relação entre as variáveis analisadas e estimam as variáveis dependentes (de difícil obtenção) em função das variáveis independentes (de mais fácil obtenção) (SANQUETTA et al., 2014).

Os modelos de regressão mais utilizados no meio florestal podem ser classificados como linear e não linear sendo que os lineares podem ser ainda simples ou múltiplos dependendo do número de variáveis independentes existentes no modelo (SCHNEIDER, 1997). Segundo Sanquetta et al. (2014), os modelos lineares são caracterizados por apresentar os parâmetros na forma aditiva, do contrário são ditos não lineares. No entanto, quando um modelo se encontra na forma não-linear, pode-se optar pela transformação de variáveis pelo processo de linearização, quando isto for possível, visando facilitar o ajuste do mesmo.

Um fator importante para a utilização de modelos é que os mesmos sejam previamente validados. A validação de modelos consiste em avaliar a sua acurácia para a predição da variável dependente em que foi modelada. Para isto, deve-se comparar os valores estimados pela equação ajustada com valores reais que não foram utilizados para o ajuste (SANQUETTA et al., 2014).

Diante disso, saber com antecedência a estimativa do número de árvores atacadas por *S. noctilio*, com base nas características do povoamento e nos métodos de monitoramento, é uma ferramenta essencial na tomada de decisões, além disso, auxilia no planejamento das ações de controle desta praga. Portanto, elencou-se como problema deste estudo o seguinte questionamento. É possível estimar o número de árvores

atacadas por *S. noctilio* com base nos métodos de monitoramento e nas variáveis dendrométricas do povoamento?

Desta forma, a presente pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um modelo para estimativa do número de árvores.ha<sup>-1</sup> de *Pinus* atacadas por *S. noctilio* e compreender a divergência genética entre subpopulações da praga florestal.

Para atingir o objetivo geral, o estudo encontra-se organizado em dois capítulos com os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um modelo matemático para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio* em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseado nos métodos de monitoramento e nas características dendrométricas do plantio florestal.

- Estimar a divergência genética em diferentes subpopulações de *S. noctilio* com base em caracteres quantitativos morfométricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDDING, R. A. Biology of *Deladenus siricidicola* (Neotylenchidae) an entomophagous-mycetophagous nematode parasitic in siricid woodwasps. *Nematologica*, v.18, p. 482–493, 1972.

BEDDING, R. A.; IEDE, E. T. Application of *Beddingia siricidicola* for Sirex Woodwasp Control. In: GREWAL, P. S.; EHLERS, R. U.; SHAPIRO-ILAN, D. I. **Nematodes as Biocontrol Agents**. 1. ed. Londres: CABI publishing, cap. 21, p. 385-400. 2005.

CARVALHO, A. G. de. **Bioecologia de *Sirex noctilio* Fabricius, 1793 (Hymenoptera:Siricidae) em povoamentos de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

CISTERNAS, M. B. **Official Program for Detection and Control of *Sirex noctilio* (HYMENOPTERA: SIRICIDAE) in Chile.** International Sirex Symposium, Pretoria, South Africa, 2007.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil**. 19. ed. Pinheiros: Saraiva, 2013.

DE GROOT, P.; NYSTROM, K. L.; SCARR T. A. Discovery of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) in Ontario, Canada. **The Great Lakes Entomologist**; v. 39, p. 50 – 53, 2006.

EMBRAPA FLORESTAS. **Vespa-da-madeira**. Colombo, 2011. 1 folder.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

- HOEBEKE, E.; HAUGEN, D. A.; HAACK, R. ***Sirex noctilio*: Discovery of a Palearctic siricid woodwasp in New York.** 2005.
- HURLEY, B. P.; SLIPPERS, B.; CROFT, P. K.; HATTING, H. J.; VAN DER LINDE, M.; MORRIS, A. R.; DYER, C.; WINGFIELD, M. J. Factors influencing parasitism of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) by the nematode *Deladenus siricidicola* (Nematoda: Neotylenchidae) in summer rainfall areas of South Africa. **Biological Control**, v. 45, p. 450–459, 2008.
- IEDE, E.T.; PENTEADO, S. do R. C.; BISOL, J. C. **Primeiro registro de ataque de *Sirex noctilio* em *Pinus taeda* no Brasil.** Colombo: EMBRAPA - CNPF, 1988. 12p. (EMBRAPA - CNPF, Circular Técnica, 20).
- IEDE, E. T.; ZANETTI, R. Ocorrência e recomendações para o manejo de *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera, Siricidae) em plantios de *Pinus patula* (Pinaceae) em Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 51, n. 4, p. 529-531, 2007.
- IEDE, E. T.; PENTEADO, S. do R. C. REIS FILHO, W. **Uso do nematóide no controle da vespa-da-madeira.** Colombo, 2009. 1 folder.
- IRELAND, K. B.; BULMAN, L.; HOSKINS A. J.; PINKARD E. A.; MOHAMMED, C.; KRITICOS, D. J. Estimating the potential geographical range of *Sirex noctilio*: comparison with an existing model and relationship with field severity. **Biological Invasions**, 2018.
- KLASMER, P.; BOTTO E. N.; CORLEY J. C.; VILLACIDE J. M.; FERNÁNDEZ, V. A. Avances en el control biológico de *Sirex noctilio* en la región patagónica de la Argentina. **Serie Técnica**. IPEF, v. 13, p. 21-30, 2000.
- LI, D.; SHI, J.; LU, M.; REN, L.; ZHEN, C.; LU, Y. Detection and Identification of the Invasive *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) Fungal Symbiont, *Amylostereum areolatum* (Russulales: Amylostereaceae), in China and the Stimulating Effect of Insect Venom on Laccase Production by *A. areolatum* YQL03. **Journal of Economic Entomology**. 2015.
- PENTEADO, S. do R. C. **Métodos de amostragem para avaliação populacional de *Sirex noctilio* F., 1793 (Hymenoptera: Siricidae) e de seus inimigos naturais, em *Pinus taeda*.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- PENTEADO, S. do R. C.; IEDE, E. T.; REIS FILHO, W. Manual para o controle da vespa-da-madeira em plantio de pinus. 2.ed. Embrapa Florestas. **Documentos 76**, 38p. 2015.
- PENTEADO, S. do R. C.; CAMARGO, M. B.; OLIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. Metodologias para o monitoramento da vespa-da-madeira em plantios de pinus visando ao planejamento das ações de controle. **Comunicado Técnico 398**, Colombo, Embrapa Florestas, 2017.

PINTO, M. A. Modelos de previsão de ataque de escolitídeos em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, Madrid, v. 24, p. 429-434, 1998.

REBUFFO, S. **La “avispa de la madera” *Sirex noctilio* F. en el Uruguay**. Montevideo: Ministério de Ganaderia, Agricultura y Pesca, Dirección Forestal 1990.

RIBAS JUNIOR, U. Práticas de controle da vespa-da-madeira em povoamentos de *Pinus* do sul do Brasil e efeitos de seu ataque nas propriedades da madeira de *Pinus taeda*. **Serie Técnica**. IPEF, Piracicaba, v. 9 n. 27, p. 45-57, 1993.

RODIGHERI, H. R.; IEDE, E. T.; PENTEADO, S. do R. C; REIS FILHO, W. Avaliação dos Impactos do Programa de Manejo Integrado de Pragas para o Controle da Vespa-da-Madeira em Plantios de *Pinus* no Sul do Brasil. **Comunicado Técnico 158**. Colombo, 2006.

REGAZZI, A. J. **Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear / test for parameter equality in nonlinear regression models**. 2003. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2854>>. Acesso em: 30 out. 2017.

SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba, 2014.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

SENASA. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. **Avispa barrenadora de los pinos**. 2004. Disponível em: <<http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=878&io=4716>>. Acesso em: 12 agosto 2018.

SPRADBERY, J. P.; KIRK, A. A. Aspects of the ecology of siricid woodwasps (Hymenoptera: Siricidae) in Europe, North Africa and Turkey with special reference to the biological control of *Sirex noctilio* F. in **Australia**. **Bulletin of Entomological Research**; 68:341–359. 1978.

TRIBE, G. D. The woodwasp *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae), a pest of *Pinus* species, now established in South Africa. **African Entomology**, p. 215–217, 1995.

WILCKEN, C. F.; SOUZA, A. R.; PURETZ, B. O.; CAMARGO, G. F. Detection of pine woodwasp in *Pinus taeda* in São Paulo State, Brazil, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 2, 2018.

## CAPÍTULO 1: MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE ATAQUE DE *Sirex noctilio* FABRICIUS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

### RESUMO

Uma das principais pragas dos plantios florestais de *Pinus* spp. é *Sirex noctilio* (Fabricius), conhecida popularmente como vespa-da-madeira. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo matemático para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio* em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseado nos métodos de monitoramento e nas características dendrométricas do reflorestamento. Selecionaram-se para a coleta de dados, cinco áreas localizadas no município de Palmas, PR. Foram utilizadas como variáveis independentes do modelo a serem selecionadas pelo método *Stepwise* a amostragem sequencial, número de indivíduos da parcela, árvores-armadilha, diâmetro à altura do peito (DAP) médio, altura média, volume médio individual, volume da parcela, idade, espaçamento, sitio, área basal da parcela, área transversal média, diâmetro médio quadrático e o DAP estratificado em três classes de diâmetro. A maior influência sobre a estimativa de ataque (Y) foi exercida pelas variáveis número de árvores atacadas detectadas na amostragem sequencial (AS) (p-valor < 0,001) e o número de indivíduos da parcela (n) (p-valor < 0,05). O modelo mais adequado para a obtenção da variável resposta foi  $\delta = \beta_0 + \beta_1AS + \beta_2n + \varepsilon$ , o qual apresentou coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ) de 0,965 e erro padrão de estimativa ( $S_{yx}\%$ ) de 18,65% obtendo o melhor desempenho na análise gráfica dos resíduos. O modelo pode ser utilizado pelos gestores florestais como uma ferramenta na tomada de decisões quanto ao manejo do povoamento.

**Palavras-chave:** modelo matemático; tabela de dupla entrada; vespa-da-madeira.

### MODELS FOR *Sirex noctilio* FABRICIUS ATTACK ESTIMATES IN *Pinus taeda* L

### ABSTRACT

One of the main pests of *Pinus* spp. forest plantations is *Sirex noctilio* (Fabricius), popularly known as the woodwasp. This study develops a mathematical model to estimate the number of trees attacked by *S. noctilio* in *Pinus taeda* L. stands based on monitoring methods and the dendrometric characteristics of the plantation. For data collection, five study areas located in the city of Palmas, Paraná, Brazil, were sampled. Sequential sampling, number of individuals per plot, trap trees, mean diameter at breast height (DBH), mean height, individual mean volume, plot volume, age, spacing, site, plot basal area, mean cross-sectional area, quadratic mean diameter, and DBH stratified into three diameter classes were used as independent variables for the model and selected using the Stepwise method. The variables with the greatest influence on the attack rate estimate (Y) were number of affected trees identified through sequential sampling (AS) (p-value <0.001) and number of individuals in the plot (n) (p-value <0.05). The most appropriate model for obtaining the response variable was  $\delta = \beta_0 + \beta_1AS + \beta_2n + \varepsilon$ , which presented an adjusted coefficient of determination ( $R^2_{adj}$ ) of 0.965, a standard error of estimation ( $S_{yx}\%$ ) of 18.65%, and better performance in the study based on graphical analysis of waste. This model can be used by forest managers as a decision-making tool for stand management.

**Keywords:** mathematical model; double entry table; woodwasp.

## INTRODUÇÃO

A demanda de madeira e seus subprodutos vem crescendo exponencialmente tanto no mercado interno quanto para exportação, incidindo diretamente na implantação e na capacidade produtiva das florestas plantadas. A principal espécie plantada na região sul do Brasil é o *Pinus taeda* L., pois além de se adaptar às condições edafoclimáticas, subsidia o crescimento e a produção acima da média nacional e de suas regiões de ocorrência natural (continente norte-americano), o que pode ser um indicativo do sucesso da sua implantação (KRONKA et al., 2005; HIGA et al., 2008).

Os plantios de *Pinus* ocupam 1,6 milhões de hectares, concentrando-se principalmente no estado do Paraná (42%), seguidos por Santa Catarina (34%), Rio Grande do Sul (12%) e São Paulo (8%), em decorrência das condições de solo e clima favoráveis ao desenvolvimento desse gênero nessas regiões (IBÁ, 2019).

A implantação e condução dos povoamentos florestais demandam um manejo efetivo. No entanto, quando essas práticas não são realizadas, os reflorestamentos tornam-se locais ideais para o surgimento de pragas florestais. Aliados a isso, a disponibilidade de alimentos e a ausência ou baixa efetividade de inimigos naturais podem tornar esses locais vulneráveis ao estabelecimento e dispersão de pragas (HURLEY et al., 2008; COSTA et al., 2014; PENTEADO et al., 2015).

Dentre as principais pragas florestais, pode-se citar *Sirex noctilio* F. (Hymenoptera: Siricidae), popularmente conhecida como vespa-da-madeira, a qual ataca povoamentos de *Pinus* spp. provocando severos danos aos mesmos (PENTEADO et al., 2015). A espécie é originária da Europa, Ásia e Norte da África, sendo considerada uma praga secundária nos povoamentos de *Pinus* spp. na região de origem (SPRADBERY; KIRK, 1978). Os primeiros registros de *S. noctilio* fora do seu habitat natural, ocorreram na Nova Zelândia (1900) e Tasmânia (1952) (TAYLOR, 1981). Na década de 1980 a espécie foi detectada na América do Sul, mais precisamente no Uruguai (REBUFFO, 1990), depois na Argentina em 1985 (KLASMER et al., 2000), no Brasil em 1988 (IEDE et al., 1988), no Chile em 2001 (CISTERNAS, 2007) e na África do Sul, em 1994 (TRIBE, 1995). No ano de 2005 foi registrado o ataque de *S. noctilio* nos Estados Unidos (HOEBEKE et al., 2005) e no Canadá em 2006 (DE GROOT et al., 2006), consolidando o estabelecimento da praga na América do Norte. Em 2013 *S. noctilio* foi detectada na China (LI et al., 2015). Toda essa trajetória histórica aponta que a praga se encontra amplamente disseminada, causando prejuízos em todos os

continentes. No geral, os povoamentos atacados eram antigos, adensados e não apresentavam intervenções silviculturais.

Dentro deste contexto, acredita-se que as condições fitossanitárias do povoamento refletem no surgimento da vespa-da-madeira. *S. noctilio* é atraída por árvores de *Pinus* estressadas, perfurando o tronco onde deposita seus ovos (PENTEADO et al., 2014). Cada fêmea produz, em média, 226 ovos (CARVALHO, 1992). Concomitante à oviposição, a fêmea introduz na árvore também os esporos de um fungo simbiote, *Amylostereum areolatum* (Chaillet ex Fr.) Boidin (Russulales: Amylostereaceae) e uma mucosecreção. O fungo e o muco juntos, tornam-se tóxicos à planta ocasionando a clorose em aproximadamente 10 a 14 dias após a postura, dependendo da intensidade do ataque e da suscetibilidade da árvore hospedeira. Este conjunto de fatores contribuem para levar a árvore à morte (PENTEADO et al., 2015).

Outros danos provenientes do ataque de *S. noctilio* são as galerias causadas pelas larvas que se desenvolvem no interior da madeira, as manchas azuladas ocasionadas por fungos oportunistas do gênero *Lasiodiplodia* e os orifícios provocados pelos insetos adultos para sua emergência (EMBRAPA FLORESTAS, 2011).

Devido aos prejuízos causados pelo ataque desta espécie, faz-se necessário utilizar métodos para seu monitoramento, sendo eles, árvores-armadilha, amostragem sequencial e amostragem sistemática (PENTEADO et al., 2015). No presente estudo utilizou-se as informações oriundas dos grupamentos de árvores-armadilha e das amostragens sequenciais, como variáveis independentes para desenvolver um modelo matemático que será usado para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio*, com base nas características dos povoamentos e dos métodos de monitoramento.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O presente estudo foi realizado no município de Palmas-PR, localizado no sudoeste do estado do Paraná, a uma latitude 26°29'03"S e a uma longitude 51°59'26"W, com altitudes variando entre 950 a 1.356 m. A temperatura média anual é de 16 °C. O clima da região segundo a classificação de Köppen é Cfb (INMET, 2019).

## CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para o desenvolvimento do trabalho foram coletados em povoamentos de *P. taeda*, pertencentes à empresa Reflorasul Agroflorestal S.A., com diferentes idades, espaçamentos e regimes de manejo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição das áreas de coleta dos dados para o teste dos modelos estatísticos no município de Palmas, PR, ano 2017/2018.

Área	Ano do plantio	Área (ha)	Densidade.ha <sup>-1</sup>	Desbaste	Espaçamento	N
1	2005	15,3495	1667	-	2 x 3 m	1
	2006	72,4968	1600	-	2,5 x 2,5 m	3
	2007	110,99	1600	-	2,5 x 2,5 m	4
2	2000	145,23	665	2° (Misto)	2 x 3 m	6
3	2002	105,36	1600	-	2,5 x 2,5 m	4
	2002	90,32	1100	1° (Misto)	2,5 x 2,5 m	4
4	2003	147,207	1600	1° (Misto)	2,5 x 2,5 m	6
	2005	51,6783	1600	1° (Misto)	2,5 x 2,5 m	2
5	2003	65,23	1600	-	2,5 x 2,5 m	3
	2003	61,23	1150	1° (Misto)	2,5 x 2,5 m	3

N – Quantidade de parcelas (600 m<sup>2</sup>) e métodos de monitoramento instaladas em cada ano de plantio.

## OBTENÇÃO DE DADOS DE AMOSTRAGEM

Para determinar o número de árvores atacadas foram utilizadas três metodologias de monitoramento: amostragem sequencial (AS), árvores-armadilha (AA) e o censo em parcela de 1,0 ha cada.

O primeiro método utilizado foi a amostragem sequencial empregando-se a metodologia descrita pela EMBRAPA FLORESTAS (2005), onde todas as 272 árvores da parcela foram avaliadas.

A instalação dos grupamentos de árvores-armadilha (AA) foi realizada entre os meses de agosto e setembro de 2017. Para realizar o estressamento das árvores-armadilha utilizou-se o herbicida 2,4-D amina + picloran, a uma concentração de 20%. Para a aplicação do herbicida foram realizados quatro entalhes na árvore, utilizando uma machadinha, e em cada entalhe foi colocado 2 mL da solução com o auxílio de uma seringa descartável, totalizando 8 mL por árvore. Os indivíduos selecionados para compor o grupo de árvores-armadilha apresentavam alguma deformidade ou encontravam-se no estrato das dominadas.



A inspeção dos grupamentos de árvores-armadilha efetuou-se no mês de junho de 2018. As árvores foram cortadas, e do terço médio ao superior do fuste retirou-se três toretes de 30 cm de cada, os quais foram partidos ao meio a fim de detectar sintomas de ataque ocasionado pela *S. noctilio*. Nas árvores em que se constatou os sintomas de ataque de *S. noctilio* foi inoculado o nematoide *Deladenus siricidicola* (Bedding) (Tylenchidae: Neotylenchidae), principal agente de controle biológico desta praga.

Para obtenção da variável resposta, foram instaladas parcelas de 1,0 ha, denominadas de censo, onde foram identificadas todas as árvores atacadas pela vespa-da-madeira. Concomitantemente, foram instaladas parcelas retangulares de cerca de 20 x 30 m, totalizando 600 m<sup>2</sup>. Nessas parcelas, foram mensurados o diâmetro a altura do peito (DAP, em cm) e a altura total de 20% dos indivíduos, a altura total de seis árvores dominantes, bem como, o número de indivíduos/parcela, para avaliar a relação das variáveis do povoamento com o número de árvores atacadas por *S. noctilio*.

A variável DAP foi estratificada em três classes ( $d_1$ ,  $d_2$  e  $d_3$ ), utilizando a seguinte expressão:

$$x = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{3}$$

Onde  $x$  = intervalo de classe,  $D_{\max}$  e  $D_{\min}$  = diâmetro máximo e mínimo do povoamento respectivamente.

Para todos métodos de monitoramento utilizados neste estudo (amostragem sequencial, árvores-armadilha, censo e para as parcelas de 600 m<sup>2</sup>) foram instaladas um total de 36 amostras, e em que a área do plantio foi estratificada por área e idade (Tabela 1).

## ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

As variáveis utilizadas para definição do modelo matemático foram: o número de árvores atacadas por *S. noctilio* encontradas no censo como variável dependente; a amostragem sequencial, o número de indivíduos da parcela, as árvores-armadilha, o diâmetro à altura do peito (DAP) médio, a altura média, o volume médio individual, volume da parcela, idade, espaçamento, sitio, área basal da parcela, área transversal média, diâmetro médio quadrático e o DAP estratificado em três classes de diâmetro, como variáveis independentes.

Procedeu-se os testes de normalidade dos resíduos (Kolmogorov-Smirnov), homocedasticidade dos resíduos (Breusch-Pagan), o teste de independência (Durbin-Watson), colinearidade e multicolinearidade, sendo esta feita por meio do VIF (valor de inflação da variância). Para a validação do modelo ajustado utilizou-se o teste do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), por meio da técnica da separação dos dados.

Para as diferentes variáveis candidatas a termo independente do modelo ajustado, foi feito uma matriz de correlação de Pearson, sendo suas significâncias testadas pelo teste *t*, com  $\alpha=0,05$ . A seleção de variáveis do modelo foi realizada pelo procedimento *Stepwise*, no *software* Microsoft Excel utilizando o suplemento *Action*, usando teste *F* parcial, com  $F_{in}$  ( $\alpha=0,05$ ) e  $F_{out}$  ( $\alpha=0,05$ ) sendo as probabilidades da variável de entrar e de sair do modelo, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

A correlação entre as variáveis foi verificada por meio da correlação linear de Pearson (*r*), e suas significâncias pelo teste *t* a 95% de probabilidade (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlação entre as variáveis candidatas para compor o modelo em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.

Variáveis independentes	Censo (variável Y)	$t_{cal}$	p-valor
AS	0,98	28,24	3,47954 <sup>-25**</sup>
n	0,35	2,21	0,03395*
AA	0,33	2,07	0,04628*
DAP	-0,01	0,09	0,93220
h	0,21	1,25	0,21844
$v_i$	0,08	0,50	0,62228
Vol.par <sup>-1</sup>	0,62	4,63	5,22473 <sup>-05**</sup>
I	0,23	1,41	0,16890
Esp	0,14	0,80	0,42765
S	0,08	0,47	0,64159
G	0,58	4,18	0,00019*
g	-0,02	0,11	0,91346
dg	-0,01	0,04	0,96547
$d_1$	0,13	0,78	0,44086
$d_2$	0,20	1,18	0,24447
$d_3$	0,22	1,31	0,19827

Sendo: Número de árvores atacadas por *S. noctilio* encontradas na amostragem sequencial (AS), número de indivíduos da parcela (n), número de árvores atacadas por *S. noctilio* encontradas nos grupamentos de árvores-armadilha (AA), diâmetro médio à altura do peito (DAP), altura média (h), volume médio individual ( $v_i$ ), volume da parcela ( $\text{Vol.par}^{-1}$ ), idade (I), espaçamento (Esp), sitio (S), área basal da parcela (G), área transversal média (g), diâmetro médio quadrático (dg) e o DAP estratificado em três classes de diâmetro ( $d_1$ ,  $d_2$  e  $d_3$ ).

\*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente.

O coeficiente de correlação de Pearson foi significativo a 1% para as variáveis AS,  $\text{Vol.par}^{-1}$  e G (p-valor < 0,01\*\*), enquanto as variáveis n e AA foram significativas a 5% de probabilidade (p-valor < 0,05\*).

Conforme ocorre um acréscimo nos valores das variáveis explicativas (AS, Vol/par, G, AA e n) aumenta o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio* no povoamento (Censo), indicando que a correlação entre as variáveis dependente e independentes é positiva. Supõem-se que a correlação significativa e positiva entre o volume da parcela, área basal e o número de árvores atacadas (censo) seja em função da densidade do povoamento. Geralmente povoamentos com maior área basal e volume por parcela apresentam maior número de árvores por unidade de área. A área basal total da floresta é função do diâmetro médio das árvores e da densidade populacional, sendo que maiores densidades acarretam valores maiores de área basal até o momento em que o povoamento entra em competição causando uma redução no incremento diamétrico e, por consequência, do incremento em área basal (SELLE et al., 2008). Esta situação pode ocasionar o estresse dos povoamentos, tornando-os mais vulneráveis ao ataque da vespa-da-madeira. O risco de ataque de vespa-da-madeira está baseado em características do povoamento favoráveis ao inseto, como a competição excessiva entre árvores (OLIVEIRA, 2011).

Para o desenvolvimento de modelos é indicado que seja realizada uma análise de correlação entre as variáveis coletadas, selecionando-se as que apresentarem maiores correlações. Ainda, com o advento de novas técnicas de testes para o ajuste de modelos, pode-se partir para análises automatizadas destas seleções, como é o caso do uso do processo *Stepwise* (SANQUETTA et al., 2014).

## SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS E AJUSTE DOS MODELOS

Utilizando como variável resposta o número real de árvores atacadas em 1,0 ha (censo) o procedimento *Stepwise* selecionou como variáveis explicativas a amostragem

sequencial (AS) e o número de indivíduos da parcela (n) (Tabela 3), usando o teste  $F$  parcial, com  $F_{in}$  ( $\alpha = 0,05$ ) e  $F_{out}$  ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 3.** Variáveis selecionadas e não selecionadas como termos independentes no modelo pelo método *Stepwise* em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.

Abreviações	Denominação das variáveis candidatas a termos independentes	Condição	p-valor
<b>AS</b>	<b>Amostragem sequencial</b>	<b>Selecionada</b>	<b><math>3,48^{-25}</math></b>
AA	Árvores-armadilha	Não selecionada	-
<b>n</b>	<b>Número de indivíduos da parcela</b>	<b>Selecionada</b>	<b><math>9,06^{-3}</math></b>
DAP	Diâmetro médio	Não selecionada	-
h	altura média	Não selecionada	-
$v_i$	Volume médio individual	Não selecionada	-
Vol.par <sup>-1</sup>	Volume da parcela	Não selecionada	-
I	Idade	Não selecionada	-
Esp	Espaçamento	Não selecionada	-
S	Sítio	Não selecionada	-
G	Área basal da parcela	Não selecionada	-
g	Área transversal	Não selecionada	-
dg	Diâmetro médio quadrático	Não selecionada	-
d <sub>1</sub>	Classe inferior do diâmetro	Não selecionada	-
d <sub>2</sub>	Classe intermediária do diâmetro	Não selecionada	-
d <sub>3</sub>	Classe superior do diâmetro	Não selecionada	-

As condições “selecionada” e “não selecionada” (Tabela 3) indicam quais variáveis foram selecionadas para compor o modelo ( $\alpha = 0,05$ ). As variáveis que obedeceram às condições determinadas para serem selecionadas foram a amostragem sequencial (AS) e o número de árvores da parcela (n). Em relação as variáveis selecionadas pelo método *Stepwise*, acredita-se que o número de árvores atacadas na amostragem sequencial reflete o *stress* natural ocasionado pela competição entre os indivíduos que leva o ataque da praga.

A variável densidade (n) reflete as condições do espaço vital do povoamento, indicando que quanto mais adensado, maior será a competição e o *stress* entre os indivíduos. Reforçando isso, Gaiad (2001) ressalta que existe uma relação diretamente proporcional entre a densidade do povoamento e a porcentagem de ataque da vespa-da-madeira. Desta forma, povoamentos adensados tornam-se mais susceptíveis ao ataque de *S. noctilio*.

Modelos matemáticos podem ser utilizados para prever picos populacionais, ocorrência de doenças e controle de pragas, no entanto, modelos para previsão de pragas são mais difíceis, uma vez que o número de fatores envolvidos é complexo, pois necessita-se de dados contínuos, completos e de longo prazo (REIS JUNIOR et al., 2005). Variáveis representativas dos povoamentos podem ser utilizadas para obtenção das mais diversificadas respostas. A exemplo, Pinto (1998) empregou as variáveis idade, DAP, densidade do povoamento e espessura da casca para estimar a mortalidade em povoamentos de *P. pinaster* causada por escolitídeos. Informações do tipo de solo, temperatura média, idade e variedade das plantas, foram utilizadas para desenvolver um modelo para prever a ocorrência de *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) conhecido como bicho-furão-dos-citros (REIS JUNIOR et al., 2005). Até o momento não se tem conhecimento de modelos desenvolvidos para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio* empregando-se informações dos métodos de monitoramento e/ou variáveis do povoamento.

Além das variáveis selecionadas pelo método *Stepwise* (AS e n) também foram utilizados os termos AA, Vol/par e G para desenvolver um modelo adequado para estimar o número de árvores atacadas pela vespa-da-madeira, uma vez que os mesmos apresentaram uma forte correlação com a variável Y (censo). Supõe-se que as variáveis DAP médio, DAP estratificado, altura média, sítio e volume médio, não tenham entrado no modelo devido à baixa variação entre os valores. Na Tabela 4 são mostrados os modelos desenvolvidos e os resultados dos ajustes para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*.

**Tabela 4.** Coeficientes e estatísticas dos modelos desenvolvidos para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio* em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR, ano 2017/2018.

Modelo	Coeficientes	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	Nº
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$	$\beta_0 = -4,42165445^*$ $\beta_1 = 2,60396932^{**}$ $\beta_2 = 0,07844158^{**}$	0,965	18,65	1
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \beta_3 AA + \varepsilon$	$\beta_0 = -3,59194974^{ns}$ $\beta_1 = 2,62777909^*$ $\beta_2 = 0,07479042^*$ $\beta_3 = -0,29503796^{ns}$	0,964	18,84	2

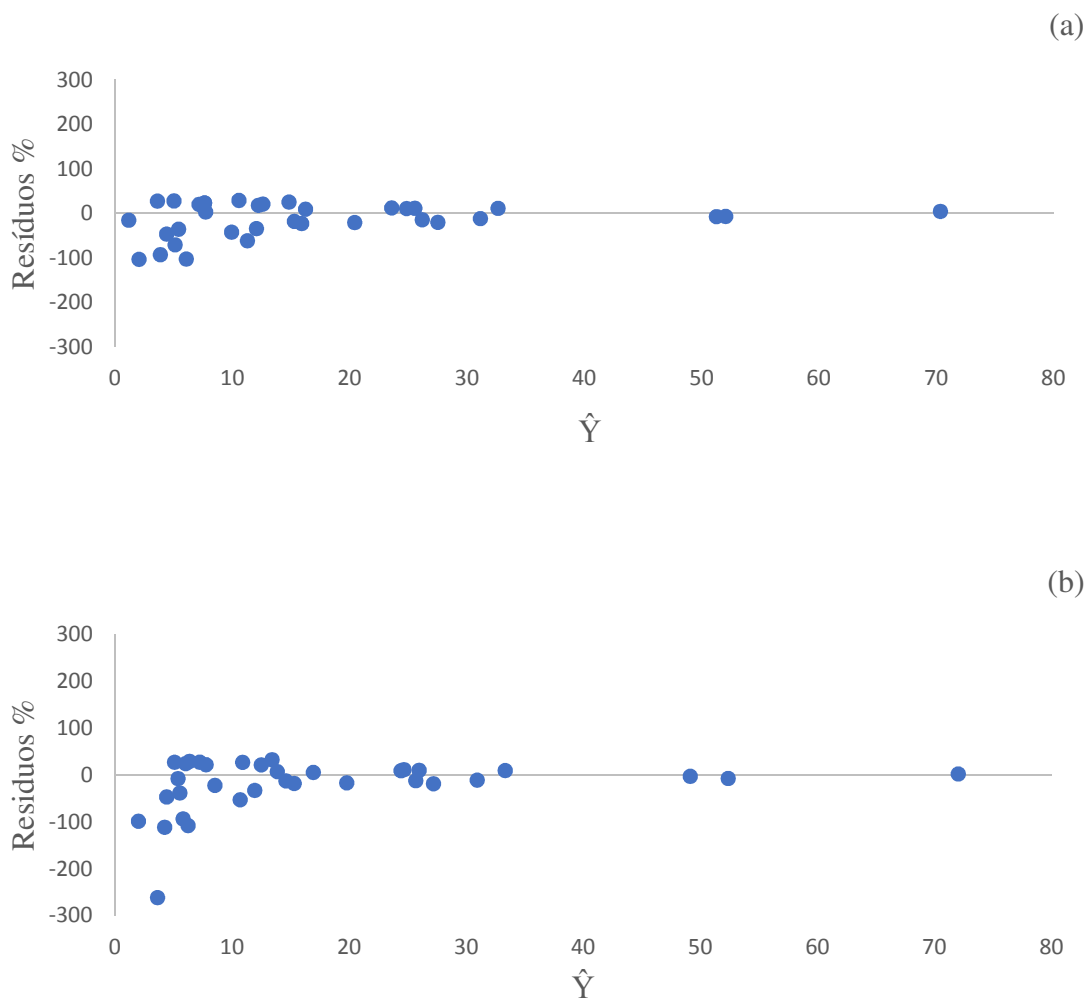
(continuação)

$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \beta_3 AA + \beta_4 vol/par + \varepsilon$	$\beta_0 = -7,57333636^*$ $\beta_1 = 2,51519155^{**}$ $\beta_2 = 0,08396201^{**}$ $\beta_3 = -0,75861279^{ns}$ $\beta_4 = 0,18477027^{ns}$	0,966	18,23	3
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \beta_3 AA + \beta_4 vol/par + \beta_5 G + \varepsilon$	$\beta_0 = -7,08687266^*$ $\beta_1 = 2,50035955^{**}$ $\beta_2 = 0,12158875^{ns}$ $\beta_3 = -0,78580224^{ns}$ $\beta_4 = 0,27739221^{ns}$ $\beta_5 = -1,7816134^{ns}$	0,965	18,47	4
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 vol/par + \varepsilon$	$\beta_0 = -0,61003926^{ns}$ $\beta_1 = 2,62516047^{**}$ $\beta_2 = 0,0443251^{ns}$	0,957	20,65	5
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \beta_3 vol/par + \varepsilon$	$\beta_0 = -7,76748469^*$ $\beta_1 = 2,5090092^{**}$ $\beta_2 = 0,08787974^{**}$ $\beta_3 = 0,11697334^{ns}$	0,956	18,48	6
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 G + \varepsilon$	$\beta_0 = -8,32096863^*$ $\beta_1 = 2,51807672^{**}$ $\beta_2 = 3,15348527^*$	0,964	18,79	7
$\delta = \beta_0 + \beta_1 n + \beta_2 vol/par + \varepsilon$	$\beta_0 = -43,7156106^{**}$ $\beta_1 = 0,29712708^{**}$ $\beta_2 = 1,43376031^{**}$	0,472	72,21	8
$\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \varepsilon$	$\beta_0 = 0,43631547^{ns}$ $\beta_1 = 2,65865091^{**}$	0,958	20,40	9
$\delta = \beta_0 + \beta_1 \ln(AS) + \beta_2 \ln(n) + \varepsilon$	$\beta_0 = -59,49517473^{**}$ $\beta_1 = 13,97967755^{**}$ $\beta_2 = 13,67424759^{**}$	0,8	44,42	10
$\ln \delta = \beta_0 + \beta_1 \ln(AS) + \beta_2 \ln(n) + \varepsilon$	$\beta_0 = -3,34897381^{**}$ $\beta_1 = 1,05699572^{**}$ $\beta_2 = 1,00599638^{**}$	0,762	51,48	11

em que:  $\delta$ = número de árvores atacada por *S. noctilio* em 1ha; AS= número de árvores atacadas por *S. noctilio* na amostragem sequencial;  $n$ = número de indivíduos da parcela; AA= número de árvores atacadas por *S. noctilio* nas árvores-armadilha; *vol/par*= volume da parcela;  $G$ = área basal da parcela;  $\varepsilon$ = erro do modelo;  $R^2_{adj}$ = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}(\%)$ = erro padrão de estimativa em porcentagem;  $\beta_{is}$  = coeficientes estimados; N°= número do modelo, ns= não significativo; \* e \*\* = significativo a 5% e 1% respectivamente.

O modelo que apresentou melhores parâmetros de comparação foi o modelo 3 (Tabela 4), no entanto selecionou-se para este estudo o modelo 1, levando-se em conta alguns critérios: Parâmetros de comparação entre os modelos com valores muito

similares; todos os coeficientes do modelo 1 são significativos ao nível de 5% de significância, enquanto que os coeficientes  $\beta_3$  e  $\beta_4$  do modelo 3 não foram significativos; as variáveis independentes utilizadas no modelo 1 (AS e n) são práticas, de baixo custo e de fácil obtenção; as variáveis independentes do modelo 1 não apresentam erros de estimativa de ajuste, quando comparadas com o modelo 3; o modelo 1 apresenta maior uniformidade na distribuição dos resíduos ao longo da linha de regressão (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição gráfica dos resíduos dos modelos utilizados para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*. (a) Modelo 1 (b) Modelo 3, em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR.

Os dois modelos apresentaram uma distribuição de resíduos similar (Figura 1), com pontos próximos a linha central. No entanto, o modelo 3 apresenta tendência em superestimar os valores quando o povoamento encontra-se com um baixo ataque da praga. Essa acentuada dispersão faz com que o modelo 3 mesmo apresentando-se estatisticamente superior ao modelo 1 torne-se inadequado, uma vez que os erros se

aproximam de 300%. A análise gráfica de resíduos permite visualizar o desempenho da regressão, permitindo observar tendências nas estimativas (SANQUETTA et al., 2014), verificando assim se os pressupostos da regressão foram respeitados e se as estimativas serão confiáveis.

O modelo 1 apresentou um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ) de 0,965 indicando que o mesmo é adequado para estimar o número de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*, ou seja, aproximadamente 96% da variável dependente foi explicada pelas variáveis independentes. Para comparar modelos com quantidade de variáveis independentes distintas, deve-se utilizar o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ), o qual é corrigido em função dos graus de liberdade do modelo. Além disso, o sinal dos coeficientes estimados, bem como, sua significância estatística deve ser considerada na escolha de um modelo. Baseando-se nesses critérios um modelo com um  $R^2$  menor pode ser aceitável (GUJARATI; PORTER, 2011). O erro padrão de estimativa foi de 18,65%, demonstrando uma precisão aceitável na estimativa da variável Y.

Cabe ressaltar, que os parâmetros de comparação do modelo 11 foram recalculados, uma vez que, a variável Y do mesmo encontra-se em uma unidade diferente dos demais modelos (lnY). Para averiguar se a regressão, bem como, os coeficientes foram significativos, ou seja, são estatisticamente diferentes de zero, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado (Tabela 5).

**Tabela 5.** Análise de Variância para o modelo 1 em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR. 2017/2018.

	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>P-valor</i>
Regressão	2	8741,087	4370,544	480,9	3,92 <sup>-25</sup>
Resíduo	33	299,9126	9,08826		
Total	35	9041			

A regressão foi significativa pelo teste *F* ao nível de 99% de probabilidade (p-valor < 0,001<sup>\*\*\*</sup>) (Tabela 5), demonstrando consistência na regressão e indicando que pelo menos um dos coeficientes da equação é significativo. O p-valor dos coeficientes  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  (p-valor < 0,05), indica que todos os coeficientes da equação são significativos pelo teste *t* ao nível de 95% de probabilidade, ou seja, diferentes de zero.

A análise de variância da regressão, bem como, o teste *t* demonstrou que todos os parâmetros estimados foram significativos, desta forma, a equação ajustada apresenta a seguinte forma.



$$\delta = -4,42165445 + 2,60396932 AS + 0,07844158 n$$

Considerando a expressão acima, nota-se que a variável dependente da equação se dá em função de duas variáveis independentes: número de árvores atacadas encontradas na amostragem sequencial e o número de indivíduos da parcela ( $X_1$  e  $X_2$ ).

Outro fator importante a ser observado é que os resíduos apresentaram distribuição normal, são homocedásticos e independentes pelos testes de Kolmogorov-Smirnov (p-valor= 0,060), Breusch-Pagan, (p-valor= 0,123) e Durbin-Watson (p-valor= 0,581) respectivamente. Estas informações indicam que os testes estatísticos necessários para averiguar os pressupostos da regressão foram realizados, apresentando resultados satisfatórios, mostrando que o modelo ajustado não apresenta tendenciosidade, gerando portanto, resultados confiáveis.

Existe uma vasta literatura demonstrando que quando se trabalha com mais de uma variável regressora, é importante verificar se essas variáveis explicativas não são correlacionadas (STEEL; TORRIE, 1960; SEBER, 1977; MONTGOMERY et al., 2006). Dessa forma, a associação entre AS e n foi de  $r = 0,223$  e o VIF foi de 1,052, o qual representa o incremento da variância devido à presença de multicolinearidade (MONTGOMERY et al., 2006). Valores de VIF superiores a 10 indicam que a multicolinearidade pode estar influenciando as estimativas dos mínimos quadrados, porém os valores para AS e n foram abaixo do valor estipulado, indicando que as estimativas não estão sendo influenciadas pela relação entre as variáveis.

## VALIDAÇÃO DO MODELO

Para validar o modelo ajustado, o conjunto de dados foi dividido em dois grupos aleatoriamente, um deles compôs os dados de treinamento e outro foi utilizado para a validação, empregando-se o teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ). O valor do  $\chi^2_{\text{calc}}$  (13,86) foi menor que  $\chi^2_{\text{tab}}$  (27,6), portanto, considera-se a equação validada, uma vez que, existe aderência entre os valores estimados e os observados pelo teste de Qui-quadrado a 95% de probabilidade de confiança.

Realizou-se também a validação prática do modelo, comparando os valores observados com os estimados tanto da amostragem sequencial como do modelo desenvolvido (tabela 6).

**Tabela 6.** Comparação do número de árvores/atacadas por *S. noctilio* observadas com os valores estimados pela amostragem sequencial e pelo modelo  $\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$ , em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR. 2017/2018.

Número de árvores.ha <sup>-1</sup> atacadas (Censo)	Número de árvores atacadas (AS)	Número de árvores atacadas estimadas pelo modelo	Erro AS (%)	Erro do modelo (%)
0	0	0	0,00%	0,00%
0	0	0	0,00%	0,00%
1	0	1	-100,00%	0,00%
10	11	8	10,00%	-20,00%
3	5	4	66,67%	33,33%
9	10	7	11,11%	-22,22%
15	14	12	-6,67%	-20,00%
28	25	25	-10,71%	-10,71%
2	5	4	150,00%	100,00%
3	6	6	100,00%	100,00%
74	143	70	93,24%	-5,41%
7	10	11	42,86%	57,14%
37	54	33	45,95%	-10,81%
49	104	52	112,24%	6,12%
48	92	51	91,67%	6,25%
23	46	28	100,00%	21,74%
17	25	20	47,06%	17,65%
20	17	15	-15,00%	-25,00%
29	31	26	6,90%	-10,34%
7	12	10	71,43%	42,86%
23	36	26	56,52%	13,04%
18	24	16	33,33%	-11,11%
8	10	8	25,00%	0,00%
1	3	2	200,00%	100,00%
15	14	11	-6,67%	-26,67%
5	4	4	-20,00%	-20,00%
27	32	24	18,52%	-11,11%
3	7	5	133,33%	66,67%
28	59	31	110,71%	10,71%
9	19	12	111,11%	33,33%
16	21	13	31,25%	-18,75%
13	28	16	115,38%	23,08%
4	6	5	50,00%	25,00%
10	11	8	10,00%	-20,00%
7	5	5	-28,57%	-28,57%
13	26	15	100,00%	15,38%
<b>Média</b>			<b>48,80%</b>	<b>11,43%</b>

O erro obtido na amostragem sequencial foi de 48,8%, enquanto que, utilizando o modelo  $\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$ , o erro diminui para 11,43% (Tabela 6), evidenciando assim uma melhora de 37,37% na estimativa de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas pela vespa-da-madeira.

Por meio deste resultado pode-se perceber que a utilização do modelo, além de fornecer parâmetros de comparação, torna-se uma alternativa mais acurada para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio*, quando comparado com a amostragem sequencial.

Para melhor visualização dos resultados obtidos com a utilização do modelo desenvolvido neste estudo, elaborou-se pelo método analítico uma tabela de dupla entrada (Tabela 7).

**Tabela 7.** Tabela de estimativa de árvores.ha<sup>-1</sup> atacadas por *S. noctilio*, em plantio de *P. taeda* no município de Palmas, PR. 2017/2018.

Nº de árvores atacadas encontradas na Amostragem Sequencial	Densidade (10000m <sup>2</sup> )						
	1000	1167	1333	1500	1667	1833	2000
	Número estimado de árvores.ha <sup>-1</sup> atacadas por <i>Sirex noctilio</i>						
1	3	4	4	5	6	7	8
2	5	6	7	8	9	9	10
3	8	9	10	10	11	12	13
4	11	11	12	13	14	15	15
5	13	14	15	16	16	17	18
6	16	17	17	18	19	20	21
7	19	19	20	21	22	22	23
8	21	22	23	23	24	25	26
9	24	25	25	26	27	28	28
10	26	27	28	29	29	30	31

As tabelas de dupla entrada organizam os dados com base em duas variáveis explicativas. No meio florestal são comumente utilizadas para estimativas de volume de madeira com e sem casca, índices de sítio, produção e incrementos, entre outros (CAMPOS; LEITE, 2009).

Para obtenção do número de árvores atacadas por ha deve-se ter conhecimento do número de indivíduos atacados por *S. noctilio* encontrados na amostragem sequencial e a densidade do povoamento. Essa tabela permite visualizar de forma rápida e direta o número de árvores estimadas atacadas pela vespa-da-madeira.

O modelo estima o número de árvores atacadas.ha<sup>-1</sup>, ou seja, reproduz um dado relevante para o manejo florestal e concomitante a isso havendo informações do volume médio das árvores do povoamento, o modelo poderá ser utilizado na determinação de perdas econômicas em decorrência do ataque de *S. noctilio*. Como também pode ser empregado na quantificação de doses do nematoide *D. siricidicola* utilizado no controle biológico da vespa-da-madeira auxiliando assim, na elaboração do planejamento operacional econômico das empresas florestais. Além disso, conhecendo-se o número de árvores atacadas pela praga, o gestor florestal tem mais uma ferramenta para auxiliá-lo na tomada de decisões quanto a realização de desbastes, uma vez que estes podem ser antecipados, caso o percentual de ataque seja elevado e resulte em níveis de danos econômicos significativos.

Cabe informar que, o modelo desenvolvido é empírico, portanto, os dados devem ser ajustados para as diferentes áreas em que o mesmo será utilizado. Segundo Neves (2004) é comum a utilização de modelos empíricos de danos para estabelecer uma relação entre intensidade de ataque e redução de produção. Por outro lado, apresentam a limitação de serem práticos somente para as condições específicas que foram gerados. Acredita-se que novas variáveis devem ser testadas visando o aperfeiçoamento deste.

Apesar do modelo desenvolvido neste estudo mostrar-se adequado para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio*, o mesmo não consegue prever quais árvores serão atacadas e nem determinar a sua localização espacial dentro do povoamento, sendo que para identificá-las pode-se utilizar fotografias obtidas por meio de aerolevantamentos ou por meio dos métodos de monitoramento, os quais devem ser realizados anualmente, tanto para determinação do nível de ataque, quanto para a inoculação dos inimigos naturais, reforçando que o modelo não substitui esses procedimentos.

As árvores a serem inoculadas com o nematoide devem ser as mesmas encontradas na amostragem sequencial, tornado este processo menos dispendioso, em contraponto, se a porcentagem de árvores inoculadas for inferior a 20% das árvores atacadas, deve-se selecionar e inocular na área, um maior número de árvores atacadas, até que se atinja o valor estabelecido (20%), aumentando assim, a eficiência do controle pelo nematoide *D. siricidicola*. Portanto, a inoculação de uma menor porcentagem de árvores fará com que o nematoide leve mais tempo para se estabelecer na área e, nesta situação, poderão ocorrer perdas em produtividade e prejuízos econômicos

(PENTEADO et al., 2017). Desta forma, com utilização do modelo, pode-se estimar com maior acurácia o número de árvores atacadas por *S. noctilio* e determinar a quantidade de árvores a serem inoculadas.

Deve-se também levar em consideração que *S. noctilio* é uma praga e sua dinâmica populacional é dependente de inúmeros fatores edafoclimáticos, ocorrência de inimigos naturais, além de parâmetros (co)evolutivos e populacionais.

## CONCLUSÕES

- As variáveis número de árvores atacadas por *S. noctilio* encontradas na amostragem sequencial (AS) e densidade do povoamento (n) foram apropriadas para estimar o número de árvores atacadas por *S. noctilio*. Considerando o local do estudo e englobando todas as particularidades do ambiente o modelo  $\delta = \beta_0 + \beta_1 AS + \beta_2 n + \varepsilon$  mostrou-se adequado para estimar o número de árvores atacadas.

- O modelo pode ser utilizado como ferramenta para auxiliar a tomada de decisões acerca do manejo do povoamento, bem como, prever gastos e perdas econômicas decorrentes do ataque da vespa-da-madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

CARVALHO, A. G. de. **Bioecologia de *Sirex noctilio* Fabricius, 1793 (Hymenoptera: Siricidae) em povoamentos de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

CISTERNAS, M. B. **Official Program for Detection and Control of *Sirex noctilio* (HYMENOPTERA: SIRICIDAE) in Chile**. International Sirex Symposium, Pretoria, South Africa, 2007.

COSTA, E. C.; D'AVILA, M.; CANTARELLI, E. B.; MURARI A. B. **Entomologia Florestal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2014.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil**. 19. ed. Pinheiros: Saraiva, 2013.

DE GROOT, P.; NYSTROM, K. L.; SCARR T. A. Discovery of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) in Ontario, Canada. **The Great Lakes Entomologist**; v. 39, p. 50 – 53, 2006.

- EMBRAPA FLORESTAS. **Vespa-da-madeira amostragem sequencial: o primeiro passo para o controle da praga.** Colombo, 2005. 1 fôlder.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Vespa-da-madeira.** Colombo, 2011. 1 fôlder.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Metodologias para monitoramento da vespa-da-madeira visando o planejamento das ações de controle.** Colombo, 2016. 1 fôlder.
- GAIAD, D. C. M. **Efeito de desbastes em povoamentos de *Pinus taeda* na ocorrência da vespa-da-madeira, *Sirex noctilio* F., 1972.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HIGA, R. C. V.; *et al.* Zoneamento Climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Embrapa Florestas. **Documentos 175**, 2008.
- HOEBEKE, E.; HAUGEN, D. A.; HAACK, R. ***Sirex noctilio*: Discovery of a Palearctic siricid woodwasp in New York.** 2005.
- HURLEY, B. P.; SLIPPERS, B.; CROFT, P. K.; HATTING, H. J.; VAN DER LINDE, M.; MORRIS, A. R.; DYER, C.; WINGFIELD, M. J. Factors influencing parasitism of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) by the nematode *Deladenus siricidicola* (Nematoda: Neotylenchidae) in summer rainfall areas of South Africa. **Biological Control**, v. 45, p. 450–459, 2008.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2019.** São Paulo. 2019.
- IEDE, E.T.; PENTEADO, S. do R. C.; BISOL, J.C. **Primeiro registro de ataque de *Sirex noctilio* em *Pinus taeda* no Brasil.** Colombo: EMBRAPA - CNPF, 1988. 12p. (EMBRAPA - CNPF, Circular Técnica, 20).
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Padrão Climatológico. <Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficoClimatico>>. Acesso em: Nov. 2019.
- KLASMER, P.; BOTTO E. N.; CORLEY J. C.; VILLACIDE J. M.; FERNÁNDEZ, V. A. Avances en el control biológico de *Sirex noctilio* en la región patagónica de la Argentina. **Serie Técnica.** IPEF, 13(33): 21-30, 2000.
- KRONKA, F. J. N. *et al.* **A Cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.
- LI, D.; SHI, J.; LU, M.; REN, L.; ZHEN, C.; LU, Y. Detection and Identification of the Invasive *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) Fungal Symbiont, *Amylostereum areolatum* (Russulales: Amylostereaceae), in China and the Stimulating Effect of Insect Venom on Laccase Production by *A. areolatum* YQL03. **Journal of Economic Entomology.** p. 1-12, 2015.

- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. John, Wiley and Sons, Inc., New York, 612p, 2006.
- NEVES, A. D. **Estimativa do nível de dano de *Orthezia praelonga* Douglas, 1891 e de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) por variáveis fisiológicas vegetais**. 2004. 76f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- OLIVEIRA, E. B. Softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantações florestais. Embrapa Florestas. **Documentos 216**, 2011.
- PENTEADO, S. do R. C.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; BUHRER, C. de B.; POSANSKI, R. G. Custo de aplicação do inóculo de nematoide, em gelatina e em hidrogel, para o controle da vespa-da-madeira. **Comunicado Técnico 341**. Colombo, 2014.
- PENTEADO, S. do R. C.; IEDE, E. T.; REIS FILHO, W. Manual para o controle da vespa-da-madeira em plantio de pinus. 2.ed. Embrapa Florestas. **Documentos 76**, 2015.
- PENTEADO, S. do R. C.; CAMARGO, M. B.; OILIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. Metodologias para o monitoramento da vespa-da-madeira em plantios de pinus visando ao planejamento das ações de controle. **Comunicado Técnico 341**. Colombo – PR. 2017. 7p.
- PINTO, M. A. Modelos de previsão de ataque de escolítídeos em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, Madrid, v. 24, p. 429-434, 1998.
- REBUFFO, S. **La “avispa de la madera” *Sirex noctilio* F. en el Uruguay**. Montevideo: Ministério de Ganaderia, Agricultura y Pesca, Dirección Forestal 1990.
- REGAZZI, A. J. **Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear / test for parameter equality in nonlinear regression models**. 2003. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2854>>. Acesso em: 30 out. 2017.
- REIS JUNIOR, R.; PARRA, J. R. P.; BENTO, J. M. S. Desenvolvimento de um modelo para previsão de ocorrência do Bicho-Furão-dos-Citros, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) (Lepidoptera: Tortricidae). **Neotropical Entomology**. v. 34, n. 4 p. 627-637, 2005.
- SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba, 2014.
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.
- SEBER, G. A. F. **Linear Regression Analysis**. New York: John Wiley and Sons. 1977.
- SELLE, G. L.; PAULESKI, D. T.; BRAZ, E. M. Procedimento Prático para Elaboração de uma Tabela de Produção. Embrapa Florestas. **Documentos 165**, 2008.

SPRADBERY, J. P.; KIRK, A. A. Aspects of the ecology of siricid woodwasps (Hymenoptera: Siricidae) in Europe, North Africa and Turkey with special reference to the biological control of *Sirex noctilio* F. in **Australia**. **Bulletin of Entomological Research**; v. 68, p. 341–359, 1978.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1960.

TAYLOR, K. L. The *Sirex* woodwasp: ecology and control of an introduced forest insect. In: KITCHING, R. L.; JONES, R. E. **The ecology of pests**: some Australian case histories. Melbourne: CSIRO, p. 231-248, 1981.

TRIBE, G. D. The woodwasp *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae), a pest of *Pinus* species, now established in South Africa. **African Entomology**, p. 215–217, 1995.



## CAPÍTULO 2: MORFOMETRIA DE *Sirex noctilio*: UM ENFOQUE GENÉTICO POPULACIONAL

### RESUMO

A variabilidade genética das subpopulações de *Sirex noctilio* pode estar intrinsicamente ligada às estratégias de manejo desta praga. O objetivo desta pesquisa foi investigar a variabilidade genética de *S. noctilio* com base em caracteres quantitativos morfométricos. Foram avaliadas quatro subpopulações (área 1, 2, 3 e 4) localizadas no município de Palmas, PR. Após a emergência, os adultos de *S. noctilio* coletados de árvores-armadilha instaladas e inspecionadas em setembro de 2017 e junho de 2018, respectivamente, foram armazenados em álcool 70% para posteriormente serem avaliados. Os caracteres mensurados foram comprimento da asa, do abdômen e total para ambos os sexos, sendo que nas fêmeas o comprimento do ovipositor também foi medido. O agrupamento das subpopulações foi realizado pelo método de otimização de Tocher. Nos machos ocorreu a formação de dois grupos distintos independente do caractere avaliados, sendo o grupo 1 e 2 formados pelas subpopulações 2 e 4 e 1 e 3 respectivamente. Quando o agrupamento foi realizado considerando somente as fêmeas e os machos e as fêmeas em conjunto, houve a formação de grupamentos distintos dependendo do caractere analisado, indicando haver divergência genética entre as subpopulações analisadas.

**Palavras-chaves:** Variabilidade genética, método de Tocher, vespa-da-madeira.

### MORFOMETRY OF *Sirex noctilio*: A POPULATION GENETIC APPROACH

### ABSTRACT

The genetic variability of *Sirex noctilio* subpopulations may be intrinsically linked to the pest management strategies used to control the species. The objective of this study was to investigate the genetic variability of *S. noctilio* based on quantitative morphometric characteristics. Four subpopulations (areas 1, 2, 3, and 4) located in Palmas, Paraná, Brazil, were evaluated. *S. noctilio* adults were collected from trap trees installed in September 2017 and inspected in June 2018. After emergence, individuals were stored in 70% alcohol for later assessment. For both sexes, wing length, abdomen length, and total length were measured, and in females the ovipositor length was also measured. The grouping of subpopulations was carried out using Tocher's clustering method. In males, two distinct groups were formed regardless of the characteristic evaluated, with group 1 formed by subpopulations 2 and 4 and group 2 by subpopulations 1 and 3. When the grouping was performed considering only females or both males and females together, distinct groups were identified depending on the characteristic analyzed, indicating that there is genetic divergence between the studied subpopulations.

**Keywords:** Genetic variability, Tocher's method, woodwasp.

## INTRODUÇÃO

Os insetos existem há cerca de 250 milhões de anos, sendo entre o grupo de organismos vivos na terra, o maior e o mais diverso, com aproximadamente 1 milhão de espécies identificadas, representando 80% de todas as espécies de animais descritas no planeta (COSTA et al., 2014). Atribui-se este sucesso biológico a fatores como elevada diversidade, estratégias de acasalamento, estrutura corporal e notórias habilidades adaptativas (BEHURA, 2006; BUZZI, 2013).

A vespa-da-madeira *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae) é uma das principais pragas das plantações de *Pinus* spp. (HURLEY et al., 2012) os quais ocupam 1,6 milhão de hectares, concentrando-se principalmente na região sul, com o Paraná contendo 42% dos plantios, seguido de Santa Catarina, com 34% e Rio Grande do Sul com 12%. Nos últimos cinco anos, a área plantada com o gênero *Pinus* vem decrescendo a uma taxa de 0,7% ao ano, consequência da substituição pelo plantio do gênero *Eucalyptus*. Em contrapartida, nos estados da região sul do Brasil, onde existem as melhores condições de solo e clima, a área com plantios de *Pinus* spp. tem se mantido constante neste período (IBÁ, 2019). A região se destaca na produção desta espécie porque não apresenta nenhuma condição restritiva para o seu bom desenvolvimento (HIGA et al., 2008).

Apesar do cultivo do gênero *Pinus* ser considerado de alta rusticidade, quando os plantios são conduzidos sem as técnicas apropriadas de manejo, tornam-se suscetíveis ao ataque de pragas, citando-se *S. noctilio*, conhecida popularmente como vespa-da-madeira, que vem causando drásticos prejuízos econômicos aos plantios comerciais deste gênero no Brasil e no mundo (HIGA et al., 2008; PENTEADO et al., 2015).

*Sirex noctilio* é originária da Europa, Ásia e norte da África (SPRADBERY; KIRK, 1978), sendo estabelecido na Nova Zelândia em 1900 e em 1952 na Austrália (RIBAS JUNIOR, 1993). Na década de 1980 o inseto foi registrado na América do Sul, mais precisamente no Uruguai em 1980 (REBUFFO, 1990), Argentina em 1985 (KLASMER et al., 2000) e Brasil em 1988 (IEDE et al., 1988). Atualmente *S. noctilio* encontra-se estabelecida em diversos países como África do Sul (1994), Chile (2001), Estados Unidos (2005), Canadá (2006) e China (2013) (TRIBE, 1995; CISTERNAS, 2007; HOEBEKE et al., 2005; DE GROOT et al., 2006; LI et al., 2015).

A praga é atraída preferencialmente por árvores estressadas, que apresentam as condições ideais para o desenvolvimento das suas larvas. As árvores preferidas são

aquelas que apresentam menor diâmetro e encontram-se no estrato das dominadas, embora as árvores dominantes possam também ser atacadas (PENTEADO et al., 2015).

As árvores mais susceptíveis ao ataque de *S. noctilio* geralmente têm mais de 12 anos de idade e estão fisiologicamente estressadas. O inseto aumenta esse estresse nas árvores pela injeção no alburno, durante a oviposição, de um muco fitotóxico e esporos do fungo simbiote patogênico, *Amylostereum areolatum* (Chaillet ex Fr.) Boidin (Russulales: Amylostereaceae) (MADDEN, 1974). A mucosecreção facilita o estabelecimento do fungo na árvore, que por sua vez, ajuda a gerar um ambiente ideal para o desenvolvimento das larvas dos insetos (LI et al., 2015). A ação do fungo e do muco desencadeia uma série de reações na árvore, culminando em sua morte. Além disso, a madeira atacada torna-se imprópria para o uso comercial (PENTEADO et al., 2015).

O controle biológico é a estratégia mais utilizada para manejar as populações de *S. noctilio* devido à sua eficiência (HURLEY et al., 2008). Aliado a isso, práticas silviculturais efetivas, como os desbastes, colaboram para reduzir a incidência de ataque da praga.

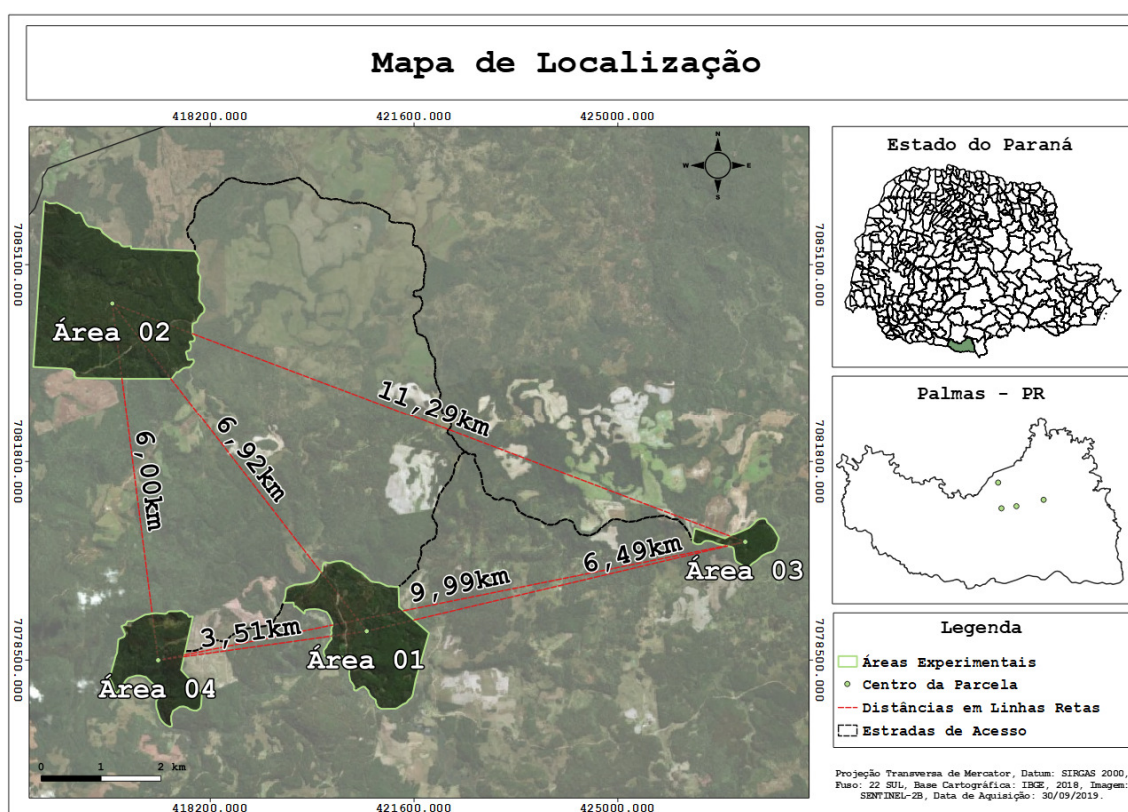
A variabilidade genética representa a soma total da informação genética contida nos genes de indivíduos de plantas, animais e microrganismos que habitam a terra (FISCHER, 1930). Estudos sobre a variabilidade genética são utilizados como subsídio para o estabelecimento de estratégia no processo de conservação e manejo da diversidade genética, bem como, em programas de melhoramento genético (VENCOVSKY e CROSSA, 2003). Embora, atualmente, os marcadores moleculares sejam utilizados na avaliação da variabilidade genética, originalmente a mesma era realizada com informações fenotípicas. Por exemplo, características morfológicas quantitativas dos indivíduos que são controladas por muitos genes, sofrem fortes influências do ambiente. Desse modo, a contribuição de cada gene nos indivíduos não era facilmente detectada (TOGGLER et al., 1995).

Nesse sentido, entender a dinâmica populacional e compreender como a variabilidade genética encontra-se distribuída entre e dentro das subpopulações de *S. noctilio*, tanto temporal como espacialmente, poderá contribuir no desenvolvimento de estratégias adequadas de manejo da praga. Este trabalho teve como objetivo verificar a variabilidade genética entre as subpopulações de *Sirex noctilio* com base nas características morfométricas dos indivíduos de diferentes locais, sendo o agrupamento realizado pelo método de otimização de Tocher, baseado na distância Euclidiana.

## MATERIAL E MÉTODOS

### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi realizada no município de Palmas localizado no sudoeste do estado do Paraná, a uma latitude 26°29'03"S e a uma longitude 51°59'26"W, com altitudes variando entre 950 a 1.356 m. A temperatura média anual é de 16 °C. O clima da região segundo a classificação de Köppen é Cfb (INMET, 2019). Foram selecionados quatro povoamentos de *P. taeda* no município de Palmas, Estado do Paraná - PR, os quais foram denominados de área 1, área 2, área 3 e área 4 (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa entre as quatro áreas estudadas no município de Palmas, PR.

A descrição das áreas encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição das áreas de coleta para obtenção dos adultos de *S. noctilio* no ano de 2019, município de Palmas, PR.

Área	Idade (anos)	Área (ha)	Densidade.ha <sup>-1</sup>	Desbaste	Nº de Agrupamentos de árvores- armadilha instalados
1	12	72,496	1150	1º (Misto)	3
2	18	145,23	665	2º (Misto)	6
3	16	105,36	1600	-	4
4	15	65,230	1600	-	3

## COLETA E MORFOMETRIA DOS ADULTOS DE *S. noctilio*

Os adultos de *S. noctilio*, foram coletados de toretes provenientes de árvores atacadas em grupamento de árvores-armadilha. A instalação das árvores-armadilha foi realizada no mês de setembro de 2017, na proporção de um grupamento para cada 25 ha de plantio, sendo que os mesmos foram instalados nas bordas dos talhões, margeando estradas e aceiros, facilitando assim, a posterior inspeção. Cada grupo de árvores-armadilha foi composto por cinco árvores, e para tanto foram escolhidas aquelas que já apresentavam alguma deformidade, como dominadas, bifurcadas ou tortas.

As árvores-armadilha foram estressadas com utilização do herbicida 2,4-D amina + picloran, na concentração de 20%. Para a aplicação do herbicida foram realizados quatro entalhes na árvore, com uma machadinha, e em cada entalhe foi colocado 2 mL da solução com o auxílio de uma seringa descartável, totalizando 8 mL por árvore.

A inspeção das árvores-armadilha foi realizada em junho de 2018 (após 270 dias da aplicação do herbicida). As árvores foram derrubadas com motosserra e traçadas do terço médio ao terço superior do tronco, retirando-se de dois a três toretes por árvore, com aproximadamente 30 cm cada. Os toretes foram partidos ao meio para observar a presença de larvas e galerias de *S. noctilio* no seu interior.

De cada grupamento de árvores-armadilha foi coletado três toretes de 80 cm de comprimento, partindo-se do terço médio ao superior da árvore, os quais foram acondicionados em tambores cobertos com sombrite, para aguardar a emergência dos adultos. Após a emergência, os adultos foram armazenados em frascos contendo álcool 70%, para posterior avaliação. Para obtenção das medidas dos adultos, utilizou-se uma lupa eletrônica Nikon SMZ745T (10x) acoplada com uma câmera Cannon Moticam 1080. As medidas aferidas foram o comprimento da asa, do abdômen e total, em milímetros, para ambos os sexos, sendo que nas fêmeas também foi mensurado o comprimento do ovipositor (mm). Esses critérios foram adotados devido a facilidade de sua obtenção no inseto.

O agrupamento das subpopulações foi realizado pelo método de otimização de Tocher e para a obtenção da matriz de distância entre as subpopulações foi utilizada a distância Euclidiana. A análise de agrupamento tem por finalidade reunir, por um critério qualquer de classificação, os genitores em vários grupos, de tal forma que exista

homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emergência dos adultos ocorreu entre os meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019, coincidindo com o período descrito pela literatura que se estende da segunda quinzena de outubro até a primeira quinzena de janeiro (PENTEADO et al., 2015). O número total de adultos de *S. noctilio* que emergiu (machos e fêmeas) foi de 66 indivíduos (Tabela 2), valores próximos aos descritos por Carolo Junior et al. (2018) que encontraram 45 adultos emergidos na mesma região em 5 árvores atacadas.

**Tabela 2:** Descrição do número de indivíduos emergidos (machos e fêmeas) por área do estudo, no município de Palmas, PR, 2019.

Área	Machos	Fêmeas	Total
1	2	2	4
2	2	9	11
3	7	12	19
4	14	18	32
Total	25	41	66

No total emergiram 25 machos e 41 fêmeas resultando em uma proporção macho:fêmea (M:F) de 0,61:1, valor próximo ao da relação M:F encontrado por Carolo Junior et al. (2018) de 0,55:1. No entanto, esses valores divergem da relação M:F de 1,5:1, 1,5:1 a 16,5:1 e 1,91:1 encontrados por EMBRAPA Florestas (2005), Taylor (1981) e Batista (2014), respectivamente. Castillo et al. (2018) descreveram a relação M:F de 2,5:1, 1,6:1, 2,2:1, 2:1 e 1:2 entre os anos de 2012 a 2016. Diferenças nas proporções sexuais podem afetar o tamanho efetivo da população, aumentando assim, a oportunidade de ocorrência da deriva genética (HARTL; CLARK, 2010).

Supõe-se que esta menor relação M:F deve-se ao baixo número de insetos emergidos. A relação entre o nematoide e a vespa-da-madeira é de densidade-dependente, ou seja, conforme ocorrem anualmente sucessivas inoculações do nematoide, ocorre o seu estabelecimento e disseminação e a população de *S. noctilio* tende a entrar em colapso (RODIGHERI et al., 2006; BATISTA, 2014). Além disso, a presença de fungos endofíticos que inibem o crescimento do fungo *Amylostereum areolatum* no tronco, podem afetar a sobrevivência das larvas de *S. noctilio* (WANG et al., 2019).

## AGRUPAMENTOS MORFOMÉTRICOS

Para auxiliar na elaboração dos agrupamentos morfométricos, realizou-se as estatísticas descritivas dos caracteres mensurados nos adultos de *S. noctilio* (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas sobre os caracteres mensurados em milímetros (mm), em 66 adultos de *S. noctilio* no município de Palmas, PR, 2019.

Caráter/ Estatística	Machos			Fêmeas			
	Asa	Abdômen	Total	Asa	Abdômen	Ovipositor	Total
Mínimo	5,7	6,9	11	9	5,7	6,3	10,5
Máximo	10,9	20,2	24,5	22,5	14,1	14,2	25,8
Média	8,51	13,81	16,76	15,02	9,34	10,20	17,28
Desvio Padrão	1,57	3,24	3,36	3,44	2,11	2,03	3,91

O tamanho dos adultos deste estudo (Tabela 3) corroboram com os citados por Penteadó et al. (2015) os quais citam que o comprimento dos insetos adultos de *S. noctilio* variam de 1 a 3,5 cm de comprimento, e geralmente, as fêmeas são maiores que os machos. O coeficiente de variação (CV%) para machos e fêmeas variaram de 18,44% a 23,46 e de 19,9% a 22,9% para os caracteres avaliados, respectivamente.

As áreas 1 e 4 tiveram o menor e o maior números de adultos emergidos (três toretes), sendo que a média do comprimento, levando-se em consideração machos e fêmeas foram de 1,96 e 1,56 cm, respectivamente. Um fator que pode interferir no tamanho dos adultos é a condição da árvore, pois se o teor de umidade estiver baixo, implicará negativamente no desenvolvimento do fungo, ocorrendo uma redução na disponibilidade de alimentos para as larvas, resultando assim, em insetos menores (MORGAN, 1968). Além disso, a densidade de indivíduos dentro do hospedeiro tem um efeito negativo no tamanho corporal dos mesmos, o que resulta em adultos menores (FOELKER, 2016).

Existe uma variação considerável no tamanho corporal de adultos de *S. noctilio*, relacionada ao sexo, *status* de parasitismo e condições de desenvolvimento da larva. O tamanho dos indivíduos influencia na dinâmica populacional, potencial reprodutivo e dispersão da vespa-da-madeira (RYAN; HURLEY, 2012). Outro padrão importante relacionado à massa corporal inicial das fêmeas, é que as maiores são capazes de realizar voos mais rápidos e longos quando comparadas com as menores (BRUZZONE et al., 2009). O acasalamento ocorre geralmente entre indivíduos de tamanhos semelhantes, e diferenças no tamanho dos pares não influencia significativamente no número de acasalamentos, porém há dificuldades durante a cópula, quando os machos

são muito maiores que as fêmeas (CAETANO; HAJEK, 2017). As características fenotípicas entre os indivíduos podem estar relacionadas à sua diversidade genética, a qual pode ser analisada por métodos de agrupamento.

Os agrupamentos dos caracteres mensurados das subpopulações foram realizados para os indivíduos machos e fêmeas (Tabela 4). O método agrupamento de Tocher forma um grupo inicial com o par de indivíduos mais similares, identificados na matriz de distância. A partir desse par é avaliada a possibilidade de inclusão de novos indivíduos, adotando-se o critério de que a distância média dentro do grupo deve ser menor que a distância média entre grupos (CRUZ et al., 2011).

**Tabela 4.** Agrupamento das subpopulações de *S. noctilio*, pelo método de otimização de Tocher, a partir da distância Euclidiana para os caracteres comprimento da asa, do abdômen, total e ovipositor (fêmeas).

Indivíduos/Caracteres	Subpopulações			
	Total	Abdômen	Asa	Ovipositor
Machos	2 e 4	2 e 4	2 e 4	-
	1 e 3	1 e 3	1 e 3	-
Fêmeas	2 e 4	2, 4 e 1	1, 2 e 3	1, 2 e 3
	1 e 3	3	4	4
Machos e Fêmeas	2 e 4	2 e 4	1, 2 e 3	-
	1 e 3	1 e 3	4	-

Os indivíduos machos foram agrupados em dois grupos distintos, no primeiro encontram-se as subpopulações 2 e 4 e no segundo as subpopulações 1 e 3, a mesma formação ocorreu para todos os caracteres avaliados. Analisando somente as fêmeas, ocorreu a formação de agrupamentos distintos de acordo com o caractere avaliado, no entanto, a composição dos agrupamentos para os caracteres comprimento da asa e do ovipositor foram constituídos pelas mesmas subpopulações.

Quando o agrupamento foi realizado utilizando os machos e fêmeas conjuntamente ocorreu a formação de 2 grupos, sendo o grupo 1 e 2 compostos pelas subpopulações “2 e 4” e “1 e 3”, respectivamente, para os caracteres morfológicos comprimento total e do abdomen. Para o caractere comprimento da asa também ocorreu a formação de 2 grupos, no entanto, o grupo 1 foi composto pelas subpopulações 1, 2 e 3, enquanto que a subpopulação 4 formou um grupo distinto. A formação de grupos com apenas um acesso caracteriza um bom grau de divergência genética (OLIVEIRA et al., 2014).

A formação de agrupamentos distintos entre machos e fêmeas, pode estar relacionada às características biológicas dos machos, tais como: diferença no tempo de



vida na fase adulta e/ou sincronia do período de emergência com as fêmeas para a cópula. Geralmente, os machos emergem aproximada uma semana antes das fêmeas, então se dirigem para o topo das árvores aguardando a emergência das mesmas para acasalarem (MORGAN, 1968; MADDEN, 1988). Após emergência, as fêmeas vivem cerca de quatro dias, enquanto os machos vivem cinco dias (CARVALHO, 1992). O número menor de machos contribui com um número efetivo populacional menor nas subpopulações, o ideal é ter um número similar de machos e fêmeas em cada subpopulação (Tabela 2).

Os resultados obtidos com marcadores microsatélites sugerem que as populações de *S. noctilio* da América do Sul originaram-se de dois conjuntos genéticos, um da Europa e Oceania e o outro de origem desconhecida (BOISSIN et al., 2012). A população da América do Sul apresentou o maior número de alelos por locos e valor de heterozigosidade, sendo que os machos apresentaram o maior número total de alelos quando comparados com as demais populações estudadas. Bittner et al. (2017), acreditam que as populações existentes na América do Norte possivelmente sejam decorrentes de múltiplas introduções de *S. noctilio*. Resultados semelhantes foram encontrados por Castrillo et al. (2015) avaliando o fungo *Amylostereum areolatum* nessa região.

Um dos principais fatores que influencia no tamanho dos insetos é a disponibilidade de sua fonte alimentar, ou seja, o fungo *Amylostereum areolatum* (S. R. C. PENTEADO, comunicação pessoal). Desta forma, caso as condições da árvore não sejam favoráveis ao seu estabelecimento, o crescimento das larvas poderá ser afetado. O fungo apresenta melhor desenvolvimento em madeira com teores de umidade intermediários sendo que, o baixo teor de umidade da madeira pode influenciar negativamente o estabelecimento do *A. areolatum* (MADDEN, 1974; HURLEY et al., 2008).

Sugere-se que a divergência genética encontrada entre as subpopulações avaliadas seja decorrente das pressões seletivas exercidas pelo estabelecimento do nematoide *D. siricidicola*. Carolo Junior et al. (2018), avaliando o parasitismo de *S. noctilio* pelo patógeno nas mesmas áreas desse estudo, encontraram um parasitismo natural de 40%, indicando que o mesmo está estabelecido e disseminado entre as subpopulações em questão, gerando uma estruturação espacial, o que pode estar criando uma divergência genética entre as subpopulações ao beneficiar certas famílias. A seleção natural favorece a sobrevivência e reprodução dos mais adaptados, fazendo com

que estes gerem mais descendentes, a mesma é dependente do ambiente e requer a existência de variações genéticas em um grupo. Tais suposições já vêm sendo tratadas desde Darwin (1859) e estão sendo corroboradas por trabalhos relevantes (HARTL; CLARK, 2010; RIDLEY, 2006).

A forma de reprodução da espécie *S. noctilio* pode ajudar a explicar a diversidade genética entre as subpopulações, uma vez que a fêmea realiza a postura de uma abundante quantidade de ovos, características de indivíduos denominados de “r” estrategistas. Indivíduos “r” estrategistas apresentam tamanho reduzido, amadurecimento precoce, produzem elevado número de descendentes, no entanto, não há cuidado com a prole, conseqüentemente apresentam sobrevivência variável em função do ambiente (MACARTHUR; WILSON, 1967).

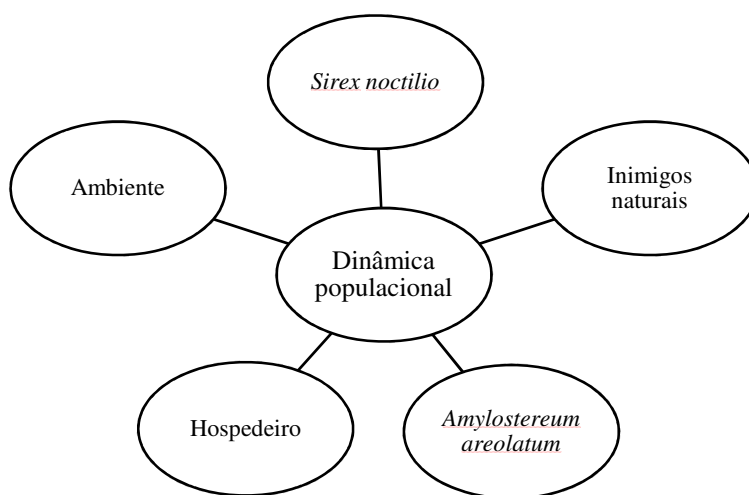
Uma ampla diversidade genética entre as populações, aumenta as chances do sucesso evolutivo das espécies, pois caso ocorram mudanças no ambiente, as populações tem maior possibilidade de se adaptarem às alterações sofridas no meio, uma vez que as chances de sobrevivência e/ou extinção de uma população é dependente de sua variabilidade genética (FRANKEL et al., 1996). A diversidade genética é a base para a adaptação, evolução e sobrevivência das espécies e indivíduos, especialmente sob mudanças ambientais e ao surgimento de doenças (PANTOJA, 2007), da mesma forma que, a perda de variabilidade genética dificulta a adaptação das espécies às mudanças ambientais (AGUIAR et al., 2003).

Bruzone et al. (2009), ressaltam ainda que o tamanho dos indivíduos e o comportamento do voo podem ser essenciais para compreensão da dinâmica populacional da espécie, determinando a dispersão local ou regional, principalmente, em áreas que não possuem um hospedeiro adequado. Essas diferenças morfométricas podem ser decorrentes de diversos fatores, principalmente pelo fato desta pesquisa fazer uso de informações fenotípicas para estimar a dissimilaridade entre as subpopulações. Cabe mencionar que originalmente a avaliação da variabilidade genética era realizada com informações fenotípicas, principalmente utilizando características morfológicas dos indivíduos, as quais sofrem influências do ambiente, fatores estes que podem interferir na análise genética para os caracteres mensurados (TORGGLER et al., 1995; FERREIRA; GRATAPAGLIA, 1998).

Apesar das discussões e inferências acerca dos fatores que atuam sobre as subpopulações amostradas neste estudo, não foi possível estimar parâmetros que possam representar de maneira precisa a influência isoladamente das forças evolutivas

que atuam nas subpopulações. Para averiguar de maneira mais precisa a existência de populações distintas de *S. noctilio* em um determinado local, é indicado realizar uma análise molecular dos indivíduos, utilizando marcadores moleculares nucleares e citoplasmáticos, excluindo assim os efeitos ambientais, os quais muitas vezes podem viesar a análise devido seu efeito no fenótipo.

Além das forças evolutivas, a dinâmica populacional das subpopulações da vespa-da-madeira é dependente de uma complexa interação ecológica envolvendo *S. noctilio*, seu fungo simbionte *A. areolatum*, seus agentes de controle biológico, o ambiente e suas espécies hospedeiras (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama de interações entre os agentes que interferem na dinâmica populacional de *S. noctilio*.

**Fonte:** O Autor, 2020.

A dinâmica populacional de *S. noctilio* pode ser influenciada pelo seu fungo simbionte, visto que a sobrevivência das larvas de *S. noctilio* é totalmente dependente do estabelecimento e desenvolvimento do fungo *A. areolatum* (HURLEY et al., 2007), uma vez que o mesmo é a única fonte de alimento durante o período larval. Após a emergência e acasalamento, a fêmea de *S. noctilio* transporta esporos do fungo em suas glândulas micangiais (MADDEN, 1974; LI et al., 2015), oferecendo ao mesmo, proteção e dispersão em ambientes livres de inimigos (RYAN; HURLEY, 2012).

Além dos ovos e do fungo, durante a postura, a fêmea de *S. noctilio* injeta uma mucosecreção que ajuda a debilitar a árvore. Bordeaux et al. (2014), revelaram em seus

estudos que a mucosecreção injetada na árvore pela fêmea é um veneno denominado *noctilisin*, o qual causa o murchamento das acículas, possivelmente ocasionando a expressão de um ou mais genes de defesa do hospedeiro. O *noctilisin* estimula a atividade de lacase do fungo facilitando seu estabelecimento, conseqüentemente criando um ambiente ideal para o desenvolvimento das larvas de *S. noctilio* (LI et al., 2015).

Outro fator que interfere na dinâmica populacional de *S. noctilio* é a incompatibilidade entre o *A. areolatum* e *D. siricidicola* a qual influencia na alimentação do nematoide, que por sua vez pode afetar na sobrevivência, na propagação dentro da árvore e no potencial do mesmo em parasitar as larvas de *S. noctilio* (HURLEY et al., 2007). Além do mais, essa incompatibilidade pode reduzir a reprodução do nematoide e conseqüentemente, diminuir o parasitismo de *S. noctilio* (HURLEY et al., 2012). Mlonyeni et al (2018) sugerem que a capacidade do nematoide em se converter para a forma infecciosa é dependente da linhagem do fungo. A produção massal do nematoide para fins de controle biológico depende do fungo *A. areolatum* (PENTEADO et al., 2015), assim como sua reprodução e sua eficiência em campo (NAHRUNG et al., 2016; MLONYENI et al., 2018). No entanto, o fungo pode invadir e matar os ovos dos nematoides quando a população destes é muito baixa (NAHRUNG et al., 2016).

O nematoide *D. siricidicola* atinge níveis superiores a 70% de parasitismo, sendo este o principal inimigo natural da vespa-da-madeira (PENTEADO et al., 2015). A fêmea de *S. noctilio* parasitada pelo *D. siricidicola* ajuda a disseminar o nematoide para novas áreas expandindo assim o controle biológico. Portanto, a própria vespa é a principal dispersora do seu inimigo natural (BEDDING; IEDE, 2005). Neste sentido, a população de *S. noctilio* tende a diminuir nas áreas onde o controle biológico está estabelecido. Ainda Kroll et al. (2013) reforçam que a disseminação da população dos nematoides depende da dispersão e reprodução de *S. noctilio*. A baixa diversidade genética de *D. siricidicola* pode limitar sua capacidade de adaptação a condições adversas, como novos ambientes e hospedeiros (HURLEY et al., 2007; MLONYENI et al., 2011).

Em relação à interação entre a vespa-da-madeira e seus hospedeiros, Batista (2014) e Penteado et al. (2015) ressaltam que a fêmea de *S. noctilio* tem preferência em ovipositar em árvores fisiologicamente estressadas, pois oferecem condições ideais para o desenvolvimento das suas larvas. Geralmente, essas árvores apresentam menor diâmetro e encontram-se no estrato das dominadas, embora as árvores dominantes

também possam ser atacadas. Outro recurso utilizado pelas fêmeas de *S. noctilio* na identificação de hospedeiros adequados são os voláteis fúngicos liberados pelo *A. areolatum* em árvores previamente atacadas por outras fêmeas (FERNÁNDEZ AJÓ et al., 2015).

O estabelecimento do nematoide e o crescimento do fungo *A. areolatum*, podem ser influenciados por diferenças entre os hospedeiros, como composição da resina, estrutura dos traqueoides, teor de umidade (HURLEY et al., 2007; NAHRUNG et al., 2016). O baixo teor de umidade da madeira pode influenciar negativamente na sobrevivência e a mobilidade do *D. siricidicola* e/ou o estabelecimento do *A. areolatum* do qual a vespa e o nematoide se alimentam (HURLEY et al., 2008). De acordo com Nahrung et al. (2016) o nematoide *D. siricidicola* pode ter sua sobrevivência comprometida e não ser tão eficaz no controle biológico em hospedeiros alternativos, possivelmente devido ao crescimento reduzido de sua fonte alimentar.

A dinâmica populacional de *S. noctilio* é influenciada por fatores climáticos. A elevação da temperatura média anual aumenta a taxa de propagação de *S. noctilio* (LANTSCHNER et al., 2013). A temperatura apresenta uma correlação positiva com a receptividade e o número de acasalamentos, bem como, no comportamento do voo uma vez que as vespas voam mais rápido, mais longe e com mais frequência em temperaturas mais quentes e durante o fotoperíodo (GAUDON et al., 2016; CAETANO; HAJEK, 2017).

Além disso, períodos prolongados de estiagem podem acabar estressando as árvores e tornando-as susceptíveis ao ataque da vespa-da-madeira, seja pelo déficit hídrico e/ou pela ocorrência e propagação dos incêndios florestais. Períodos de estiagem podem além de reduzir a pressão de resina fazer com que as árvores liberem compostos monoterpênicos, deixando-a mais susceptível ao ataque da vespa-da-madeira (MADDEN, 1974). Mesma situação é observada em áreas florestais submetidas à altas temperaturas ocasionadas pela exposição ao fogo, seja por incêndios ou queimas controladas.

Outras alterações no ambiente podem alterar a dinâmica populacional de *S. noctilio* como a realização do desbaste o qual mostra-se como um componente extremamente importante nos programas de manejo de *S. noctilio* (HURLEY et al., 2007), pois remove árvores inferiores, as quais são hospedeiras muito adequadas para oviposição das fêmeas de *S. noctilio* (HAAVIK et al., 2018), reduzindo assim, a incidência de ataque por *S. noctilio* (DODDS et al., 2014). No entanto, caso a densidade

populacional da vespa-da-madeira seja alta, árvores sadias podem ser atacadas (HAAVIK et al., 2016).

Em relação ao hospedeiro Lantschner et al. (2013) não encontraram correlação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores com o tamanho do corpo dos adultos. Já, Hurley et al. (2008) encontraram diferenças significativas no tamanho da vespa em relação a diferentes seções das árvores, sendo que as vespas que emergiram das seções inferiores foram significativamente maiores das que emergiram das seções do meio e estas maiores das que emergiram das seções superiores da árvores.

As fêmeas parasitadas pelo nematoide são menores e conseqüentemente a distância de dispersão também é menor, sendo que, raramente se distanciam do local de sua emergência (VILLACIDE; CORLEY, 2012). Por outro lado, Hurley et al. (2008) constataram em seus estudos que as vespas parasitadas eram maiores que as não parasitadas. Os autores supõem que este fato está associado ao sucesso do estabelecimento do fungo *A. areolatum*, uma vez que as larvas de *S. noctilio* e a população de *D. siricidicola* teriam recurso alimentar suficiente para se desenvolverem.

O período de desenvolvimento larval, disponibilidade de alimentos, espécies e qualidade do hospedeiro e interações com outros organismos, podem interferir na dinâmica populacional de *S. noctilio* (NAHRUNG et al., 2017), pois a presença de outros fungos dentro do hospedeiro pode afetar a sobrevivência de *S. noctilio* (LANTSCHNER et al., 2013). Interações competitivas entre *A. areolatum* e outros fungos com diferentes propensões em relação a necessidade de umidade podem estar envolvidos no controle biológico de *S. noctilio* pelo nematoide *D. siricidicola* (HURLEY et al., 2012).

A presença de outros insetos que perfuram a madeira podem afetar o tamanho dos adultos de *S. noctilio* (RYAN et al., 2012), a exemplo, a co-existência de besouros dentro do mesmo hospedeiro, os quais podem afetar negativamente a dinâmica populacional de *S. noctilio*, uma vez que seu fungo simbionte pode ser superado por fungos associados aos besouros, causando a mortalidade das larvas da vespa-da-madeira (RYAN et al., 2011).

O estabelecimento de outros inimigos naturais também afeta a população de *S. noctilio* como o parasitoide *Ibalia leucospoides*, o qual pode atingir aproximadamente 25% de parasitismo (PENTEADO et al., 2015). As fêmeas de *I. leucospoides* são atraídas por voláteis liberados pelo fungo *A. areolatum*, os quais contém informações sobre a localização espacial, bem como, o estágio de desenvolvimento do hospedeiro,

que auxiliam o parasitoide a identificar se o mesmo se encontra apropriado a oviposição (JOFRE et al., 2016). Um fator importante ainda a ser compreendido é a interação entre os parasitoides e o nematoide *D. siricidicola*, uma vez que o mesmo pode afetar a oviposição do parasitoide, seja por interferência ou por concorrência (KROLL et al., 2013).

## CONCLUSÕES

Variações expressivas entre indivíduos machos e fêmeas de *S. noctilio* para caracteres morfológicos são constadas nas áreas avaliadas. As fêmeas encontram-se em maior número e apresentaram dimensões superiores aos dos machos.

As subpopulações de indivíduos dos adultos machos e fêmeas de *S. noctilio* apresentam diferentes agrupamentos quando consideradas os caracteres morfológicos, podendo essa diferença ser de natureza genética.

Para melhor conclusões sobre a diversidade genética dessa espécie, recomenda-se estudos genéticos populacionais com base em caracteres morfológicos e marcadores moleculares de *S. noctilio*. Além disso, deve-se incorporar o efeito do desenvolvimento das cepas do fungo simbionte *A. areolatum*, e as interações com o genótipo, como por exemplo o nematoide *D. siricidicola*. Isso irá colaborar com a dinâmica do controle biológico da vespa-da-madeira, bem como a evolução das populações deste inseto aos longos dos anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. V.; BORTOLOZO, F. R.; MORAES, M. L. T.; ANDRADE, J. A. C. Genetic variation in *Astronium fraxinifolium* populations in consortium, **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 2, p. 95-106, 2003.

BATISTA, E. S. de P. *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) e seus inimigos naturais em *Pinus taeda* e caracterização morfológica de *Deladenus siricidicola*. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

BEDDING, R. A.; IEDE, E.T. Application of *Beddingia siricidicola* for Sirex Woodwasp Control. In: GREWAL, P. S.; EHLERS, R. U.; SHAPIRO-ILAN, D. I. **Nematodes as Biocontrol Agents**, 1. ed. Londres: CABI publishing, cap. 21, p. 385-400. 2005.

- BEHURA, S. K. Molecular Marker Systems in Insects: Current Trends and Future Avenues. **Molecular Ecology**, v. 15, p. 3087-3113, 2006.
- BITTNER, T. D.; HAJEK, A. E.; HAAVIK, L.; ALLISON, J.; NAHRUNG, H. Multiple introductions of *Sirex noctilio* (Hymenoptera:Siricidae) in northeastern North America based on microsatellite genotypes, and implications for biological control. **Biological Invasions**, v. 19, 2017.
- BOISSIN, E.; HURLEY, B. P.; WINGFIELD, M. J.; VASAITIS, R.; STENLID, J.; DAVIS, C.; De GROOT, P.; AHUMADA, R.; CARNEGIE, A. J.; GOLDARAZENA, A.; KLASMER, P.; WERMELINGER, B.; SLIPPERS, B. Retracing the routes of introduction of invasive species: the case of the *Sirex noctilio* woodwasp. **Molecular Ecology**, v. 21, p. 5728–5744, 2012.
- BORDEAUX, J. M.; LORENZ, W. W.; JOHNSON, D.; BADGETT, M. J.; GLUSHKA, J.; ORLANDO, R.; DEAN, J. F. D. Noctilisin, a venom glycopeptide of *Sirex noctilio* (Hymenoptera:Siricidae), causes needle wilt and defense gene responses in pines. **Journal of Economic Entomology** v. 107, p. 1931–1945, 2014.
- BRUZZONE, O. A.; VILLACIDE, J. M.; BERNSTEIN, C.; CORLEY, J. C. Flight variability in the woodwasp *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae): an analysis of flight data using wavelets. **Journal of Experimental Biology**, v. 212, n. 5, p. 731–737, 2009.
- BUZZI, Z. J., **Entomologia Didática**. 6. ed. Curitiba, UFPR, 2013,
- CAETANO, I. A. L.; HAJEK, A. E. Mating Behavior and Sexual Receptivity of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae), **Annals of the Entomological Society of America** 2017.
- CAROLO JUNIOR, S.; UKAN, D.; PENTEADO, S. do R. C. Avaliação de parasitismo dos inimigos naturais de *Sirex noctilio* em plantios de *Pinus taeda*. **Ambiência**, Guarapuava, v. 14, n. 2, p. 423 – 438, 2018.
- CARVALHO, A. G. de. **Bioecologia de *Sirex noctilio* Fabricius, 1793 (Hymenoptera:Siricidae) em povoamentos de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- CASTILLO, M.; SANFUENTES, E.; ANGULO, A.; BECERRA, J.; ROMERO-ROMERO, J. L.; ARCE-JOHNSON, P. Biocontrol of *Sirex noctilio* by the parasitic nematode *Deladenus siricidicola*: A five season field study in southern Chile. **PLoS ONE**, v. 13, n. 11, 2018.
- CASTRILLO, L. A.; HAJEK, A. E.; PAJARES, J. A.; THOMSEN, I. M.; CSÓKA, G.; KENALEY, S. C.; KEPLER, R. M.; ZAMORA, P.; ANGELI, S. Multilocus genotyping of *Amylostereum* spp. Associated Multiple introductions of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) in northeastern North with *Sirex noctilio* and other



woodwasps from Europe reveal clonal lineage introduced to the US. **Fungal Biological**, v. 9, p. 1–10, 2015.

CISTERNAS, M. B. **Official Program for Detection and Control of *Sirex noctilio* (HYMENOPTERA: SIRICIDAE) in Chile**. International Sirex Symposium, Pretoria, South Africa, 2007.

COSTA, E. C.; D'AVILA, M.; CANTARELLI, E. B.; MURARI A. B. **Entomologia Florestal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2014.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, Viçosa: UFV, 2003.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria Aplicada ao Estudo da Diversidade Genética**. Viçosa, 2011.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. Hemus – Livraria Editora Ltda, São Paulo, SP. 1859.

DE GROOT, P.; NYSTROM, K. L.; SCARR T. A. Discovery of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) in Ontario, Canada. **The Great Lakes Entomologist**; v. 39, p. 50 – 53, 2006.

DODDS, K. J.; COOKE, R. R.; HANAVAN, R. P. The effects of silvicultural treatment on *Sirex noctilio* attacks and tree health in northeastern United States. **Forests**, v. 5, 2014.

EMBRAPA FLORESTAS. **Vespa-da-madeira amostragem sequencial: o primeiro passo para o controle da praga**. Colombo, 2005. 1 fôlder.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de Marcadores Moleculares em análise genética**. 2. ed. Brasília: Embrapa-Cenargen, 1998.

FERNÁNDEZ AJÓ, A. A.; MARTÍNEZ, A. S.; VILLACIDE, J. M.; CORLEY, J. C. Behavioural response of the woodwasp *Sirex noctilio* to volatile emissions of its fungal symbiont. **Journal of Applied Entomology**, v. 139, p. 654–659, 2015.

FISHER, R. A. **The Genetical Theory of Natural Selection**. Dover, New York. 2. ed. 1930.

FOELKER, C. J. Beneath the bark: associations among *Sirex noctilio* development, bluestain fungi, and pine host species in North America. **Ecological Entomology**, v. 41, p. 676–684, 2016.

FRANKEL, O. H.; BROWN, A. H. D.; BURDON, J. J. **The Conservation of Plant Biodeversity**. Cambridge: Cambridge University, 1996.

GAUDON, J.M.; HAAVIK, L.J.; MACQUARRIE, C. J. K.; SMITH, S. M.; ALLISON, J. D. Influence of nematode parasitism, body size, temperature, and diel periodicity on

the flight capacity of *Sirex noctilio* F. (Hymenoptera: Siricidae). **Journal of Insect Behavior**, 2016.

HAAVIK, L. J.; DODDS, K. J.; RYAN, K.; ALLISON, J. D. Evidence that the availability of suitable pine limits non-native *Sirex noctilio* in Ontario. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 18 n. 4, p. 357–366, 2016.

HAAVIK, L. J.; DODDS, K. J.; ALLISON, J. D. *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) in Ontario (Canada) pine forests: observations over five years. **The Canadian Entomologist**, v. 15 n. 3, p. 347–360, 2018.

HARTL, D. L.; CLARK, A. G. **Princípios de Genética de Populações**: 4. ed. Porto Alegre: Ed. ARTMED, 2010.

HIGA, R. C. V.; et al. Zoneamento Climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Embrapa Florestas. **Documentos 175**, 2008.

HOEBEKE, E.; HAUGEN, D. A.; HAACK, R. ***Sirex noctilio*: Discovery of a Palearctic siricid woodwasp in New York**. 2005.

HURLEY, B. P.; SLIPPERS, B.; WINGFIELD, M. J. A comparison of control results for the alien invasive woodwasp, *Sirex noctilio*, in the southern hemisphere. **Agricultural and Forest Entomology**, n. 9, p. 159–171. 2007.

HURLEY, B. P.; SLIPPERS, B.; CROFT, P. K.; HATTING, H. J.; VAN DER LINDE, M.; MORRIS, A. R.; DYER, C.; WINGFIELD, M. J. Factors influencing parasitism of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) by the nematode *Deladenus siricidicola* (Nematoda: Neotylenchidae) in summer rainfall areas of South Africa. **Biological Control**, v. 45, p. 450–459, 2008.

HURLEY, B.P.; HATTING, H. J.; WINGFIELD, M. J.; KLEPZIG, K. D.; SLIPPERS B. The influence of *Amylostereum areolatum* diversity and competitive interactions on the fitness of the *Sirex* parasitic nematode *Deladenus siricidicola*. **Biological Control**, v. 61, n. 3, p. 207–214, 2012.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2019**. São Paulo. 2019.

IEDE, E.T.; PENTEADO, S. do R. C.; BISOL, J.C. **Primeiro registro de ataque de *Sirex noctilio* em *Pinus taeda* no Brasil**. Colombo: EMBRAPA - CNPF, 1988. 12p. (EMBRAPA - CNPF, Circular Técnica, 20).

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Padrão Climatológico. <Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficoClimatico>>. Acesso em: Nov. 2019.

JOFRÉ, N.; PILDAIN, M. B.; CIRIGLIANO, A. M.; CABRERA, G. M.; CORLEY, J. C.; MARTÍNEZ, A. S. Host selection by *Ibalia leucospoides* based on temporal variations of volatiles from the hosts' fungal symbiont. **Journal of Applied Entomology**, 2016.

- KLASMER, P.; BOTTO E. N.; CORLEY J. C.; VILLACIDE J. M.; FERNÁNDEZ, V. A. Avances en el control biológico de *Sirex noctilio* en la región patagónica de la Argentina. **Serie Técnica**. IPEF, v. 13, p. 21-30, 2000.
- KROLL, S. A.; HAJEK, A. E.; MORRIS, E. E.; LONG, S. J. Parasitism of *Sirex noctilio* by non-sterilizing *Deladenus siricidicola* in northeastern North America. **Biological Control**, v. 67, p. 203–211, 2013.
- LANTSCHNER, M. V.; VILLACIDE, J. M.; GARNAS, J. R.; CROFT, P.; CARNEGIE, A. J.; LIEBHOLD, A. M.; CORLEY, J. C. Temperature explains variable spread rates of the invasive woodwasp *Sirex noctilio* in the Southern Hemisphere. **Biological Invasions**, v.16, n. 2, p. 329–339, 2013.
- LI, D.; SHI, J.; LU, M.; REN, L.; ZHEN, C.; LU, Y. Detection and Identification of the Invasive *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) Fungal Symbiont, *Amylostereum areolatum* (Russulales: Amylostereaceae), in China and the Stimulating Effect of Insect Venom on Laccase Production by *A. areolatum* YQL03. **Journal of Economic Entomology**. p. 1-12, 2015.
- MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The Theory of Island Biogeography**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1967. 203p.
- MADDEN, J. L. Oviposition behavior of the woodwasp *Sirex noctilio* F. **Australian Journal of Zoology**, Victoria, v. 22, p. 341-351, 1974.
- MADDEN, J. L. *Sirex* in Australasia. In Dynamics of Forest Insect Populations: Patterns, Causes, Implications, chapter 21. New York: **Plenum Press**. 1988.
- MLONYENI, X. O.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M. J.; AHUMADA, R.; KLASMER, P.; LEAL, I.; SLIPPERS, B. Extreme homozygosity in Southern Hemisphere populations of *Deladenus siricidicola*, a biological control agent of *Sirex noctilio*. **Biological Control**, v. 59, n. 3, p. 348–353, 2011.
- MLONYENI, X. O.; WINGFIELD, B. D.; GREEFF, J. M.; HURLEY, B. P.; WINGFIELD M. J.; SLIPPERS, B. Population variation in traits of *Deladenus siricidicola* that could influence the biocontrol of *Sirex noctilio* in South Africa, **International Journal of Pest Management**, 2018.
- MORGAN, F. D. Bionomics of Siricidae. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 13, p. 239-256, 1968.
- NAHRUNG, H. F.; RAMSDEN, M.; HAYES, R. A.; FRANCIS, L. P.; GRIFFITHS, M. W. Performance of *Sirex noctilio*'s biocontrol agent *Deladenus siricidicola*, in known and predicted hosts. **Biological Control**, v. 103, p. 54–61, 2016.
- NAHRUNG H. F. *Sirex* woodwasp *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae): revisiting some past perceptions. **Austral Entomology**. 2017.
- OLIVEIRA, T. C.; GONÇALVES, D. L.; ELIAS, J. C. F.; CASTRO, E. M. S.; BARELLI, M. A. A. Caracterização Morfológica de Acessos de Cagaiteira na Região

de Cáceres-MT. **AGRARIAN ACADEMY**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.1, n. 2, 2014.

PANTOJA, T. de F. Descrição morfológica e análise da variabilidade genética para caracteres de frutos, sementes e processo germinativo associado à produtividade de óleo em matrizes de *Carapa guianensis* Aublet., uma Meliaceae da Amazônia. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

PENTEADO, S. do R. C.; IEDE, E. T.; REIS FILHO, W. Manual para o controle da vespa-da-madeira em plantio de pinus. 2. ed. rev. e atual. Embrapa Florestas. **Documentos 76**, Colombo, 2015.

REBUFFO, S. **La “avispa de la madera” *Sirex noctilio* F. en el Uruguay.** Montevideo: Ministério de Ganaderia, Agricultura y Pesca, Dirección Forestal 1990.

RIBAS JUNIOR, U. Práticas de controle da vespa-da-madeira em povoamentos de *Pinus* do sul do Brasil e efeitos de seu ataque nas propriedades da madeira de *Pinus taeda*. **Serie Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 9 n. 27, p. 45-57, 1993.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3. ed. Artemed, Porto Alegre, 2006.

RODIGHERI, H. R.; IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C; REIS FILHO, W. Avaliação dos Impactos do Programa de Manejo Integrado de Pragas para o Controle da Vespa-da-Madeira em Plantios de *Pinus* no Sul do Brasil. **Comunicado Técnico 158**. Colombo, 2006.

RYAN, K.; DE GROOT, P.; SMITH, S. M. Evidence of interaction between *Sirex noctilio* and other species inhabiting the bole of *Pinus*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 14 n. 2, p. 187–195, 2011.

RYAN, K.; HURLEY, B. P. Life history and biology of *Sirex noctilio*. In B. Slippers, P. de Groot, and M. J. Wingfield (eds.), **The sirex woodwasp and its fungal symbiont**. Springer, Netherlands, p. 15–30, 2012.

SPRADBERY, J. P.; KIRK, A. A. Aspects of the ecology of siricid woodwasps (Hymenoptera: Siricidae) in Europe, North Africa and Turkey with special reference to the biological control of *Sirex noctilio* F. in **Australia. Bulletin of Entomological Research**; v. 68, p. 341–359, 1978.

TAYLOR, K. L. The *Sirex* woodwasp: ecology and control of an introduced forest insect. In: KITCHING, R. L.; JONES, R. E. **The ecology of pests: some Australian case histories**. Melbourne: CSIRO, p. 231-248, 1981.

TORGGLER, M. G.; CONTEL, E. P. B.; TORGGLER, S. P. **Isoenzimas – variabilidade genética em plantas**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 1995.

TRIBE, G. D. The woodwasp *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera: Siricidae), a pest of Pinus species, now established in South Africa. **African Entomology**, p. 215–217, 1995.

VENCOVSKY, R.; CROSSA, J. Measurements of representativeness used in genetic resources conservation and plant breeding. **Crop Science**, v.43, p.1912-1921, 2003.

VILLACIDE J. M.; CORLEY J. C. Parasitism and dispersal potential of *Sirex noctilio*: implications for biological control. **Agriculture Forest Entomology**, v. 10, p. 341–345, 2008

WANG, L.; REN, L.; LI, C.; GAO, C.; LIU, X.; WANG, M.; LOU, Y. Effects of endophytic fungi diversity in different coniferous species on the colonization of *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae). **Scientific Reports**, 2019.