

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Efeito da maré atmosférica na emergência e atividade de voo em *Dinoderus minutus* (Coleoptera: Bostrichidae)

**Felipe Goulart Gonçalves**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba  
2021

Felipe Goulart Gonçalves  
Licenciado e Bacharel em Ciências Biológicas

Efeito da maré atmosférica na emergência e atividade de voo em *Dinoderus minutus*  
(Coleoptera: Bostrichidae)

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ MAURÍCIO SIMÕES BENTO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba  
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Gonçalves, Felipe Goulart

EFEITO DA MARÉ ATMOSFÉRICA NA EMERGÊNCIA E ATIVIDADE DE VOO EM *Dinoderus minutus* (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) / Felipe Goulart Gonçalves - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 - Piracicaba, 2021.

53 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Broca-do-bambu 2. Relógio biológico 3. Comportamento 4. Zeitgeber  
I. Título

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou na vida acadêmica, principalmente, minha mãe, Valquiria Cordeiro Goulart Gonçalves, meu pai, Milton Elvira Gonçalves, e minha esposa, Jéssica Alissa Bianconi Quaiatte Gonçalves.

O ambiente de convívio do Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos enriqueceu meu aprendizado desde a graduação. Serei sempre grato ao Professor Dr. José Maurício Simões Bento, a técnica Arodi, e a todos os meus colegas que já passaram por lá e agregaram conhecimentos na minha carreira. Durante o curso de mestrado agradeço aos colegas Hugo, Kamila, William, Leonardo, Amanda, Paolo, Liz, Franciele, Diego Silva, Diego Magalhães, Flávia, Morgana, Weliton, Fernando e Denise. Durante esse trabalho em particular, muito se foi discutido sobre as hipóteses e metodologias com parceiros e amigos, por isso meus agradecimentos especiais ao Hugo Leoncini Rainho, Kamila Emanuella Azevedo, Marvin Mateo Pec Hernandez e Davi de Souza Fernandes. Referente ao apoio nas análises estatísticas, agradeço imensamente aos professores Idemauro Antonio Rodrigues de Lara e Rafael de Andrade Moral, e ao colega Marvin Mateo Pec Hernandez.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), agradeço o apoio financeiro durante toda minha formação acadêmica, inclusive no meu curso de mestrado.

## EPÍGRAFE

*“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”*

*Albert Einstein*

**SUMÁRIO**

<b>RESUMO .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1. <i>DINODERUS MINUTUS</i> .....	13
2.2. FATORES ABIÓTICOS .....	14
2.3. MARÉ ATMOSFÉRICA .....	18
2.4. RITMO CIRCADIANO.....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1. LOCAL DE EXECUÇÃO DO PROJETO .....	21
3.2. DADOS METEOROLÓGICOS DE PRESSÃO BAROMÉTRICA .....	21
3.3. CRIAÇÃO DE INSETOS.....	21
3.4. EXPERIMENTOS EM CAMPO E LABORATÓRIO.....	22
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

**Efeito da maré atmosférica na emergência e atividade de voo em *Dinoderus minutus*  
(Coleoptera: Bostrichidae)**

Zeitgeber (do alemão, cronômetro) é um termo cunhado pela ciência para se referir a variáveis que contribuem para o relógio interno dos seres vivos, o que torna possível o ritmo circadiano que é observado desde um organismo unicelular até os seres humanos. Dentre os fatores abióticos destacam-se a temperatura, umidade e luminosidade, que na maioria das vezes apresentam certas variações na superfície da Terra, o que influencia os ritmos biológicos. Da mesma forma, a pressão barométrica pode apresentar pequenas variações de acordo com a latitude, bem como certa variação periódica ao longo do dia, o que é chamado de maré atmosférica. Entretanto, as variações da pressão barométrica exercendo efeito sobre o comportamento de insetos ainda não foram documentadas. Neste estudo, a broca-do-bambu, *Dinoderus minutus* Fabricius, foi utilizada como modelo experimental para avaliar o efeito da maré atmosférica sobre seu comportamento. Foi observado que o horário de emergência no bambu e a atividade de voo de *D. minutus*, em condições de campo e laboratório, coincidiu com o período do dia de menor pressão barométrica da maré atmosférica. O pico de voo em campo para a broca-do-bambu foi registrado as 16h. Ademais, quando estes comportamentos foram observados em câmara barométrica sob condições controladas e com pressão estável ao longo do dia, ou seja, sem o efeito da maré atmosférica, notou-se que o horário de emergência e a atividade de voo, diferiu significativamente das condições de campo e laboratório. Assim, os resultados sugerem que a emergência e a atividade de voo de *D. minutus* foi influenciada pela periodicidade da maré atmosférica.

**Palavras-chave:** Broca-do-bambu; Relógio biológico; Comportamento; Zeitgeber

## ABSTRACT

**Effect of atmospheric tide on emergency and flight activity in *Dinoderus minutus*  
(Coleoptera: Bostrichidae)**

Zeitgeber (from the German, stopwatch) is a term coined by science to refer to variables that contribute to the internal clock of living beings, which makes possible the circadian rhythm that is observed from a single-celled organism to humans. Among the abiotic factors, temperature, humidity and luminosity stand out, which most of the time present certain variations on the Earth's surface, which influences biological rhythms. Likewise, barometric pressure can vary slightly according to latitude, as well as a certain periodic variation throughout the day, which is called an atmospheric tide. However, variations in barometric pressure having an effect on insect behavior have not yet been documented. In this study, the bamboo borer, *Dinoderus minutus* Fabricius, was used as an experimental model to evaluate the effect of the atmospheric tide on its behavior. It was observed that the emergency time in bamboo and the flight activity of *D. minutus*, in field and laboratory conditions, coincided with the period of the day with the lowest barometric pressure of the atmospheric tide. Furthermore, when these behaviors were observed in a barometric chamber under controlled conditions and with stable pressure throughout the day, that is, without the effect of the atmospheric tide, it was noted that the emergency time and the flight activity, differed significantly from the conditions field and laboratory. Thus, the results suggest that the emergence and flight activity of *D. minutus* was influenced by the periodicity of the atmospheric tide.

**Keywords:** Bamboo borer; Biologic watch; Behavior; Zeitgeber

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão ventral (A), e dorsal (B) da broca-do-bambu, <i>Dinoderus minutus</i> . .....	14
Figura 2: Câmara de emergência utilizada para o monitoramento de <i>Dinoderus minutus</i> , em telhas de bambu infestadas. A caixa é completamente selada e a única fonte de luz para o interior da câmara é pelo pote coletor .....	22
Figura 3: Armadilha de interceptação de <i>Dinoderus minutus</i> , contendo atrativo químico utilizada para a coleta de dados do horário de voo. ....	23
Figura 4: Desenho esquemático da câmara barométrica, utilizada para o estudo do efeito da pressão barométrica sobre o comportamento de <i>Dinoderus minutus</i> . 1) Caixa hermética; 2) Transmissores de pressão, temperatura e umidade relativa; 3) Hardware; 4) Bomba a vácuo .....	24
Figura 5: Modelo de registro do comportamento de <i>Dinoderus minutus</i> em placa de Petri, utilizando o software EthoVision .....	25
Figura 6: Pressão barométrica (hPa) média horária registrada nas quatro estações de 2019 em Piracicaba/SP .28	
Figura 7: Horário de voo de <i>Dinoderus minutus</i> (A) baseado no número de insetos coletados durante 13 dias utilizando armadilha de interceptação em campo. Em (B) está representado o número médio de insetos coletados e a média da pressão atmosférica, sendo a barra de erros representando o erro padrão e as letras acima das barras uma indicação de diferenças estatisticamente significativas. ....	29
Figura 8: Valores médios do Início de voo (A) e os registros de Tentativas de voo de <i>Dinoderus minutus</i> em 30 repetições. Em (A), o asterisco (*) indica diferença significativa (teste da razão de verossimilhança, $p < 0,05$ ). ....	29
Figura 9: Proporção de indivíduos de <i>Dinoderus minutus</i> que iniciam o voo na maré atmosférica baixa (às 16 h) e alta (às 10 h). Os valores referentes aos tratamentos correspondem a proporção dos valores brutos e foi analisado por GLM ( $p = 1,0 \times 10^{-6}$ ) .....	30
Figura 10: Valores de velocidade e distância percorrida em 30 min por <i>Dinoderus minutus</i> , nos tratamentos de Maré atmosférica (Maré ATM) baixa (10 h) e alta (16 h).....	31
Figura 11: Frequência de emergência diária (%) da broca do bambu, <i>Dinoderus minutus</i> em (A) campo, (B) laboratório (temperatura, umidade e luminosidade controlada) e em (C) câmara barométrica (temperatura, umidade, luminosidade e pressão controlada). ....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pressão barométrica (hPa) média, mínima e máxima registrada nas quatro estações de 2019, em Piracicaba-SP. Os valores de amplitude média diária também são apresentados. ....	27
Tabela 2: Pressão barométrica (hPa) registrada durante 11 dias de experimentos conduzidos em campo e em laboratório. São apresentados os valores de maré atmosférica (Maré ATM) alta e baixa e sua amplitude diária. ....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mbar	Milibar
kPa	Quilopascal
hPa	Hectopascal
°C	Graus centígrados
mm	Milímetros
cm	Centímetros
km	Quilômetros
cm/s	Centímetros por segundo
Ton	Toneladas
Pressão ATM	Pressão atmosférica
Maré ATM	Maré atmosférica
MIP	Manejo Integrado de Pragas
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FAPESP	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
INCT	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia

## 1. INTRODUÇÃO

Todos os seres vivos interagem com uma gama de outros organismos e estão expostos aos fatores abióticos do ambiente, como temperatura, umidade relativa, luminosidade e pressão atmosférica. Nos insetos – que compõem o grupo de animais mais diversos e difundidos no mundo – estes fatores abióticos podem alterar seus hábitos fundamentais de sua biologia, ecologia, e fisiologia, incluindo, por exemplo, comportamentos de oviposição e busca de hospedeiro, metamorfose e emergência (WINGERDEN et al., 1992; STEFANESCU et al., 2003).

Um dos fatores abióticos mais relevantes e intrínsecos à biologia dos insetos é a temperatura. Devido à ectotermia, o metabolismo dos insetos normalmente é regulado pela temperatura ambiente, que está intimamente associada às atividades exercidas pelos insetos (WILLOT & HASSALL, 1998). A luz é outro fator importante na biologia dos insetos. Por se tratar de um estímulo cíclico perceptível, com ritmicidade precisa no ambiente, demarca a vida diária destes animais (PITTENDRIGH, 1960). Dos organismos unicelulares até as formas de vida mais complexas, há um grande interesse científico na investigação dos mecanismos que regulam este relógio biológico, conhecido por *Zeitgeber* – termo derivado do alemão que significa cronômetro. E dentre estas variáveis que adequam os ritmos circadianos nos seres vivos, a temperatura e a luminosidade aparecem como um dos principais contribuintes (DUNLAP, 1999), além da umidade (PIELOU & GUNN, 1940; ROUSSE et al., 2009).

Existem registros que mostram uma relação importante entre temperatura e umidade, e destas com a pressão barométrica, afetando o voo e taxas de parasitismo de *Fopius arisanus* Sonan 1932 (Hymenoptera: Braconidae), uma vespa parasitoide de moscas-das-frutas (ROUSSE et al., 2009). Particularmente, em relação a pressão barométrica, leves alterações parecem afetar o comportamento do besouro xilófago *Pityophthorus juglandis* Blackman 1928 (Coleoptera: Curculionidae) (CHEN & SEYBOLD, 2014), e do morcego cavernícola insetívoro, *Pipistrellus subflavus* Cuvier 1832 (Chiroptera: Vespertilionidae) (PAIGE, 1995). Em relação a este fator abiótico, dado sua influência no comportamento dos insetos, há estudos desde a década de 1940 (WELLINGTON, 1946), até os anos atuais (MARCHAND & MCNEIL, 2000; CRESPO & CASTELO, 2012; PELLEGRINO et al., 2013; ZAGVAZDINA et al., 2015; DAGAEFF et al., 2016; MARTINI & STELINSKI, 2017; SUJIMOTO et al., 2020). Entretanto, dentre as leves oscilações diárias e ritmicas da pressão barométrica, conhecidas como ‘maré atmosférica’ (LE BRANCO, 2011), ainda pouco se sabe sobre seus possíveis efeitos no comportamento dos insetos.

A maré atmosférica consiste na oscilação da pressão barométrica, que ao longo de 24 horas, pode variar em média 3 hPa, tendo quatro movimentos de maré atmosférica por dia, sendo dois picos de maré atmosférica alta, um às 22 h e outro às 10 h, sendo este último de maior valor do dia, e outros dois movimentos de maré atmosférica baixa, às 16 h de menor valor do dia, e outro às 4 h. Essa característica está presente em todo o mundo, sendo mais suave nos pólos e mais acentuada na linha do equador (LE BRANCO, 2011). As forças que regem a maré atmosférica são exercidas pela força gravitacional do sol e da lua sobre a Terra, além da radiação solar por meio da temperatura (CHAPMAN & LINDZEN, 2012).

Existem outros relógios biológicos como aqueles regulados pela maré oceânica. É o caso do ‘relógio circamaré’, em que a quantidade de horas do ciclo de alguns organismos é regulada em 24,8 horas, devido ao

ciclo das marés oceânicas altas e baixas serem de 12,4 horas (WILCOCKSON & ZHANG, 2008). Portanto, há evidências de ritmos biológicos regidos pela percepção da pressão de fluídos no ambiente, o que torna a hipótese de que a maré atmosférica plausível ser validada em laboratório.

Devido a sua grande diversidade e ampla distribuição sobre todos ecossistemas terrestres, a ordem Coleoptera apresenta uma grande riqueza de nichos e relações ecológicas, o que a torna um interessante modelo para estudos sobre história natural. A família Bostrichidae é composta por besouros conhecidos como '*powder-post beetles*' ou 'besouros da pólvora', sendo esse nome devido as larvas que se alimentam de madeira e produzem uma serragem caracterizada como um pó muito fino. Além disso, grande parte destes insetos apresenta hábitos crípticos, por serem coleobrocas xilófagas (FISHER, 1950), o que os tornam uma boa alternativa para estudos sobre o efeito da pressão barométrica, já que sua história natural inclui um ambiente, que precede a emergência do substrato e voo, com pouca variação de outros fatores abióticos como temperatura, umidade e luminosidade, em razão de viverem no interior da madeira.

Considerando que a maré atmosférica pode compreender à variável geofísica misteriosa citada por Brown (1972), a qual regula ritmos circadianos em seres vivos, o presente trabalho levanta a hipótese onde esse fenômeno influencia a ciclicidade de comportamentos relacionados a dispersão de alguns insetos, o que objetivou a investigação sob essa ótica a emergência do bambu e voo de *Dinoderus minutus* Fabricius 1775 (Coleoptera: Bostrichidae).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. *Dinoderus minutus*

*Dinoderus minutus* (Figura 1), conhecido popularmente como broca-do-bambu, é um bostríquídeo de distribuição pantropical, sendo introduzido em algumas regiões temperadas (FISHER, 1950). Com dimorfismo sexual imperceptível na fase de imago, a diferenciação sexual somente é possível por exposição da genitália (ABOOD et al., 2010). Seu corpo é cilíndrico, de coloração preto-acastanhada, com a base do élitro castanho-avermelhada e mede cerca de 3,5mm de comprimento e 1,5mm de largura (FISHER, 1950). Como produz sete gerações em um ano (LIU et al., 2008), esse bostríquídeo é uma praga severa do bambu armazenado ou estrutural (WATANABE et al., 2015), sendo reportado também como responsável por causar danos em lâminas de madeiras de Axixá (*Sterculia* sp.), Amescla (*Trattinickia burseraefolia* (Mart.) Wild.), Bandarra (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke 1994), Copaíba (*Copaifera* sp.), Sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) e Tauari (*Couratari* sp.) (MATOSKI & ROCHA, 2006). No Brasil, dentre as espécies de bambu mais abundantes, *Bambusa vulgaris* Nees. é apontada como a mais suscetível a ataques da broca, enquanto *Bambusa multiplex* (Lour.) Raeusch. ex Schult. apresenta uma grande resistência a essa praga (da SILVA et al., 2019). O ciclo de vida da broca-do-bambu, em *B. vulgaris* em temperatura constante, pode variar desde 50 dias, em temperaturas elevadas, até 140 dias, em baixa temperatura, sendo que em temperatura constante de 25 °C, é por volta de 63 dias (GARCIA & MORRELL, 2009). Há registros de ocorrência de sete gerações da broca-do-bambu por ano em regiões tropicais, porém em regiões temperadas, a espécie pode apresentar somente uma geração, sendo que a passagem do inverno de maneira mais eficiente é realizada pelo adulto (LIU et al., 2008). É comum que imagos de Bostrichidae permaneçam vivos por mais de um mês (LIU et al., 2008) e *D. minutus* apresenta uma longevidade de 40 dias em média para a fase adulta (NORRISHAM et al., 2015), além dos oito dias em que os adultos permanecem dentro do bambu como teneral até a sua maturação (WATANABE et al., 2017). Esse longo período de vida dos adultos é muito relevante de ser investigado, já que pode refletir características ecológicas importantes sobre a espécie pela interação que esses besouros têm com o ambiente (CAREY, 2001).

Mesmo sendo uma praga que causa danos severos ao bambu, ainda há muitas lacunas no conhecimento sobre a história natural de *D. minutus*, como os relacionados aos aspectos biológicos de ocorrência diária, aos horários de voo e de acasalamento, e ao comportamento sexual. Mas alguns trabalhos abordaram a sazonalidade, bem como a influência dos fatores abióticos e ciclo de vida. No Brasil, Silveira e colaboradores (2017), utilizando armadilhas iscadas com bambu, reportaram que o aumento da pluviosidade favorece a captura desse bostríquídeo. Em contrapartida, Garcia e Morell (2008) obtiveram resultados contrários a esses em experimentos nas Filipinas, demonstrando que a sazonalidade de *D. minutus* é relacionada às épocas quentes e de baixa pluviosidade juntamente com a baixa quantidade de amido nos colmos, recomendando que a colheita de bambus seja feita no início ou durante as épocas de chuva.

Existem vários estudos que envolvem a bioecologia de *D. minutus*, como o que aborda o manejo da praga e aspectos relacionados a sua criação em laboratório (GARCIA, 2005), o que utiliza o som produzido pelo

comportamento alimentar das larvas e adultos para amostrar de maneira não-destrutiva a sua biologia (WATANABE et al., 2015), e que avalia o efeito de um neonicotinoide na colonização dessa praga (ACDA, 2008). Mas mesmo considerando esses e outros estudos que apresentam resultados importantes para a aplicação de um manejo ideal na ocorrência desse inseto em bambu, ainda faltam avaliações sobre o comportamento e ecologia química para estruturar e implementar o Manejo Integrado de Pragas (MIP).

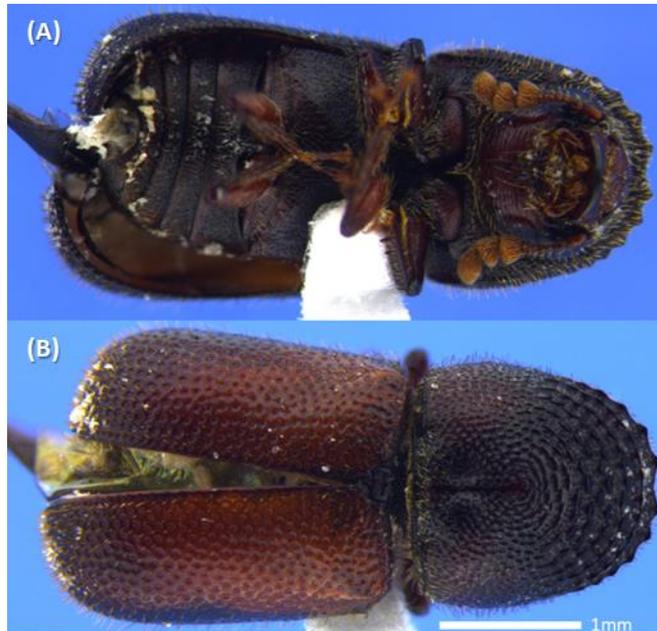


Figura 1: Visão ventral (A), e dorsal (B) da broca-do-bambu, *Dinoderus minutus*.

## 2.2. Fatores abióticos

A sazonalidade claramente influencia a dinâmica dos insetos, com registros de sua influência conjunta com fatores climáticos no comportamento de besouros fitófagos e predadores (BORGEMEISTER et al., 1997). Os estudos sobre o efeito dos fatores abióticos nos insetos podem ser facilmente relacionados a uma realidade em escala global pela ubiquidade que o clima tem em nosso planeta. Como mencionado anteriormente, a temperatura pode regular e impactar diversos aspectos bioecológicos, como na fenologia, na distribuição das espécies ao longo de gradientes ecológicos e geográficos (MENÉNDEZ, 2007), na abundância, na herbivoria (RASSMAN et al., 2014) e na emergência de adultos na madeira (SAUNDERS & KNOKE, 1968). Os outros fatores abióticos também se relacionam com esse cenário, como exemplo a variação da umidade relacionada à atividade dos insetos xilófagos (JAWOSKI & HILSZCZANSKI, 2013; CHEN & SEYBOLD, 2014) e parasitoides (ROUSSE et al., 2009). Tudo isso demonstra a importância de conhecermos os aspectos básicos da biologia dos insetos e como a mudança de fatores abióticos podem modificar a sua história natural.

Os principais *Zeitgeber* abióticos registrados em literatura científica são a temperatura, umidade e, principalmente, a luminosidade (FLEISSNER, 2002). É atribuída a ênfase para a luminosidade devido ao grande número de trabalhos que já foram realizados com diversas espécies, nos quais experimentos em laboratório

demonstram a mudança de fase no comportamento dos organismos de forma clara, o que confere a esse fator uma alta influência para a ritmicidade biológica. Vale ressaltar que todos esses fatores estão direta ou indiretamente ligados ao sol e à dinâmica de rotação da Terra.

Não é à toa que civilizações antigas veneravam o sol como símbolo divino, ou também tinham a concepção da nossa principal estrela ser o centro do universo, pois claramente ele fornece a luz e temperatura que é demandada para atividades importantes para as sociedades humanas e para a maioria dos seres vivos. Sem dúvidas existem diversas variáveis emitidas pelo sol que são mensuráveis, mas a luz talvez seja a mais efetiva para os seres humanos como *Zeitgeber*, devido ao efeito na produção de melatonina, hormônio que marca fortemente um ritmo circadiano (ARENDR & BROADWAY, 1987). Pittendrigh (1960) reuniu estudos importantes para estabelecer o conceito de *Free-running*, os quais na maioria foram derivados do fotoperiodismo e baseados em 24 horas de luz, escuro ou proporções de luz e escuro, demonstrando que a luz contínua afeta o relógio biológico de diversas espécies, como *Drosophila melanogaster* Meigen 1830 (Diptera: Drosophilidae). Este o inseto-modelo apresenta certa aperiodicidade sob essa condição quando em temperatura constante, o que também atribui a esse segundo fator certa importância na regulação do ritmo circadiano.

A temperatura tem um destaque quando se diz respeito a mudanças na fisiologia e comportamentos dos artrópodes. Por serem ectotermos, muitas vezes eles dependem da temperatura externa para iniciar ou manter uma taxa metabólica alta necessária para processos fisiológicos e comportamentais. No contexto de obtenção de energia térmica, é salva essa condição aos insetos que conseguem calor pela atividade muscular, geralmente oriunda dos músculos alares. Um exemplo de sua influência em situações naturais está nos estudos sobre mudanças climáticas. Jaworski e Hilszczanski (2013) apontam o aquecimento global como um fator que favorece os organismos euritópicos, pois sobrevivem em uma ampla faixa de variação do ambiente, os polípagos, por sua capacidade de colonizar e se alimentar em diversas paisagens, e as espécies termófilas aumentar sua ocorrência em altas altitudes e latitudes. Existem trabalhos que investigaram a ocorrência de insetos no ambiente em certas faixas de temperaturas, como foi registrado a atividade do besouro tigre *Cephalota circumdata* Dejean 1822 (Coleoptera: Carabidae) entre 30 e 33 °C e de maior número de cópulas entre 34 e 35 °C (EUSEBI et al., 1989), dados semelhantes foram registrados para *Drosophila sukukii* Matsumura 1931 (Diptera: Drosophilidae) (HAMBY et al., 2016). A respeito do comportamento de voo, Perez-Mendoza e colaboradores (2014) registraram certa faixa de temperatura dessa atividade para *Tenebrio molitor* Linnaeus 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) em seu estudo a respeito de fatores abióticos influenciando pragas de produtos armazenados.

A umidade é um fator abiótico importante que modifica o comportamento dos insetos, como demonstrado por Pielou e Gunn (1940) quando investigaram o efeito e mecanismos de percepção desse estímulo utilizando ensaios comportamentais e experimentais com *T. molitor*. Em outro organismo-modelo, *Manduca sexta* Linnaeus, 1763 (Lepidoptera: Sphingidae), tem-se registrado a limitação de atividades durante dias secos, que estão relacionadas com a presença e manutenção de água no organismo (CONTRERAS et al., 2013). Outros aspectos biológicos estão ligados com a umidade relativa do ar, como na eclosão de ovos em alguns insetos. Em baixas e altas umidades o sucesso na taxa de eclosão dos ovos de *D. minutus* é baixo (Norhisham et al., (2013), e o mesmo ocorre com *Nezara viridula* Linnaeus 1758 (Hemiptera: Pentatomidae) (HIROSE et al., 2006) e *Triatoma brasiliensis* Neiva 1911 (Hemiptera: Reduviidae) (GUARNIERI et al., 2002).

Em relação a pressão barométrica, os estudos pioneiros com insetos datam do início do século XX (WELLINGTON, 1946). Este autor realizou um trabalho muito importante devido ao aspecto integrativo das informações que existiam e da formulação de novas hipóteses considerando diversos aspectos que envolvem a pressão atmosférica. Um ponto crucial do trabalho foi a classificação de estudos que investigam a fisiologia dos insetos, em que as condições artificiais avaliadas vão muito além das naturais, e a de investigação no âmbito ecológico, que buscam a explicação dos efeitos da pressão barométrica na biologia e história natural dos insetos. Nessa revisão, vários aspectos foram investigados minuciosamente e até é mencionada a oscilação diária da pressão atmosférica e é investigado o efeito de leves alterações da pressão barométrica no comportamento de diversos insetos. Porém não foi mencionado o conceito de maré atmosférica, e tampouco uma metodologia para considerar esse fenômeno nas análises do comportamento. Sua menção se resume à citação da ocorrência de um ciclo de 12 horas em que há o pico de pressão diário às 10 h e os valores mais baixos às 16 h. Mesmo sendo um trabalho realizado há quase 80 anos, se trata de uma revisão com uma abordagem bem atual em relação aos fatores abióticos, com experimentos em campo e em laboratório, utilização de câmaras barométricas e de metadados.

Considerando as leves variações da pressão atmosféricas, Wellington (1946) menciona a impossibilidade do suposto efeito da mudança na concentração de oxigênio e da taxa de evaporação. Observações de campo apontam que pequenas quedas e elevações da pressão atmosférica podem aumentar a taxa de atividades desempenhadas pelos insetos e que essas mudanças comportamentais podem independe da variação de temperatura e umidade pela sua ocorrência num amplo espectro desses fatores. Dentre os eventos relacionados a essas condições atmosféricas de leves variações estão o comportamento de migrações de *Locusta migratoria* (Linnaeus 1758) (Orthoptera: Acrididae) e de *Vanessa cardui* Linnaeus 1758 (Lepidoptera: Nymphalidae), da atividade locomotora em moscas varejeiras, e também em experimentos de coletas aéreas de Diptera, Coleoptera e Hymenoptera, e de emergência pupal em *Pieris rapae* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Pieridae).

Outro ponto importante abordado por Wellington (1946) é sobre a habilidade dos insetos de perceberem a variação da pressão barométrica como uma pista ambiental do início de um evento meteorológico, que pode ser mortal para esses animais diminutos em tamanho. Essa informação é suportada pelas condições naturais de variação barométrica, que incluem a movimentação horizontal ou vertical de ar, as zonas de baixa e alta pressão (como a chegada de frentes quentes e frias, respectivamente), e o surgimento de nuvens cumulonimbus. Essas variações são decorrentes das características que o ar movimentado possui, pois a quantidade de água e temperatura influenciam no peso da coluna de ar, já que o peso molecular da água é menor que o peso médio dos componentes mais abundantes do ar ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ ) e a temperatura tem um efeito físico nas moléculas do ar, as expandindo e fazendo com que menos ar caiba na coluna de ar, o que diminui o peso dessa coluna e acarreta nos fenômenos de movimentação de ar, o vento.

Vários estudos de comportamento de insetos visam desvendar cada vez mais suas habilidades de previsão meteorológica, sendo que essa capacidade pode ser vital devido à letalidade que vendavais e tempestades podem afetar os pequenos animais (WELLINGTON, 1946). Essa linha de pesquisa pode ser de grande interesse econômico, e o entendimento a respeito do comportamento de insetos-praga e inimigos

naturais no ambiente pode subsidiar novas linhas de pesquisa e técnicas de manejo aplicado, como o MIP (ROUSSE et al., 2009; PELLEGRINO et al., 2013; SUJIMOTO et al., 2020).

A previsão de situações meteorológicas adversas por insetos foi demonstrada para o parasitoide *F. arisanus*, importante inimigo natural de moscas-das-frutas (Tephritidae), e que o comportamento de início de seu voo é relacionado a pequenas quedas de pressão barométrica (ROUSSE et al., 2009). Com uma abordagem semelhante, Dagaeff e colaboradores (2016) investigaram a relação da variação da pressão barométrica e o aprendizado da escolha de um parceiro sexual em *D. melanogaster*. Nesta espécie, as fêmeas aprendem a escolher seus parceiros sexuais baseadas na experiências de outras fêmeas que foram assistidas nesse processo (*mate copying*) e, quando há leves quedas de pressão as fêmeas investem menos tempo nessa atividade (DAGAEFF et al., 2016). Outra abordagem sobre esse fator abiótico, as quais envolvem grandes tempestades e tornados, são a respeito de variações extremas na pressão atmosférica, nas quais são registradas mudanças súbitas de 50 hPa. Nesse âmbito, foi testado o comportamento de voo de *Trichogramma evanescens* Westwood 1833 e *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), sendo registrada a redução da atividade de voo dessas microvespas diante de mudanças bruscas e de grande magnitude (FOURNIER et al., 2005).

Um aspecto interessante a respeito da percepção da pressão atmosférica pelos insetos é o limite em que essa pista passa a alterar o comportamento. O comportamento de forrageio de *Mallophora ruficauda* Wiedemann 1828 (Diptera: Asilidae), por exemplo, foi significativamente incrementado quando a pressão atmosférica variava menos de 0,85 hPa em uma hora e meia, enquanto sua movimentação foi considerado aleatório quando a variação barométrica excedia esse valor (CRESPO & CASTELO, 2012). Um fato interessante de ser mencionado nesse trabalho é o fenômeno da maré barométrica, também conhecida como maré atmosférica, mas ele não foi considerado na análise dos dados.

A respeito das estruturas responsáveis pela percepção da pressão exercida pelo ar, Wellington (1944) descreveu o fenômeno “*Barotaxis*”, em que um dado comportamento ligado a uma mudança de pressão atmosférica e a excitação de um órgão responsável pela percepção, a arista da antena de um Diptera que respondeu “baronegativamente”. O mesmo autor sugere que estruturas de percepção sonora têm o potencial de perceber as variações da pressão atmosférica (WELLINGTON, 1946). Uma outra hipótese que existe sobre a percepção da pressão barométrica, mas que ainda não foi comprovada, foi levantada por Bennet e Borden (1971), onde ao encontrarem quantidades diferentes de uma bolha de ar no esôfago de duas espécies de escolitíneos, eles indagaram a respeito da função que o comportamento de engolir ar poderia ter na percepção da pressão atmosférica. Outra estrutura foi estudada para essa função, os sensilos higrorreceptores, que funcionam pela mudança de pressão exercida na parede celular dessas estruturas, que podem ocorrer pela turgidez da célula (umidade) ou por pressão externa (pressão do ar), acarretando na constrição dos dendritos quando a umidade ou pressão do ar é elevada ou em sua expansão quando ocorre o contrário (TICHY & KALLINA, 2010).

### 2.3. Maré atmosférica

A oscilação diária da pressão barométrica, chamada de maré atmosférica, ocorre normalmente ao longo de 24 horas, e apresenta dois movimentos de alta e de baixa (LINDZEN, 1978). Às 4 h, ocorre a “maré atmosférica baixa”; às 10 h, o maior valor da “maré atmosférica alta”; às 16 h, o menor valor de “maré atmosférica baixa”; e às 22 h, outra “maré atmosférica alta. Isaac Newton, em sua obra *Principia Mathematica* (1687), lançou uma hipótese em que, assim como os oceanos, a atmosfera também apresentaria um comportamento de maré. Atualmente, estudos meteorológicos investigaram os fatores que influenciam na maré atmosférica, como a ação térmica do sol e a gravidade (CHAPMAN & LINDZEN, 1970), o efeito gravitacional da lua e do sol (FORBES, 1982), e até mesmo o efeito da maré atmosférica na incidência de raios UV na superfície da Terra (COOPER, 1982). Basicamente, esse é um fenômeno causado pela interação gravitacional do sol e da lua com a atmosfera terrestre, como também pela sua composição. Devido à íntima interação da lua e da temperatura com a maré atmosférica, a qual atua em escala sinótica (em extensão de até 2000 km), diferentes lugares da Terra apresentam oscilações diferentes da pressão barométrica durante o dia. Como exemplo, essa oscilação diária é de 0,3 hPa em média para regiões polares, enquanto em regiões tropicais ela pode ser superior a 3 hPa em média (Le BLANCO, 2011). Embora seja um fenômeno estudado em diversos países no âmbito da meteorologia, a maré atmosférica nunca foi investigada especificamente como um fator abiótico influenciando na biologia e comportamento de insetos ou de qualquer outro organismo, pois os estudos que relacionam a pressão barométrica e a etologia normalmente são focados nas investigação de pistas ambientais que são identificadas para contornar situações meteorológicas adversas, como as chuvas, as tempestades ou os ciclones. Contudo, a clássica obra a respeito da pressão barométrica como fator abiótico que influencia o comportamento de insetos (WELLINGTON, 1944) ressalta a relevância dos estudos desse fator abiótico em comparação à temperatura e à umidade.

### 2.4. Ritmo circadiano

É um fato que a organização é essencial para o funcionamento dos seres vivos, considerando desde o contexto reducionista, em que a composição de uma célula e suas organelas formam um ambiente favorável para a ação de diversas moléculas, como as enzimas, até uma visão macroscópica, no qual o comportamento é fundamental para o sucesso reprodutivo dos animais. Os fenômenos cíclicos biológicos são uma maneira de organização temporal observados na história natural dos organismos, apresentando um mecanismo interno que funciona como um relógio (BELL-PEDERSEN et al., 2005), sendo de extrema importância para a sobrevivência dessas espécies.

Os ritmos circadianos são eventos demarcados por um ciclo de 24 horas que podem ser observados na maioria dos organismos. Esse fenômeno é regulado por um fator autônomo endocelular que consiste num ciclo bioquímico diário de base molecular (DUNLAP, 1999), e que se manifesta fisiológica e comportamentalmente. Fatores exógenos contribuem para a formação desses relógios celulares, de maneira que eles são sincronizados ou condicionados quando são estímulos significativos, como o fotoperíodo e a temperatura (SCULLY & KAY, 2000). Portanto, esses fatores celulares circadianos, que são chamados de

osciladores, precisam de um ponto de referência para se regularem, o qual é uma pista oriunda do ambiente, o *Zeitgeber*, que tradicionalmente é mencionado como uma variável forte e incisiva na mudança de fase dos ciclos biológicos.

Brown (1959) discutiu a dependência dos ritmos biológicos a fatores geofísicos, contrariando a teoria de sua época de que os mecanismos internos de regulação do ciclo circadiano dos organismos vivos eram inatos e independentes dos fatores externos. O principal ponto de Brown foi formular uma hipótese de que algum fator abiótico, ainda não-identificado ou investigado, pudesse regular um comportamento com padrão cíclico, mesmo em condições de laboratório, onde o ambiente estaria com temperatura e luminosidade controladas. Essa situação foi, e ainda é, alvo de vários estudos, o que guiou a descoberta do mecanismo *Free-running* presente em diversos grupos de organismos (PITTENDRIGH, 1960). Brown discordou de Pittendrigh argumentando que não haviam provas para suportar uma hipótese em que um relógio biológico interno teria a capacidade de regular-se sem um referencial físico do ambiente, apontando que possivelmente esses fenômenos comportamentais cíclicos observados em laboratório estariam ligados a uma variável geofísica desconhecida (PITTENDRIGH, 1960), culminando na Teoria de *Zeitgeber* sutil (BROWN, 1976). Contudo, devido ao avanço do conhecimento científico contemporâneo, os dois pesquisadores tinham certa parcela de razão, já que a visão de referencial de Brown e da existência do *Free-running* é verificada. Diversos comportamentos podem ser identificados como circadianos, como o de eclosão e emergência em insetos (SHEEBA et al., 1999), locomoção e forrageio de vertebrados e invertebrados (PITTENDRIGH, 1960; BROWN, 1972), contribuindo essencialmente para a dinâmica populacional e ecológica dessas espécies.

A unidade de medida fixa do relógio biológico não deve ser o dia, pois diferentes organismos possuem histórias naturais distintas e, portanto, demandam um ritmo biológico com durações diferentes (ASCHOFF, 1960). Existem ritmos biológicos que duram cerca de 24 horas, como o ritmo circamaré, em que o comportamento de organismos marítimos é regulado em períodos que são fiéis aos eventos de maré, como ocorre com o platelminto *Convoluta roscoffensis* Graff 1891, que migra verticalmente na coluna d'água marítima rasa e se enterra no substrato antes da volta da maré. Keeble (1910) realizou um experimento em laboratório e observou que ao retirar esses platelmintos do mar, eles persistiam nesse ritmo, mas em pouco tempo o ritmo cessava. Esse estudo é um exemplo de que existem *Zeitgeber* diferentes dos clássicos demonstrados em vários estudos, além de ser o primeiro trabalho que demonstrou o fenômeno *Free-running*, mas nele não foi discutido especificamente essa permanência num ciclo mesmo sem as principais pistas ambientais de sincronização.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local de execução do projeto

Todos experimentos, coleta de dados e criação de insetos foram conduzidos nas dependências do Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos, incluso no Departamento de Entomologia e Acarologia da Universidade de São Paulo, campus “Luiz de Queiroz” (ESALQ), o qual faz parte e cedia o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) Semioquímicos na Agricultura, programa conduzido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) estabelecendo parcerias com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e outras instituições ou empresas relacionadas ao financiamento de pesquisas científicas no Brasil.

#### 3.2. Dados meteorológicos de pressão barométrica

Os dados meteorológicos obtidos nesse trabalho foram coletados da base de dados da Estação Meteorológica automática do Departamento de Biosistemas, da ESALQ, sendo os dados da pressão barométrica registrados a cada 15 minutos. No caso de erro pontual do registro de algum horário, como dados faltando, foi realizado uma média para os valores daquele horário, e quando houve falta generalizada para vários horários de um dia, a sequência foi desconsiderada. Nessa base de dados os valores são registrados em kPa, como nesse trabalho foi padronizada a medida mbar, os dados foram multiplicados por 10 para que a unidade fosse convertida para hPa, que equivale ao mbar. O endereço eletrônico utilizado para acessar os dados meteorológicos foi <http://www.leb.esalq.usp.br/posto/>.

Para o ano de 2019, foram monitorados e organizados os dados de pressão barométrica a fim de verificar a ocorrência da maré atmosférica durante o ano, utilizando um intervalo de duas horas entre cada registro e separando os dados em anual e em cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera). As estações foram determinadas pelos seguintes dias de maneira respectivamente sucessiva: 20 de março para o início do outono, 21 de junho para o inverno, 22 de setembro para a primavera e 21 de dezembro para o verão.

A fim de realizar uma melhor observação dos dados, foram calculados os valores brutos máximos e mínimos de cada estação e da média anual, além da diferença entre o maior e o menor valor médio em cada situação, para que fosse obtida a amplitude média. Todos os dados foram tabulados, organizados e plotados utilizando o software Excel do pacote Office 2016 (Microsoft®).

#### 3.3. Criação de insetos

Para o início da criação de *D. minutus* em laboratório, foram expostos pedaços do colmo de *B. vulgaris* no estilo “telha”, que consiste em um internó e um nó cortados ao meio, próximo a um bambuzal no bairro Santa Rita na cidade de Piracicaba. Logo após os sinais de broqueamento, o qual consiste na produção de uma serragem

bem fino, as telhas foram retiradas do campo e levadas ao laboratório. Após a etapa anterior, as telhas de bambu foram acomodadas em uma câmara de emergência, a qual consiste numa caixa preta projetada para que após a emergência de insetos de um substrato, eles caiam em um pote coletor (Figura 2). Basicamente, a câmara de emergência é uma caixa preta escura onde há somente um orifício para a entrada da luz, no qual é acoplado um pote translúcido para quando algum inseto for atraído por essa luz, caia no pote coletor e possa ser facilmente manipulado ou contabilizado. Esporadicamente foram realizadas limpezas na câmara de emergência, pois a alimentação da broca-do-bambu se resulta na produção de muita serragem, o qual pode atrapalhar no design de coleta da caixa, sendo que nessas ocasiões, se necessário, eram adicionadas novas telhas de bambu sem sinais de ataque. Para a realização de experimentos diferentes, foram mantidas câmaras de emergência fora do laboratório e em sala climatizada ( $25 \pm 1$  °C,  $60 \pm 10\%$  UR, 12 h de fotofase).



**Figura 2:** Câmara de emergência utilizada para o monitoramento de *Dinoderus minutus*, em telhas de bambu infestadas. A caixa é completamente selada e a única fonte de luz para o interior da câmara é pelo pote coletor

### 3.4. Experimentos em campo e laboratório

#### Coleta dos dados de voo e de emergência da madeira

Os dados de emergência de *D. minutus* foram coletados seguindo a metodologia de Saunders e Knoke (1968), onde a emergência de insetos foi avaliada a cada duas horas das 6 até as 20 h, abrindo o pote coletor e retirando os insetos para contagem, portanto, o pote coletor era esvaziado a cada duas horas. Esse monitoramento de emergência foi realizado aproveitando o design do container que segue como uma câmara de emergência (Figura 2), onde um pote translúcido é acoplado a uma caixa escura, a fim de ser a única fonte de luz disponível para os insetos que emergirem do bambu. Dessa forma, após a emergência, os insetos são atraídos

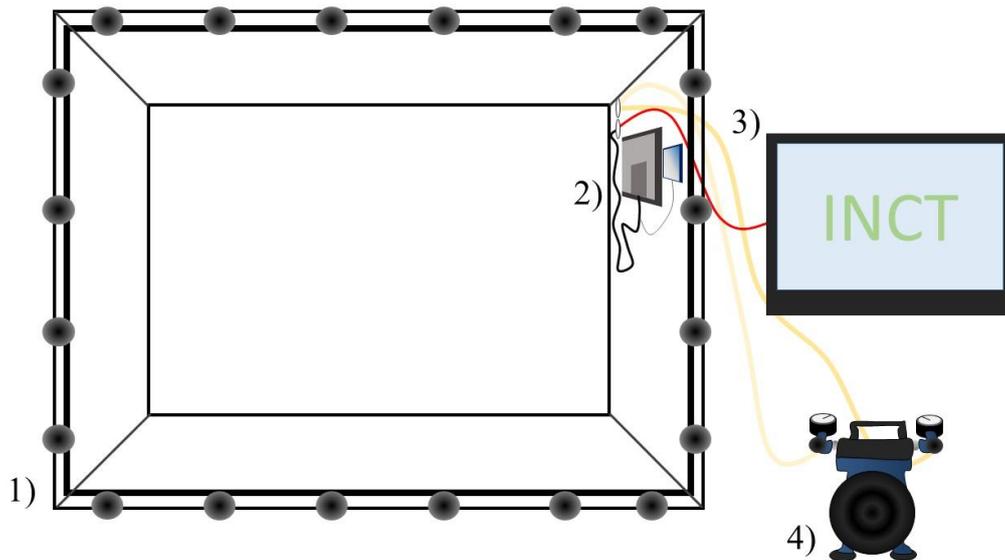
pela luz e caem no pote coletor, para que então seja contabilizado visivelmente o número de insetos que emergirem durante duas horas. Da mesma forma foi realizado um monitoramento utilizando uma armadilha de interceptação com atrativo químico (Figura 3) para obter dados a respeito do horário de voo de *D. minutus* em campo, no qual também foi realizada uma sexagem dos indivíduos expondo a genitália de cada espécime em microscópio estereoscópico. Esse experimento contou com 14 repetições (dias) e foi realizado próximo às dependências do Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos, onde haviam telhas de bambu (*B. vulgaris*) infestadas pela broca do bambu. Esses experimentos foram realizados entre os dias 19/06/2020 e 10/07/2020. O atrativo utilizado foi testado em campo posteriormente, mas os dados ainda não foram publicados.



**Figura 3:** Armadilha de interceptação de *Dinoderus minutus*, contendo atrativo químico utilizada para a coleta de dados do horário de voo.

Durante os experimentos em ambiente aberto, em cada hora de coleta foram registrados a temperatura e umidade instantânea no local em que o container estava localizado utilizando um termo higrômetro. Já dentro do laboratório, em sala climatizada, a variação na temperatura e umidade foi controlada e monitorada constantemente. Para ambas as situações, os dados de pressão atmosférica foram coletados no site oficial da Estação Meteorológica Automática da Área de Agrometeorologia do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ.

Outro experimento realizado a respeito da emergência de *D. minutus* foi com o controle da pressão barométrica, o qual contou com uma câmara barométrica (Figura 4), descrita no trabalho de Sujimoto e colaboradores (2020). A câmara barométrica tem dimensões de 40 x 90 x 70 centímetros e é totalmente automatizada, onde um programa é feito para estabelecer um método de regulação da pressão no interior da câmara. O equipamento conta com a caixa hermética de acrílico que compreende a câmara de experimentos, onde no seu interior apresenta um sensor de pressão barométrica Young 61302V, apresentando também duas válvulas para o controle da pressão interna, as quais estão ligadas a uma bomba a vácuo Millipore WP61. Comunicando bomba e câmara tem duas válvulas solenoide modular de controle de fluxo, modelo SCG202A004, marca ASCO, com orifício de 4 mm, as quais são acionadas individualmente pelo software controlador. O sistema de controle é composto por um microcontrolador, modelo ATmega328P, e um sistema supervisório. O hardware de supervisão é um Single-board modelo Raspberry PI 3 B, com software de sistema operacional Linux com distribuição Raspbian.



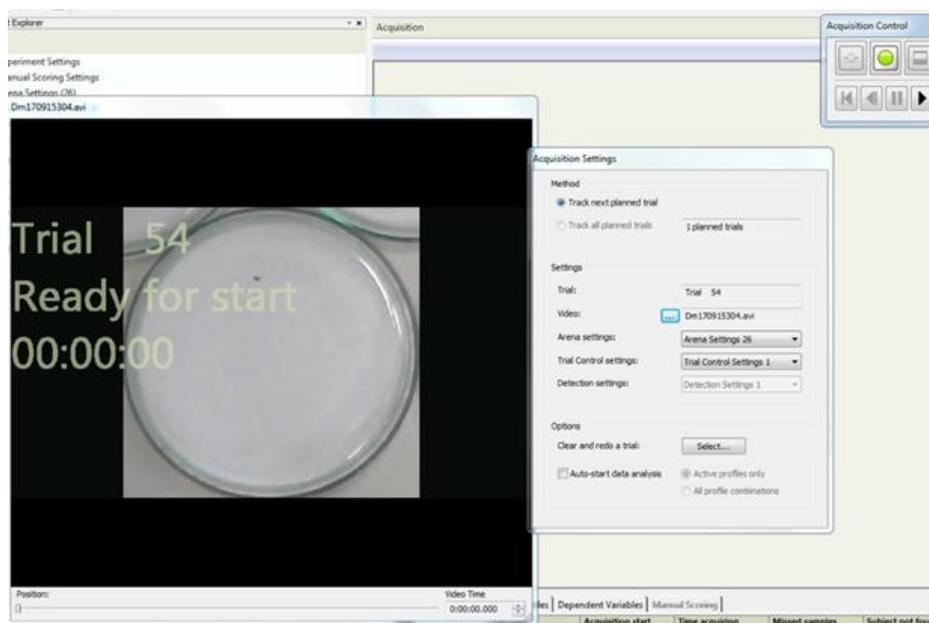
**Figura 4:** Desenho esquemático da câmara barométrica, utilizada para o estudo do efeito da pressão barométrica sobre o comportamento de *Dinoderus minutus*. 1) Caixa hermética; 2) Transmissores de pressão, temperatura e umidade relativa; 3) Hardware; 4) Bomba a vácuo

O programa de controle utilizado foi desenvolvido por Eric Alberto da Silva ME, e permite que possa ser programado por hora e data específica para que um método com curva de pressão possa ser executado. Para isso, foi estabelecido uma pressão de referência baseada na média da pressão diária, 950 hPa, a qual inicialmente é alcançada pelo sistema da câmara, na qual irá permanecer por uma hora para efeito de aclimação. Após essa fase, a próxima pressão que a câmara irá alcançar é a de 942 hPa, na qual permaneceu constante por 22 horas,

a fim de compreender todos os horários de contagem de insetos do experimento, que foi das 8 até as 22 h. Cada rampa de pressão teve uma duração de 30 minutos. Todos os dias a câmara iniciou esse processo as 10:30 da noite, finalizando o método as 22 h do próximo dia. Durante todo o experimento uma câmara de emergência foi colocada dentro da caixa de pressão para ser realizada a contagem dos insetos emergentes, a qual foi acumulativa para cada dia, sendo esvaziado o pote coletor somente no final do método de pressão. Foi fixado 942 hPa para esse experimento devido a corresponder ao menor valor registrado no ano anterior, dessa forma, ao final de cada dia de experimento a pressão no interior da câmara sempre subia, pela abertura do equipamento, para posteriormente descer seguindo o método descrito acima. A data de realização desses experimentos foi entre os dias 07/09/2020 e 16/09/2020

### Ensaios comportamentais

Um etograma foi construído baseado na observação do comportamento de início de voo a fim de identificar possíveis alterações no comportamento de *D. minutus* frente a oscilação da pressão diária. Os insetos utilizados nesses experimentos foram criados *in vivo* em laboratório, utilizando telhas de bambu (*B. vulgaris*), como citado anteriormente a respeito da coleta de besouros, os quais serão coletados da câmara de emergência um dia antes do experimento e aclimatados na sala de experimentos em potes plásticos contendo papel de filtro esterilizado.



**Figura 5:** Modelo de registro do comportamento de *Dinoderus minutus* em placa de Petri, utilizando o software EthoVision

Considerando o contexto de ciclo circadiano, um detalhe importante a respeito da criação em laboratório relacionado a este experimento é que a aclimação da câmara de emergência em laboratório foi realizada num período de 5 meses antes dos experimentos, para assegurar que os insetos utilizados não teriam experienciado qualquer variação de fatores abióticos evidentes (temperatura e umidade) a não ser o efeito da maré atmosférica. Esse experimento, que foi realizado a fim de observar o efeito da maré atmosférica no

comportamento de início de voo de *D. minutus*, consistiu numa análise contínua, na qual apenas um inseto foi colocado em uma arena que consistiu numa placa de Petri de vidro com 15 cm de diâmetro contendo papel filtro, o qual foi filmado por 30 minutos (Figura 5). Esses experimentos foram realizados as 10 h, período no qual a pressão barométrica se encontra mais elevada em relação a maré atmosférica, chamada nesse trabalho de “Maré atmosférica alta”, e as quatro horas da tarde, quando a pressão atmosférica bate os valores mais baixos em relação a maré atmosférica, denominada aqui de “Maré atmosférica baixa”. Cada tratamento contou com 30 repetições e os insetos foram aclimatados nas arenas 30 minutos antes de cada experimento. Seguindo o mesmo esquema do experimento anterior, as filmagens foram analisadas pelo software EthoVision® (NOLDUS et al., 2001) registrando as variáveis de distância percorrida em relação ao centro da placa (cm) e de velocidade em relação ao centro da placa (cm/s). Foram consideradas 24 repetições dos experimentos em Maré atmosférica alta e 22 em Maré atmosférica baixa, sendo as eliminações devido a problemas na filmagem. Todas as repetições foram realizadas entre os dias 12/09/2020 e 17/09/2020.

O acesso ao software foi realizado remotamente (Figura 5) pelo fato da situação de pandemia e da licença ser exclusiva do Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ, para isso foi utilizado o software de licença gratuita AnyDesk® (versão 6.0.8, Philandro software GmbH).

### 3.5. Análise Estatística

Para os dados de início de voo, distância percorrida e velocidade, foi realizada uma comparação dos tratamentos da maré atmosférica (Maré atmosférica alta contra Maré atmosférica baixa) considerando os dados do EthoVision, e a contagem de número de voos e de tentativas de voo nas repetições. A análise dos dados dos números de voo e quantidade de voo foi realizada uma análise GLM com o teste de verossimilhança, utilizando o modelo Binomial e Quasipoisson respectivamente, já para os dados da distância percorrida, velocidade e de pressão da maré atmosférica em estações, uma análise multivariada One-way ANOVA com o teste de Tukey.

Para verificar a diferença entre as pressões barométricas registradas nas estações e média do ano de 2019, foi realizada uma análise multivariada (ANOVA) com o teste de Tukey e o teste de Scheffé.

O experimento de voo em campo teve a periodicidade analisada com o teste *U* de Mann-Whitney confrontando em dupla cada horário registrado com coletas (PIERROT & SCHLINDWEIN, 2003).

Por se tratar de medidas repetidas através do tempo, foram utilizados modelos mistos ajustados a distribuição Poisson com tendência quadrática para a análise estatística (GLMM) dos dados de emergência em campo e em laboratório, testando a significância por verossimilhança. A periodicidade dos picos de emergência foi testada pela formação de ciclos e homogeneidade dos dados (REFINETTI, 1991), considerando significância (alfa = 0,01) para a formação de ciclos para  $P > 4,5$  e homogeneidade para valores (h) próximos de zero.

A análise Mann-Whitney foi realizada no site [astatsa.com](http://astatsa.com) e as análises ANOVA One-way e GLM no software R (versão 4.0.3), considerando o intervalo de confiança em 95%. (alfa = 0,05).

## 4. RESULTADOS

### Monitoramento da maré atmosférica

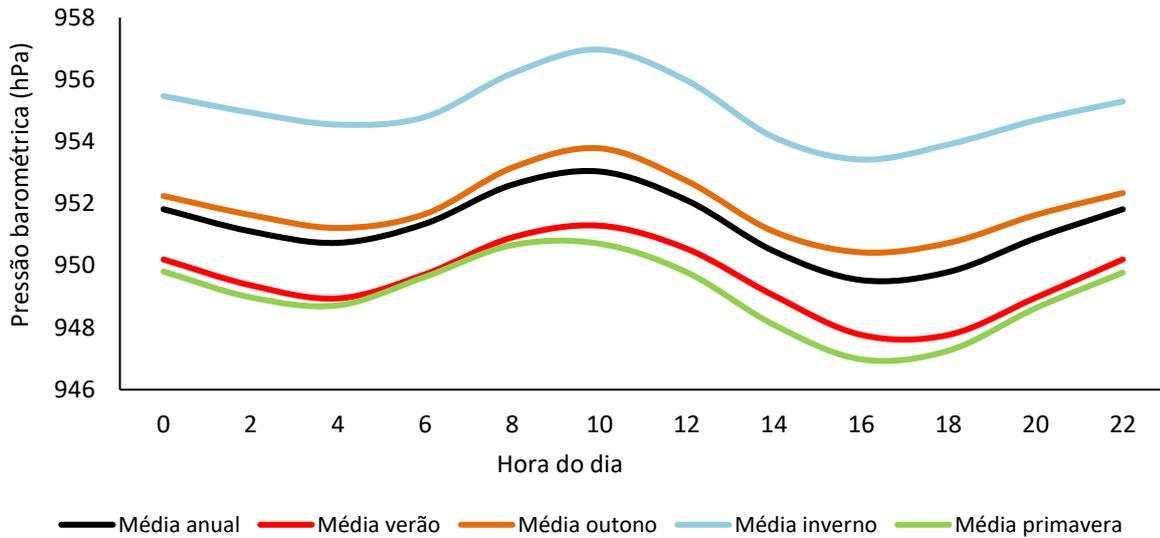
A maior pressão barométrica registrada 2019 ocorreu durante o inverno e a menor durante a primavera. Porém, em todo o ano, a maré atmosférica oscilou, o que pode ser observado nos dados de amplitude média diurna (Tabela 1) e da maré atmosférica (Figura 6).

**Tabela 1:** Pressão barométrica (hPa) média, mínima e máxima registrada nas quatro estações de 2019, em Piracicaba-SP. Os valores de amplitude média diária também são apresentados.

	Pressão barométrica (hPa)				
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Anual
Pressão média	949,6	951,9	955,0	949,1	951,3
Pressão mínima	943,0	944,0	944,0	942,0	942,0
Pressão máxima	955,0	961,0	964,0	959,0	964,0
Amplitude média diária	3,52	3,35	3,55	3,73	3,50

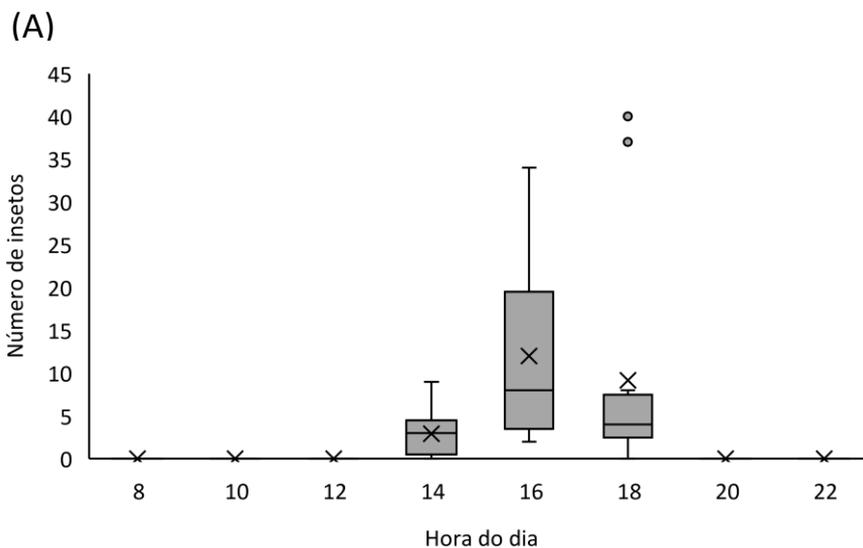
As estações que marcaram o valor de pressão barométrica máximo e mínimo também registraram valores médios maiores e menores, respectivamente. No outono, tanto a pressão média foi mais próxima da média anual (One-way ANOVA,  $F = 49,33$ ,  $p = 0,6313$ ), quanto a amplitude foi menor em relação às demais estações (Tabela 1). Também, os valores de pressão barométrica não diferiram significativamente entre o verão e a primavera (one-way ANOVA;  $F = 49,33$ ,  $p = 0,8088$ ).

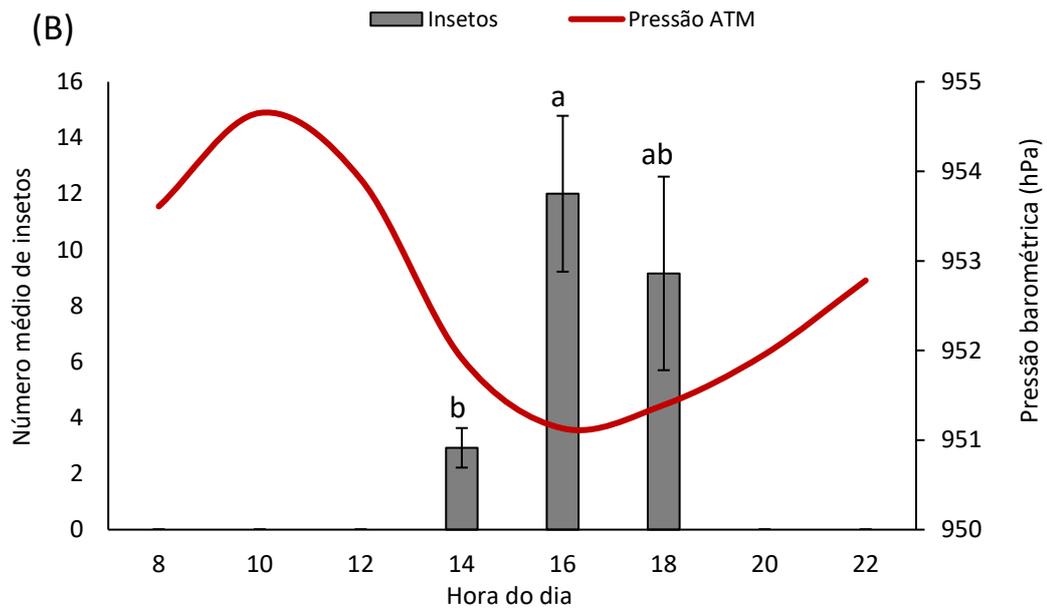
Independente da estação, os horários de maré atmosférica baixa e alta ocorrem normalmente todo o ano (Figura 6; Apêndice A). Contudo, os valores médios dos horários obtidos no inverno foram significativamente maiores, quando comparados com as demais estações em 2019 (teste de Scheffé; com média anual,  $p = 1,8 \times 10^{-9}$ , com verão,  $p = 3,3 \times 10^{-15}$ , com outono,  $p = 2,4 \times 10^{-7}$ , com primavera,  $p = 1,1 \times 10^{-16}$ ; Figura 6; Apêndice A).



**Figura 6:** Pressão barométrica (hPa) média horária registrada nas quatro estações de 2019 em Piracicaba/SP  
**Voo de *Dinoderus minutus***

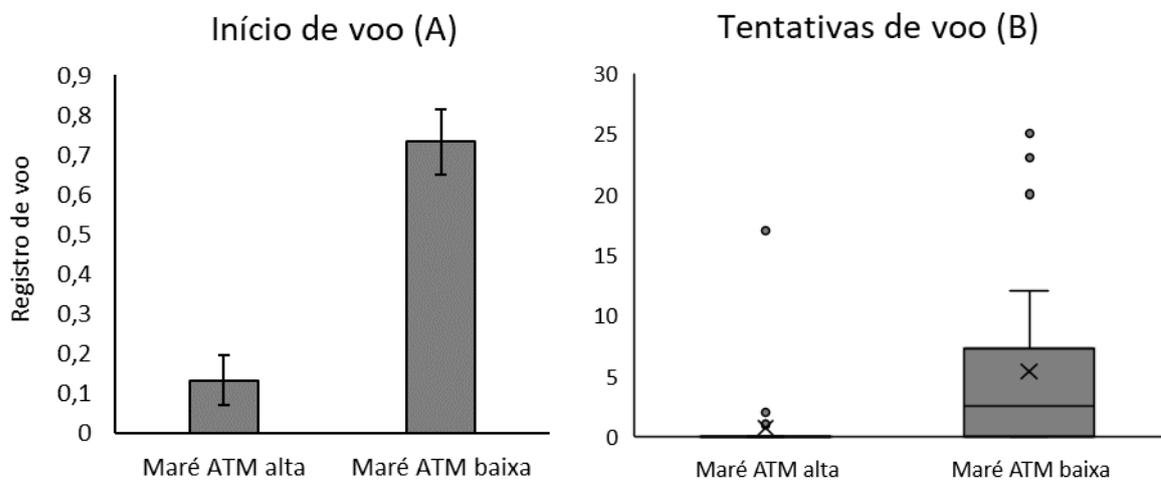
Durante os 14 dias de experimento em campo, a armadilha atraiu 155 machos e 158 fêmeas, com razão sexual M/F de 1/0,98 (Apêndice B). Dos 313 insetos, 12% foram atraídos às 14 h, com registros de maior número de voos às 16 h (50% dos indivíduos), horário que corresponde à maré atmosférica baixa, diminuindo às 18 h (38%) e cessando completamente às 20 h (Figura 7). Os valores registrados às 16 h foram significativamente mais elevados que os obtidos às 14 h ( $U = 155$ ;  $p = 0,008$ ) e às 18 h ( $U = 122$ ;  $p = 0,278$ ). Contudo, o número de brocas coletadas às 14 h e às 18 h não diferiu estatisticamente entre si ( $U = 66$ ;  $p = 0,150$ ).





**Figura 7:** Horário de voo de *Dinoderus minutus* (A) baseado no número de insetos coletados durante 13 dias utilizando armadilha de interceptação em campo. Em (B) está representado o número médio de insetos coletados e a média da pressão atmosférica, sendo a barra de erros representando o erro padrão e as letras acima das barras uma indicação de diferenças estatisticamente significativas.

Em condições controladas, *D. minutus* iniciou as atividades de voo quando a maré atmosférica estava baixa (GLM Binomial, teste de verossimilhança,  $\chi^2 = 23,72$ ,  $p = 0,000001$ ; Figura 8). Com relação ao comportamento de voo, o inseto permaneceu sem se movimentar, depois abriu os dois pares de asas e voou, sendo que algumas vezes a broca-do-bambu abriu os élitros após o pouso para a acomodação do segundo par de asas. Testando a variação dos dados para a tentativa de voo, durante a maré atmosférica baixa houve significativamente mais eventos de voo do que na maré atmosférica alta (GLM Quasipoisson,  $\chi^2 = 10,963$ ,  $p = 0,00092$ ; Figura 8).



**Figura 8:** Comportamento de voo de *Dinoderus minutus* em placa de Petri com observação de 30 min. (A) Valores médios do Início de voo e (B) os registros de Tentativas de voo, ambos em 30 repetições. Houve diferença significativa (teste da razão

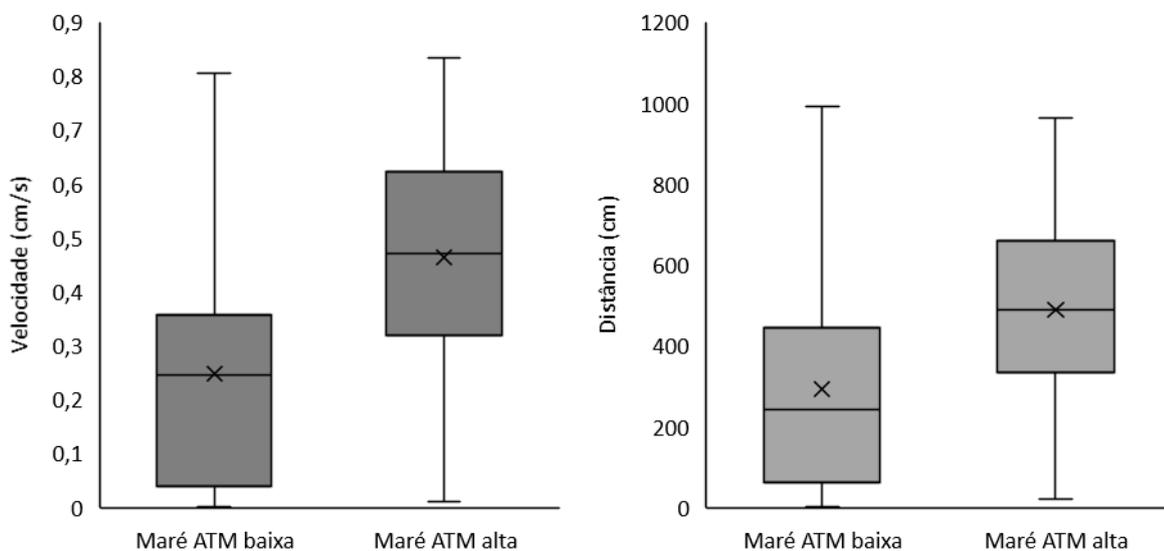
de verossimilhança,  $p < 0,05$ ) entre os tratamentos de maré atmosférica (Maré ATM) alta (às 10 h) e baixa (às 16 h) nos dois experimentos.



**Figura 9:** Proporção de indivíduos de *Dinoderus minutus* que iniciam o voo na maré atmosférica baixa (às 16 h) e alta (às 10 h). Os valores referentes aos tratamentos correspondem a proporção dos valores brutos e foram analisados por GLM com teste da razão de verossimilhança ( $p = 1,0 \times 10^{-6}$ ).

#### Velocidade e distância percorrida

Durante a maré atmosférica baixa, a velocidade (média: 0,46 cm/s; One-way ANOVA,  $F = 11,614$ ,  $p = 0,001$ ) e a distância percorrida (média: 488,81 cm; One-way ANOVA,  $F = 6,568$ ,  $p = 0,013$ ) por *D. minutus* foram significativamente mais altas do que durante a maré atmosférica alta (Figura 10; Apêndice C).



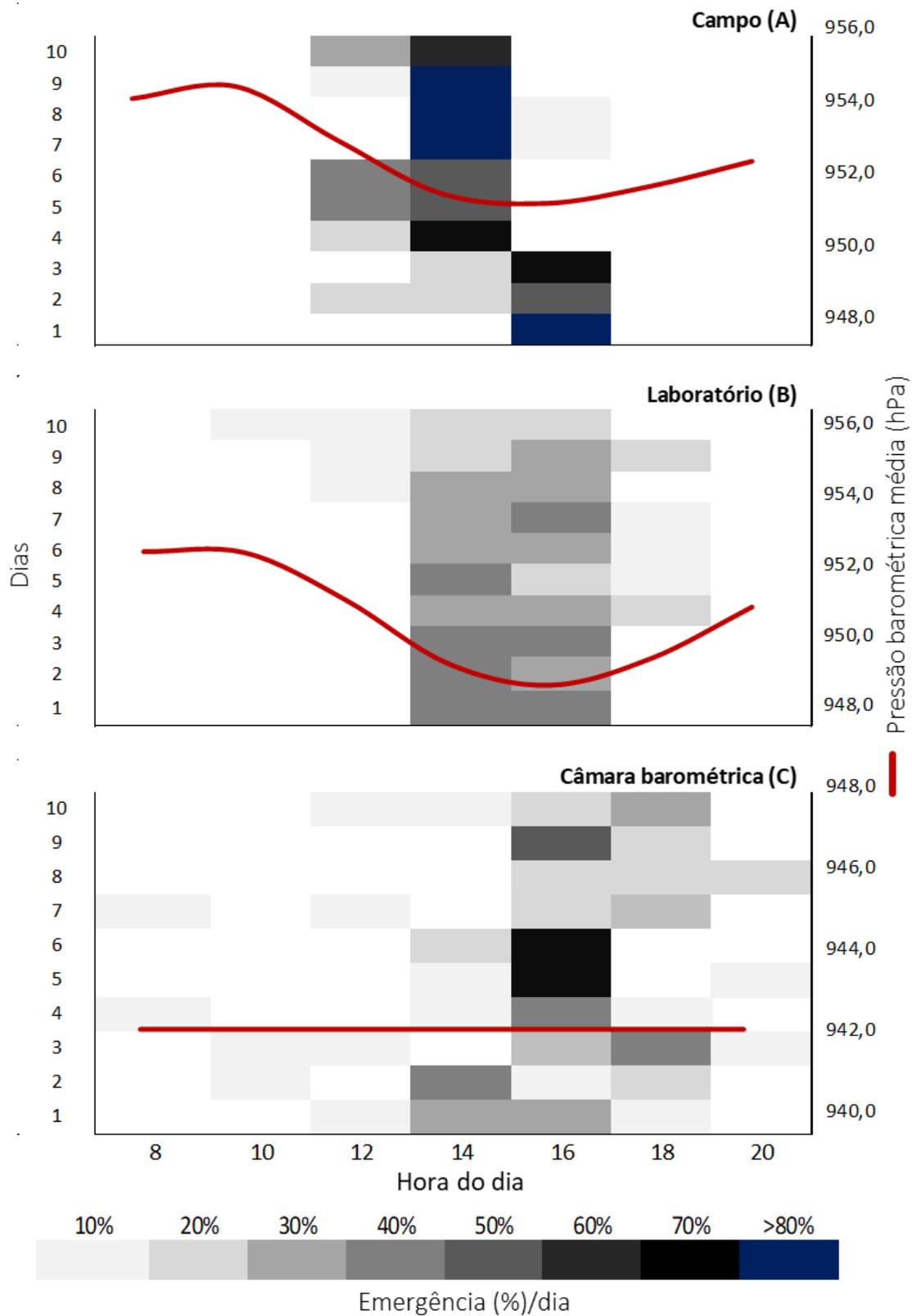
**Figura 10:** Valores de velocidade e distância percorrida em 30 min por *Dinoderus minutus*, nos tratamentos de Maré atmosférica (Maré ATM) baixa (10 h) e alta (16 h). Ambos parâmetros medidos apresentaram diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey (One-way ANOVA,  $p < 0,05$ ).

#### **Emergência de *D. minutus***

Em condições de campo ( $P = 7$ ,  $h = 0,333$ ) e laboratório ( $P = 7$ ;  $h = 0,707$ ), houve periodicidade e homogeneidade dos picos de emergência de *D. minutus*, diferentemente do observado em câmara barométrica ( $P = 4,118$ ), segundo a análise de Refinetti (1991) (Figura 11).

A média e desvio padrão da emergência a cada 2 horas em porcentagem está presente no Apêndice D (Tabela D1). O maior volume de emergência da broca-do-bambu ocorreu às 14 h em campo, das 14 h às 16 h em laboratório e às 16 h em câmara barométrica. Os resultados demonstram que a relação entre o número e o horário de emergências para cada dia foi estatisticamente significativa em todos os tratamentos (campo:  $p = 9,4 \times 10^{-13}$ , LRT = 55,378; laboratório:  $p = 2,2 \times 10^{-16}$ , LRT = 88,005; câmara barométrica:  $p = 1,9 \times 10^{-5}$ , LRT = 21,724). Contudo, o número de emergência em campo não apresentou relação significativa com a pressão barométrica (GLMM Poisson,  $\chi^2 = 1,198$ ,  $p = 0,273$ ), enquanto essa relação foi positiva em condições de laboratório (GLMM Poisson,  $\chi^2 = 59,458$ ,  $p = 1,25 \times 10^{-14}$ ).

A pressão barométrica durante os experimentos de campo e de laboratório apresentou variação normal (Tabela 2; Apêndice D). Porém, em campo, o maior valor mínimo (maré atmosférica baixa) ultrapassa o menor valor máximo (maré atmosférica baixa) em mais de 4 hPa.



**Figura 11:** Frequência de emergência diária (%) da broca do bambu, *Dinoderus minutus* em (A) campo, (B) laboratório (temperatura, umidade e luminosidade controlada) e em (C) câmara barométrica (temperatura, umidade, luminosidade e pressão controlada).

**Tabela 2:** Pressão barométrica (hPa) registrada durante 11 dias de experimentos conduzidos em campo e em laboratório. São apresentados os valores de maré atmosférica (Maré ATM) alta e baixa e sua amplitude diária.

Local de emergência	Maré ATM	Pressão barométrica (hPa)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Campo	Alta	956,63	957,63	956,00	956,00	956,75	951,38	954,50	952,88	950,88	956,25	956,00
	Baixa	954,00	954,00	954,75	953,00	952,00	945,13	951,00	949,00	948,25	954,13	952,13
	Amplitude	2,63	3,63	1,25	3,00	4,75	6,25	3,50	3,88	2,63	2,13	3,88
Laboratório	Alta	954,50	953,63	954,00	953,38	952,00	952,00	953,00	951,50	950,63	951,13	950,00
	Baixa	950,50	949,13	950,63	949,00	948,00	948,13	949,38	947,00	946,75	948,00	948,00
	Amplitude	4,00	4,50	3,37	4,38	4,00	3,88	3,62	4,50	3,87	3,13	2,00



## 5. DISCUSSÃO

Embora a pressão atmosférica seja um fator abiótico que serve como pista ambiental para os insetos de forma a modificar seu comportamento, as hipóteses de muitos estudos estão relacionadas com as condições climáticas desfavoráveis para a sobrevivência desses organismos. É um fato que a variação da pressão atmosférica em algumas magnitudes precede eventos climáticos que podem ser catastróficos para qualquer artrópode, como argumentou Wellington (1946), mas também é inegável a existência das oscilações diárias que ocorrem no mundo todo, a qual é chamada de maré atmosférica. Como realizado no presente estudo, o registro anual dos valores de pressão barométrica revela a oscilação diária, com dois picos e duas quedas de pressão, e o mesmo padrão ocorre para cada estação do ano (Figura 6).

Considerar a estação do ano pode ser muito importante, já que o fenômeno da maré atmosférica está ligado com a interação térmica do sol com a Terra, e os dados registrados mostram que, em qualquer estação, a oscilação apresenta certa variação (3,5 hPa) entre o maior e menor valor menor de pressão atmosférica diária. Enquanto os valores médios de pressão barométrica do outono foram próximos aos anuais e os do verão com os da primavera, com os menores valores de pressão atmosférica, os obtidos no inverno são distanciados dos demais, contendo os valores mais altos.

Concomitantemente, durante o ano, a média mensal também varia, por isso que a pressão máxima do inverno atingiu 964 hPa e a mínima da primavera foi de 942 hPa em 2019. Dessa forma, os estudos que utilizam valores absolutos de pressão barométrica ou que consideram a variação num determinado período, podem estar avaliando o efeito da própria maré atmosférica ao invés de eventos meteorológicos que precedem situações adversas para animais de pequeno porte. Portanto, vale a pena ressaltar que o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da maré atmosférica no comportamento dos insetos, já que em alguns trabalhos conduzidos previamente não mostram claramente se o fenômeno observado se trata de uma previsão do tempo ou simplesmente uma atividade rítmica dos animais, sendo essencial discutir o que existe na literatura que enquadre numa resposta dos organismos à maré atmosférica.

Diversos estudos analisam os fatores abióticos de maneira conjunta no contexto biológico, como o de Chen e Seybold (2014), no qual a contribuição da temperatura, da velocidade do vento, da luminosidade e da pressão barométrica para a ocorrência do comportamento de voo do besouro *Pityophthorus juglandis*. Embora os autores considerassem a oscilação da pressão barométrica, o único ponto discutido se limitou à constatação de do voo desse besouro. Um fato interessante a respeito desses resultados é de que o inseto apresenta início de voo crepuscular e, embora os autores não tenham mencionado a maré atmosférica ou os horários de coleta, é evidente que o voo de *P. juglandis* inicia sua atividade durante a subida de pressão da segunda maré atmosférica alta do dia, que ocorre às 22 h. Algumas especulações podem ser levantadas diante desses dados, como o voo desse besouro após às 22 h, que hipoteticamente pode haver alguma relação com a maré atmosférica, que após esse horário começará a alcançar a primeira menor maré baixa do dia às 4 h.

Ainda a respeito de animais crepusculares, Paige (1995) realizou um trabalho único, relacionando com pressão barométrica a atividade de insetos e do morcego insetívoro *Pipistrellus subflavus* após o entardecer.

Nesse trabalho, um contexto muito interessante envolve o ambiente cavernícola do morcego, o qual normalmente apresenta luminosidade, temperatura e umidade constantes, mas nunca a pressão barométrica. Em resumo, coletas de insetos e contagens de morcegos foram realizadas por uma e duas horas respectivamente. Um aspecto que pode dificultar a visão da maré atmosférica nesses dados está relacionado ao tempo curto de observações e a fragmentação das amostragens, que ocorreram entre agosto e setembro de 1989 (começo do outono) e em abril (plena primavera) de 1990. Como vimos nos dados coletados na estação meteorológica automática, em diferentes estações do ano, a pressão barométrica média pode variar, sendo que esse pode ser o motivo da grande variação dos registros de pressão. Mas os dados referentes ao número de insetos coletados e de morcegos observados são claros, demonstrando que quanto maior o valor da pressão, menor o número de amostragem de ambos, o que vem de encontro com a possibilidade de a maré atmosférica estar ligada a atividade desses animais, analogicamente como observamos em *D. minutus*, pois, igual explicado no exemplo anterior, o período de início crepuscular é concomitante a subida da pressão, a qual cessa ao alcançar a Maré atmosférica alta das 22 h. Essa consideração, que poderia ser realizada mais vezes se a variação da pressão barométrica decorrente da maré atmosférica fosse um tema recorrente em estudos de zoologia, poderia responder perguntas como a interação de dois fatores abióticos numa cadeia trófica.

A discussão gerada pelos autores citados acima é notória, mas Crespo e Castelo (2012) registrou a interação entre um inseto e a pressão barométrica sob um aspecto muito importante, que é o limiar de seu efeito no comportamento de forrageio de um inseto ectoparasitóide, *Mallophora ruficauda*. Basicamente, os autores conseguiram chegar num valor preciso onde a variação a partir dele causaria um efeito no inseto, o qual foi registrado em 0,85 hPa por 90 min, tanto para quedas quanto para subidas de pressão. A maior questão que pode ser discutida a respeito disso é se essa variação pode ocorrer dentro da maré atmosférica. Primeiramente, no trabalho está descrito a metodologia onde os experimentos foram realizados entre as 10 h e as 17 h, se enquadrando dentro da maior variação da maré atmosférica, que é entre a Maré atmosférica alta, as 10 h, e a maré atmosférica baixa, as 16 h. Um outro aspecto importante é saber se é possível a maré atmosférica variar 0,85 hPa em 90 minutos. Utilizando os dados disponibilizados no artigo é impossível saber sobre a maré atmosférica durante os experimentos, mas se considerarmos os dados que foram obtidos nesse trabalho, sabemos que considerando as médias anuais, entre as 10 h e as 12 h, ou seja, num período de 120 minutos, a variação da pressão atmosférica é de 1,6 hPa, que aproximadamente poderia ser 1,2 hPa por 90 minutos, sendo nesse caso um fator que tem efeito no comportamento de *D. minutus*. Essa extrapolação de dados pode não condizer exatamente com a realidade e apontar um fato, mas demonstra que é possível essa variação ocorrer diariamente, sendo claro que o ideal para essa comparação seria utilizar os valores reais de pressão barométrica durante os experimentos, a fim de observar se esse efeito não é decorrente da maré atmosférica.

Considerando comportamentos específicos e complexos relacionados a pressão atmosférica, o trabalho de Dagaëff et al. (2016) registrou dados surpreendentes sobre a velocidade de aprendizado de *Drosophila melanogaster*. O comportamento analisado foi o *mate copying*, o qual consiste no aprendizado da escolha de parceiros sexuais baseados na observação da escolha realizada por outro indivíduo. O mais interessante desse trabalho é que seus dados apontam que durante quedas de pressão atmosférica, as moscas dispõem menos tempo nesse aprendizado. A conclusão dos autores gira em torno que essa situação afeta a

cognição das moscas, já que supostamente pode ser um sinal importante para buscar refúgio e sobreviver. Os dados demonstram que num mesmo período de tempo, as moscas que estavam numa situação de pressão alta, chamada de tempo bom, obtiveram um melhor aprendizado. A discussão foi cuidadosa e ficou somente na suposição de que esse fenômeno poderia estar ligado a uma característica de resguardo dessas moscas, pois há a possibilidade de elas priorizarem a sobrevivência ao invés do aprendizado. A variação de pressão considerada no trabalho foi de 0,5 hPa por hora, portanto, seguindo os dados obtidos onde a média anual apresentou uma variação de 0,8 hPa, esse trabalho também apresenta uma investigação e discussão considerando a maré atmosférica.

Zagvazdina e colaboradores (2015) observaram uma relação entre o comportamento de *Diaphorina citri* Kuwayama 1908 (Hemiptera: Liviidae) e a modificação da pressão barométrica considerando o decorrer do tempo, especificamente, quanto variou a pressão barométrica 3, 6, 9, 12, 24, 36 e 48 horas antes do experimento. Esse tipo de abordagem é muito interessante e pode propor uma visão da condição ou do tempo demorado que o inseto responde a esse tipo de estímulo. Nesse artigo, os autores não consideraram a maré atmosférica e também não registraram precisamente o horário da realização dos experimentos, os quais foram realizados entre as 8 horas da manhã e as seis horas da tarde. Seguindo a descrição da maré atmosférica, sabemos que um período da oscilação desse fenômeno dura 12 horas, por isso em 24 horas temos dois valores máximos e dois mínimos, e também, que em seis horas a pressão pode ir de uma Maré atmosférica baixa até a Maré atmosférica alta, e vice e versa. Portanto, se um experimento começar as quatro horas da tarde, certamente o resultado da medida da pressão às seis horas anteriores, que compreenderia ao valor das 10 horas da manhã, será de queda, a qual seria a maior amplitude que normalmente é registrado num dia, como demonstrado nos dados obtidos do presente trabalho.

Dessa forma, claramente, se experimentos forem conduzidos durante qualquer intervalo de horas, os resultados nas condições de contagem de pressão estabelecidas por esses autores apresentariam queda, subida e estabilidade de pressão barométrica, já que o horário do início do experimento apresentará um valor de pressão e o valor das horas anteriores também, sendo esses valores acomodados na maré atmosférica. Embora os resultados desse trabalho sejam interessantes da mesma forma, já que demonstram a atividade locomotora e do comportamento sexual de *Dia. citri* frente a variação da pressão barométrica, considerar a maré atmosférica poderia ser contribuir para a discussão desses dados, já que podem refletir uma resposta a um estímulo cíclico do ambiente. Além disso, é constatado que pequenas variações de pressão durante o estudo influenciaram o comportamento de *Dia. citri*, sendo que essa pequena variação se enquadra na maré atmosférica e, portanto, se trata de um resultado parecido com o encontrado estudando *D. minutus*. Mesmo que os autores tenham considerado um fator de variação natural da pressão atmosférica e utilizaram um desvio padrão para qualificar se a pressão registrada foi estável, decrescente ou crescente, o valor bruto da pressão barométrica utilizada não foi exposto, sendo impossível verificar se essa metodologia realmente filtra os dados de forma que essa qualificação seja real considerando a maré atmosférica, ou seja, os resultados desse trabalho podem estar demonstrando a reação dos insetos a própria oscilação da maré atmosférica ao invés de eventos que podem ser prejudiciais ao inseto, como discutido pelos autores.

Keeble (1910) demonstrou em seu trabalho que o platelminto marítimo *Convoluta roscoffensis* apresenta um padrão de comportamento cíclico que acompanha os ritmos da maré (oceânica), registrando o primeiro caso de ciclo biológico circamaré. Um aspecto interessante dessa descoberta é que os dados de Keeble também tinha o potencial de demonstrar a existência de relógio biológico e *Zeitgeber*, porém esse termo só foi cunhado, discutido e divulgado amplamente na ciência por Aschoff (ASCHOFF, 1954; 1960). Vale a pena lembrar esse fato pois, além de relacionar ciclo circadiano com pressão, ele demonstra que mesmo coletando dados que podem suportar uma hipótese, se a pergunta sobre ela não for realizada ou idealizada pelos pesquisadores, os resultados não levarão a discussão a abordar ou concluir sobre ela, sendo possivelmente o que aconteceu nos trabalhos citados nos últimos cinco parágrafos a respeito da interação entre maré atmosférica e animais. É claro que outros trabalhos tiveram resultados e discussões parecidas, sendo esses selecionados pela clareza na descrição da metodologia e diversidade que pôde proporcionar a presente discussão.

Considerando os pontos já abordados, é essencial que uma metodologia que considere a maré atmosférica seja estabelecida para que a variação da pressão barométrica e seu efeito nos animais seja estudada. Como exemplo, Martini e colaboradores (2018) fizeram um estudo sobre fatores abióticos no comportamento de voo de *Dia. citri*, o qual o relaciona com certa variação de pressão barométrica que, como discutido nos trabalhos acima, pode se encaixar na maré atmosférica, porém, como não é citado o horário dos experimentos ou alguma referência do horário de voo (AUBERT & HUA, 1990) para a discussão, esses dados acabam se resumindo a uma resposta ao estímulo e não sobre a história natural da espécie, já que o ideal seria considerar todos os fenômenos atmosféricos. Ainda sobre *Dia. citri*, Tomaseto e colaboradores (2017) estudaram o efeito da temperatura e luminosidade em campo no comportamento de decolagem dessa espécie, sem analisar a pressão atmosférica, onde foi demonstrado que no horário de voo não houve correlação entre esses fatores.

Portanto, o presente trabalho buscou utilizar uma metodologia que pudesse avaliar o efeito da própria maré atmosférica, testando a Maré atmosférica baixa e a Maré atmosférica alta no comportamento de *D. minutus*, algo que nunca foi realizado ou registrado anteriormente, podendo contribuir para o desenvolvimento de uma nova maneira de estudar esse fator abiótico. Os resultados obtidos nesses experimentos apontam uma forte relação entre a Maré atmosférica baixa e a atividade comportamental de *D. minutus*. É importante considerar que os insetos utilizados nesses experimentos foram criados em laboratório e nunca experienciaram variação de temperatura, umidade e luminosidade em todo o seu ciclo de vida, sendo provavelmente o único fator abiótico oscilante, ou seja, que não estava constante, a pressão barométrica.

Juntando os dados, podemos observar que durante as quatro horas da tarde, coincidente ao menor valor de pressão do dia e precedente ao maior valor em seis horas, a broca-do-bambu expressou uma maior atividade locomotora e iniciativa para o comportamento de voo, demarcando um horário do dia em que pode ser relacionado esse fator abiótico a esse aspecto biológico do inseto. Normalmente, todos os dias *D. minutus* voa, supostamente para realizar atividades essenciais para a sua sobrevivência e reprodução, característica intrínseca a história natural da espécie (CAREY, 2001), o que é comum na natureza e muito importante para insetos que apresentam fase adulta perene, como na broca-do-bambu que dura por volta de 40 dias (NORRISHAM et al., 2015).

Dessa forma, com os dados do presente trabalho, sabemos que *D. minutus* inicia o voo, tenta voar mais, se locomove mais e com velocidade maior, assim como busca por voláteis do seu hospedeiro, *B. vulgaris*, de maneira significativamente maior durante a Maré atmosférica baixa, quando comparado com o horário da Maré atmosférica alta, sendo importante apontar que a captura da broca-do-bambu em campo, com armadilhas contendo atrativos, teve um pico dos registros demarcado também as quatro horas da tarde, horário da Maré atmosférica baixa.

Todas essas informações adquiridas evidenciam a maré atmosférica como um estímulo ambiental que serve de referencial para um comportamento diário rítmico de *D. minutus*, sendo importante ressaltar que esse referencial não se trata dos valores brutos da pressão atmosférica, mas sim da natureza oscilante do fenômeno mencionado, ou seja, como exemplo, a queda das 10 h até as 16 h ou subida das 4 h até as 10 h, já que comparando dias diferentes a Maré atmosférica alta pode ser bem próxima a Maré atmosférica baixa.

Esses resultados guiam uma discussão que se liga ao artigo de Brown publicado em 1959, o qual aborda a dependência dos ritmos biológicos a fatores ambientais. Nesse trabalho é discutido a respeito de fatores geofísicos que regulam o ciclo circadiano, mas que ainda não foram desvendados, sendo a justificativa dessa hipótese a persistência de ritmos biológicos mesmo em condições de laboratório onde luminosidade, temperatura e umidade são constantes. Como exemplo, quando Silva e colaboradores (2014), investigando a idade em que a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* Ferrari 1867 (Coleoptera: Curculionidae), demonstraram que em laboratório, com condições climáticas controladas e constantes, a emergência do inseto apresentou um pico de constante entre os dias avaliados, a qual foi bem próxima da observada em campo (BAKER et al., 1992).

A explicação para esse fenômeno é o mecanismo interno de *Free running* que os animais apresentam, porém, Brown discordou da existência de um fator interno que se autorregula completamente, atribuindo a dependência de alguma variável sutil e cíclica para sua sincronização com a duração de um dia. Resumindo, esse autor defendeu a dependência de uma interação organismo-ambiente para a regulação do relógio biológico, lançando a ideia de *Zeitgebers sutis* (BROWN, 1976), já que em alguns casos os *Zeitgebers* mais evidentes, como a luz ou temperatura, podem não explicar totalmente algumas situações, e, embora não tenha discutido sobre, Brown mencionou a pressão barométrica como um dos possíveis fatores abióticos da sua teoria (BROWN, 1959).

Convergindo as teorias publicadas por Brown (1959) e o fato do voo de *D. minutus* ocorrer pontualmente as 16 h, horário do qual é o mesmo registrado no presente trabalho para uma atividade locomotora notória do inseto em laboratório, uma hipótese a respeito do voo ser um comportamento rítmico circadiano regulado por algum fator abiótico ainda não discutido pode começar a ser construída, na qual o fator abiótico responsável seria a pressão barométrica, tendo a maré barométrica como um *Zeitgeber* sutil, o que expressa uma grande importância desse fenômeno para as ciências biológicas e comportamental. Aliado a essa hipótese estão os resultados obtidos sobre a emergência da broca-do-bambu, os quais demonstram que em campo e em laboratório os picos de emergência são cíclicos, já em câmara barométrica o mesmo não é observado, além de que o maior volume de insetos emerge da madeira a partir do mesmo horário nos experimentos que a pressão barométrica não foi controlada, ao passo que em câmara barométrica esse horário é atrasado em duas horas, portanto, certamente ambos os tratamentos em laboratório influenciaram esse comportamento.

Nos experimentos citados acima podem ser observados uma certa diferença entre todos os tratamentos, a qual merece atenção e debate.

Primeiramente, quando comparamos a emergência da broca-do-bambu em campo e em laboratório com sala climatizada podemos verificar que em campo a emergência é bem pontual, ocorrendo somente ao meio dia, duas horas (pico) e quatro horas, ao passo que em laboratório pode ser observado na maioria dos horários pelo menos um inseto. Esse fato pode estar relacionado a importância que a temperatura ou umidade tem no desenvolvimento desses insetos, já que a todo tempo, nesse caso, a temperatura e umidade foi ideal (GARCIA E MORREL, 2009), mas, ao mesmo tempo, o início da emergência em massa foi o mesmo da observada em campo.

A luminosidade também seria outro fator relacionado a esse comportamento, porém, como se trata de um inseto de hábito críptico, por ser uma broca, seu contato com a luz antes do evento de emergência pode ser nenhum ou muito limitado, sendo que na situação desses experimentos as telhas de bambu ainda estavam em uma caixa preta e escura, tendo somente um orifício de poucos centímetros que conecta a câmara de emergência e o pote coletor, o que é muito mais provável que os insetos só teriam estímulo luminoso após a emergência, o que acarretava em sua caída no pote coletor.

*Dinoderus minutus*, assim como outras coleobrocas, apresenta um tempo de maturação do adulto pré emergência do bambu como teneral, o qual é em média de 8 dias, sendo esse tempo muito importante para a futura experiência de cada indivíduo no ambiente aberto, o que pode incluir sincronização de seu ciclo circadiano para o horário de emergência. Nesse período, os insetos adultos estão sujeitos a oscilação da pressão barométrica, a qual pode servir de pista ambiental e ter a função de regular o ritmo de emergência dessa espécie.

Os órgãos do sentido que podem estar envolvidos nessa sensibilidade a pressão atmosférica podem incluir sensilos na antena (TICHY & KALLINA, 2010) ou o próprio sistema auditivo (WELLINGTON, 1946), sendo que em observações realizadas em laboratório a espécie já demonstrou um comportamento de corte que inclui estridulação (dados ainda não publicados), uma evidência indireta, mas precisa, de que a espécie é sensível a estímulo sonoro, o qual é presente e descrito em vários grupos de Coleoptera, tendo destacado a importância evolutiva desse sistema de comunicação (WESSEL, 2006).

Ademais, a maioria dos grupos basais de Hexapoda (Protura e Diplura) e seu grupo irmão (Remipedia) não apresentam olhos (HENZE & OAKLEY, 2015) e vivem em ambientes de umidade constante (TRIPLEHORN & JOHNSON, 2011; FANENBRUCK et al., 2004) e baixa variação de temperatura, o que pode ser um indício de que a pressão barométrica serve de estímulo para a regulação do relógio biológico e, portanto, de comportamentos cíclicos, remete à ancestralidade dos insetos.

A respeito da emergência em câmara barométrica, o efeito observado não demonstra uma mudança de fase, como demonstrado por Saunders e Knoke (1968), porém esse atraso no horário de saída é oriundo desse tratamento e pode ser um evento que precede certa mudança de fase, o qual pode ocorrer depois da realização mais repetições nessas condições.

Relacionando os valores de pressão barométrica e a emergência da broca-do-bambu, foi observado que em campo não houve correlação, enquanto em laboratório essa análise foi significativa. Possivelmente, a maré atmosférica atua como um Zeitgeber sutil, o qual fica evidente quando o ambiente é controlado, já que outros fatores abióticos também contribuem para o comportamento dos insetos, o que pode estar relacionado

também ao fato dos valores de emergência em campo e em laboratório apresentarem divergências, como a coleta de insetos em horários matutinos e noturnos quando a câmara de emergência é disposta em sala climatizada, o que não é observado em campo (Figura 11), o que se junta também ao fato de que a emergência nesse tratamento não foi cíclica.

Outra explicação está na instabilidade da maré atmosférica durante os experimentos de campo, a qual pode ser vista em valores na Tabela 2. Esses dados de pressão atmosférica demonstram que todos os dias houve uma amplitude na maré atmosférica igual no outro experimento, ou seja, houve Maré atmosférica alta e baixa, porém, devido a algum fenômeno meteorológico, como a chegada de um sistema de baixa pressão, houve uma variação da média diária durante esses dias, fazendo que em alguns dias o valor da Maré atmosférica baixa fosse maior que o valor da Maré atmosférica alta, mesmo que num curto período de tempo, o que influenciou na análise realizada. Esse resultado demonstra que ao trabalhar com valores absolutos da pressão barométrica e relacioná-lo com aspectos biológicos é importante reconhecer que a maré atmosférica existe e é alterada devido a fenômenos climáticos.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A broca-do-bambu, *Dinoderus minutus*, emerge por volta das 14 h e possui maior atividade de voo e locomoção por volta das 16 h, sendo ambas durante o período de maré atmosférica baixa, e tem seu padrão cíclico de emergência e voo regulado pela maré atmosférica.

Considerando essas constatações, a importância do presente trabalho permeia entre a possibilidade de novas ideias para a pesquisa científica até a aplicação prática. Por se tratar, de certo modo, de uma pesquisa de base, lançar a ideia de que a maré atmosférica pode exercer um efeito no comportamento dos insetos pode possibilitar novos rumos para a pesquisa na área da cronobiologia e de biometeorologia.

Já a respeito da aplicação, por se tratar de um estudo que inclui horário de exposição do inseto no ambiente, sua importância está relacionada ao conhecimento básico para estratégias de controle de pragas. O inseto modelo utilizado nesse estudo é um bom exemplo para essa afirmação, pois devido ao hábito críptico, o próprio hospedeiro se torna uma barreira física para a ação de técnicas convencionais de controle, o que pode ser contornado pelo conhecimento do horário de emergência e voo da espécie. A maré atmosférica se torna importante nesse aspecto pelo fato de entender os mecanismos que envolvem essa característica da história natural desse inseto e, conseqüentemente, para o MIP.

## REFERÊNCIAS

- Abood, F., Norhisham, A. R., Shahman, M., & Andy, A. (2010). Sexual identification of bamboo borer *Dinoderus minutus* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrychidae). *Malaysian Forester*, 73(1), 1-6.
- Aschoff, J. (1954). Zeitgeber der tierischen Tagesperiodik. *Naturwissenschaften*, 41(3), 49-56.
- Aschoff, J. (1960). Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. In *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology* (Vol. 25, pp. 11-28). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Acda, M. N. (2008). Insecticidal activity of thiamethoxam against the bamboo powder post beetle *Dinoderus minutus* Fabr. (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of pest science*, 81(2), 109.
- ANVISA. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), (2008). Relatório de atividades de 2001 – 2007.
- Arendt, J., & Broadway, J. (1987). Light and melatonin as zeitgebers in man. *Chronobiology international*, 4(2), 273-282.
- Aubert, B., & Hua, X. Y. (1990). Monitoring flight activity of *Diaphorina citri* on citrus and *Murraya* canopies. In *Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. 4th International Asia Pacific Conference on Citrus Rehabilitation*, Chiang Mai, Thailand (pp. 4-10).
- Baker, P. S., Ley, C., Balbuena, R., & Barrera, J. F. (1992). Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. *Bulletin of Entomological Research*, 82(2), 145-150.
- Bell-Pedersen, D., Cassone, V. M., Earnest, D. J., Golden, S. S., Hardin, P. E., Thomas, T. L., & Zoran, M. J. (2005). Circadian rhythms from multiple oscillators: lessons from diverse organisms. *Nature Reviews Genetics*, 6(7), 544-556.
- Bennett, R. B., & Borden, J. H. (1971). Flight arrestment of tethered *Dendroctonus pseudotsugae* and *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae) in response to olfactory stimuli. *Annals of the Entomological Society of America*, 64(6), 1273-1286.
- Borgemeister, C., Meikle, W. G., Scholz, D., Adda, C., Degbey, P., & Markham, R. H. (1997). Seasonal and weather factors influencing the annual flight cycle of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) and its predator *Teretriosoma nigrescens* (Coleoptera: Histeridae) in Benin. *Bulletin of Entomological Research* 87 (1997), Nr. 3, 87(3), 239-246.
- Brown, F. A. (1959). Living clocks. *Science*, 130(3388), 1535-1544.
- Brown, F. A. (1972). The "Clocks" Timing Biological Rhythms: Recent discoveries suggest that the mysterious biological clock phenomenon results from a continuous interaction between organisms and the subtle geophysical environment. *American Scientist*, 60(6), 756-766.
- Brown Jr, F. A. (1976). Biological clocks: endogenous cycles synchronized by subtle geophysical rhythms. *Biosystems*, 8(2), 67-81.
- Carey, J. R. (2001). Insect biodemography. *Annual review of entomology*, 46(1), 79-110.
- Chapman, S., & Lindzen, R. S. (2012). *Atmospheric tides: thermal and gravitational*. Springer Science & Business Media.

- Chen, Y., & Seybold, S. J. (2014). Crepuscular flight activity of an invasive insect governed by interacting abiotic factors. *PLoS One*, 9(8), e105945.
- Contreras, H. L., Goyret, J., von Arx, M., Pierce, C. T., Bronstein, J. L., Raguso, R. A., & Davidowitz, G. (2013). The effect of ambient humidity on the foraging behavior of the hawkmoth *Manduca sexta*. *Journal of Comparative Physiology A*, 199(11), 1053-1063.
- Cooper, N. S. (1982). Inferring solar UV variability from the atmospheric tide. *Nature*, 296(5853), 131-132.
- Crespo, J. E., & Castelo, M. K. (2012). Barometric pressure influences host-orientation behavior in the larva of a dipteran ectoparasitoid. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1562-1567.
- Curkovic, T., & Ferrera, C. (2012). Female calling and male flight orientation and searching behaviors in *Callisphyrus apicicornis*: evidence for a female-produced sex attractant pheromone. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 39(1), 147-158.
- da Silva, R. M., Ribeiro, N. P., Rodrigues, C. D. S., Pelvine, R. A., Rondon, J. N., & Cereda, M. P. (2019). Behavioral characterization and alternative control methods of the Bamboo borer [*Dinoderus minutus* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae)]. *Idesia*, 37(2), 5-12.
- Dagaëff, A. C., Pocheville, A., Nöbel, S., Loyau, A., Isabel, G., & Danchin, E. (2016). *Drosophila* mate copying correlates with atmospheric pressure in a speed learning situation. *Animal behaviour*, 121, 163-174.
- Dunlap, J. C. (1999). Molecular bases for circadian clocks. *Cell*, 96(2), 271-290.
- Drumond, P. M., & Wiedman, G. (2017). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Embrapa Acre-Livro técnico (INFOTECA-E).
- Eusebi, M. P., Favilli, L., & Lovari, S. (1989). Some abiotic factors affecting the activity and habitat choice of the tiger beetle *Cephalota circumdata leonschaeferi* (Cassola)(Coleoptera, Cicindelidae). *Italian Journal of Zoology*, 56(2), 143-150.
- Fanenbruck, M., Harzsch, S., & Wägele, J. W. (2004). The brain of the Remipedia (Crustacea) and an alternative hypothesis on their phylogenetic relationships. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3868-3873.
- Fisher, W. S. (1950). A revision of the North American species of beetles belonging to the family Bostrichidae (No. 698). US Govt. Print. Off..
- Fleissner, G. (2002). Perception of natural zeitgeber signals. In *Biological rhythms* (pp. 83-93). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Forbes, J. M. (1982). Atmospheric tide: 2. The solar and lunar semidiurnal components. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 87(A7), 5241-5252.
- Fournier, F., Pelletier, D., Vigneault, C., Goyette, B., & Boivin, G. (2005). Effect of barometric pressure on flight initiation by *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology*, 34(6), 1534-1540.
- Garcia, C. M. (2005). Management of powder-post beetles, *Dinoderus minutus* F. in freshly cut bamboo.
- Garcia, C. M., & Morrell, J. J. (2009). Development of the powderpost beetle (Coleoptera: Bostrichidae) at constant temperatures. *Environmental entomology*, 38(2), 478-483.

- Guarneri, A. A., Lazzari, C., Diotaiuti, L., & Lorenzo, M. G. (2002). The effect of relative humidity on the behaviour and development of *Triatoma brasiliensis*. *Physiological Entomology*, 27(2), 142-147.
- Hamby, K. A., Bellamy, D. E., Chiu, J. C., Lee, J. C., Walton, V. M., Wiman, N. G., ... & Biondi, A. (2016). Biotic and abiotic factors impacting development, behavior, phenology, and reproductive biology of *Drosophila suzukii*. *Journal of pest science*, 89(3), 605-619.
- Henze, M. J., & Oakley, T. H. (2015). The dynamic evolutionary history of pancrustacean eyes and opsins. *Integrative and comparative biology*, 55(5), 830-842.
- Hirose, E., Panizzi, A. R., & Cattelan, A. J. (2006). Effect of relative humidity on emergence and on dispersal and regrouping of first instar *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). *Neotropical entomology*, 35(6), 757-761.
- Jaworski, T., & Hilszczański, J. (2013). The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the expected climate change. *Forest Research Papers*, 74(4), 345-355.
- Keeble, F. (1910). *Plant-Animals. A study in symbiosis*. Cambridge University Press.
- Le Blancq, F. (2011). Diurnal pressure variation: the atmospheric tide. *Weather*, 66(11), 306-307.
- Lemos, F., A Sarmiento, R., V Teodoro, A., R dos Santos, G., & R do Nascimento, I. (2011). Agroecological strategies for arthropod pest management in Brazil. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, 3(2), 142-154.
- Liese, W., & Köhl, M. (Eds.). (2015). *Bamboo: the plant and its uses*. Springer.
- Lindzen, R. S. (1978). Effect of daily variations of cumulonimbus activity on the atmospheric semidiurnal tide. *Monthly Weather Review*, 106(4), 526-533.
- Liu, L., Schönitzer, K., & Yang, J. (2008). A review of the literature on the life history of Bostrichidae. *Mitt. Munch. Ent. Ges*, 98, 91-97.
- Marchand, D., & McNeil, J. N. (2000). Effects of wind speed and atmospheric pressure on mate searching behavior in the aphid parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Journal of Insect Behavior*, 13(2), 187-199.
- Martini, X., & Stelinski, L. L. (2017). Influence of abiotic factors on flight initiation by Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae). *Environmental Entomology*, 46(2), 369-375.
- Martini, X., Rivera, M., Hoyte, A., Sétamou, M., & Stelinski, L. (2018). Effects of wind, temperature, and barometric pressure on Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) flight behavior. *Journal of Economic Entomology*, 111(6), 2570-2577.
- Matoski, S. L. S., & da Rocha, M. P. (2006). Influência do fotoperíodo no ataque de *Dinoderus minutus* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de espécies tropicais. *Floresta*, 36(3).
- Menéndez, R. (2007). How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie*, 150(2), 355.
- Noldus, L. P., Spink, A. J., Tegelenbosch, R. A. (2001). EthoVision: a versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behav. Res. Meth. Ins. C*, 33, 398-414.
- Norhisham, A. R., Abood, F., Rita, M., & Hakeem, K. R. (2013). Effect of humidity on egg hatchability and reproductive biology of the bamboo borer (*Dinoderus minutus* Fabricius). *SpringerPlus*, 2(1), 9.
- Norhisham, A. R., Faizah, A., & Zaidon, A. (2015). Effects of moisture content on the bamboo borer *Dinoderus minutus*. *Journal of Tropical Forest Science*, 334-341.

- Paige, K. N. (1995). Bats and barometric pressure: conserving limited energy and tracking insects from the roost. *Functional Ecology*, 463-467.
- Pellegrino, A. C., Peñaflo, M. F. G. V., Nardi, C., Bezner-Kerr, W., Guglielmo, C. G., Bento, J. M. S., & McNeil, J. N. (2013). Weather forecasting by insects: modified sexual behaviour in response to atmospheric pressure changes. *PLoS One*, 8(10), e75004.
- Perez-Mendoza, J., Campbell, J. F., & Throne, J. E. (2014). Effect of abiotic factors on initiation of red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) flight. *Journal of economic entomology*, 107(1), 469-472.
- Pielou, D., & Gunn, D. (1940). The Humidity Behaviour of the Mealworm Beetle, *Tenebrio Molitor* L: I. The Reaction to Differences of Humidity. *Journal of Experimental Biology*, 17(3), 286-294.
- Pierrot, L. M., & Schlindwein, C. (2003). Variation in daily flight activity and foraging patterns in colonies of urucu-Melipona scutellaris Latreille (Apidae, Meliponini). *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4), 565-571.
- Pittendrigh, C. S. (1960, January). Circadian rhythms and the circadian organization of living systems. In *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology* (Vol. 25, pp. 159-184). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Rasmann, S., Pellissier, L., Defossez, E., Jactel, H., & Kunstler, G. (2014). Climate-driven change in plant-insect interactions along elevation gradients. *Functional Ecology*, 28(1), 46-54.
- Rousse, P., Gourdon, F., Roubaud, M., Chiroleu, F., & Quilici, S. (2009). Biotic and abiotic factors affecting the flight activity of *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of fruit fly pests. *Environmental entomology*, 38(3), 896-903.
- Saunders, J. L., & Knoke, J. K. (1968). Circadian emergence rhythm of a tropical scolytid, *Xyleborus ferrugineus*. *Annals of the Entomological Society of America*, 61(3), 587-590.
- Scully, A. L., & Kay, S. A. (2000). Time flies for *Drosophila*. *Cell*, 100(3), 297-300.
- Sharma, V. K., & Chandrashekar, M. K. (2005). Zeitgebers (time cues) for biological clocks. *Current science*, 89(7), 1136-1146.
- Sheeba, V., Sharma, V. K., Chandrashekar, M. K., & Joshi, A. (1999). Persistence of eclosion rhythm in *Drosophila melanogaster* after 600 generations in an aperiodic environment. *Naturwissenschaften*, 86(9), 448-449.
- Silva, W. D., Mascarin, G. M., Romagnoli, E. M., & Bento, J. M. S. (2012). Mating behavior of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of insect behavior*, 25(4), 408-417.
- Silva, W. D., Costa, C. M., & Bento, J. M. S. (2014). How old are colonizing *Hypothenemus hampei* (Ferrari) females when they leave the native coffee fruit? *Journal of insect behavior*, 27(6), 729-735.
- Silveira, E. S., Silva, R. M., Roel, A. R., & Cereda, M. P. (2017). Influência de fatores ambientais, cor e altura de armadilhas na captura do caruncho do bambu. *JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE*, 4(4), 8-14.
- Stefanescu, C., Peñuelas, J., & Filella, I. (2003). Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global change biology*, 9(10), 1494-1506.
- Suckling, D. M., Stringer, L. D.; Stephens, A. E. A., Woods, B., Williams, D. G., Baker, G., el-Sayed, A. M. (2013). From integrated pest management to integrated pest eradication: technologies and future needs. *Pest Management Science*, 70, p. 179-789.

- Sujimoto, F. R., Costa, C. M., Zitelli, C. H., & Bento, J. M. S. (2020). Foraging activity of leaf-cutter ants is affected by barometric pressure. *Ethology*, 126(3), 290-296.
- Tichy, H., & Kallina, W. (2010). Insect hygroreceptor responses to continuous changes in humidity and air pressure. *Journal of neurophysiology*, 103(6), 3274-3286.
- Tomaseto, A. F., Miranda, M. P., Moral, R. A., De Lara, I. A. R., Fereres, A., & Lopes, J. R. S. (2018). Environmental conditions for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) take-off. *Journal of applied entomology*, 142(1-2), 104-113.
- Tombolato, A. F. C., Greco, T. M., & Pinto, M. M. (2012). Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, 18(2), 105-114.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2011). *Estudo dos insetos*. São Paulo: Cengage Learning. Os Hexápodes Entognatos: Protura, Collembola e Diplura, 170-177.
- Watanabe, H., Yanase, Y., & Fujii, Y. (2015). Evaluation of larval growth process and bamboo consumption of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* using X-ray computed tomography. *Journal of Wood Science*, 61(2), 171-177.
- Watanabe, H., Yanase, Y., & Fujii, Y. (2017). Nondestructive evaluation of egg-to-adult development and feeding behavior of the bamboo powderpost beetle *Dinoderus minutus* using X-ray computed tomography. *Journal of Wood Science*, 63(5), 506-513.
- Wellington, W. G. (1944). Barotaxis in Diptera, and its possible significance to economic entomology. *Nature*, 154(3917), 671-672.
- Wellington, W. G. (1946). The effects of variations in atmospheric pressure upon insects. *Canadian journal of research*, 24(2), 51-70.
- Wessel, A. (2006). Stridulation in the Coleoptera—an overview. *Insect sounds and communication*, 397-430.
- Wilcockson, D., & Zhang, L. (2008). Circatidal clocks. *Current biology*, 18(17), R753-R755.
- Willott, S. J., & Hassall, M. (1998). Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. *Functional ecology*, 12(2), 232-241.
- Wingerden, W. V., Kreveld, A. V., & Bongers, W. (1992). Analysis of species composition and abundance of grasshoppers (Orth., Acrididae) in natural and fertilized grasslands. *Journal of Applied Entomology*, 113(1-5), 138-152.
- Zagvazdina, N. Y., Paris, T. M., Udell, B. J., Stanislauskas, M., McNeill, S., Allan, S. A., & Mankin, R. W. (2015). Effects of atmospheric pressure trends on calling, mate-seeking, and phototaxis of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 108(5), 762-770.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A. Monitoramento da maré atmosférica

Tabela A1: Dados da maré atmosférica de 2019 com os valores a cada duas horas. Pressão barométrica em mbar.

Horas	Média anual	Média verão	Média outono	Média inverno	Média primavera
00:00	951,8	950,2	952,2	955,5	949,8
02:00	951,1	949,4	951,6	954,9	949,0
04:00	950,7	948,9	951,2	954,5	948,7
06:00	951,4	949,7	951,7	954,8	949,6
08:00	952,6	950,9	953,2	956,2	950,7
10:00	953,0	951,3	953,8	957,0	950,7
12:00	952,1	950,5	952,7	956,0	949,8
14:00	950,5	949,0	951,1	954,1	948,1
16:00	949,5	947,8	950,4	953,4	947,0
18:00	949,8	947,8	950,7	953,9	947,3
20:00	950,9	949,0	951,6	954,7	948,6
22:00	951,8	950,2	952,3	955,3	949,8

Tabela A2: Análise estatística dos dados da maré atmosférica de 2019. Legenda) A: Média anual. B: Verão. C: Outono. D: Inverno. E: Primavera.

Pares de tratamentos	Tukey		Scheffé	
	Valor p	Inferência	Valor p	Inferência
A vs B	0,00280	** p<0,01	0,00977	** p<0,01
A vs C	0,63134	p>0,05	0,75828	p>0,05
A vs D	0,00101	** p<0,01	1,8*10-9	** p<0,01
A vs E	0,00101	** p<0,01	0,00045	** p<0,01
B vs C	0,00101	** p<0,01	0,00016	** p<0,01
B vs D	0,00101	** p<0,01	3,3*10-15	** p<0,01
B vs E	0,80888	p>0,05	0,89228	p>0,05
C vs D	0,00101	** p<0,01	2,4*10-7	** p<0,01
C vs E	0,00101	** p<0,01	4,5*10-6	** p<0,01
D vs E	0,00101	** p<0,01	1,1*10-16	** p<0,01

**APÊNDICE B.** Dados do voo de *D. minutus*

Tabela B1: Média da pressão barométrica registrada a cada duas horas durante o experimento

00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
952,83	952,78	952,17	952,27	953,61	954,65	953,91	951,91	951,13	951,39	951,96	952,78

Tabela B2: Contagem geral dos dados

M+F	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Total
18/06/2020	0	0	0	2	3	4	0	0	9
19/06/2020	0	0	0	5	21	3	0	0	29
22/06/2020	0	0	0	2	8	5	0	0	15
23/06/2020	0	0	0	1	4	0	0	0	5
24/06/2020	0	0	0	6	11	5	0	0	22
29/06/2020	0	0	0	3	3	3	0	0	9
30/06/2020	0	0	0	9	34	40	0	0	83
01/07/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/07/2020	0	0	0	3	15	1	0	0	19
06/07/2020	0	0	0	4	27	37	0	0	68
07/07/2020	0	0	0	3	18	7	0	0	28
08/07/2020	0	0	0	0	4	8	0	0	12
09/07/2020	0	0	0	0	2	2	0	0	4
10/07/2020	0	0	0	0	6	4	0	0	10
Total	0	0	0	36	153	115	0	0	313
Média	0	0	0	2,923077	12	9,153846	0	0	24,07692

Tabela B3: Contagem dos machos

Machos	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Total
18/06/2020	0	0	0	0	2	2	0	0	4
19/06/2020	0	0	0	3	11	2	0	0	16
22/06/2020	0	0	0	2	3	4	0	0	9
23/06/2020	0	0	0	1	2	0	0	0	3
24/06/2020	0	0	0	6	4	2	0	0	12
29/06/2020	0	0	0	2	0	3	0	0	5
30/06/2020	0	0	0	3	15	18	0	0	36
01/07/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/07/2020	0	0	0	3	12	1	0	0	16
06/07/2020	0	0	0	2	13	14	0	0	29
07/07/2020	0	0	0	0	6	5	0	0	11
08/07/2020	0	0	0	0	3	5	0	0	8
09/07/2020	0	0	0	0	1	2	0	0	3
10/07/2020	0	0	0	0	3	0	0	0	3
Total	0	0	0	22	73	56	0	0	155
Média	0	0	0	1,692308	5,769231	4,461538	0	0	11,92308

Tabela B4: Contagem das fêmeas

Fêmeas	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Total
18/06/2020	0	0	0	2	1	2	0	0	5
19/06/2020	0	0	0	2	10	1	0	0	13
22/06/2020	0	0	0	0	5	1	0	0	6
23/06/2020	0	0	0	0	2	0	0	0	2
24/06/2020	0	0	0	0	7	3	0	0	10
29/06/2020	0	0	0	1	3	0	0	0	4
30/06/2020	0	0	0	6	19	22	0	0	47
01/07/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/07/2020	0	0	0	0	3	0	0	0	3
06/07/2020	0	0	0	2	14	23	0	0	39
07/07/2020	0	0	0	3	12	2	0	0	17
08/07/2020	0	0	0	0	1	3	0	0	4
09/07/2020	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10/07/2020	0	0	0	0	3	4	0	0	7
Total	0	0	0	14	80	59	0	0	158
Média	0	0	0	1,230769	6,230769	4,692308	0	0	12,15385

**APÊNDICE C.**

Dados de distância percorrida e velocidade obtidos no software EthoVision

	Maré ATM alta		Maré ATM baixa	
	Velocidade	Distância	Velocidade	Distância
140909301	0,390168	630,348000	140915301	0,651251 892,437000
140909302	0,357192	560,268000	140615302	0,761532 526,734000
140909303	0,229527	278,460000	140915303	0,334730 487,509000
140909304	0,002021	3,515710	140915304	0,584962 534,008000
140909305	0,004227	7,418290	140915305	0,601326 964,871000
140910001	0,273349	446,926000	140916001	0,552608 778,282000
140910002	0,263705	383,690000	140916002	0,688930 437,899000
140910003	0,261538	302,076000	140916003	0,167540 222,208000
140910004	0,000843	1,479230	140916004	0,242116 340,506000
140910005	0,010899	19,048700	140916005	0,244646 311,985000
160909301	0,038482	61,401000	160915302	0,318942 174,313000
160909302	0,675627	750,004000	160915303	0,010959 19,514200
160909304	0,006295	10,958600	160915304	0,453712 649,444000
160909305	0,115826	205,909000	160916001	0,835178 536,710000
170910001	0,150735	107,278000	160916002	0,319504 416,083000
170910002	0,145686	198,473000	160916003	0,333053 404,056000
170910003	0,805588	792,669000	160916005	0,488875 695,861000
170910004	0,596853	993,761000	170915301	0,635772 250,103000
170910005	0,375662	101,429000	170915302	0,365682 361,281000
160910001	0,340041	71,138300	170915303	0,600055 490,125000
160910002	0,316399	292,639000	170915304	0,391235 552,182000
160910003	0,354861	442,234000	170915305	0,617372 710,055000
160910004	0,038853	67,282100		
160910005	0,200850	289,910000		
Media	0,248134	292,429830	Média	0,463635 488,916645

**APÊNDICE D.**  
*minutus.*

Figura D1: Gráficos contendo as informações de pressão barométrica e emergência de *D. minutus*.

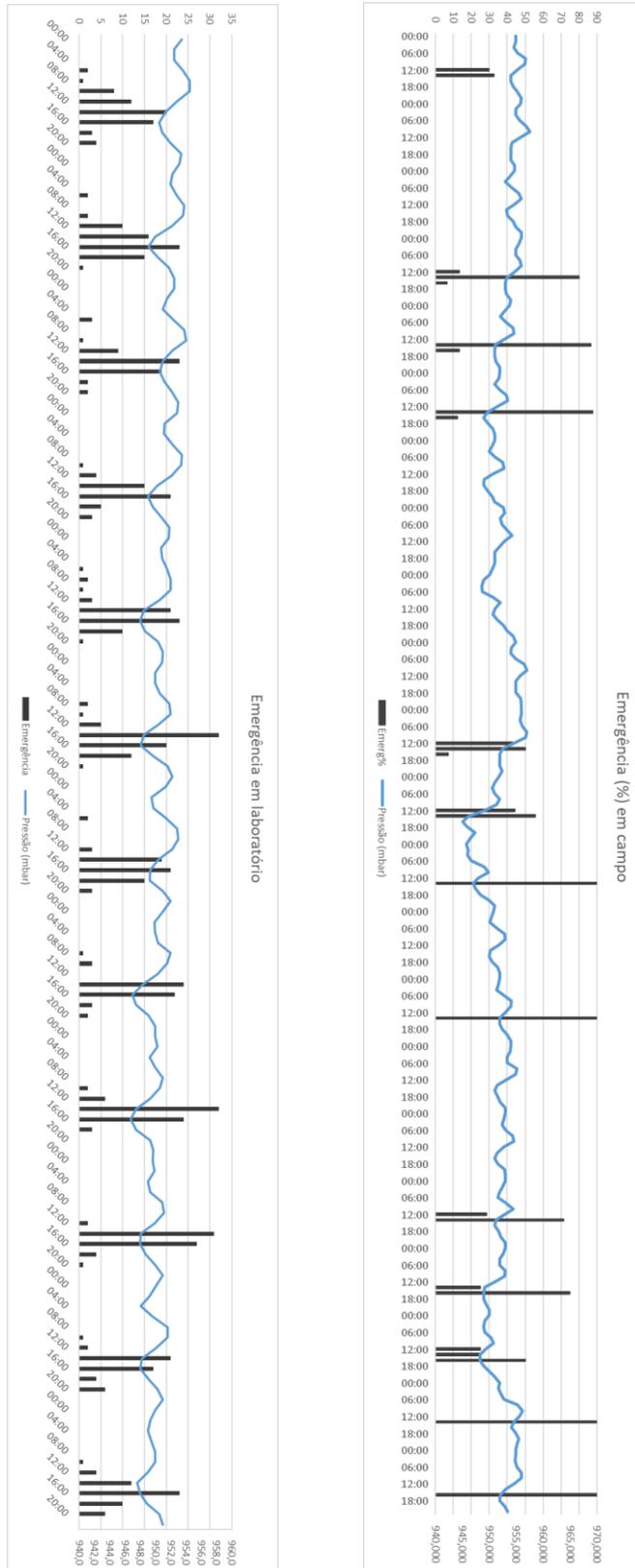


Tabela D1: Média e desvio padrão de cada horário de emergência de *D. minutus*. O valor utilizado da emergência foi em porcentagem referente a cada repetição (dia).

<b>Média da emergência (%)</b>							
Campo	0,0	0,0	22,6	66,9	8,1	0,0	0,0
Laboratório	0,8	2,8	7,9	36,0	35,3	11,5	4,4
Câmara	4,6	3,0	6,2	15,7	40,7	21,4	6,9
<b>Desvio padrão da emergência</b>							
Campo	0,0	0,0	18,3	29,7	35,8	0,0	0,0
Laboratório	0,3	0,9	1,5	2,5	1,5	2,0	1,0
Câmara	4,9	5,2	5,3	13,9	21,6	13,7	8,8
	8 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	20 h