



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Comportamento reprodutivo e comunicação por estridulações em
Sternochetus mangiferae (Coleoptera: Curculionidae)**

Giancarlo Catafesta

Brasília

07/2023 Defesa



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Comportamento reprodutivo e comunicação por estridulações em
Sternochetus mangiferae (Coleoptera: Curculionidae)**

Giancarlo Catafesta

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre(a) em Zoologia.

Orientador(a): Raul Alberto Laumann

Brasília

07/2023 Defesa

Comportamento reprodutivo e comunicação por estridulações em *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae)

Aluno: Giancarlo Catafesta

Orientador: Raul Alberto Laumann

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Aprovada por

(Nome Completo) Presidente - Sigla da Instituição

(Nome Completo) - Sigla da Instituição

(Nome Completo) - Sigla da Instituição

(Nome Completo) - Sigla da Instituição

(Nome Completo) - Sigla da Instituição

Brasília

07/2023 Defesa

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CC357c Catafesta, Giancarlo
Comportamento reprodutivo e comunicação por estridulações
em *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae) /
Giancarlo Catafesta; orientador Raul Alberto Laumann. --
Brasília, 2023.
80 p.

Dissertação(Mestrado em Zoologia) -- Universidade de
Brasília, 2023.

1. Comportamento animal. 2. Comunicação em insetos. 3.
Estridulação. 4. Coleoptera. I. Alberto Laumann, Raul,
orient. II. Título.

Dedico esse trabalho as pessoas que estão presentes em minha vida, que me ajudaram a passar por essa jornada, em seus dias bons e principalmente nos ruins. Amigos, colegas, família e companheira.

“A vida as vezes é dura. As coisas dão errado, na vida e no amor e nos negócios e nas amizades e na saúde e em todos os outros modos que a vida pode dar errado. E quando as coisas ficam difíceis, isso é o que vocês devem fazer.

Façam boa arte.”

Neil Gaiman

Agradecimentos

Agradecimento a meu orientador e colegas que me auxiliaram sempre que foi preciso, a Universidade de Brasília (UnB) e o Programa de Pós-Graduação em Zoologia (PPG-ZOO) por possibilitar a realização desta pesquisa e a realização da pós graduação e a Embrapa por fornecer o local e todo o seu aparato para a realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Apoio do PROAP (Programa de Apoio à Pós-graduação) para a compra de equipamentos que possibilitaram a realização da pesquisa.

Sumário	
INTRODUÇÃO	1
Comunicação em animais	1
Comunicação com sinais acústicos e vibratórios	3
Comunicação com sinais estridulatórios	4
Inseto alvo do estudo	4
Objetivo geral	11
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO 1 - Comportamento reprodutivo de <i>S. mangiferae</i> : atos comportamentais e sinais envolvidos.	12
INTRODUÇÃO	13
MATERIAL E MÉTODOS	15
Manutenção dos insetos em laboratório	15
Local dos experimentos	17
Comportamento reprodutivo e emissão de sinais estridulatórios	17
Registro dos sinais estridulatórios emitidos por <i>S. mangiferae</i>	19
Análises estatísticas	20
RESULTADOS	21
DISCUSSÃO	25
CAPÍTULO 2. Características dos sinais estridulatórios, anatomia do aparelho estridulatório e mecanismo de estridulação em <i>Sternochetus mangiferae</i>	28
INTRODUÇÃO	29
MATERIAL E MÉTODOS	33
Registro dos sinais estridulatórios emitidos por <i>S. mangiferae</i> em situações de estresse	33
Análises dos sinais estridulatórios	34
Descrição anatômica do aparelho estridulatório	35
Análise do mecanismos de produção de estridulações	37
Análises estatísticas	38
RESULTADOS	38
Morfologia do aparelho estridulatório	44
Análise do mecanismo de produção de estridulações	48
DISCUSSÃO	49
CONCLUSÃO	52
Referências Bibliográficas	53
Apêndice 1	68

RESUMO

Comportamento reprodutivo e comunicação por estridulações em *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae)

Aluno: Giancarlo Catafesta

Orientador: Raul Alberto Laumann

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Sternochetus mangiferae (Coleoptera: Curculionidae) é uma praga da mangueira em todo o mundo. Este trabalho teve como objetivo investigar o comportamento reprodutivo, a comunicação estridulatória, descrever o aparelho estridulatório e o mecanismo básico de emissão das estridulações nesta espécie. O comportamento reprodutivo foi observado em arenas experimentais onde também foram registrados os componentes vibratórios e acústicos das emissões estridulatórias de machos e fêmeas. Sinais estridulatórios foram analisados em dois contextos comportamentais diferentes, estresse e comportamento reprodutivo. Imagens de microscopia eletrônica de varredura e microscopia estereoscópica foram analisadas para descrever o aparelho estridulatório e o mecanismo de produção das estridulações. O comportamento reprodutivo de *S. mangiferae* mostrou algumas estereotípicas básicas, descritos anteriormente em outros Curculionidae, como movimentos rápidos e encontro de pares e monta de machos em fêmeas juntamente com a emissão de sinais estridulatórios que mantém a fêmea em posição e interrompe seus movimentos preparando o par para cópula. Sinais estridulatórios emitidos em dois contextos comportamentais diferentes mostraram diferenças temporais e espectrais específicas e podem ser caracterizados como sinais de estresse, sinais de acasalamento emitidos pelos machos e sinais de rejeição emitidos pelas fêmeas. Os sinais de estresse foram produzidos continuamente enquanto o fator de estresse estava presente, já os sinais relacionados ao comportamento reprodutivo mostraram taxas de emissão menores. O aparelho estridulatório apresenta uma anatomia diferente em machos e fêmeas, principalmente pela inversão do *pars stridens* e localização e estrutura do *plectrum*. O mecanismo estridulatório básico consiste no movimento ântero-posterior do abdome que, ao entrar em contato com a superfície interna dos élitros, raspa o *plectrum* no *pars stridens*.

Palavras-chave: Gorgulho da mangueira, cópula, aparelho estridulatório, sinais de acasalamento, sinais de rejeição, sinais de estresse.

Brasília 07/2023

ABSTRACT

Reproductive behavior and acoustic communication of *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae)

Aluno: Giancarlo Catafesta

Orientador: Raul Alberto Laumann

Abstract da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Sternochetus mangiferae (Coleoptera: Curculionidae) is a mango tree pest around the world. This work aimed to investigate the reproductive behaviour, the stridulatory communication and describe the stridulatory apparatus and basic mechanism of signals emission in this species. Reproductive behaviour was observed in experimental arenas where also were recorded vibratory and acoustic components of stridulatory emissions of males and females. Stridulatory signals were analyzed in two different behavioral context, stress and reproductive behavior. Scanning electronic microscopy and stereoscopic microscope images were analyzed to describe the stridulatory apparatus and mechanism of signal production. Reproductive behaviour of *S. mangiferae* showed some basic stereotypes, described previously in other Curculionidae, as rapid movements and encounter of pairs and mounting of males on females together with emission of stridulatory signals that keeps the female in position and interrupts her movements preparing the pair for copulation. Stridulatory signals emitted in two different behavioral context showed specific temporal and spectral differences and could be characterized as stress signals, male courtship signals and female rejection signals. Stress signals were emitted in higher rate than courtship or rejection signals. In addition, stress signals were produced almost continuously while the stress factor was present. Stridulatory apparatus shows a different anatomy in males and females, principally by the inversion of *pars stridens* and *plectrum* localization and structure. Basic stridulatory mechanism consist in antero-posterior movement of the abdomen that, when in contact with the inner surface of elytra, scraping *plectrum* on *pars stridens*.

Keywords: Mango weevil, copulation, stridulatory apparatus, courtship signals, rejection signals, stress signals.

Brasília 07/2023

INTRODUÇÃO

Comunicação em animais

As interações entre os animais são mediadas por sistemas de comunicação. A comunicação é definida como a troca de informação entre um indivíduo sinalizador (indivíduo que envia um sinal) e um indivíduo receptor (que recebe o sinal) (Wilson, 1975; Bradbury e Vehrencamp, 2011). A informação é transmitida em forma de sinais que consistem em mudanças do ambiente, físico ou químico, produzidas pelo indivíduo emissor, com intensidade superior ao do ruído ambiental. A informação carregada pelos sinais pode transmitir intencionalidade, condições físicas e características próprias dos indivíduos (Laidre e Johnstone, 2013), como identidade específica, sexo ou condição fisiológica (Bradbury e Vehrencamp, 2011; Garcia *et al.*, 2020).

Os sinais afetam o comportamento de outro organismo resultando em vantagens adaptativas tanto para o emissor quanto para o receptor. Desta forma os sinais estão submetidos a pressões evolutivas tanto para tornar mais eficiente a sua emissão, a informação que carregam e a sua transmissão e recepção (Shannon e Weaver, 1949; Wilson, 1975; Smith e Harper, 2003; Scott-Phillips, 2008; Bradbury e Vehrencamp, 2011; Laidre e Johnstone, 2013; Freeberg, 2021).

Os animais também podem obter informações por intermédio de pistas. Diferente dos sinais, transmitem informações, de forma não intencional, entre organismos vivos. Ações ou estruturas corporais, de um organismo são utilizadas como fonte de informação por um indivíduo receptor (Bradbury e Vehrencamp, 2011) que pode ser usada como guia (orientação espacial) ou como condicionantes do seu comportamento (Hasson, 1994; Saleh *et al.*, 2007; Scott-Phillips, 2008). As pistas também podem originar-se a partir de componentes ambientais, sejam bióticos ou abióticos. Para alguns autores, o surgimento de sinais está relacionado com a ritualização do uso de pistas (Tinbergen, 1952; Smith e Harper, 2003). Essa ritualização conduz ao uso específico da pista na comunicação entre os indivíduos completando a transição pista-sinal (Grether, 2000; Bradbury e Vehrencamp, 2011).

Os animais emitem sinais em diversas situações, em contextos agressivos (ameaças, indicadores de dominância, avaliação de oponentes), reprodutivos (atração

de parceiros, corte, copula) (Freeberg, 2021), ou como sinais de integração (interações grupais ou sociais). Por sua vez as pistas são utilizadas para obter informações ambientais como localização de recursos (alimento, refugio, locais de reprodução, etc.) (Bradbury e Vehrencamp, 2011).

A origem e a forma de produção dos sinais é condicionada pelo ambiente onde os animais vivem, as estruturas corporais para produção e recepção, o gasto energético para produção, transporte e recepção e a função do sinal (Bradbury e Vehrencamp, 2000; Laidre e Johnstone, 2013). Assim, os animais podem emitir sinais de modalidades diferentes que serão propagadas por diferentes meios (Tabela 1) (Endler, 1993; Bradbury e Vehrencamp, 2011; Laidre e Johnstone, 2013).

Tabela 1 - Tipos de comunicação animal e suas características

Tipo de comunicação	Tipo de sinal	Canal de comunicação	Alcance	Funções
Química	Moléculas ou misturas de moléculas como hormônios, feromônios, aleloquímicos	Ar e água	Curto a longo	Atrair parceiros a longas distancias, marcar território, trilhar caminhos, sinais de alarme, reconhecimento de indivíduos ou de grupos.
Visual	Formas e cores Pigmentos, mecanismos estruturais de cor e bioluminescência	Ar e água	Curto a longo	Acasalamento, atração, competição e sinais de alerta.
Mecânica/ Tátil	Movimentos de ar Contatos físicos Variações de pressão	Sólido	Curto	Dominância, corte, acasalamento, informações do ambiente.
Mecânica eletromagnética	Corrente elétrica ou ondas magnéticas	Água e ar	Curto	Repelir predadores, localizar presas, navegar em ambientes com obstáculos.
Som/vibrações	Ondas de pressão	Sólido, ar e água	Curto a longo	Acasalamento, alarme, atração, localização, competição e conflito.

Fontes: Endler, 1993; Briscoe e Chittka, 2001; Virant-Doberlet e Cokl, 2004; Drosopoulos e Claridge, 2005; Von der Emde, 2007; Matthews e Matthews 2009; Steiger *et al*, 2010; Bradbury e Vehrencamp, 2011; Laidre e Johnstone, 2013; Gullan e Cranston ,2017.

Comunicação com sinais acústicos e vibratórios

Nos animais existem dois tipos de comunicação baseados em sinais originados em ondas de pressão que podem ser exercidas/transmitidas em meios fluidos como ar (acústicos), água ou substratos sólidos (vibração) (Bradbury e Vehrencamp, 2011). Estes sinais possuem várias características distinguíveis, como período da onda (representada pelo tempo em segundos para completar um ciclo), frequência (o número de vezes que o padrão é repetido por segundo, medido em Hz), espectro de frequências (conjunto de frequências características de um sinal podendo incluir a frequência fundamental e seus harmônicos ou um conjunto frequências), amplitude (variações da intensidade da pressão de uma onda em relação aos níveis do ambiente, em geral expresso em decibéis) (Bradbury e Vehrencamp, 2011). Além disto, como todos os sinais tem componentes temporais (duração dos pulsos ou sílabas), tempo de repetição (tempo desde o início de um pulso até o início do outro), entre outros.

A origem das ondas de pressão pode ser diversa. Na maioria dos vertebrados os sons são produzidos por estruturas específicas localizadas na laringe que originam vocalizações, muito comuns em espécies terrestres de anfíbios, reptéis, aves e mamíferos. Os mamíferos marinhos tem adaptações para produzir ondas de pressão no meio aquático (Bradbury e Vehrencamp, 2011).

Outra forma de produzir sinais é originando ondas de pressão em estruturas sólidas ou líquidas. Esta forma de sinal é chamada de vibratório para diferencia-los dos sinais acústicos (ondas de pressão no ar). Existem vários mecanismos para produção de som dentro desta categoria, como a vibração corporal, a percussão, a estridulação, a tremulação, expulsão de ar e mecanismo de clique. Os sinais vibratórios são produzidos pela vibração (movimentos ascendentes e descendentes ou laterais) de alguma parte do corpo do inseto propagados através de um substrato sólido, geralmente as plantas. Este tipo de sinal é o mais comumente encontrado em insetos que se comunicam com sinais vibratórios (Virant-Doberlet e Čokl, 2004; Cocroft *et al.*, 2014). A percussão ocorre quando uma parte do corpo (patas, antenas, abdome, etc.) bate com certa periodicidade contra um substrato ou outra parte do corpo. A estridulação é a produção de sons gerada a partir da fricção de duas partes sólidas do corpo. Os sinais tremulatórios são originados por movimentos enérgicos do

corpo, em sentido lateral ou vertical, quando o inseto está sobre água ou substratos sólidos. Mecanismos de clique envolvem uma área modificada na cutícula que, por meio de contrações e relaxamento, resultam em sinais de curta duração, finalmente a expulsão de ar ocorre por uma rápida mudança de pressão local que gera ondas de compressão, este mecanismo é característico de besouros da família Elateridae (Drosopoulos e Claridge, 2005; Bradbury e Vehrencamp, 2011).

Comunicação com sinais estridulatórios

Os sinais estridulatórios estão presentes em alguns vertebrados e na maioria dos insetos, principalmente nas ordens Hemiptera (subordem Heteroptera), Orthoptera e Coleoptera. Em insetos, os órgãos de estridulação são estruturas do exoesqueleto que combinam uma fileira de sulcos distribuídos de forma regular em uma superfície semelhante a uma lima, chamado de *pars stridens*, friccionada por uma crista ou superfície rígida, o *plectrum* (Lyal e King, 1996; Drosopoulos e Claridge, 2005). Estas estruturas podem estar presentes nas patas, cabeça, tergos, esternos e asas. Assim o aparelho estridulatório pode combinar asas com patas, asas com tórax, cabeça e tórax, tórax e abdome, entre outros (Figura 1) (Virant-Doberlet e Cokl, 2004; Low; Naranjo; Yack, 2021; Davranoglou; Taylor; Mortimer, 2023).

Em insetos, a estridulação é associada com comportamentos de defesa em situações de estresse, com interações sociais ou grupais e como sinais de comunicação durante o comportamento reprodutivo (Virant-Doberlet e Cokl, 2004; Bradbury e Vehrencamp, 2011; Davranoglou; Taylor; Mortimer, 2023).

Inseto alvo do estudo

A família Curculionidae é a mais diversificada entre os coleópteros, apresentando mais de 51.000 espécies descritas, classificadas em 4.600 gêneros (Hespenheide, 2000; Slipinski; Leschen; Lawrence, 2011). A característica principal do grupo é apresentar a cabeça prolongada num rostro com as peças bucais no ápice. O rostro pode possuir tamanhos e formas diferentes, pode ser alongado e pontiagudo, como no gênero *Sicoderus* (Vanin, 1986) ou curto e largo como em *Otiorrhynchus* (Germar, 1824). Ainda o rostro pode ser curvado ventralmente atingindo o prosterno

como em Cryptorhynchinae (Schönherr, 1825). As antenas são geniculadas e com clava compacta, estão localizadas na porção média do rostro e apresentam número variável de 9 a 11 segmentos. O abdome consiste em 8 a 9 segmentos visíveis em que o último deles é modificado pela presença dos órgãos sexuais (Lyal e King, 1996; Lempérière; Mantilleri; Conord, 2007).

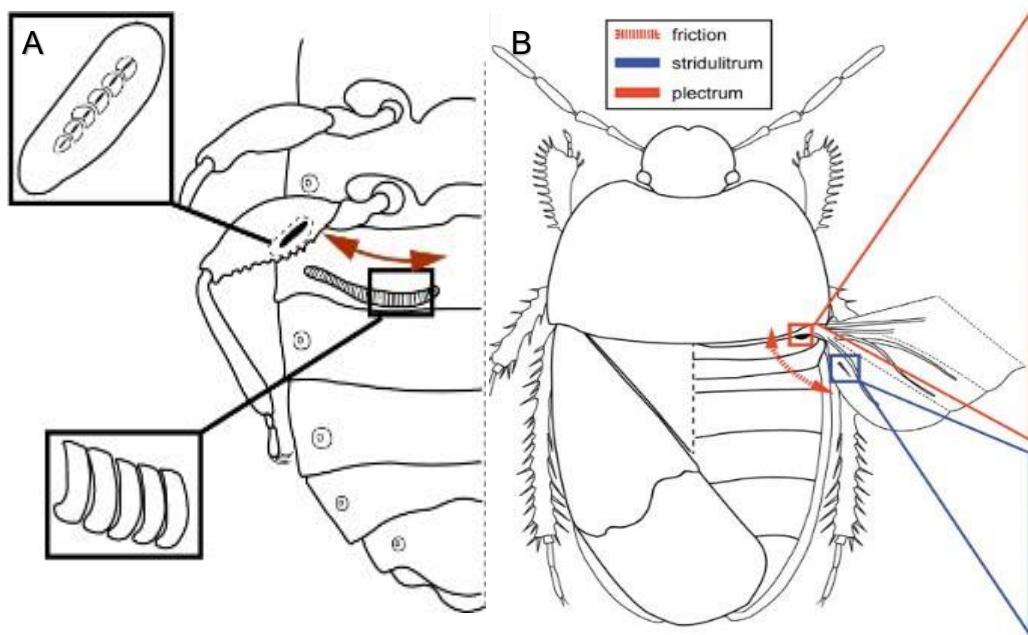


Figura 1. Exemplo de aparelhos estridulatórios em locais diferentes. A, aparelho estridulatório abdome-perna no gênero *Pictinus* (Coleoptera: Aradidae), onde o *plectrum* (detalhe superior) bate contra um *pars stridens* imóvel (detalhe inferior; direção do movimento representada na seta vermelha) (adaptado de Usinger e Matsuda, 1959). B, aparelho estridulatório do percevejo escavador *Cydnus aterrimus* (Forster) (Heteroptera: Cydniidae). Vista dorsal do inseto, mostrando a localização do aparelho estridulatório, abdome-asa. O *plectrum* está no primeiro segmento abdominal (em vermelho) e bate contra o *pars stridens*, que está localizado na superfície ventral da asa posterior (em azul). Fonte: Davranoglou; Taylor; Mortimer, 2023.

Sternochetus mangiferae (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Curculionidae: Cryptorhynchinae) é originário da região entre Mianmar e nordeste da Índia, na mesma região de origem da manga (*Mangifera indica*) (Linnaeus, 1753) (Anacardiaceae) (Subramanyam, 1925; Smith, 1996). É popularmente chamado de gorgulho ou broca da manga, sendo uma espécie monófaga, que se alimenta exclusivamente da manga e completa todo o desenvolvimento no fruto (Braithwaite e Emden, 2010; Louw, 2013; Woodruff e Faluso, 2015).

Os adultos são ovais, medem entre 7,5 e 9,5 mm, apresentam asas desenvolvidas, porém raramente foi registrado seu voo (Balock e Kozuma, 1964; Hansen e Armstrong, 1990; Braimah e Emden, 2010; Woodruff e Fasulo, 2015). São compactos e achatados, com rostro longo e curvo, élitros alongados com um declive abrupto, coloração que varia entre preto, castanho e marrom escuro, e manchas no élitro em formato de V nas cores preto, cinza e branco amarelado (Figura 2) (EPPO, 2011; Silva e Ricalde, 2017). Os adultos tem uma longevidade de até dois anos. Apresentam o hábito de permanecer próximos das árvores onde emergem (Smith, 1996; Braimah e Emden, 2010, PLH, 2018). Sua dispersão a curtas distâncias pode ocorrer entre árvores em uma mesma área, podendo estar associada ao voo a curtas distâncias ou a queda dos frutos próximo a base das árvores. (Shukla e Tandon, 1985; EFSA PANEL ON PLANT HEALTH (PLH) *et al.*, 2018). Já a dispersão a longas distâncias ocorre por meio de ação humana não intencional, com o carregamento de frutos contendo larvas, pupas ou adultos para outras regiões e países (Braimah e Emden, 2010; Woodruff e Fasulo, 2015; Peng, 2022).



Figura 2. Imagem *Sternochetus mangiferae*.

Fonte: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.16434>

As fêmeas são mais ativas durante o período de floração das mangas e, neste momento, ocorre a reprodução da espécie. As fêmeas põem em torno de 300 ovos durante a sua vida, podendo colocar 15 ovos por dia (Shukla e Tandon, 1985; Smith, 1996). A fêmea deposita um ovo por fruto, em raros casos mais, tendo preferência por

frutos verdes e pequenos, do tamanho aproximado de uma noz. Para isso, ela realiza um corte, formando uma cavidade na região do exocarpo, próximo ao pedúnculo do fruto, deposita o ovo e recobre com um exsudato de seiva (Figura 3). Os ovos são elípticos, com coloração branco creme, quando postos, e medem de 0,72-0,87 mm de comprimento e 0,24-0,34 mm de largura. A sua eclosão leva entre 5 e 7 dias, dependendo da temperatura (Braimah e Emden, 2010). As larvas emergem, cavam pelo mesocarpo até penetrarem o endocarpo, onde irão se alimentar, principalmente, da semente, o fruto cresce rapidamente e o dano causado pela passagem da larva se torna imperceptível (Woodruff e Faluso, 2015).



Figura 3. Imagem de ovo de *Sternochetus mangiferae* em casca de manga, envolto em seiva do fruto. Fonte: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.16434#image-4227>

As larvas de primeiro instar são brancas, alongadas, cilíndricas e apresentam cabeça preta, medem 1,34-1,44 mm de comprimento e 0,3-0,41 mm de largura. O desenvolvimento larval inclui 5 instares, no quarto a quinto instar apresentam coloração branca com a cabeça preta, com forma curculionóide típica, medem 16-18 mm de comprimento e 6-9 mm de largura. A pupa é esbranquiçada quando recém-formada, mudando de cor para vermelho claro antes da eclosão, medindo 7-10 mm de comprimento e 6-8 mm de largura (Figura 4) (Braimah e Emden, 2010; Woodruff e Faluso, 2015).



Figura 4. Estágios de desenvolvimento de *Sternochetus mangiferae*, larva, pupa e adulto.

Fonte: [https://app.pestnet.org/submissions/title/Mango%20seed%20weevil%20\(353\)](https://app.pestnet.org/submissions/title/Mango%20seed%20weevil%20(353))

Os adultos emergem escavando o fruto. Todo o desenvolvimento do inseto (ovo a adulto) se completa num período de 40 a 50 dias (Bhattacharyya; Pujari; Das, 2018). Após a emergência, os adultos permanecem em diapausa nas cascas próximas à base das árvores até o início do próximo período de floração (Balock e Kozuma, 1964; Braimah e Emden, 2010; EPPO, 2011; Woodruff e Faluso, 2015; Bhattacharyya; Pujari; Das, 2018).

Embora estes aspectos da biologia e algumas características ecológicas de *S. mangiferae* sejam relativamente bem conhecidos os detalhes do comportamento reprodutivo e seus mecanismos de comunicação são escassos (Bhattacharyya; Pujari; Das, 2018). Lyal e King (1996) descreveram a estrutura básica do aparelho estridulatório da espécie e sugeriram algumas funções biológicas para os sinais emitidos pelos insetos, mas posteriormente não foram produzidos novos conhecimentos ao respeito.

Atualmente *S. mangiferae* é considerada uma das pragas mais importantes da mangueira e está distribuída em todos os países produtores de manga (Figura 2). A sua disseminação desde o local de origem ocorreu com o comércio e transporte de frutos e sementes infectados com larvas e pupas (Braimah e Van Emden, 2010;

EPPO, 2011). Sua distribuição inclui Ásia, África, Oceania, América do Norte, América Central e Caribe e América do Sul (Figura 5) (EPPO, 2011; Silva e Ricalde, 2017).

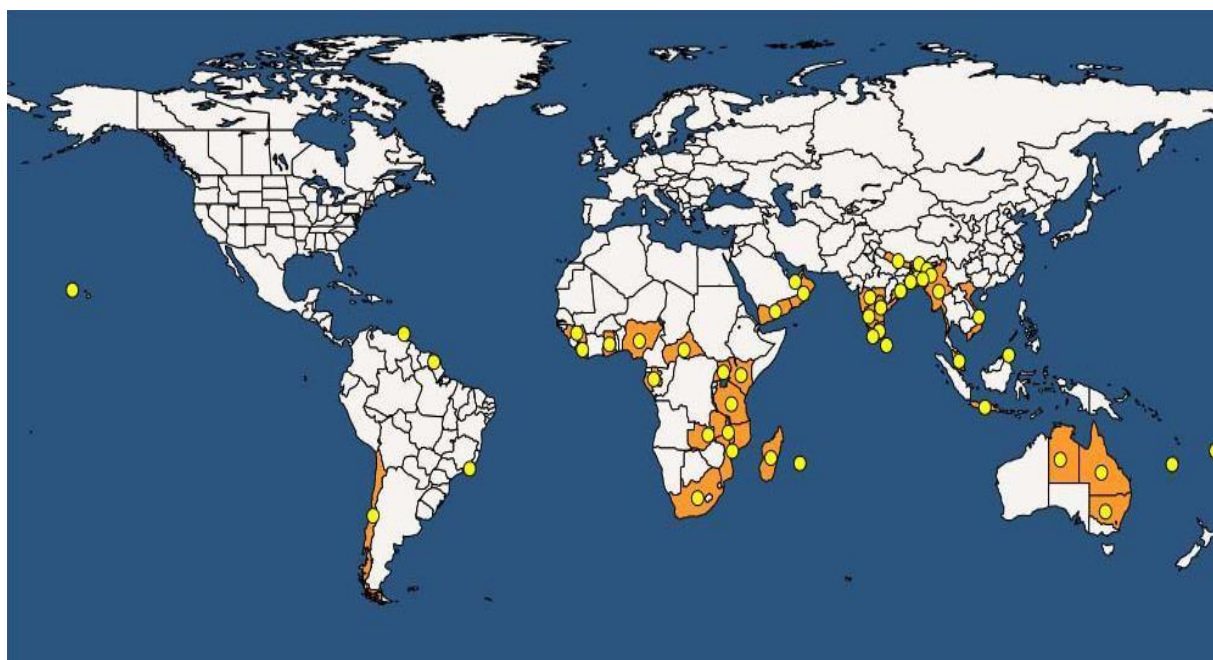


Figura 5. Distribuição global de *S. mangiferae*. Os pontos amarelos representam países/regiões onde o inseto está registrado e os países marcados em laranja indicam locais onde o inseto apresenta distribuição geográfica ampla.

Fonte: <https://gd.eppo.int/taxon/CRYPMA/distribution>, acesso: 19/02/2023.

No Brasil, *S. mangiferae* é considerada uma praga quarentenária presente no país. Após o seu registro em 2014 no distrito de Campo Grande, município do Rio de Janeiro. Atualmente sua distribuição se restringe a 9 municípios do estado de Rio de Janeiro. O registro destas populações, até o momento, tem sido em pomares não comerciais de chácaras ou quintais (Silva e Ricalde, 2017; Silva, 2019).

A importância desta espécie como praga é devido, entre outros fatores, às características do seu ciclo de vida, adaptabilidade a diferentes condições climáticas, pela sua resistência a métodos de controle, pela falta de inimigos naturais eficientes para regular sua população e pelo seu impacto econômico (Peña; Mohyuddin; Wysoki, 1998; Peng e Christian, 2007; Silva e Ricalde, 2017).

As perdas econômicas ocasionadas pelo inseto se originam porque, ao se alimentar da semente, o inseto ocasiona a queda prematura dos frutos, a destruição das sementes e, os furos no fruto favorecem as infecções secundárias por microrganismos (Follet e Gabbad, 2000; Follet, 2002; Verghese *et al.*, 2005).

Existe um controle sobre as leis de exportação para regiões onde *S. mangiferae*

ocorre, levando a um rigoroso processo de seleção dos frutos que podem ser exportados (Joubert; Daneel; Grove, 2000; Braimahe Van Emden, 2010; Anderson *et al.*, 2016).

Embora existam vários métodos que tentam reduzir suas populações, utilizando irradiação dos frutos para matar os insetos no seu interior, métodos de destruição dos frutos com queda prematura, uso de inimigos naturais e alguns inseticidas, a maioria deles não tiveram grande efetividade para evitar a disseminação do inseto, e alguns deles apresentando custo elevado (Seo *et al.*, 1974; Shukla; Tandon; Singh, 1984; Thomas *et al.*, 1995; Joubert; Daneel; Grove, 2000; Vergheze, 2000; Peng e Christian, 2007; Abdulla *et al.*, 2015). No Brasil, não existem inseticidas específicos e nem inimigos naturais adequados para seu controle. O método de monitoramento e remoção adequada dos frutos no solo, são as recomendações como medida de controle (Silva e Ricalde, 2017; Silva, 2019). Além de restrições ao transporte dos frutos nas áreas onde foi registrada a ocorrência de *S. mangiferae* (Silva e Ricalde, 2017).

No Brasil a manga tem grande importância econômica, liderando o ranking de exportação de frutas. Os principais estados produtores são Bahia, São Paulo, Pernambuco e Minas Gerais, correspondendo a 85,8 % da safra, segundo Silva e Ricalde (2017). Em 2021 gerou 49,7 milhões de dólares, com um potencial de expansão da exportação e um aumento da área de plantio, segundo as projeções do Ministério da Agricultura (Brasil, 2022). Desta forma a contenção, o controle e se possível a erradicação de *S. mangiferae* no Brasil é de grande importância uma vez que a presença da praga pode restringir mercados de exportação *in natura*, caso se disperse para áreas de produção, o impacto econômico será relevante (Anderson *et al.*, 2016; Silva e Ricalde, 2017).

Considerando as medidas de monitoramento e controle atualmente disponíveis e as características biológicas de *S. mangiferae*, é relevante conhecer com maior profundidade aspectos fundamentais da biologia, ecologia e comportamento do inseto (Silva e Ricalde, 2017; Bhattacharyya; Pujari; Das, 2018). Estes conhecimentos podem auxiliar para o desenvolvimento de medidas bioracionais e sustentáveis para o manejo da praga.

Objetivo geral

Analisar o comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae* e descrever os sinais estridulatórios envolvidos nestas interações.

Objetivos Específicos

Descrever o comportamento reprodutivo de *S. mangiferae* caracterizando os passos comportamentais estereotipados durante a corte e cópula.

Caracterizar os sinais estridulatórios emitidos pelos insetos em diferentes contextos (reprodução e estresse) considerando as possíveis diferenças entre os sinais de insetos de diferentes sexos.

Determinar a influência dos sinais estridulatórios nas interações entre os indivíduos e no comportamento reprodutivo.

Descrever a anatomia do aparelho estridulatório .

Descrever o mecanismo básico de produção de sinais estridulatórios.

Este trabalho será dividido em dois capítulos, no primeiro capítulo iremos descrever o comportamento reprodutivo incluindo os sinais estridulatórios envolvidos. No segundo capítulo iremos caracterizar os sinais estridulatórios em diferentes contextos analisando a diferença entre os sinais de machos e fêmeas, descrever o aparelho estridulatório de machos e fêmeas e analisar os mecanismos e dinâmica de produção de estridulações.

CAPÍTULO 1

Comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae*: atos comportamentais e sinais envolvidos

INTRODUÇÃO

O comportamento reprodutivo dos insetos inclui basicamente dois comportamentos principais, o acasalamento e a cópula (Alcock, 2011). O acasalamento compreende uma sequência de comportamentos como a aproximação, identificação e corte. A cópula, que é o ato final do acasalamento conduz à inseminação das fêmeas (Atkins *et al.*, 1980; Viana e Vilela, 1996; Hardy, Ode, Siva-Jothy, 2007). Os processos evolutivos têm moldado os comportamentos reprodutivos para reduzir as incertezas em relação aos parceiros, a comunicação cumpre um papel central. A comunicação durante o comportamento reprodutivo dos insetos inclui troca de sinais que informam os parceiros em relação a localização no ambiente, sexo, motivação e outras características ou estados fisiológicos nos quais se encontram os indivíduos (Hardy, Ode, Siva-Jothy, 2007; Alcock, 2011, Isa; Kumano; Tatsuta, 2019). Adicionalmente, os sinais podem inclusive serem utilizados para competição entre os indivíduos por acesso à cópula.

A comunicação pode envolver sinais utilizados a longa ou curta distâncias. Os sinais podem ser de diferente origem como químico, sonoro, mecânicos, visuais, entre outros. Em alguns casos a informação pode ser transmitida utilizando sinais complexos que incluem a mistura de sinais de vários tipos (sinais multimodais) (Matthews e Matthews, 2009).

Em Curculionidae o comportamento reprodutivo é normalmente dividido em três etapas: pré-monta, monta, que correspondem à etapa de acasalamento, e cópula (Walgenbach e Burkholder, 1987; Kaakeh, 1998). Na pré-monta machos e fêmeas se locomovem inicialmente de forma aleatória (Wojcik, 1969) ou em alguns casos o macho acompanha o movimento das fêmeas (Kaakeh, 1998). Após este período inicial o macho se orienta em direção à fêmea (Wojcik, 1969; Souza, 2006) e os insetos ficam em contato físico. Nesta etapa, algumas espécies intercambiam sinais táteis mediante movimentação das antenas de forma mais rápida e alternada sobre o corpo do parceiro ou raspagem de partes do corpo com as mandíbulas ou outras estruturas rígidas do corpo (Viana e Vilela, 1996; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999; Mutis *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2013; Reut *et al.*, 2017). Após isso o macho monta sobre a fêmea (etapa de monta). Este comportamento, que não tem um padrão estereotipado, podendo o macho montar na fêmea em diferentes locais e ângulos, permite aos

insetos encontrar a posição correta de cópula (Viana e Vilela, 1996; Kaakeh, 1998; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999). A monta das fêmeas pelos machos é associada à imobilização da fêmea e predisposição da mesma para a cópula. Nestas etapas (pré-monta e monta) também é muito comum observar comportamento de limpeza das patas (Wojcik, 1969; Wanto e Fischer, 2005). Em raros casos foi observada a elevação dos élitros, extensão e posterior retração lenta das asas membranosas (Valentine, 1973). Alguns machos tentam copular estando invertidos em relação a posição da fêmea (Souza, 2006). Ao encontrar a posição correta de cópula, o macho posiciona seu par de patas do protórax sobre o dorso da fêmea, no meio do élitro, o par de patas mesotorácicos agarra as laterais do abdome e o par metatorácico fica posicionado próximo ao final do élitro e do último segmento abdominal, uma forma de se fixar e manter a fêmea posicionada (Wojcik, 1969; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999; Wanto e Fischer, 2005).

Se a fêmea permanece parada é um sinal de receptividade para a cópula, assim o macho curva seu pigídio e expõe o edeago, que é curvo e esclerotizado, e o introduz na abertura genital da fêmea (Wojcik, 1969; Kaakeh, 1998). Em algumas espécies os machos emitem sinais sonoros (estridulações) tanto na pré-monta quanto após o macho montar no dorso das fêmeas. Estes sinais são associados à imobilização das fêmeas (Claridge, 1968; Polak e Brown, 1995; Reut *et al.*, 2017, Goodwin *et al.*, 2019). Em alguns casos, como por exemplo em espécies de *Rhynchaenus*, as fêmeas também emitem estridulações, que pode ser acompanhado de movimentos abdominais intensos com o intuito de derrubar o macho (Claridge, 1968, Martins *et al.*, 2013), por estas características estes sinais são associados a rejeição dos machos (Claridge, 1968, Nunes *et al.*, 2009).

A cópula pode ser rápida, durando alguns minutos (Larsson, 1988; Kaakeh, 1998; Viana e Vilela, 1996), ou pode ocorrer em intervalos de tempo longos (horas) (Wojcik, 1968; Walgenbach e Burkholder, 1987; Larsson, 1988; Sirot e Lapointe, 2008). Também é variável, entre as espécies estudadas, o período do dia em que a cópula ocorre, podendo ser durante a fotofase, durante a escotofase ou em qualquer momento do dia (Walgenbach e Burkholder, 1987; Martins *et al.*, 2013). Após a cópula os machos podem permanecer sobre a fêmea (guarda da fêmea) para evitar que ela copule com outros machos (Viana e Vilela, 1996; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999), realizar novas tentativas de cópula ou desmontar e se separar fisicamente (Wojcik,

1969; Kaakeh, 1998).

Sternochetus mangiferae é considerada uma das principais pragas da manga, se alimentando e realizando seu desenvolvimento no fruto, considerada uma espécie monófaga e de hábitos noturnos, são encontrados próximos a mangueira. Durante os períodos sem a presença do fruto para a alimentação, permanecem em diapausa (Braumah e Emden, 2010; Woodruff e Faluso, 2015)

Ainda que seja uma espécie de grande importância econômica, como praga de um importante cultivo a nível mundial, para *S. mangiferae* não existem trabalhos descrevendo o seu comportamento reprodutivo. Embora existam conhecimentos em relação à biologia de *S. mangiferae*, incluindo potencial reprodutivo, desenvolvimento pós-embrionário, hábitos e preferências alimentares (Balock e Kozuma, 1964; Braimah e Emden, 2010; EPPO, 2011; Louw, 2013; Woodruff e Faluso, 2015; Silva e Ricalde, 2017) pouco se sabe sobre o comportamento reprodutivo da espécie.

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento reprodutivo de *S. mangiferae*, caracterizando os passos comportamentais estereotipados durante a corte e cópula, e a possível comunicação por sinais estridulatórios nesse processo.

Portanto, o conhecimento do comportamento reprodutivo de *S. mangiferae* e dos sinais envolvidos nas etapas de acasalamento e cópula, além de fornecer informações básicas para a espécie, pode contribuir para identificar oportunidades para o desenvolvimento de ferramentas de manejo e controle da espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Manutenção dos insetos em laboratório

Os insetos foram coletados na região de ocorrência no Brasil, pomares do município de Seropédica, Rio de Janeiro. Foram transportados ao insetário de quarentena da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia seguindo os procedimentos quarentenários dispostos pelo Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA – Autorização para transporte e pesquisa Ofício 183/2020/DSV/DAS/MPA).

Foram recebidos 600 indivíduos adultos em março de 2020, 350 adultos em agosto de 2021, 80 em novembro de 2021 e 350 em abril de 2022. Os insetos (machos e fêmeas) foram transportados separados por sexo e, posteriormente, foram

distribuídos em grupos de 25 a 30 indivíduos (machos ou fêmeas) em caixas gerbox de acrílico (11 cm x 11 cm x 3,5 cm). As tampas das caixas foram perfuradas para permitir a ventilação. O fundo das caixas foi forrado com papel toalha e, no centro, foi colocada o fundo de uma placa de Petri plástica de 35 x 10 mm (diâmetro x altura respectivamente) forrada com papel toalha onde se acondicionou uma fatia longitudinal de manga, expondo a polpa para a alimentação, conforme Louw (2013) (Figura 1). Após acondicionar os insetos, as caixas foram fechadas e amarradas com bandas elásticas para evitar que os insetos conseguissem levantar a tampa ocasionando fuga de indivíduos.



Figura 1. Adulto de *Sternochetus mangiferae* alimentando-se de fatia de manga em condições quarentenárias. Fonte: Autor, 2023.

As caixas com machos ou fêmeas foram colocadas em um recipiente de plástico fechado com devida aeração e introduzidas numa câmara climatizada tipo BOD localizada numa sala de segurança quarentenária da Estação Quarentenária da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. A BOD se manteve a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 60% UR e fotoperíodo de 12 HL:12 HO e em ciclo invertido (escotofase entre 6:00 e 18:00 h) para facilitar o trabalho experimental, uma vez que este inseto apresenta maior atividade noturna (Balock e Kozuma, 1964; Louw, 2013).

As caixas contendo os insetos foram limpas e o alimento renovado três vezes por semana, utilizando equipamentos de segurança (jaleco e luvas), para evitar contaminações. Durante a manutenção os insetos foram contados, computando os

mortos, e os valores transferidos para uma planilha de controle atualizada a cada atividade de manutenção.

Todo o material de descarte, insetos mortos, restos de alimentos e papéis foi colocado em freezer a -24°C e posteriormente incinerado.

Para transporte interno (entre laboratórios), as caixas contendo os insetos foram acondicionadas em recipientes plásticos fechados com tampas com trava de segurança.

Local dos experimentos

Os experimentos para estudo do comportamento reprodutivo e registro dos sinais sonoros de *S. mangiferae* se desenvolveram numa sala adaptada especialmente para estudos de bioacústica de insetos. A sala possui paredes revestidas com espuma de poliuretano e piso com carpete, ambos para isolamento acústico. Os sinais sonoros emitidos pelos insetos foram registrados sobre uma mesa de trabalho adaptada para reduzir vibrações. Para isto, sobre uma mesa de aço com tampo de madeira (72 x 120 cm), apoiada em um carpete de borracha, foram distribuídas 4 câmaras de ar cheias e sobre elas apoiada uma pedra de granito de 4 cm de espessura com as mesmas dimensões da mesa. Os experimentos foram realizados entre 08:00 e 15:00 h em duas condições alternativas, claro ou escuro. Neste último caso, os insetos foram mantidos em ciclo reverso de luz por pelo menos 15 dias antes dos experimentos. A sala foi mantida a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e iluminada com duas lâmpadas fluorescentes (40 W) ou com luz vermelha no escuro.

Comportamento reprodutivo e emissão de sinais estridulatórios

Para observar e descrever o comportamento reprodutivo (acasalamento e cópula) de *S. mangiferae* foram formados casais (1 macho e 1 fêmea) e colocados em extremidades opostas de uma placa de Petri de vidro de 9 cm de diâmetro (90 x 15 mm), um em cada extremidade da placa (Figura 2).

Este período foi estabelecido porque, a partir de observações iniciais, foi constatado que após o manuseio dos insetos eles apresentavam um estado similar à tanatose que em alguns casos se estendia por um período de 1 hora. As observações foram realizadas em condições de presença (dia) ou ausência (noite) de luz no período

de 8 até 16 h, com indivíduos aclimatados em ciclo de iluminação normal (escotofase entre 18:00 e 6:00 h) e em ciclo invertido (escotofase entre 6:00 e 18:00 h) respectivamente. A iluminação da sala, simulando a condição de dia, foi obtida com duas lâmpadas fluorescentes de 40 W.

Para iniciar as observações dez placas de Petri foram preparadas e numeradas em sequência para identificação (Figura 2). Durante as observações foram identificados os comportamentos que foram classificados nas categorias comportamentais apresentadas na Tabela 1. Quando cada casal iniciou os movimentos foi colocado na mesa antivibratória para registrar os sinais sonoros emitidos.

Para registro dos sinais de cópula foram utilizados o acelerômetro piezoelétrico (Bruel&Kjaer Type 4508 002) e o microfone de alta sensibilidade (AKG modelo C 1000S) dispostos sobre a mesa antivibratória.

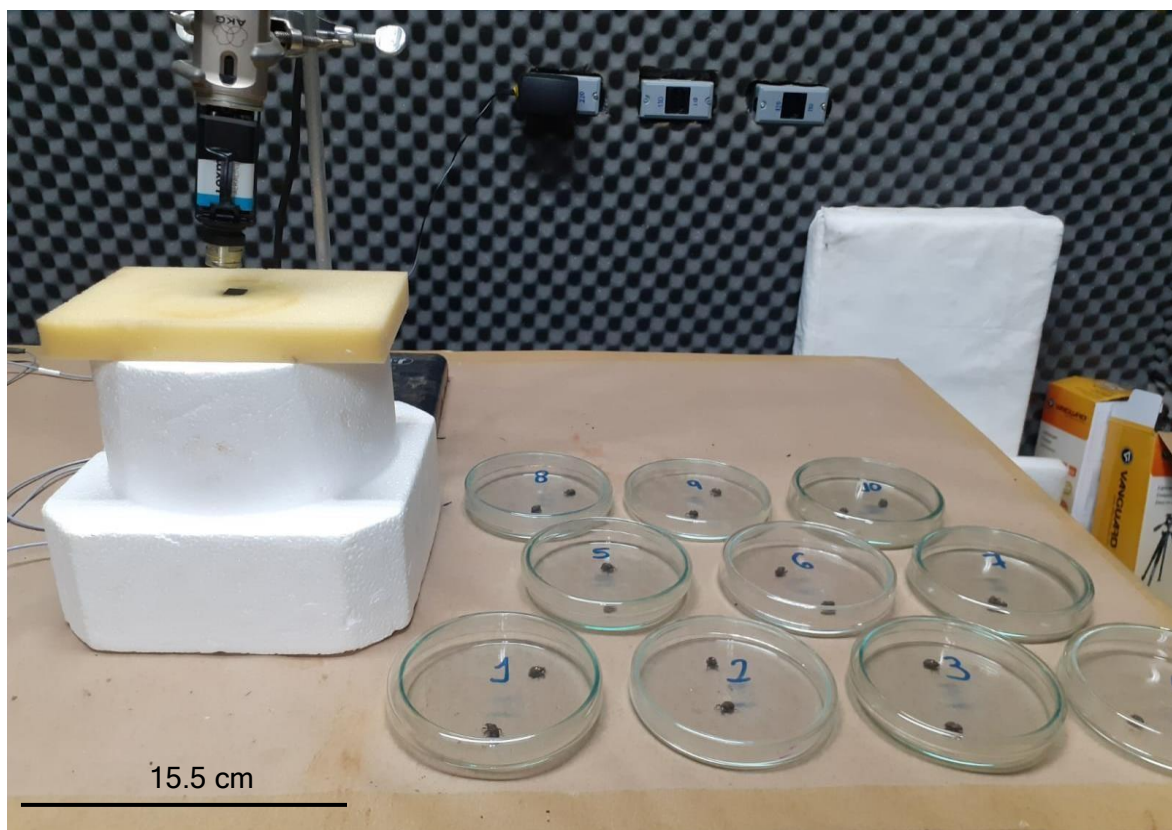


Figura 2. Montagem dos experimentos para estudo do comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae*. À direita se observam as placas com os casais numerados na sequência. À esquerda a plataforma onde se posicionaram as placas e os equipamentos de captação de som, microfone (acima), acelerômetro (abaixo).

Tabela 1. Categorias comportamentais identificadas em casais de *S. mangiferae* e utilizadas para análise do comportamento reprodutivo.

Código da categoria comportamental	Descrição do comportamento
Mov	Ambos indivíduos ativos e em movimento
Enc.Cas	Macho e fêmea se encontram (contato físico)
SubF	Macho sobe sobre o dorso da fêmea
SubM	Fêmea sobe sobre o dorso do macho
LimPa	Limpam as patas
SAcM	Macho estridula no dorso da fêmea
SrejF	Fêmea emite sinal de distúrbio para macho
FPara	Fêmea permanece parada
Cop	Casal em cópula
TeCop	Tentativa de cópula sem sucesso
FrejM	Fêmea rejeitou o macho

Registro dos sinais estridulatórios emitidos por *S. mangiferae*

Para registro das estridulações emitidas pelos insetos foram utilizados, um acelerômetro piezoelétrico (Bruel&Kjaer, Type 4508 002) e um microfone de alta sensibilidade (AKG, modelo C 1000S, frequência de resposta de 50 a 20.000 Hz). Sobre uma haste de metal foi acondicionada uma garra de fixação para posicionar o microfone. Por baixo do microfone, foi colocada uma base de isopor circular e sobre esta um retângulo de espuma de poliuretano. No centro da peça de espuma foi realizado um corte quadrado (0,5 x 0,5 cm) onde foi fixado o acelerômetro piezoelétrico (Figura 3). O microfone e o acelerômetro foram conectados a uma placa de digitalização (Edirol Roland, USB AudioCapture UA – 25EX a 24bit, 96 kHz, 100 dB razão sinal-ruído) e os sinais foram registrados utilizando o programa Cool Edit Pro 2.0 (Syntrillium Software 2001). Com este arranjo foi possível gravar tanto os componentes vibratórios como acústicos dos sinais emitidos pelos insetos, utilizando a função de gravação estéreo com dois canais independentes (um para o acelerômetro e outro para o microfone).

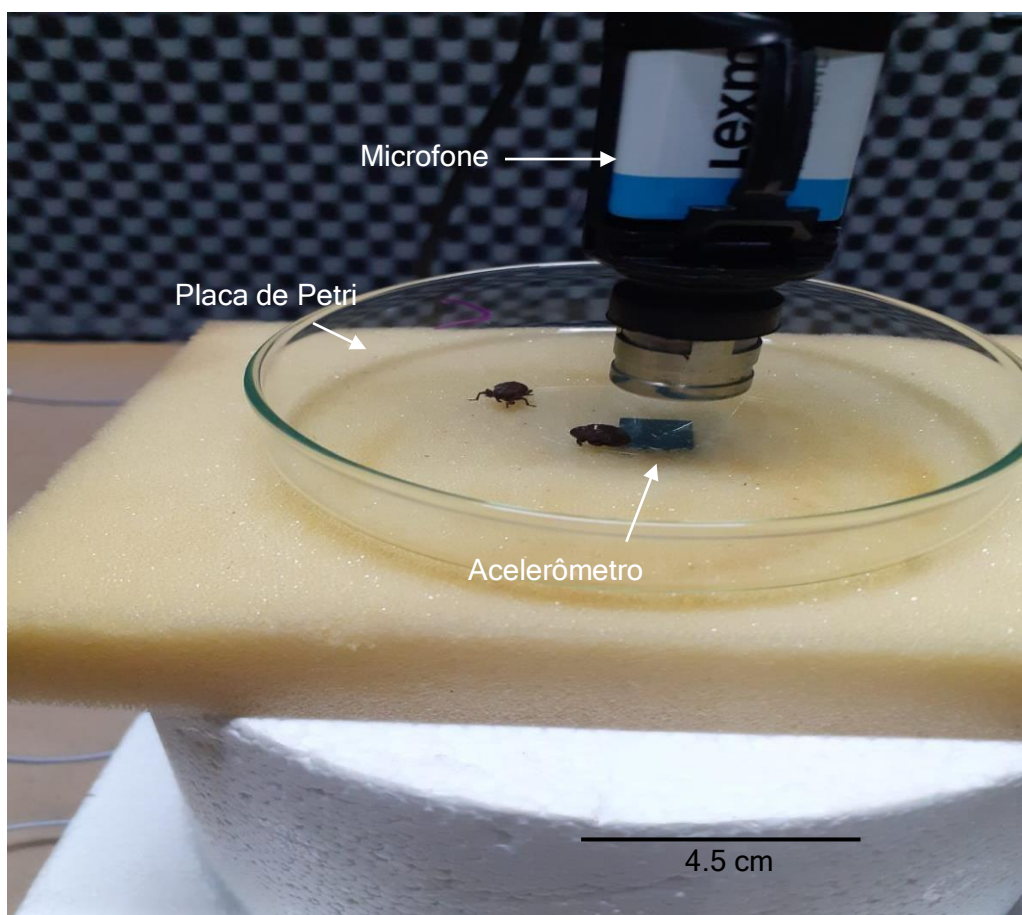


Figura 3. Montagem para gravação dos sinais estridulatórios. Microfone (AKG modelo C 1000S), placa de Petri (9 cm de diâmetro), acelerômetro piezoelétrico (Bruel&Kjaer Type 4508 002) em placa de espuma e sobre a plataforma de isopor. Sobre a placa um casal de *S. mangiferae*.

Os sinais emitidos pelos insetos foram digitalizados com uma placa externa (Edirol by Roland USB AudioCapture UA – 25EX 24bit 96kHz), gravados utilizando o programa Cool Edit Pro 2.0 (Syntrillium Software 2001) e armazenados em HD (*Hard disc*) externo. Todos os comportamentos foram registrados na sequência de ocorrência por observação direta, e a emissão de sinais acústicos registradas simultaneamente e registradas como categorias comportamentais.

Análises estatísticas

Os dados de sequências de comportamentos foram tabelados em uma matriz de Markov de primeira ordem, considerando as frequências de transição entre comportamentos. As probabilidades de transição foram calculadas considerando as

frequências de transição entre dois eventos dividido a frequência do primeiro evento. Os valores esperados foram obtidos ao multiplicar cada coluna e fila da matriz, divididos pelo total de transições comportamentais observadas. Para avaliar a significância das transições individuais foram utilizados testes de χ^2 com a significância ajustada pela correção de Bonferroni (Laumann *et al.*, 2016; Cokl *et al.*, 2017). Os resultados foram apresentados graficamente num etograma.

RESULTADOS

Os comportamentos reprodutivos observados em condições de escuro e luz apresentaram proporções similares comparadas as sequências de categorias comportamentais. Com isso os resultados das categorias foram somados e apresentados de forma conjunta.

Em geral, os comportamentos de pré-montagem foram mais frequentemente observados do que os de monta, não foram observadas diferenças entre os insetos em condições de luz e escuro (Tabela 2).

Tabela 2. Número de indivíduos observados em cada categoria comportamental, a porcentagem de indivíduos que realizaram cada categoria de comportamento em arenas formadas por placas de Petri sob condições de luz e escuro. Teste de proporção de cada categoria comportamental em condições de luz e escuro observando sua diferença significativa utilizando teste de χ^2 .

Código da categoria comportamental	Observações de ações no escuro	Observações de ações na luz	Teste de proporção
Mov	105 (1)	92 (1)	
Enc.Cas	99 (0.94)	88 (0.95)	$\chi^2_1 = 0.012$ P = 0.91
SubF	79 (0.75)	75 (0.81)	$\chi^2_1 = 0.796$ P = 0.37
SubM	28 (0.26)	16 (0.17)	$\chi^2_1 = 1.926$ P = 0.16
LimPa	30 (0.28)	35 (0.38)	$\chi^2_1 = 1.584$ P = 0.20
SacM	14 (0.13)	9 (0.09)	$\chi^2_1 = 0.304$ P = 0.58
SrejF	16 (0.15)	10 (0.10)	$\chi^2_1 = 0.480$ P = 0.48
FPara	12 (0.11)	4 (0.04)	$\chi^2_1 = 2.414$ P = 0.12
Cop	13 (0.12)	12 (0.13)	$\chi^2_1 = 1.370e-30$ P = 1
TeCop	12 (0.11)	9 (0.09)	$\chi^2_1 = 0.020$ P = 0.88
FrejM	4 (0.03)	4 (0.04)	$\chi^2_1 = 1.190e-30$ P = 1.

Do total de casais observados (n = 197) somente 12,69 % (n = 25) finalizaram a sequência de comportamento com cópula, em geral se observou uma maior ocorrência de comportamentos ao início do acasalamento do que ao final do mesmo (Tabela 3).

Algumas das sequências comportamentais foram claramente estereotipadas uma vez que a sua ocorrência foi significativamente diferente do esperado (Figura 4). Em particular o encontro dos insetos, a monta dos machos nas fêmeas, o canto dos machos que mantem as fêmeas estáticas e permite a cópula foram os comportamentos que mostraram maiores valores de probabilidade de transição (Figura 4, 5).

Tabela 3. Total de observações de cada categoria comportamental registradas em 197 casais de *Sternochetus mangiferae* observados em arenas construídas com placa de Petri de 9 cm de diâmetro.

Código da categoria comportamental	Total de observações da ação (n)
Mov	197
Enc.Cas	187
SubF	154
SubM	44
LimPa	65
SAcM	23
SrejF	26
FPara	16
Cop	25
TeCop	21
FrejM	8

Durante o comportamento reprodutivo, *S. mangiferae* emitiu estridulações em dois contextos diferentes. Os machos estridulam quando estão montados no dorso da fêmea em situação pré-copulatória ou mesmo quando o par está em cópula (Figura 4). Esse sinal estridulatório paralisa os movimentos da fêmea, permitindo que os machos adotem a posição de cópula (sinal de acasalamento do macho, SAcM) (Figura 5).

Dos 25 machos que atingiram a cópula em nossos experimentos, 23 estridularam quando montados em fêmeas. Três machos também emitem SAcM após a cópula e em situações em que as fêmeas começam a se movimentar. Nesses casos, os machos interromperam a cópula e emitiram alguns pulsos de SAcM até que a fêmea parasse. As fêmeas (n= 26) também estridularam, mas esse sinal estava relacionado à rejeição do macho (sinal de rejeição feminina, SrejF). Paralelamente às estridulações, as fêmeas moviam fortemente seus corpos para derrubar os machos de seu dorso.

Ainda que uma grande variação entre os indivíduos fosse observada, os insetos se encontraram e o contato físico aconteceu em um curto período após os insetos começarem a se mover (tempo de encontro $7,33 \pm 11,15$ s (n = 21)). A monta de machos aceitos (tempo desde a monta até o início da cópula, tempo de monta = $46,95 \pm 262,57$ s, n = 23, mínimo = 2 s, máximo = 808 s) e o tempo de cópula ($1320,64 \pm 1122,62$, n = 23, mínimo = 173 s, máximo = 2987 s) consumiram mais tempo do que outros comportamentos registrados.

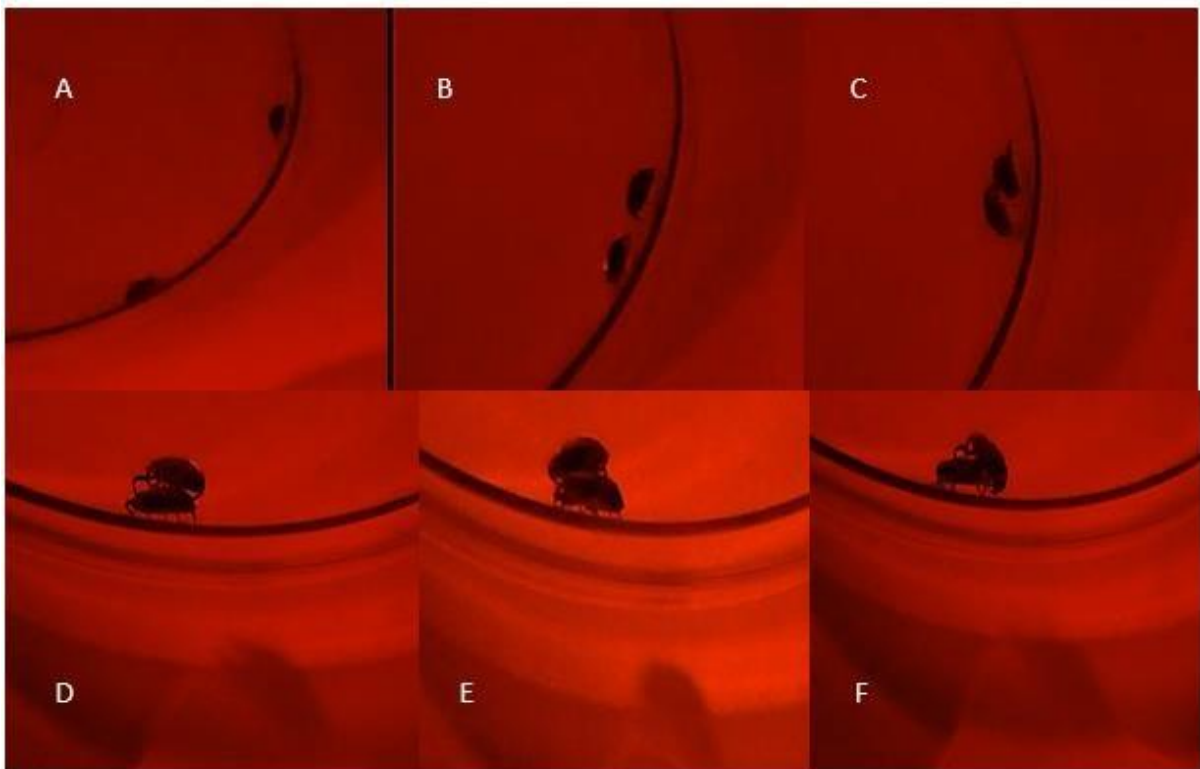


Figura 5. Sequência das principais categorias comportamentais do comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae*. A. Movimentação, B. Encontro casais, C. Macho monta sobre a fêmea, D. Macho se movendo sobre a fêmea, E. Macho emitindo sinal para fêmea, F. Macho em posição de cópula.

DISCUSSÃO

Sternochetus mangiferae apresenta comportamento reprodutivo semelhante ao observado em outras espécies de Curculionidae (Claridge, 1968; Wojcik, 1969; Kaakeh, 1998; Carbone e Rivera, 1998; Cortero *et al.*, 2004). Em particular, para *S. mangiferae* a maioria das sequências comportamentais apresentaram baixo grau de estereotípias, como sugerem os baixos valores de probabilidade de transição de comportamentos mostrados no etograma (Figura 4), o que também é observado para outras espécies da Família (Souza, 2006).

Em algumas espécies de Curculionidae se descreveram comportamentos específicos de pré-copula, como antenação (toques repetitivos e rítmicos do corpo do parceiro com as antenas) ou raspagem de parte do corpo entre os parceiros utilizando as mandíbulas ou outras partes rígidas do corpo. Estes tipos de interações são interpretados como sinais mecânicos (táteis) que podem fornecer aos parceiros informações relevantes para o acasalamento e cópula (Wojcik, 1969; Souza, 2006; Isa; Kumano; Tatsuta, 2019). Em *S. mangiferae* não foram identificados outros sinais além de estridulações, mas a presença de sinais de outras modalidades (táteis, visuais ou químicos) quando os insetos estão próximos ou em contato físico não podem ser descartados (Izzo *et al.*, 2010; Bro-Jorgensen, 2010; Matins, 2013; Isa; Kumano; Tatsuta, 2019), por comportamentos pré-copula apresentarem maior duração do que os demais.

Um comportamento muito frequente observado durante o período de pré-monta e durante a monta do macho na fêmea foi a limpeza das patas. Este comportamento pode estar associado a uma forma de remover impurezas com o objetivo de melhorar a percepção de estímulos (Böröczky, 2013). Os insetos possuem receptores sensoriais diversos nas antenas e nas patas e, normalmente, são estas as partes do corpo que os insetos limpam com maior frequência (Valentine, 1973; Chapman, 1982; Wanto e Fischer, 2005; Böröczky, 2013). Esse comportamento pode reforçar a ideia do uso de sinais químicos ou táteis durante o acasalamento e cópula (Wojcik, 1969). A limpeza das patas também foi observada com frequência quando o macho estava montado na fêmea e pouco antes das tentativas de cópula. Este comportamento também é frequente em outros Curculionidae como *Sitophilus granarius* (Linnaeus, 1758) (Wojcik, 1969) ou espécies do gênero *Conotrachelus* (Valentine, 1973). A monta

das fêmeas é um mecanismo de pré-cópula comum em Coleoptera (Claridge, 1968; Wojcik, 1969; Kaakeh, 1998; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999; Wanto e Fischer, 2005; Rodríguez, 2015) que possivelmente favorece o posicionamento dos parceiros para a inserção do edeago na abertura genital da fêmea.

Os machos emitiram sinais estridulatórios quando estavam montados sobre as fêmeas. Este sinal mantém a fêmea em posição e interrompe os seus movimentos, favorecendo a cópula posteriormente. As fêmeas emitiam o sinal semelhante ao observado em situações de estresse (ver Capítulo 2). Este sinal foi emitido quando o macho montou sobre a fêmea, quando o macho sinalizava para a fêmea ou quando tentava acasalar, após a sinalização o macho desmontava ou se afastava da fêmea. Considerando essas características, os sinais foram classificados como sinal de corte do macho (SAcM) e sinais de rejeição fêmea (SrejF).

A proporção de casais que copularam (12,69% dos casais observados) pode ser considerada baixa em relação ao reportado para outras espécies de Curculionidae, *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824) (25% a 55%, n = 40) (Uzakah e Odebiyui, 2015), *Anthonomus grandis* (Boheman, 1843) (70%, n = 50) (Mayer e Brazzel, 1963) e *Spermologus rufus* (Boheman, 1843) (80%, n = 10) (Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999). Isto pode ter sido influenciado pela baixa adaptação de *S. mangiferae* às condições de laboratório, que pode interferir com a sua fisiologia reprodutiva, produção de sinais e comunicação, fatos comumente relatados para insetos em condições de laboratório (Edgar *et al.*, 2013; Tavares; Campos; Tavares, 2016; Bedoya *et al.*, 2019) ou por motivo dos insetos utilizados serem recebido já na fase adulta, não houve possibilidade de abordar a idade como variável de controle. As fêmeas podem exercer grande pressão sexual para a escolha dos machos.

De forma semelhante ao observado em outros Curculionidae (Wojcik, 1969; Barreto; Anjos; Della Lucia, 1999; Wanto e Fischer, 2005), em *S. mangiferae* foi observado uma série de comportamentos aleatórios, não incluídos no etograma já que ocorreram raras ocasiões e a sua relação com outros comportamentos relevantes (transições) não foram significativas.

Em experimentos em condições de luz e escuridão não foram observadas diferenças no comportamento dos insetos, mesmo que *S. mangiferae* seja considerada uma espécie noturna (Balock e Kozuma, 1964; Braimah e Emden 2010; Louw, 2013; Woodruff e Faluso, 2015).

Sinais semelhantes ao SAcM de *S. mangiferae* são comumente descritos em Curculionidae e outros insetos (Claridge, 1968; Wilson *et al.*, 1993; Wanto e Fischer; 2005 Rodríguez, 2015; Golov *et al.*, 2018, Goodwin *et al.*, 2019). Em algumas espécies, esses sinais foram associados à atração dos parceiros que mostram movimentos orientados para a fonte desses sinais (Mampe e Neunzig, 1966; Rudinsky *et al.*, 1978; Lukic *et al.*, 2021), o que não foi observado no caso de *S. mangiferae*. Entretanto, não é possível descartar esta função para o sinal SAcM dado que os experimentos foram realizados em arenas onde os insetos se encontravam. Experimentos específicos precisam ser desenvolvidos para testar se o sinal SAcM de *S. mangiferae* pode ser atrativo para as fêmeas.

Alguns dos machos que copulam também emitem sinais SAcM durante a cópula, fato também relatado para espécies de *Smycronix* (Hyder e Oseto, 1989). A sinalização durante a cópula reforça as hipóteses de que a principal função do SAcM é imobilizar as fêmeas e facilitar o acesso dos machos à cópula.

O ato de sinalização sobre a fêmea antes da cópula é um comportamento também descrito para sinais químicos caracterizados pelos hidrocarbonetos cuticulares (Isa *et al.*, 2019; Izzo *et al.*, 2010) ou ainda com uma mistura de sinais de diferentes naturezas (Bro-Jorgensen, 2010).

A informação aqui apresentada constitui a primeira descrição detalhada do comportamento reprodutivo de *S. mangiferae* e os sinais acústicos envolvidos no mesmo. Estes conhecimentos podem ser relevantes para uma melhor compreensão da sua biologia e ecologia auxiliando a compreender seu impacto como praga na cultura da mangueira e sua capacidade de colonização de novos ambientes. Estas informações são relevantes uma vez que se trata de um inseto quarentenário e considerado praga principal em todos os locais de produção de manga.

Adicionalmente as observações do comportamento de acasalamento e cópula permitem inferir que outros tipos de sinais (químicos, táteis ou visuais) podem estar envolvidos no comportamento reprodutivo da espécie. Esta hipótese deve ser avaliada em trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Características dos sinais estridulatórios, anatomia do aparelho estridulatório e mecanismo de estridulação em *Sternochetus mangiferae*

INTRODUÇÃO

Os sinais estridulatórios são comumente encontrados em insetos. Na Ordem Coleoptera se registram em ao menos 30 famílias, sendo descritos 14 tipos diferentes de órgãos utilizados na estridulação (Lyal e King, 1996; Wessel, 2006). As estridulações podem ser produzidas por adultos, larvas e pupas (Tabela 1) a partir de duas estruturas cuticulares chamadas de *pars stridens* e *plectrum* (Wessel, 2006). Em geral, o *pars stridens* consiste de finas pregas paralelas da cutícula e o *plectrum* é formado por protuberâncias salientes (Lyal e King, 1996; Wessel, 2006; Davranoglou; Taylor; Mortimer, 2023). A estrutura e localização do *pars stridens* pode variar nas diferentes famílias de Coleoptera (Tabela 1) (Lyal e King, 1996; Wessel, 2006).

Na maioria dos casos, a produção de estridulações está relacionada a situações de estresse ou distúrbio e teriam funções defensivas ou de alerta. Insetos submetidos a estresse físico ou ambiental emitem os sinais estridulatórios de forma intermitente ou contínua enquanto a causa do estresse permanece ativa (Claridge, 1969; Lyal e King, 1996; Nunes; Ronchi-Teles; Spironello, 2009).

Os sinais estridulatórios produzidos pelos machos também tem função na comunicação sexual uma vez que são emitidos em situações pré-copulatórias. A emissão destes sinais paralisa as fêmeas que interrompem os seus movimentos o que facilita, posteriormente, a cópula. Por estas características, estes sinais emitidos pelos machos se associam com comportamentos de dominância ou submissão das fêmeas (Lyal e King, 1996; Gaiger e Vanin, 2006; Goodwin *et al.*, 2019).

Como os sinais estridulatórios são emitidos em situação onde os insetos estão em curtas distâncias ou ainda em contato físico se propõe que eles têm dois componentes, um acústico, transmitido pelo ar e outro vibracional transmitido pelo substrato ou ainda pelo próprio corpo dos insetos (Claridge, 1968).

Curculionidae é a maior família dentro de Coleoptera, com aproximadamente 50.000 espécies (Lyal e King, 1996) descritas em 65 subfamílias (Lima, 1956; Ferreira, 2016). Ao menos metade das espécies conhecidas poderiam produzir sinais estridulatórios (Lyal e King, 1996).

Tabela 1. Tipos de aparelho estridulatório em Coleoptera em relação à localização do *pars stridens* e *plectrum*. Localização do *pars stridens* e Famílias que apresentam as estruturas. Dados adaptados de Wessel (2006).

Tipo de aparelho estridulatório Localização do <i>pars stridens</i> - <i>plectrum</i>	Localização das estruturas de estridulação <i>Pars stridens</i>	Famílias
Cranio-Vertice pro-torácico	Cefálico	Nitidulidae, Languriidae, Hispididae
Gula		Tenebrionidae, Scolytidae, Anobiidae
Prosterno-mesosternal	Torácico	Melolonthidae
Pronoto-femoral		Bostrychidae
Mesonoto-pronotal		Cerambycidae
Abdomino-femoral	Abdominal	Cetoniidae, Heteroceridae
Abdomino-elitral		Carabidae, Hydrophilidae, Scarabaeidae, Curculionidae
Abdomino-alar		Passalidae, Geotrupidae, Dynastidae
Coxo-metasternal	Patas	Geotrupidae, Cerambycidae
Femoral		Carabidae, Rutelidae
Élitro-abdominal	Asas posteriores (élitro)	Trogidae, Scarabaeidae, Curculionidae, Scolytidae
Élitro-femoral		Carabidae, Tenebrionidae, Cerambycidae, Lucanidae
Elitral		Dytiscidae, Erotylidae, Endomychidae
Alária-abdominal	Asas anteriores	Scarabaeidae
Maxilo-mandibular	Estridulação em larvas	Scarabaeidae, Rutelidae, Cetoniidae
Mesocoxa-pernas traseiras		Passalidae, Geotrupidae
Metatrochanto-mesocoxal		Lucanidae
Tergal -Junção dos tergitos 1 a 6	Estridulação em pupa	Scarabaeidae

Em geral, as estridulações de Curculionidae são de baixa intensidade pelo que se transmite em distâncias curtas, por isto a sua função principal está relacionada com comportamentos de resposta a distúrbios (contato físico direto), para machos atraírem fêmeas, rivalidade entre machos por uma fêmea, reconhecimento pré-copulatório, isolamento reprodutivo e sinais de agregação em espécies gregárias ou com interações grupais (Claridge, 1969; Lyal e King, 1996; Wessel, 2006).

O tipo de aparelho estridulatório mais comum em Curculionidae é o élitro-tergal. Em geral a estrutura é formada por uma fileira de pregas cuticulares que formam o *pars stridens* e um *plectrum* formado por protuberâncias na cutícula em forma de tubérculos, espinhos ou cerdas (Lyal e King, 1996; Davranoglou; Taylor; Mortimer, 2023).

A posição do *pars stridens* e do *plectrum* variam entre as diferentes subfamílias de Curculionidae. Lyal e King (1996) reconhecem quatro tipos, o tipo 1 compreende um *pars stridens* na parte interna do élitro na sua metade apical (Figura 1), próximo da sutura elitral (onde os élitros se encaixam quando fechados) e um *plectrum* formado por tubérculos salientes localizado no sétimo tergito abdominal (Figura 2). No tipo 2, o *plectrum* e o *pars stridens* são invertidos. Os tubérculos do tergito assumem a função de *pars stridens* e o *plectrum* é uma crista elitral. O tipo 3 é encontrado apenas em fêmeas das subfamílias Cryptorhynchinae e Molytinae (Ithyporini), nelas o *pars stridens* é derivado das estruturas de fixação do dispositivo de dobramento das asas, no sétimo tergito e o *plectrum* é uma crista elitral. Lyal e King descreveram este aparelho sendo presente em fêmeas de *S. mangiferae*. O tipo 4 só é presente em machos da tribo Amycterini (Cyclominae), neles o *pars stridens* é formado por cristas transversais subparalelas na base do sétimo tergito e o *plectrum* é elitral. Além destas variações, nas fêmeas o aparelho estridulatório muitas vezes apresenta menores dimensões em relação ao dos machos (Gibson, 1967; Lyal e King, 1996).

Durante a manipulação em laboratório e estudo do comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera, Curculionidae) foi comprovado que os insetos emitem estridulações pela movimentação de seu abdome contra a porção final de seu élitro. Esta estridulação foi observada em duas situações. Ao sofrer alguma ação externa, que é considerado um distúrbio, como por exemplo a simples manipulação para manutenção das gaiolas durante o estudo, ou durante o comportamento de acasalamento (ver Capítulo 1).

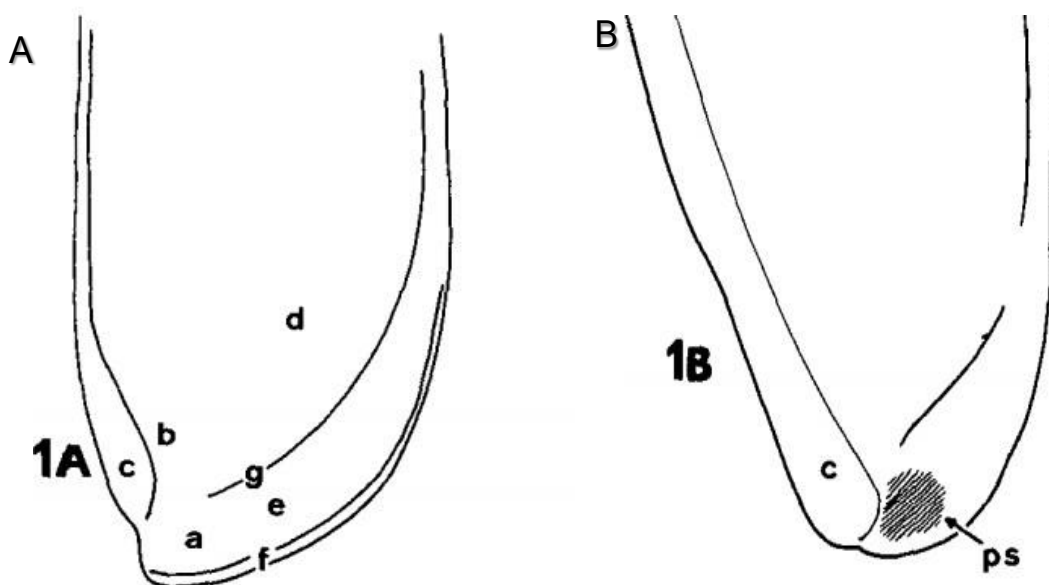


Figura 1. A. Exemplo generalizado de élitro de Curculionidae, mostrando suas divisões. Referências: a. região subapical, b. margem da sutura, c. flange sutural, d. parte côncava do élitro, e. margem costal, f. borda externa do élitro, g. crista submarginal. B. *Alcides humeralis*, élitro esquerdo, interno, mostrando *pars stridens* tipo 1. Referências: c. flange sutural, ps. Pars stridens. Fonte: Lyal e King, 1996.

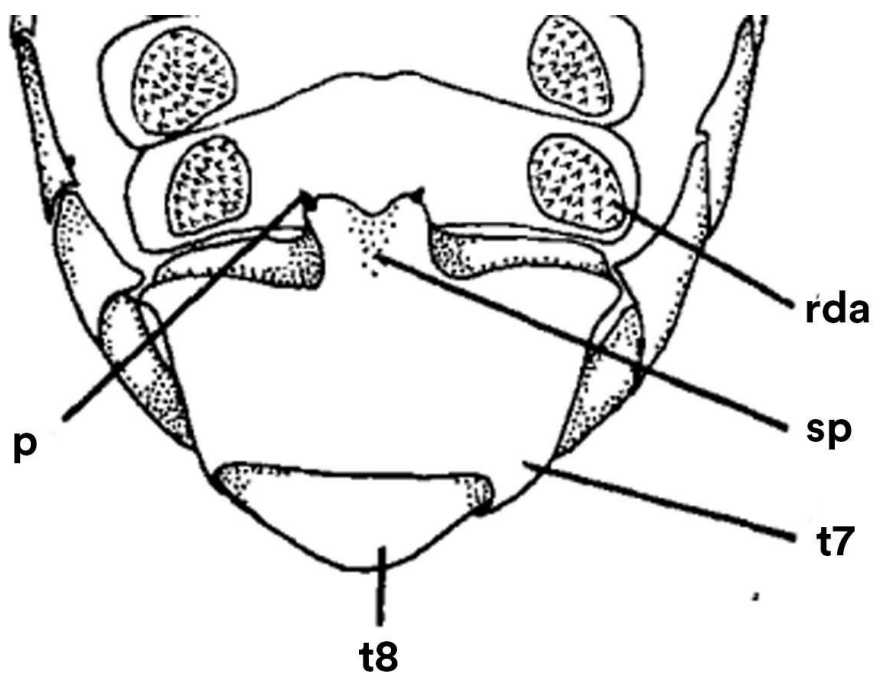


Figura 2. Vista dorsal da parte posterior do abdome de fêmea de *Rhynchaenus fagi*. Referências: rda. remendo das estruturas de fixação de dobramento das asas (marcações no abdome onde as asas se posicionam dobradas); p. *plectrum* (pinos estridulatórios), sp. sulco entre pinos, t7. sétimo tergito, t8. oitavo tergito. Fonte: Claridge, 1968.

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os sinais produzidos por *S. mangiferae* e descrever a anatomia e os mecanismos utilizados na produção desses sinais.

Os objetivos específicos foram:

Caracterizar os sinais realizados em situação de estresse e em situação de acasalamento/cópula.

Caracterizar morfológicamente o aparelho estridulatório de machos e fêmeas de *S. mangiferae* mediante o registro e análise de imagens em microscópio estereoscópico e microscópio eletrônico de varredura.

Analisar, mediante registro de imagens e observação direta o mecanismo de produção de estridulações de machos e fêmeas.

MATERIAL E MÉTODOS

Registro dos sinais estridulatórios emitidos por *S. mangiferae* em situações de estresse

Durante as observações do comportamento reprodutivo de *S. mangiferae* (Capítulo 1) foi observado e registrado a emissão de sinais pelos machos e fêmeas associado a cópula. Machos emitindo sinais com o objetivo das fêmeas ficarem imóveis para assim copularem (SAcasM) e fêmeas emitiam sinais para rejeitar os machos (SrejF), levando ao fim do acasalamento com a separação.

Para estabelecer se em situações de estresse machos e fêmeas de *S. mangiferae* também emitem sinais estridulatórios foi utilizado o mesmo protocolo e equipamentos descritos no Capítulo 1. Uma placa de Petri de vidro de 9 cm de diâmetro (90 x 15 mm) foi colocada sobre a superfície do acelerômetro e acima dela, a uma distância de 3 cm foi acondicionado o microfone. Nesta placa foram introduzidos, de forma individual, adultos de ambos os sexos e estes foram submetidos a situação de estresse por meio da utilização de uma pinça entomológica com a que se pressionou as laterais do tórax e o início do seu abdome, seguindo o protocolo descrito por Gibson (1967). Cada indivíduo foi mantido durante 3 minutos nesta situação e os sinais emitidos registrados de forma contínua. Com esta

metodologia foram coletados os sons emitidos por 30 machos e 30 fêmeas.

Análises dos sinais estridulatórios

Os sinais emitidos pelos insetos durante o comportamento reprodutivo e em situações de estresse foram analisados utilizando o programa computacional SoundForge (Sonic Foundry Sound Forge 4.0) (Figura 3) e caracterizados utilizando parâmetros temporais e espectrais. Seguindo a terminologia específica para estridulações em Curculionidae, é determinado como guincho, chiado ou chilro, o ato de estridulação, que representam um pulso (emissão de estridulações com intensidade acima do ruído ambiental). Os parâmetros temporais medidos foram *duração do pulso* (ms), considerando o início e o fim das oscilações registradas acima do nível de ruído, tempo de repetição (ms) (intervalo entre o início de um pulso e o seguinte) e intervalo entre os pulsos (ms) (intervalo entre o fim de um pulso e o início do próximo). Estes parâmetros foram medidos em 30 pulsos de cada indivíduo dez em cada minuto do registro dos sinais (tempo total de registro 3 minutos). Os parâmetros espectrais foram a frequência dominante, medida em Hz, e presença e número de frequências harmônicas (Laumann *et al.*, 2016; Cokl *et al.*, 2017; Martinez, 2021). Utilizando a função Spectrum Analise do programa citado foram gerados os espectros de frequências (FFT - transformação rápida de Fourier, tamanho 16.384, sobreposição de FFT 75%, janela de suavização Blackman-Harris, faixa de exibição de 0 a 10 kHz, rango de amplitude 60 dB). Os sonogramas de pulsos individuais ou sequências de pulsos foram gerados utilizando o programa Audacity (Audacity 3.3. GNU General Public License), utilizando a função Espectrograma (FFT - transformação rápida de Fourier, tamanho 1.024, sobreposição de FFT 75%, janela de suavização Hann, faixa de exibição de 0 a 20 kHz, rango de amplitude 60 dB) (Laumann *et al.*, 2016). Para os sinais produzidos em situações de estresse também foram computados o número de pulsos emitidos por segundo (considerando 30 intervalos de 1 segundo para cada indivíduo), o número de pulso emitidos em intervalos de 20 segundos (considerando 3 intervalos de 20 segundos para cada indivíduo, um para cada minuto do registro dos sinais) e o número de pulsos emitidos em intervalos de 1 minuto. Em todos os casos os intervalos foram escolhidos aleatoriamente nos 3 minutos de duração de cada arquivo. Os valores dos parâmetros

temporais e espectrais foram tabulados em planilha para análise estatística dos dados (Cokl *et al.*, 2017).

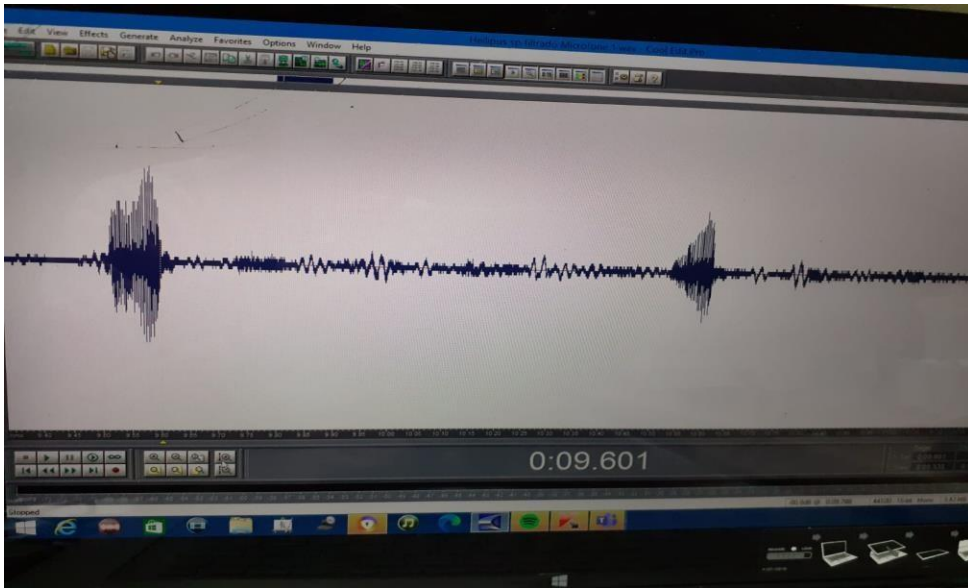


Figura 3. Imagem do programa Sound Forge mostrando oscilogramas com dois pulsos emitidos por um macho de *Sternochetus mangiferae*. Fonte: Autor, 2023.

Descrição anatômica do aparelho estridulatório

Para caracterizar a morfologia do aparelho estridulatório de *S. mangiferae* foi realizado um estudo anatômico das estruturas associadas à produção de sinais de estridulação utilizando análises de imagens registradas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (Figura 4) e em estereomicroscópio Leica (modelo M205 FA).



Figura 4. Microscópio Eletrônico de Varredura. Fonte: Autor, 2023.

As análises em MEV foram realizadas com 10 insetos de cada sexo sacrificados utilizando clorofórmio (99.5%, Sigma Aldrich). Após a morte dos insetos os élitros foram separados do corpo utilizando pinças entomológicas. Os élitros de cada inseto e o restante do corpo (o dorso para cima) foram fixados em *stubs* de alumínio (12 mm) com fita de carbono (Figura 5).

Os *stubs* com as partes dos insetos foram colocados em suportes plásticos de ponteiros de micropipetas, introduzidos numa caixa plástica contendo sílica gel azul (1-4 mm, VETEC, Duque de Caxias, Brasil) em seu fundo e mantidos em capela de exaustão por 24 h para desidratação do material.



Figura 5. Material de *Sternochetus mangiferae* montado em *stubs* de alumínio fixados com fita de carbono, metalizado em ouro.

O material foi posteriormente metalizado sob corrente de 25 amperes, com a pulverização em ouro de 25 nm em equipamento Emitech K550. Após metalizado foi levado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) sob 80cKV, para observação (Figura 4). As imagens foram registradas em aproximação de 500 a 200 μm e armazenadas em formato TIF (Tagged Image File) para posterior análise.

Adicionalmente 10 machos e 10 fêmeas dissecadas segundo descrito anteriormente e mantidos em álcool 70% foram utilizados para obter imagens em microscópio estereoscópico (Leica, modelo M205 FA acoplado a câmera fotográfica Leica DMC4500). As imagens obtidas foram armazenadas no programa

computacional da Leica (Leica LAS Interactive Measurements). Previamente às observações, os insetos e seus élitros, individualizados em vials de vidro de 5 ml, foram retirados e secos com papel toalha. Posteriormente foram fixados no centro de uma lâmina de vidro de microscopia contendo uma tira de fita dupla face (1 x 1 cm). O dorso do abdome dos indivíduos e a parte interna dos élitros foram fotografados. As imagens foram registradas em aproximação de 500 μm . As imagens obtidas foram armazenadas em formato TIF (Tagged Image File) para posterior medição das estruturas utilizando o programa computacional ImageJ (Image Processing & Analysis in Java). A medição foi feita nos segmentos finais do abdome, onde foi medido o comprimento das cerdas do último segmento em machos e o *pars stridens* presente na parte superior do último segmento abdominal das fêmeas. Nos élitros foram medidas as estrias do *pars stridens* na porção final do élitro dos machos e a crista esclerotizada na região submarginal da porção final dos élitros das fêmeas (Lyal e King, 1996). Em cada caso foram medidos o comprimento, largura e área total do *pars stridens*. Nos machos foram realizadas três medições da largura do seu *pars stridens* (porção inicial, mediana e final), para medir a variabilidade da largura ao longo da estrutura. As medições foram realizadas em micrômetros (Função Analyse, Opção Set Scale) ajustando a unidade de comprimento de acordo com a escala da imagem em μm . O número de cristas de *pars stridens* foram contadas usando as cinco melhores imagens de diferentes fêmeas e machos de MEV usando a ferramenta ImageJ para contagem automática (plugin Cell Counter, GNU General Public License, Kurt De Vos).

Análise do mecanismo de produção de estridulações

Para descrever e analisar o mecanismo de produção de sinais estridulatórios foi retirado um dos élitros em indivíduos de ambos os sexos para posteriormente registrar os seus sinais de estresse e observados sob lupa binocular. Os insetos foram anestesiados por congelamento durante 2 minutos e, em seguida, utilizando pinças entomológicas, um dos élitros (direita ou esquerda, $n = 6$ para cada sexo e élitro) foi dissecado. Os insetos foram mantidos em gaiolas de plástico por 30 minutos para se recuperarem do estresse. Após esse período, os sinais de estresse foram registrados seguindo os procedimentos descritos acima. Além disso, os insetos foram observados

sob um microscópio estereoscópico para analisar os movimentos dos élitros e do abdome quando emitiam sinais estridulatórios. Os movimentos das partes do corpo também foram registrados usando um celular acoplado à lente ocular do microscópio.

Análises estatísticas

Para comparar os sinais estridulatórios emitidos por machos e fêmeas em situação de estresse foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (GLMM) com distribuição de erros Gamma. O número de pulsos por segundo e número de pulsos por minuto foram comparados entre os sexos com GLMM com distribuição de erros de Poisson, considerando, em ambos casos, sexo como efeito fixo e indivíduos como efeitos aleatórios. Finalmente, para comparar se os insetos emitem os sinais estridulatório com a mesma intensidade durante todo o intervalo em que a situação de estresse está presente o número de pulsos emitidos em intervalos de 20 s em três intervalos de tempo (primeiro, segundo e terceiro minutos dos registros) foram comparados para machos e fêmeas utilizando GLMM e análise de deviança (ANODEV) com distribuição de erros de Poisson, considerando intervalo como efeito fixo e indivíduos com efeito aleatório. No caso de a ANODEV mostrar efeitos significativos dos intervalos os mesmos foram comparados com análise de contrastes. Para analisar o mecanismo de emissão de sinais estridulatório a proporção de picos por pulso em relação às cristas de *pars stridens* foi calculada a partir do número médio de picos por pulso (N = 10 por indivíduo) emitidos por cada indivíduo dividido pela média do número de cristas de seus *pars stridens*, calculado como a média de cada componente (direito e esquerdo). Para este cálculo foram utilizadas imagens de MEV e os correspondentes registros de sinais de 5 machos e 5 fêmeas. Todas as análises foram realizadas na plataforma R utilizando os pacotes lme4 e contrast.

RESULTADOS

Em condições de estresse os insetos emitiram sinais de forma mais ou menos contínua enquanto permaneceu o efeito estressor (neste caso pressão do corpo do inseto com pinça entomológica), 76,7 % dos machos (n = 23) e 70 % das fêmeas (n = 20). Os sinais de estresse apresentaram uma variabilidade ampla dos parâmetros

temporais e espectrais entre os indivíduos tanto para machos quanto para fêmeas (Apêndice 1). Estes sinais se apresentam como uma longa sequência de pulsos curtos que são mais longos nos sinais dos machos do que nas fêmeas (GLM, $t = -4,62$, $P < 0,001$) (Tabela 2). Por sua vez o intervalo entre pulsos é mais curto nos sinais dos machos (GLM, $t = 2,45$, $P = 0,014$), o que resulta em sinais que se emitem com períodos similares expressos pela ausência de diferenças no tempo de repetição dos sinais (Tabela 2). Não foram observadas diferenças nas frequências dominantes tanto para os sinais registrados no acelerômetro como no microfone.

Tabela 2. Características temporais e espectrais dos sinais estridulatórios emitidos por fêmeas e machos de *Sternochetus mangiferae* em diferentes contextos comportamentais. Os sinais foram registrados utilizando um acelerômetro piezoelétrico e um microfone de alta sensibilidade.

Tipos de Som	DP (ms)	IP (ms)	TR (ms)	FDM	FDA
FEstr	50,47 ± 35,75 A (N = 883)	46,59 ± 26,20 A (N = 876)	97,642 ± 40,32 (N = 884)	3583,11 ± 814,11 (N = 800)	4438,40 ± 1011,03 (N = 839)
MEstr (total)	82,37 ± 34,17 Ba (N = 885)	28,78 ± 17,15 Ba (N = 873)	112,03 ± 38,17 a (N = 882)	3626,46 ± 933,52 a (N = 833)	4331,77 ± 942,52 a (N = 846)
SAcM	65,18 ± 23,54 b (N = 300)	42,23 ± 23,54 b (N = 300)	107,41 ± 29,04 b (N = 300)	5437,202 ± 2047,19 b (N = 300)	2394,50 ± 824,74 b (N = 193)
SrejF	71,48 ± 34,44 (N = 25)	228,04 ± 78,08 (N = 25)	286,67 ± 61,84 (N = 18)	4589,80 ± 1672,98 (N = 25)	2203,20 ± 889,81 (N = 25)

Referências: FEstr: sinal estridulatório emitido por fêmeas sob estresse, MEstr: sinal estridulatório emitido por machos sob estresse, SAcM: sinal estridulatório emitido por machos durante a corte e cópula (montagem e cópula), SrejF: sinal estridulatório emitido por fêmeas durante a corte para rejeitar machos (montagem dos machos), DP: duração do pulso, IP: intervalo do pulso. TR: tempo de repetição de pulso, FDM: frequência dominante de pulso medida a partir de registros de microfone, FDA: frequência dominante de pulsos medida a partir de registros de acelerômetros piezoelétricos. N = número de pulsos. Para FEstr e MEstr foram utilizados sinais de 30 indivíduos, para SAcM sinais de 25 indivíduos e para SrejF sinais de 5 indivíduos. Cada parâmetro em cada coluna seguido por letras maiúsculas diferentes indica diferenças significativas entre machos e fêmeas e seguido por letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre MEstr e SAcM. (GLMM $P < 0,05$). Comparações entre FEstr e SrejF não foram realizadas devido ao baixo número de pulsos de SrejF registrados.

O sonograma dos sinais mostra uma frequência fundamental para os sinais de ambos os sexos em torno de 1000 Hz e posteriormente uma sequência de 5 a 6 harmônicos. A frequência dominante foi relacionada aos harmônicos mais altos (Tabela 2, Figura 6). A frequência espectral dos pulsos também apresentou modulação em frequência (FM) (Figura 6).

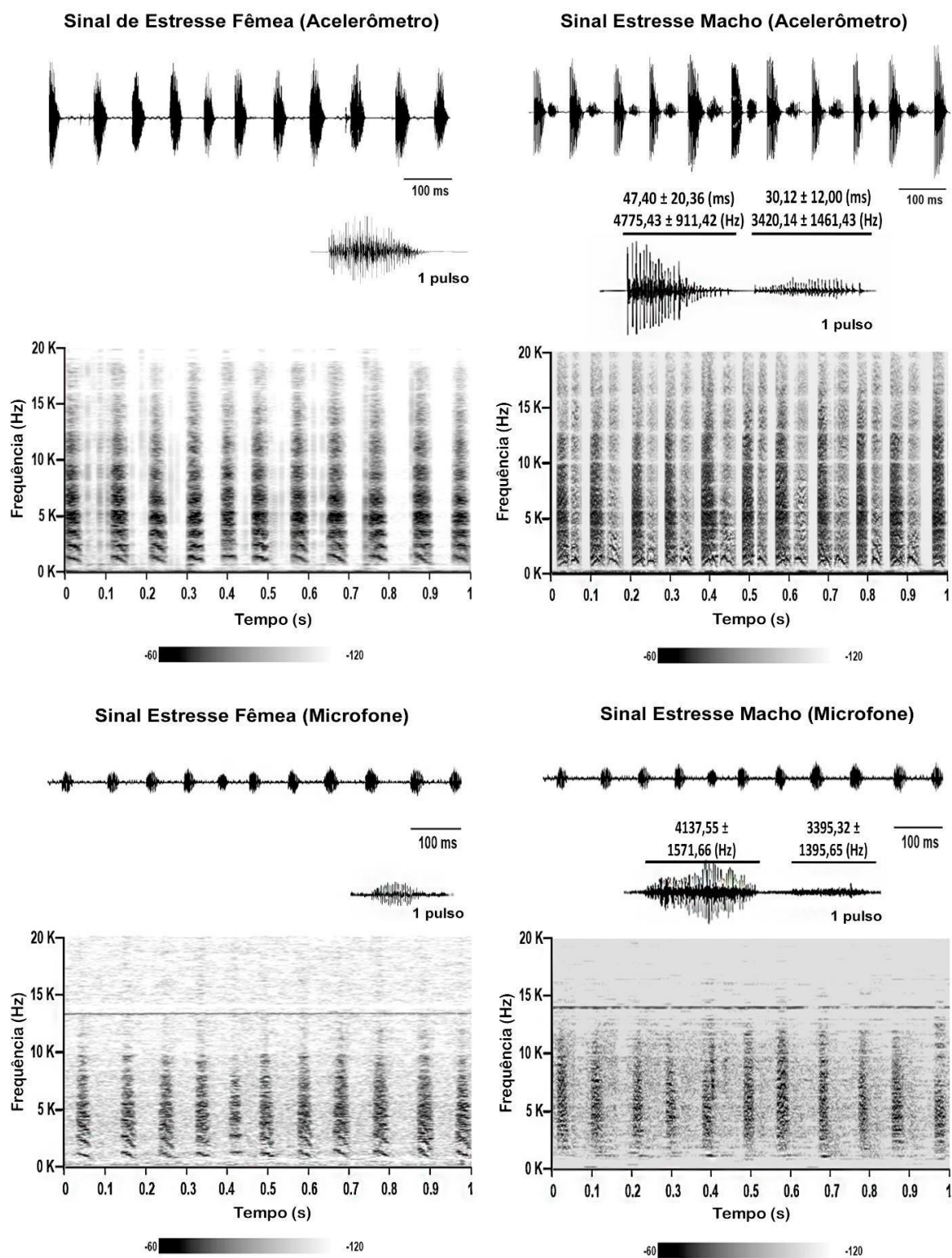


Figura 6. Oscilogramas e sonogramas de sinais de estresse de fêmeas e machos de *Sternochetus mangiferae* registrados com acelerômetro piezoelétrico ou microfone. Os valores acima dos pulsos individuais dos machos representam a média ± DP da duração dos pulsos e as frequências dominantes do primeiro e segundo componentes de um pulso.

A principal diferença entre o sinal de estresse de machos (MEstr, sinal de estresse macho) e fêmeas (FEstr, sinal de estresse fêmea) se observa na sua estrutura. Nos machos, os pulsos MEstr são compostos de duas partes. A primeira parte foi mais longa que a segunda parte do sinal (GLM, $z = 27,53$, $P < 0,001$) e também apresentou frequências dominantes mais altas, quando medidas tanto no acelerômetro (GLM, $z = -9,36$, $P < 0,001$) quanto no microfone (GLM, $z = -5,49$, $P < 0,001$) (Figura 6). Essas duas partes também diferem em amplitude (Figura 6). Nas fêmeas, os pulsos do FEstr são compostos por um único componente (Figura 6).

Tabela 3. Taxa de emissão de pulsos (número de pulsos/segundo ou /minuto) de sinais estridulatórios por fêmeas e machos de *Sternochetus mangiferae* em diferentes contextos comportamentais. Os sinais foram contados a partir dos registros em acelerômetro piezoelétrico.

Tipos de Sinal	NP/s	NP/m
FEstr	10,57 ± 3,25 A (N = 898)	480,68 ± 114,41 (N = 60)
MEstr	9,06 ± 2,50 B (N = 900)	537,67 ± 137,97 (N = 59)
SAcM	8,59 ± 2,61 (N = 217)	
SrejF	3,5 ± 0,62 (N = 18)	

Referências: FEstr: sinal estridulatório emitido em contexto de estresse pelas fêmeas, MEstr: sinal estridulatório emitido em contexto de estresse pelos machos, SAcM: sinal estridulatório emitido pelos machos durante o acasalamento (pré-monta e monta), SrejF: sinal estridulatório emitido pelas fêmeas durante o acasalamento (monta), NP/s; número de pulsos por segundo, NP/m: número de pulsos por minuto. Os valores médios dos parâmetros, em cada coluna, seguidos de letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas na taxa de emissão de sinais estridulatórios emitidos em condições de estresse (Análise GLMM $P < 0,05$). N= número de pulsos utilizados para mensurar os parâmetros. Para NP/s foram utilizados 30 intervalos de 1 s para cada indivíduo e para NP/m foi utilizado 1 intervalo de 1 m por indivíduo. Para o NP/s foram observados sinais estridulatórios de 30 indivíduos e para NP/m sinais estridulatórios de 20 indivíduos.

SAcM masculinos foram formados por $39,25 \pm 31,80$ pulsos ($n = 83$ de 23 indivíduos) emitidos por $5,62 \pm 5,03$ s ($N = 83$ de 23 indivíduos) sem diferenças no número de pulsos por segundo com MEstr (GLMM, $z = 1,84$ $P = 0,065$) (Tabela 2). SrejF femininos foram emitidos durante um período mais longo $7,23 \pm 3,42$ s, mas com um menor número de pulsos $18,71 \pm 7,70$ ($N = 7$ de 5 fêmeas). Neste caso, o número de pulsos por segundo não foi comparado com o FEstr, devido ao número reduzido de sinais e fêmeas a partir dos quais o SrejF foi registrado e analisado.

Ao considerar o ritmo de emissão dos sinais estridulatórios foram observados um maior número de pulsos por segundo nas fêmeas em relação aos machos, entretanto ao considerar um período de tempo maior (número de pulsos por minuto) a taxa de emissão de sinais de estresse foi similar (Tabela 3).

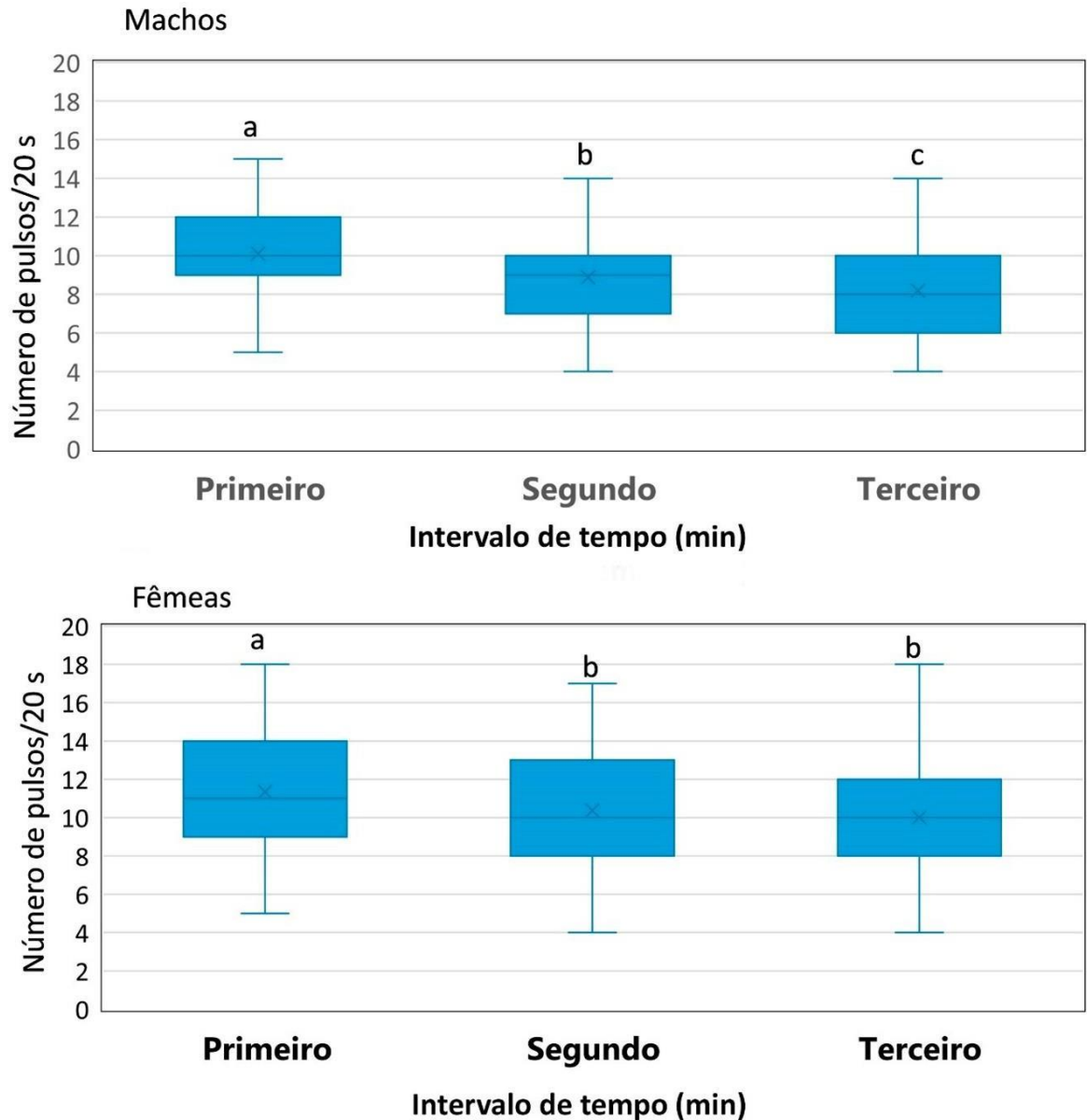


Figura 7. Box plot do número de pulsos emitidos por machos e fêmeas de *Sternochetus mangiferae* em intervalos de 20 s. O número de pulsos/20 s foi contado em 3 intervalos de tempo desde o início do registro dos sinais (primeiro, segundo e terceiro minuto). As letras diferentes acima de cada caixa indicam diferenças significativas no número de pulsos/20 s entre os intervalos do primeiro, segundo e terceiro minutos desde o início do registro dos sinais (análise de contrastes $P < 0,05$).

Foi constatado que a taxa de emissão de sinais, considerando o número de pulsos emitidos a cada 20 segundos em três períodos diferentes (primeiro, segundo e terceiro minutos desde o início dos registros) mostrou uma redução constante nos machos e uma queda entre o primeiro e os outros dos intervalos nas fêmeas (Figura 7).

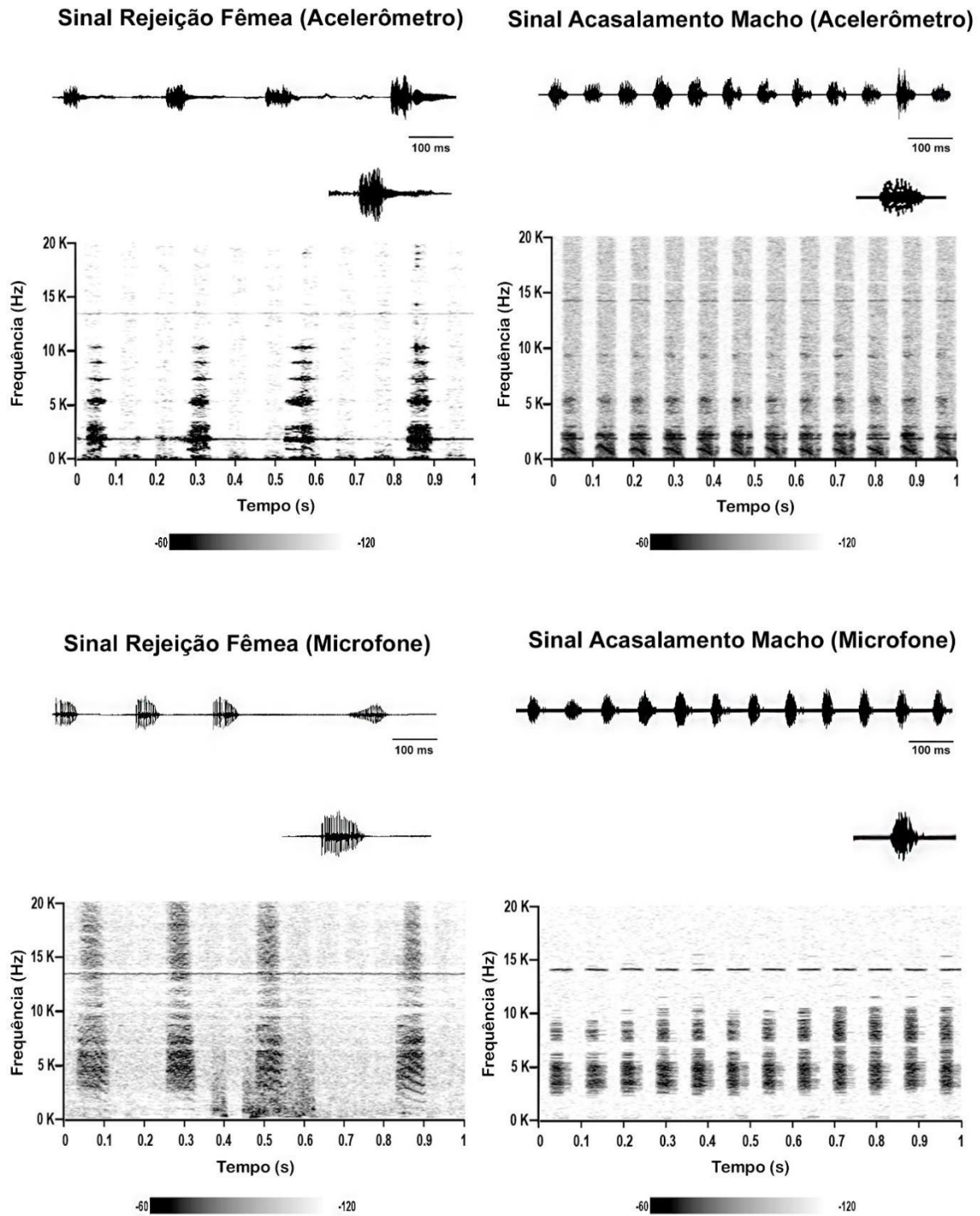


Figura 8. Oscilogramas e sonogramas do sinal de rejeição de fêmeas (SrejF) e sinal de acasalamento de machos (SAcM) de *Sternochetus mangiferae* registrados com acelerômetro piezoelétrico ou microfone.

Sinais de machos e fêmeas emitidos durante o comportamento de corte apresentaram diferenças nos parâmetros temporais e espectrais em relação aos sinais emitidos em situações estressantes (Figura 8, Tabela 2). Além disso, a taxa de emissão de sinais (número de pulsos por intervalo de tempo) em cada contexto comportamental foi diferente. SAcM e SrejF foram menos estruturados que os sinais de estresse. Eles foram emitidos de forma irregular com menor número de pulsos repetidos em intervalos diferentes (Figura 8).

Morfologia do aparelho estridulatório

Nos machos, o aparelho estridulatório inclui um *pars stridens* formado por uma sequência de cristas paralelas, transversais ao eixo longitudinal ântero-posterior do corpo. O *pars stridens* estende-se da região apical até a região subapical da face interna dos élitros, próximo à sutura élitral, apresentando aumento gradativo de largura em direção à região mediana (Figura 9, Tabela 4).

O *pars stridens* do élitro esquerdo apresenta uma área total maior que a do élitro direito (Tabela 4) e é composta por um número semelhante de cristas ($134,22 \pm 7,88$ no élitro esquerdo e $145,00 \pm 10,53$ no élitro direito (N = 5 indivíduos)) (Tabela 7). O *plectrum* se constitui de uma série de espinhos curtos e robustos (dentes plectrais), queratinizados na porção mediana do sétimo tergito (Figura 9). Esses espinhos entram em contato com a porção final do élitro e os movimentos em sentido antero-posterior da porção final do abdome produzem as estridulações.

Nas fêmeas, as estruturas estridulatórias são invertidas em relação aos machos. O *pars stridens* apresentou uma estrutura semelhante à dos machos, mas as cristas estão dispostas mais ou menos paralelamente ao eixo longitudinal ântero-posterior do corpo (Figura 10, Tabela 5). Essas estruturas estão localizadas em ambos os lados do eixo central do corpo, na região apical do tergo abdominal VII (Figura 10, Tabela 5). A parte esquerda do *pars stridens* é formada por $23,80 \pm 7,14$ cristas e a parte direita por $18,40 \pm 2,06$ cristas (N = 5 indivíduos). Uma crista elevada na área submarginal dos élitros forma o *plectrum* (Figura 10). O *plectrum* apresenta comprimento médio próximo entre os lados, medido seu início até a porção apical do élitro (Tabela 5).

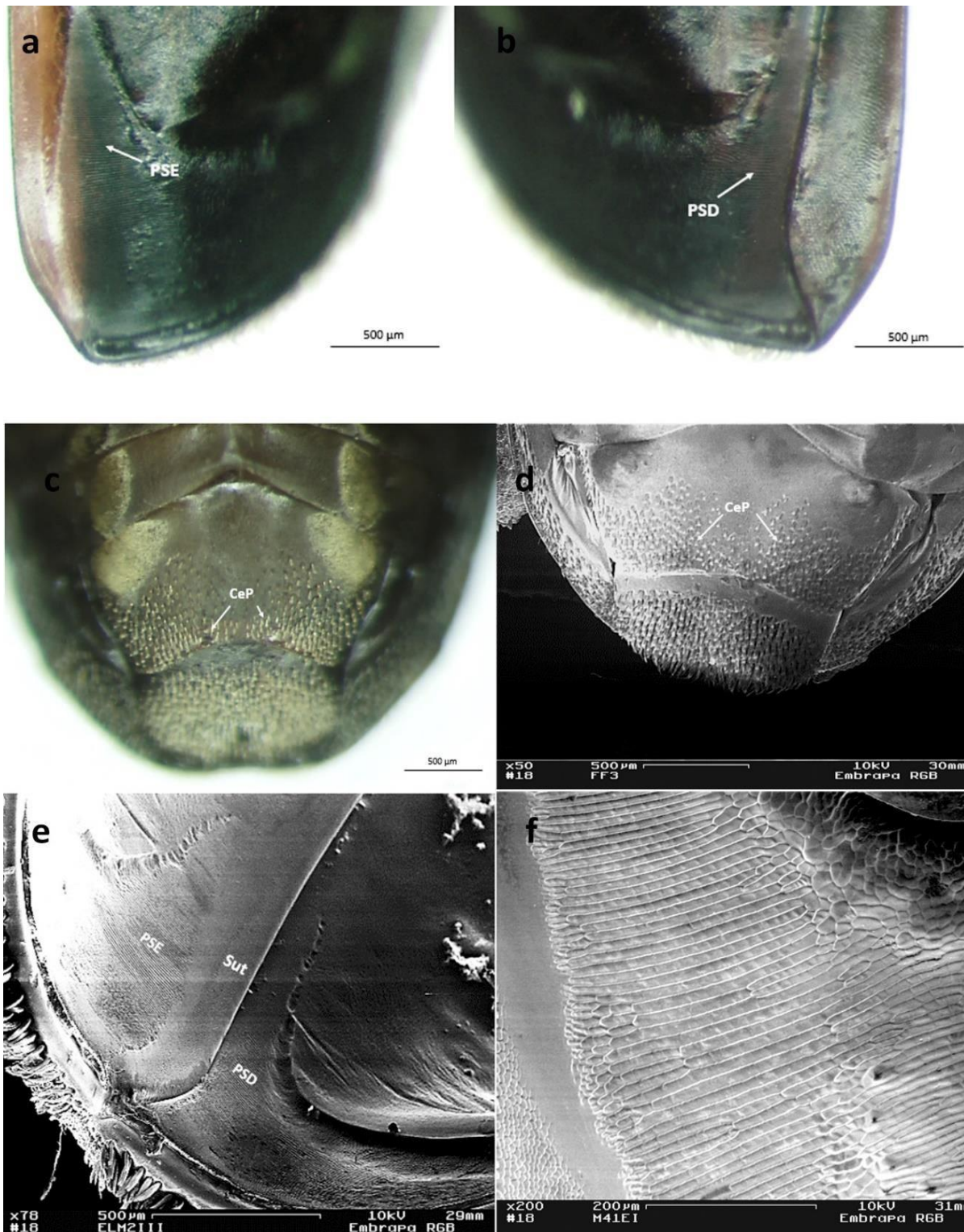


Figura 9. Aparelho estridulatório de *Sternochetus mangiferae* macho. a. PSE: *Pars stridens* esquerdo (élitro esquerdo). b. PSD: *Pars stridens* direito (élitro direito). c. CeP: Cerdas plecais (*plectrum*) localizadas no sétimo tergito abdominal. d. CeP: Cerdas plecais (*plectrum*) localizadas no sétimo tergito abdominal. e. PSE. *Pars stridens* esquerdo (élitro esquerdo), PSD: *Pars stridens* direito (élitro direito), Sut: sutura elitral. f: *Pars stridens* esquerdo em maior aproximação (200 μm). a, b, c: imagens de estereomicroscópio; d, e, f: imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV). Fonte Autor, 2023.

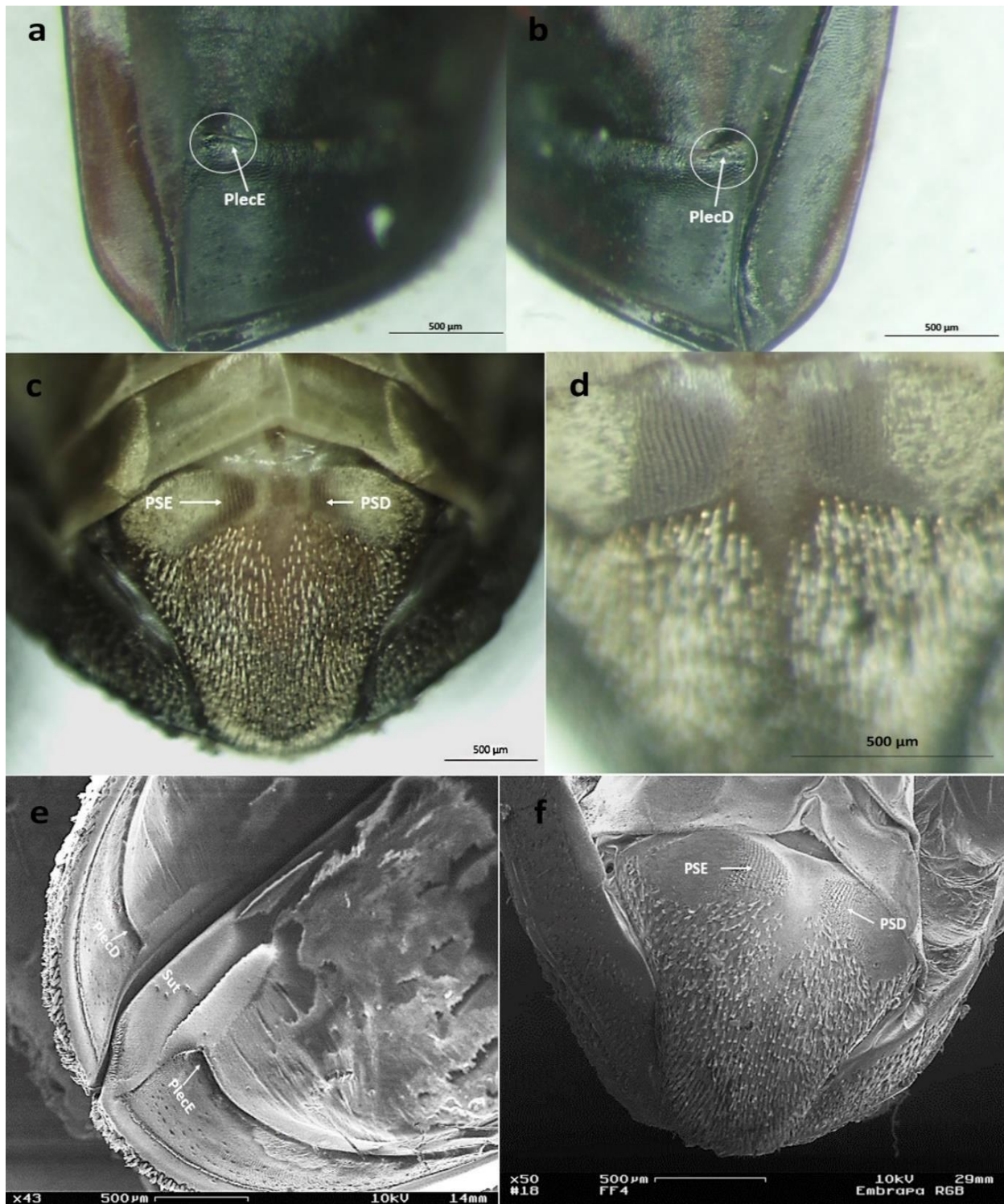


Figura 10. Aparelho estridulatório de *Sternochetus mangiferae* macho. a. Plec.E: *Plectrum* esquerdo (élitro esquerdo). b. Plec.D: *Plectrum* direito (élitro direito). c. PSE: *Pars stridens* esquerdo, PSD: *Pars stridens* direito (sétimo tergito). d. Imagem, *pars stridens* aumentado. e. Plec.E: *Plectrum* esquerdo (élitro esquerdo), Plec.D: *Plectrum* direito (élitro direito), Sut: Sutura elitral. f. PSE: *Pars stridens* esquerdo, PSD: *Pars stridens* direito (sétimo tergito). a, b, c: imagens de estereomicroscópio; d, e, f: imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV)

Tabela 4. Medidas (média \pm DP) em μm do aparelho estridulatório de machos de *Sternochetus mangiferae*. *Pars stridens* localizado na porção final do élitro. *Plectrum* localizado na região apical do abdome.

Sexo/ Lado	CoP.S (Elt)	LarP.S 1 (Elt)	LarP.S 2 (Elt)	LarP.S 3 (Elt)	AreP.S (Elt)	CoPlec (Abd)
Macho (Esq)	1324,23 \pm 82,33	115,80 \pm 22,52	411,29 \pm 83,76	291,92 \pm 39,57	433.809,41 \pm 99.149,15	
	1398,10 (Max) 1172,57 (Min)	155,46 (Max) 80,38 (Min)	528,05 (Max) 311,14 (Min)	362,23 (Max) 249,40 (Min)	590.340,26 (Max) 285.552,56 (Min)	1006,61 \pm 291,23 1590,63 (Max) 657,22 (Min)
Macho (Dir)	1240,58 \pm 121,83	70,66 \pm 14,31	187,30 \pm 59,67	205,43 \pm 73,49	218.766,36 \pm 48.918,83	
	1441,88 (Max) 1034,96 (Min)	83,05 (Max) 44,25 (Min)	273,03 (Max) 86,35 (Min)	321,39 (Max) 121,46 (Min)	291339,54 (Max) 154243,64 (Min)	

Referências: CoP.S(Elt) = Comprimento *Pars stridens* (localizado no élitro). LarP.S 1(Elt) = Largura *Pars stridens* primeira medição (localizado no élitro). LarP.S 2(Elt) = Largura *Pars stridens* segunda medição (localizado no élitro). LarP.S 3(Elt) = Largura *Pars stridens* terceira medição (localizado no élitro). AreP.S(Elt) = Area ocupada *Pars stridens* (localizado no élitro). CoPlec (Abd) = Comprimento do *Plectrum* (localizado no abdome).

Tabela 5. Medidas (média \pm DP) em μm do aparelho estridulatório de fêmeas de *Sternochetus mangiferae*. *Pars stridens* localizado no último segmento abdominal. *Plectrum* localizado na porção submarginal do élitro.

Sexo	CoPS (Abs)	LarP.S (Abs)	AreP.S (Abs)	CoPlec (Elt)
Fêmea (Esq)	334,79 \pm 50,69	698,81 \pm 120,99	183.088,50 \pm 56.506,51	997,71 \pm 50,94
	410,00 (Max)	867,00 (Max)	248.000,00 (Max)	1070,74 (Max)
	239,92 (Min)	474,25 (Min)	84.416,16 (Min)	915,56 (Min)
Fêmea (Dir)	323,51 \pm 54,95	614,74 \pm 131,40	164.591,42 \pm 53.716,66	989,86 \pm 109,92
	393,00 (Max)	759,29 (Max)	223.024,01 (Max)	1202,98 (Max)
	228,93 (Min)	374,96 (Min)	70.779,43 (Min)	838,00 (Min)

Referências: CoPS (Abs) = Comprimento *Pars stridens* (localizado no abdomen). LarP.S(Abs) = Largura *Pars stridens* (localizado no abdomen). AreP.S(Abs) = Area total ocupada pelo *Pars stridens* no abdome medida em μm^2 . CoPlec (Elt) = Comprimento do *Plectrum* (localizado no élitro).

Análise do mecanismo de produção de estridulações

As observações diretas e sob microscópio estereoscópico de insetos intactos e de dos que tiveram um dos élitros retirado permitiram observar que as estridulações em *S. mangiferae* se originam em movimentos antero-posteriores do abdome em relação ao élitro, nestes movimentos os insetos elevam o abdome para colocar o dorso em contato com a parte interna dos élitros (Figura 11). Este mecanismo permite a raspagem do *plectrum* sobre o *pars stridens* que nos machos parece estar em contato durante o movimento posterior e anterior do abdome e nas fêmeas apenas durante o movimento anterior do abdome.

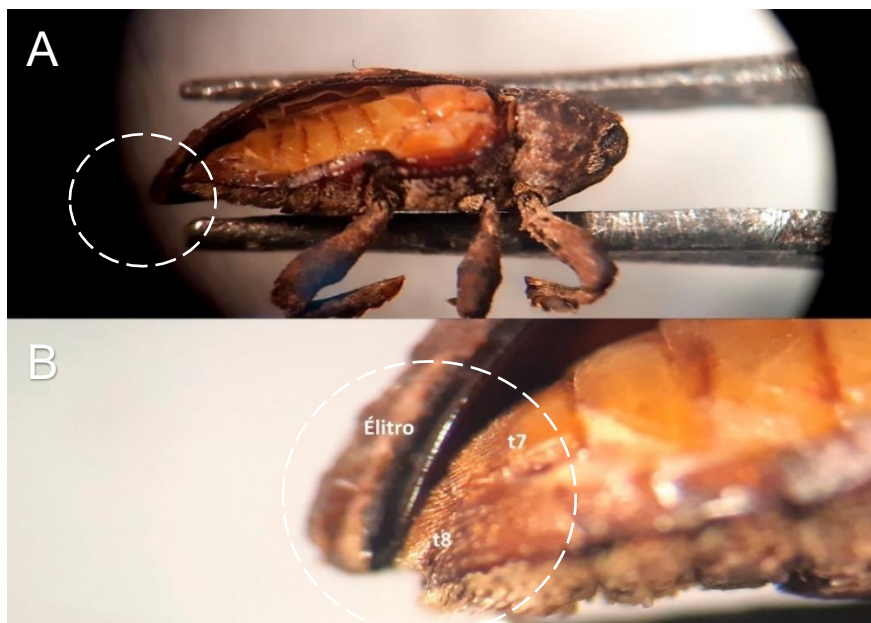


Figura 11. A. *Sternochetus mangiferae* com élitro direito removido, pressionado com pinça entomológica. B. *Sternochetus mangiferae* apresentando porção final do abdome. Élitro, élitro esquerdo; t7, sétimo tergito; t8, oitavo tergito. Fonte: Autor, 2023.

Os machos não apresentaram uma relação direta entre o número de picos por pulso com as cristas do *pars stridens* (proporção número médio de picos/número médio de cristas = 0,59 para a primeira porção do pulso e 0,28 para a segunda porção), não utilizando toda a extensão do seu aparelho para a produção dos sinais. Nas fêmeas, a relação se aproxima a 1:1 (Proporção número médio de picos/número médio de cristas = 0,95) (Tabela 6), com uma relação direta das cristas para a formação de seus pulsos.

Tabela 6. Proporção número picos de pulsos médio e o número médio de cristas de *pars stridens* entre os sexos (média \pm DP).

Sexo	N/ de cristas <i>Pars stridens</i> Esquerdo	N/ de cristas <i>Pars stridens</i> Direito	N/ picos por pulso (primeiro)	N/ picos por pulso (segundo)
Macho	134,2 \pm 8,81	145 \pm 11,77	81,84 \pm 21,89	39,92 \pm 11,58
Fêmea	23,8 \pm 7,98	18,4 \pm 2,30	19,54 \pm 4,93	

DISCUSSÃO

Machos e fêmeas de *S. mangiferae* produzem sinais estridulatórios em situações de estresse e acasalamento. Os sinais são produzidos pelas mesmas estruturas anatômicas que apresentam um claro dimorfismo sexual. Os sinais produzidos apresentaram diferenças entre os sexos e tipo de sinal em relação as suas características espectro-temporais.

Ambas as funções comportamentais dos sinais estridulatórios foram descritas anteriormente em espécies de Curculionidae (Lyal e King, 1996; Gaiger e Vanin, 2006; Wessel, 2006). Outras funções dos sinais, como atração de parceiros, rivalidade entre machos pelo acesso às fêmeas, reconhecimento de parceiros e marcação de território, também foram descritas previamente (Lyal e King, 1996; Drosopoulos e Claridge, 2006; Gaiger e Vanin 2006; Nunes *et al.*, 2009).

Os sinais estridulatórios têm dois componentes, um acústico (transmitido pelo ar) e outro vibratório (transmitido pelo substrato sólido). Sabe-se que ambos os componentes, transmitidos por meios diferentes, podem ser modificados diferencialmente durante a propagação (Cocroft e De Luca, 2006; Fleming *et al.*, 2013; Čokl *et al.*, 2019, 2021). Em insetos, esses diferentes componentes são recebidos e reproduzidos por sensilas e processos neurológicos distintos (Zorović *et al.*, 2008; Nishino *et al.*, 2016; Dobai, 2017; Čokl *et al.*, 2021). Os receptores acústicos típicos, os órgãos timpânicos, foram descritos apenas em Coleoptera, nas famílias Ciccindellidae e Scarabaeidae (Forrest *et al.*, 1997; Wessel, 2006), mas não em Curculionidae. Além disso, a propagação dos sinais acústicos em insetos é seriamente limitada devido às estruturas produtoras de sons muito pequenas (Bennet-

Clark, 1998). Levando isso em consideração, pode-se supor que os componentes vibratórios sejam a principal fonte de troca de informações em Curculionidae.

O aparelho estridulatório elitro-tergal mostrou uma anatomia diferente, principalmente na distribuição do *pars stridens* e *plectrum*. Lyal e King (1996) classificaram o aparelho estridulatório de Curculionidae em quatro tipos. O terceiro tipo, característico de Cryptorhynchinae e Ithyporini, foi descrito para *S. mangiferae* e *S. frigidus* (Fabricius, 1787) (Lyal e King, 1996). Confirmado essa descrição básica inicial, observações adicionais apresentadas aqui também mostraram diferenças na estrutura e dimensões entre machos e fêmeas, que podem estar relacionadas às diferenças nos parâmetros dos sinais registrados.

As observações do mecanismo de estridulação mostraram um processo semelhante em machos e fêmeas, sugerindo que, independentemente das diferenças na posição do *pars stridens* e do *plectrum* no corpo do inseto, a estridulação é gerada pela elevação e movimento ântero-posterior do abdome para raspar o *pars stridens* sobre o *plectrum*.

As diferenças nos parâmetros espectro-temporais dos sinais entre machos e fêmeas podem estar relacionadas às diferenças anatômicas no aparelho estridulatório e às variações no tamanho de cada componente (*pars stridens* e *plectrum*). Raspar com diferentes componentes (tubérculos ou cristas) sobre um *pars stridens* de tamanho diferente produz sinais de duração e espectros de frequência diferentes (Claridge, 1968; Harman e Harman, 1984; Hyder e Oseto, 1989; Lyal e King, 1996). Além disso, os sinais de estresse em machos são formados por uma sequência de dois componentes diferentes, o que também pode estar relacionado às diferenças na anatomia do aparelho estridulatório. As análises dos sinais e do mecanismo de estridulação sugerem que, em machos, os dois componentes provavelmente são produzidos pelo contato do *pars stridens* e do *plectrum* no movimento posterior e anterior do abdome, um mecanismo similar aos descritos para uma espécie de Dynastidae (Mankin *et al.*, 2009). Diferenças na amplitude desses dois componentes podem surgir de variações na intensidade do atrito em ambos os movimentos. Por sua vez, os sinais em fêmeas podem ser produzidos apenas pelo atrito das estruturas estridulatórias somente num dos movimentos do abdome (anterior). Além disso, os machos parecem não usar a extensão total do *pars stridens* para gerar estridulações, pois eles produzem um número médio de pulsos em cada movimento menor que o

número médio de cristas do *pars stridens*. Em contraste, as fêmeas usam quase todos os componentes do *pars stridens*, pois a proporção entre o número médio de pulsos e o número médio de cristas no *pars stridens* é próximo de 1 (0,95).

A diferença entre os sinais de estresse e acasalamento de machos pode ser associado à velocidade e a força com que o abdome é movido para encostar o sétimo tergito no élitro gerando sons diferentes para situações diferentes (Lyal e King, 1996; Virant-Dobelert e Cokl, 2004; Nunes; Ronchi-Teles; Spironello, 2009).

Os resultados apresentados aqui contribuem para incrementar o conhecimento dos sinais estridulatórios emitidos por *S. mangiferae*. Em particular a descrição da estrutura dos sinais, do aparelho estridulatório e dos mecanismos de produção dos sinais são uma contribuição para uma melhor compreensão do significado dos sinais produzidos em contextos comportamentais específicos. A relevância das informações codificadas pelos sinais e como isso afeta o comportamento dos insetos precisa ser avaliada em trabalhos futuros.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho contribuem para incrementar o conhecimento do comportamento reprodutivo de *Sternochetus mangiferae* e da sua comunicação utilizando sinais estridulatórios.

Os principais resultados podem ser resumidos em:

- Caracterização do comportamento reprodutivo com identificação das categorias comportamentais estereotipadas.

- Identificação de sinais estridulatórios emitidos durante o comportamento reprodutivo. Em particular o sinal de acasalamento do macho (SAcM) e sinal de rejeição das fêmeas (SrejF).

- Caracterização dos sinais estridulatórios de estresse, descrevendo seus principais parâmetros temporais e espectrais e estabelecendo as diferenças entre tipo de sinal e sexo dos indivíduos emissores.

- Descrição anatômica dos componentes dos aparelho estridulatório de machos e fêmeas de *S. mangiferae*.

- Descrição do mecanismo de estridulação.

Embora tenham sido estabelecidas a influência comportamental dos sinais SAcM e SrejF é necessário, no futuro, testar a influência de sinais de outras modalidades (químicos ou visuais) no comportamento reprodutivo, como caracteres de seleção sexual. Adicionalmente, a função exata dos sinais emitidos em condições de estresse e a informação que os mesmos codificam precisa ser estabelecida, sua relação com distúrbios interespecíficos ou intraespecíficos.

Testar a influências de sinais multimodais podem influenciar no comportamento reprodutivo, como estímulos, sonoros, visuais e químicos podem se complementar.

Um aspecto importante é considerar a observação do comportamento reprodutivo e emissão de sinais em condições de campo ou em situações que simulem o ambiente natural. Adicionalmente, o trabalho com insetos de idade e condição fisiológica conhecida também é importante para estabelecer aspectos do comportamento reprodutivo com maior precisão. Neste trabalho os insetos foram provenientes de coletas em campo, não sendo controladas essas variáveis (idade e condição fisiológica). Também será relevante, no futuro, estudar em profundidade como diferentes condições de fotoperíodo influenciam o comportamento reprodutivo da espécie.

Referências Bibliográficas

ABDULLA, N. R.; RWEASIRA, G. M.; JENSEN, K-M. V.; MWATAWALA, M. W.; OFFENBERG, J. Control of mango seed weevils (*Sternochetus mangiferae*) using the African Weaver Ant (*Oecophylla longinoda* Latreille) (Hymenoptera: formicidae). **Journal Of Applied Entomology**, [S.L.], v. 140, n. 7, p. 500-506, 20 ago. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jen.12260>.

ALCOCK, J. Comportamento Animal: uma abordagem evolutiva. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 598 p. 2011;

ANDERSON, R. S.; TANTOH, D. M.; AKOTSEN-MENSAH, C.; OSEI-SAFO, D.; AFREH-NUAMAH, K. Evaluation of traps and attractants for monitoring the mango stone weevil *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae) in managed orchards in southern Ghana. **International Journal of Agricultural Research, Sustainability, and Food Sufficiency**, v. 3, n. 2, p. 41-51, 2016.

ATKINS, M. D. et al. Introduction to insect behaviour. Macmillan Publishing Co., Inc., 1980.

BALOCK, J; KOZUMA, T. Notes on the biology and economic importance of the mango weevil, *Sternochetus mangiferae* (Fabricius), in Hawaii (Coleoptera: Curculionidae). **Proceedings Hawaiian Entomological Society**, v.18, n. 3, p. 353-364, 1964.

BARRETO, M. R; ANJOS, N; DELLA LUCIA, T. M. C. Comportamento reprodutivo de *Spermologus rufus* Boheman (Coleoptera: curculionidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 351-354, jun. 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0301-80591999000200022>.

BEDOYA, C. L; NELSON, X. J; HAYES, M; HOFSTETTER, R. W; ATKINSON, T. H; BROCKERHOFF, E. G. First report of luminous stimuli eliciting sound production in weevils. **The Science Of Nature**, [S.L.], v. 106, n. 5-6, p. 1-4, 24 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00114-019-1619-8>.

BHATTACHARYYA, B; PUJARI, D; DAS, M. "Mango Weevils: Identification, biology and Integrated Management. In: PANDEY, KUMAR, A (ed.) **Insect Pests Management of Fruit Crops**. Biotech, 2018. Cap. 3. Pb

BÖRÖCZKY, K; WADA-KATSUMATA, A; BATCHELOR, D; ZHUKOVSKAYA, M; SCHAL, Coby. Insects groom their antennae to enhance olfactory acuity. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 110, n. 9, p. 3615-3620, 4 fev. 2013. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1212466110>.

BRADBURY, J. W.; VEHRENCAMP, S. L. Economic models of animal communication. **Animal Behaviour**, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 259-268, fev. 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/anbe.1999.1330>.

BRADBURY, J. W.; VEHRENCAMP, S. L. **Principles of Animal Communication**. 2. ed. Sunderland, Massachusetts, Eua: Sinauer Associates, 2011. 768 p.

BRAIMAH, H; VAN EMDEN, H. F. Prospects and challenges for sustainable management of the mango stone weevil, *Sternochetus mangiferae* (F.) (Coleoptera: curculionidae) in west africa. **International Journal of Pest Management**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 91-101, 25 mar. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09670870903174312>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022) Projeções do Agronegócio: Brasil 2021/2022 a 2031/2032 - Projeções de longo prazo. MAPA/SPA, Brasília, p 63 - 68.

BRISCOE, A D.; CHITTKA, L. The Evolution of Color Vision in Insects. **Annual Review Of Entomology**, [S.L.], v.46, n.1, p.471-510, jan.2001. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.471>.

BRO-JØRGENSEN, J. Dynamics of multiple signalling systems: animal communication in a world in flux. **Trends In Ecology & Evolution**, [S.L.], v. 25, n. 5, p. 292-300, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2009.11.003>.

CARBONE, S. S; RIVERA, A. C. Sperm competition, cryptic female choice and prolonged mating in the Eucalyptus Snout Beetle, *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Etologia*. v. 6, p. 33 – 40, 1998.

CORTERO, H. G. C; TOVAR, J. C; MARTINEZ, N. B; COLLADO, J. L. Comportamento de alimentación, cortejo, cópula y oviposición de *Trichobaris championi* Barber (Coleoptera: Curculionidae). *Agrociência* v.38, p. 365 - 373, 2004.

CLARIDGE, L. C. Sound production in species of *Rhynchaenus* (= *Orchestes*) (Coleoptera: curculionidae). **Transactions Of The Royal Entomological Society Of London**, [S.L.], v. 120, n. 14, p. 287-295, 24 abr. 2009. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2311.1968.tb00340.x>.

CHAPMAN, R.F. Chemoreception: the significance of receptor numbers. **Advances In Insect Physiology Volume 16**, [S.L.], p. 247-356, 1982. Elsevier.
[http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2806\(08\)60155-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2806(08)60155-1).

COKL, A; DIAS, A. M; MORAES, M. C. B; BORGES, M; LAUMANN, R. A. Rivalry between Stink Bug Females in a Vibrational Communication Network. *Journal Of Insect Behavior*, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 741-758, nov. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10905-017-9651-z>.

COCROFT, R. B; DE LUCA, P. Size-Frequency Relationships in Insect Vibratory Signals. In: *Insect Sounds and Communication*, p. 99-110, 2006. CRC Press.

COCROFT, R. B; GOGALA, M; HILL, P. S; WESSEL, A. **Studying Vibrational Communication**. Heidelberg New York Dordrecht London: Springer, 2014. 462 p.

DAVRANOGLU, L.R; TAYLOR, G K.; MORTIMER, B. Sexual selection and predation drive the repeated evolution of stridulation in Heteroptera and other arthropods. **Biological Reviews**, [S.L.], v. [], n. [], p. 1-40, 14 fev. 2023. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1111/brv.12938>.

DROSOPOULOS, S; CLARIDGE, M. F (ed.). **Insect Sounds and Communication: Physiology, Behaviour, Ecology, and Evolution**. Boca Raton, FL: Crc Press, 2006. 532 p. (Contemporary Topics in Entomology).

EDGAR, R. S.; GREEN, E. W.; ZHAO, Y; VAN OOIJEN, G; OLMEDO, M; QIN, X; XU, Y; PAN, Min; VALEKUNJA, U. K.; FEENEY, Kevin A. Peroxiredoxins are conserved markers of circadian rhythms. **Nature**, [S.L.], v. 485, n. 7399, p. 459-464, 16 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1038/nature11088>.

EFSA PANEL ON PLANT HEALTH (PLH); BRAGARD, C; DEHNEN-SCHMUTZ, K; SERIO, F; GONTHIER, P; JACQUES, M. A; MIRET, J. A. J; JUSTESEN, A. F; MAGNUSSON, C. S; MILONAS, P. Pest categorisation of *Sternochetus mangiferae*. *Efsa Journal*, [S.L.], v. 16, n. 10, p. 1-24, out. 2018. .
<http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5439>.

EMDE, G von D. Biomimetic sensors: active electrolocation of weakly electric fish as a model for active sensing in technical systems. **Journal Of Bionic Engineering**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 85-90, jun. 2007. Springer Science and Business Media LLC. [http://dx.doi.org/10.1016/s1672-6529\(07\)60018-3](http://dx.doi.org/10.1016/s1672-6529(07)60018-3).

ENDLER, J. A. Some general comments on the evolution and design of animal communication systems. **Philosophical Transactions of The Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, [S.L.], v. 340, n. 1292, p. 215-225, 29 maio 1993. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1993.0060>.

EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Diagnostics: *Sternochetus mangiferae*. *OEPP/EPPO Bulletin*, v. 41, p. 352-356, 2011.

FERREIRA, C.S.S. Diversidade de Curculionidae (Scolytinae, Platypodinae) e Bostrichidae em Plantios de Teca, *Tectona grandis* L. f., 1782, NO ESTADO DO PARÁ, BRASIL. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal de São Carlos, Araras - Sp, 2016.

FLEMING, A. J; LINDEMAN, A. A; CARROLL, A. L; YACK, J. E. Acoustics of the mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) (Curculionidae, Scolytinae): sonic, ultrasonic, and vibration characteristics. *Canadian Journal Of Zoology*, [S.L.], v. 91, n. 4, p. 235-244, abr. 2013. Canadian Science Publishing.

<http://dx.doi.org/10.1139/cjz-2012-0239>.

FOLLETT, P A. Mango Seed Weevil (Coleoptera: curculionidae) and premature fruit drop in mangoes. **Journal Of Economic Entomology**, [S.L.], v. 95, n. 2, p. 336-339, 1 abr. 2002. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-95.2.336>.

FOLLETT, P. A; GABBARD, Z. Effect of mango weevil (Coleoptera: Curculionidae) damage on mango seed viability. *Journal of Economic Entomology*, v. 93, n. 4, p. 1237-1240, 2000.

FORREST, T. G; READ, M. P, FARRIS, H. E; HOY, R. R. A tympanal hearing organ in scarab beetles. *J Exp Biol*, v. 200, n. 3, p. 601 – 606, 1997.

<http://dx.doi.org/10.1242/jeb.200.3.601>. PMID: 9057310.

FREEBERG, T. M; BOOK, D L; JUNG, H; KYLE, S. C. Communication, Cues, and Signals. **Encyclopedia Of Evolutionary Psychological Science**, [S.L.], p. 1206-1214, 2021. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-19650-3_2728.

GAIGER, F; VANIN, S. A. The elytro-femoral stridulatory apparatus in Curculionidae (Coleoptera), with notes on the acoustic behaviour of *Arniticus hylobioides* (Boheman 1843) and *Erodiscus proximus* (Viana 1959), and thanatosis display in the latter species. **Annales de La Société Entomologique de France (N.s.)**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 165-170, jan. 2006. Informa UK Limited.

<http://dx.doi.org/10.1080/00379271.2006.10700619>.

GARCIA, M; THEUNISSEN, F; SÈBE, F; CLAVEL, J; RAVIGNANI, A; MARIN-CUDRAZ, T; FUCHS, J; MATHEVON, N. Evolution of communication signals and information during species radiation. **Nature Communications**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-15, 2 out. 2020. Springer Science and Business Media LLC.

<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-18772-3>.

GIBSON, L.P. Stridulatory Mechanisms and Sound Production in *Conotrachelus* (Coleoptera: curculionidae). **Annals Of The Entomological Society Of America**,

[S.L.], v. 60, n. 1, p. 43-54, 1 jan. 1967. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1093/aesa/60.1.43>.

GOLOV, Y; HARARI, A; RILLICH, J; AYALI, A. Precopulatory behavior and sexual conflict in the desert locust. **PeerJ**, [S.L.], v. 6, p. 1-24, 28 fev. 2018. PeerJ.

<http://dx.doi.org/10.7717/peerj.4356>.

GOODWIN, J. T.L.; HILLIER, N. K; ROSCOE, L. E.; SWEENEY, J. D. Anatomy of the stridulation apparatus of the beech leaf-mining weevil and characterization of, and behavioral responses to, stridulation sounds. **Entomologia Experimentalis Et Applicata**, [S.L.], v. 167, n. 11, p. 957-968, nov. 2019. Wiley.

<http://dx.doi.org/10.1111/eea.12844>.

GREYER, G. F. Carotenoid Limitation and mate preference evolution: a test of the indicator hypothesis in guppies (*poecilia reticulata*). **Evolution**, [S.L.], v. 54, n. 5, p. 1712-1724, out. 2000. Wiley.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.0014-3820.2000.tb00715.x>.

GULLAN, P. S, CRASTON, P. S. **Insetos: Fundamentos da entomologia**. 5. ed. [S.L.]: Roca, 2017. 460 p.

HARDY, I.C.W., ODE, P.J., SIVA-JOTHY, M. Mating Behaviour. *Insects As Natural Enemies*. Jervis, M.A. (eds) Springer, Dordrecht. 2007.

https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2625-6_4

HARMAN, D.M; HARMAN, A.L. Comparison of stridulatory structures in North American *Pissodes* spp. (Coleoptera: Curculionidae). **Washington, Etc, Entomological Society Of Washington**,. Washington, p. 228-238. 1984.

HASSON, O. Cheating Signals. **Journal Of Theoretical Biology**, [S.L.], v. 167, n. 3, p. 223-238, abr. 1994. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jtbi.1994.1065>.

HANSEN, J. D; ARMSTRONG, J. W. The failure of field sanitation to reduce infestation by the mango weevil, *Cryptorhynchus mangiferae* (F.)(Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Pest Management*, v. 36, n. 4, p. 359-361, 1990.

HESPENHEIDE, H. A. BEETLES. In: LEVIN, Simon; COLWELL, Robert K; LUBCHENCO, Jane. **Encyclopedia of biodiversity**. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2000. p. 1-952.

HYDER, D. E.; OSETO, C. Y. Structure of the stridulatory apparatus and analysis of the sound produced by *Smicronyx fulvus* and *Smicronyx sordidus* (coleoptera, curculionidae, erirrhinae, smicronychini). **Journal Of Morphology**, [S.L.], v. 201, n. 1, p. 69-84, jul. 1989. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jmor.1052010107>.

ISA, M; KUMANO, N; TATSUTA, H. When a male perceives a female: the effect of waxy components on the body surface on decision-making in the invasive pest weevil. **Royal Society Open Science**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 181542, fev. 2019. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.181542>.

IZZO, A; WELLS, M; HUANG, Z; TIBBETTS, E. Cuticular hydrocarbons correlate with fertility, not dominance, in a paper wasp, *Polistes dominulus*. **Behavioral Ecology And Sociobiology**, [S.L.], v. 64, n. 5, p. 857-864, 28 jan. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00265-010-0902-7>.

JOUBERT, P H.; DANEEL, M S.; GROVE, T. Progress towards integrated pest management (ipm) on mangoes in South Africa. **Acta Horticulturae**, [S.L.], n. 509, p. 811-818, fev. 2000. International Society for Horticultural Science (ISHS). <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2000.509.96>.

KAAKEH, W. The mating behaviour of the Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver (Coleoptera: curculionidae). **Emirates Journal Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 24, 1998. Faculty of Food and Agriculture, United Arab Emirates University. <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.v10i1.5128>.

LAIDRE, M. E.; JOHNSTONE, R. A. Animal signals. **Current Biology**, [S.L.], v. 23, n. 18, p. 829-833, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.07.070>.

LAUMANN, R A.; ČOKL, A; BLASSIOLI-MORAES, M C; BORGES, M. Vibratory Communication and its Relevance to Reproductive Isolation in two Sympatric Stink Bug Species (Hemiptera: pentatomidae). **Journal Of Insect Behavior**, [S.L.], v. 29,

n. 6, p. 643-665, 29 out. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

<http://dx.doi.org/10.1007/s10905-016-9585-x>.

LARSSON, F. K. Experimentally Induced Density-Dependent Mating Patterns in *Phyllobius maculicornis* Germ. (Coleoptera: curculionidae). *American Midland Naturalist*, [S.L.], v. 119, n. 2, p. 380, abr. 1988. JSTOR.

<http://dx.doi.org/10.2307/2425820>.

LEMPÉRIÈRE, G.; MANTILLERI, A.; CONORD, C. Taxonomy and Systematics of Bark Weevils. **Bark And Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, A Synthesis**, [S.L.], p. 317-330, 2007. Springer Netherlands.

http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8_13.

LIMA, A.M.C. Insetos do Brasil: coleópteros. ENA: Rio de Janeiro, v.10, pt.4, 1956. 371p.

LOUW, C.E. THE MANGO SEED WEEVIL, *STERNOCHETUS MANGIFERAE* (FABRICIUS) (COLEOPTERA: curculionidae); understanding the pest in order to ensure effective control measures. **Acta Horticulturae**, [S.L.], n. 992, p. 441-457, maio 2013. International Society for Horticultural Science (ISHS).

<http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2013.992.55>.

LOW, M. L.; NARANJO, M; YACK, J. E. Survival Sounds in Insects: diversity, function, and evolution. **Frontiers In Ecology And Evolution**, [S.L.], v. 9, n. [], p. 1-20, 8 mar. 2021. Frontiers Media SA.

<http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2021.641740>.

LUKIC, I; BEDOYA, C. L; HOFSTETTER, E. M, HOFSTETTER, R. W. Pinyon engraver beetle acoustics: stridulation apparatus, sound production and behavioral response to vibroacoustic treatments in logs. *Insects*, v. 12, n. 6, p. 496, 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/insects12060496>.

LYAL, C.H.C.; KING, T. Elytro-tergal stridulation in weevils (Insecta: coleoptera). **Journal Of Natural History**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 703-773, maio 1996. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00222939600770391>.

MAMPE, C. D.; NEUNZIG, H. H. Function of the stridulating organs of *Conotrachelus nenuphar*. *Annals of the Entomological Society of America*, v.59 p. 614-615, 1966.

MANKIN, R. W.; MOORE, A.; SAMSON, P. R.; CHANDLER, K. J. Acoustic Characteristics of Dynastid Beetle Stridulations. *Florida Entomologist*, [S.L.], v. 92, n. 1, p. 123-133, mar. 2009. Florida Entomological Society.
<http://dx.doi.org/10.1653/024.092.0119>.

MARTINEZ, A.M.D. Comunicação Vibracional em Pentatomidae: Interações Bióticas, Abióticas e Aplicação no Manejo de Pragas. 2021. 228 f. Tese (Doutorado) -Curso de Biologia, Zoologia, Universidade de Brasília, Brasília, Df, 2021.

MARTINS, C. B. C.; SAAD, E. B.; ALMEIDA, L. M. de; ZARBIN, P. H. G. Cuticular Compounds Recognition and Mating Behavior of the Rice Water Weevil *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal Of Insect Behavior*, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 812-823, 22 maio 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10905-013-9396-2>.

MATTHEWS, R W; MATTHEWS, J R. Visual Communication. *Insect Behavior*, [S.L.], p. 261-290, 2009. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-2389-6_7.

MAYER, M. S.; BRAZZEL, J. R. The Mating Behavior of the Boll Weevil, *Anthonomus grandis*1. *Journal Of Economic Entomology*, [S.L.], v. 56, n. 5, p. 605-609, 1 out. 1963. Oxford University Press (OUP).
<http://dx.doi.org/10.1093/jee/56.5.605>.

MORTIMER, B. Biotremology: do physical constraints limit the propagation of vibrational information?. *Animal Behaviour*, [S.L.], v. 130, p. 165-174, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.06.015>.

MUTIS, A; PARRA, L; PALMA, R; PARDO, F; PERICH, F; QUIROZ, A. Evidence of Contact Pheromone Use in Mating Behavior of the Raspberry Weevil (Coleoptera: curculionidae). *Environmental Entomology*, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 192-

197, 1 fev. 2009. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1603/022.038.0124>.

NUNES, A. B; RONCHI-TELES, B; SPIRONELLO, W. Comportamento de estridulação em *Heilipus odoratus* Vanin & Gaiger (Coleoptera, Curculionidae, Molytinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 334-336, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0085-56262009000300004>.

PEÑA, J. E.; MOHYUDDIN, A. I.; WYSOKI, M. A review of the pest management situation in mango agroecosystems. **Phytoparasitica**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 129-148, jun. 1998. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/bf02980680>.

PENG, R. *Sternochetus mangiferae* (mango seed weevil), CABI Compendium. CABI International. 2022. doi: 10.1079/cabicompendium.16434.

PENG, R; CHRISTIAN, K. The effect of the weaver ant, *Oecophyllas maragdina* (Hymenoptera: formicidae), on the mango seed weevil, *sternochetus mangiferae* (coleoptera. **International Journal Of Pest Management**, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 15-24, jan. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09670870600968859>.

POLAK, M.; BROWN, W.B. Mating tactics and courtship behavior in *Cleogonus rubetra* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae), *Journal of Chemical Ecology*, New York, v.8, n. 4, p.453-463, 1995.

REUT, M; MATSUMURA, Y; KOZLOWSKI, M. W.; BEUTEL, R. G. Bizarre mating in the entimine weevil *Polydrusus picus*. **Journal Of Zoological Systematics And Evolutionary Research**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 192-195, 26 out. 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/jzs.12194>. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155932/1/5394-1f60e6e3e15ff9a4ae97b8bc48e786958.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2023.

RODRÍGUEZ, R.L.; BURGER, M. G.; WOJCINSKI, J. E.; KILMER, J. T. Vibrational Signals and Mating Behavior of Japanese Beetles (Coleoptera:

Scarabaeidae). **Annals Of The Entomological Society Of America**, [S.L.], v. 108, n. 6, p. 986-992, 10 set. 2015. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1093/aesa/sav091>.

RUDINSKY, J. A; OESTER, P. T; RYKER, L. C. Gallery initiation and male stridulation of the polygamous spruce bark beetle *Polygraphus rufipennis*. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 71, n. 3, p. 317-321, 1978.

SALEH, N; SCOTT, A. G; BRYNING, G. P; CHITTKA, L. Distinguishing signals and cues: bumblebees use general footprints to generate adaptive behaviour at flowers and nest. *Arthropod-Plant Interactions*, v.1, p. 119-127, 2007.

SCOTT-PHILLIPS, T. C. Defining biological communication. **Journal Of Evolutionary Biology**, [S.L.], v.21, n.2, p.387-395, mar. 2008. Wiley.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01497.x>.

SEO, S. T.; KOBAYASHI, R. M.; CHAMBERS, D. L.; STEINER, L. F.; LEE, C. Y. L.; KOMURA, M. Mango Weevil: cobalt-60 γ -irradiation of packaged mangoes.

Journal Of Economic Entomology, [S.L.], v. 67, n. 4, p. 504-505, 1 ago. 1974.

Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jee/67.4.504>.

SHANNON, C. E, WEAVER, W. The Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**. Urbana, IL: The University of Illinois Press, p. 1-117, 1949.

SHUKLA, R.P.; TANDON, P.L.; SINGH, S.J. Baculovirus - a new pathogen of mango nut weevil, *Sternochetus mangiferae* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae). *Current Science* 53, p.593-594, 1984.

SHUKLA, R.P., TANDON, P.L. Bioecology and management of the mango stone weevil, *Sternochetus mangiferae* (Fab.). *Int. J. Trop. Agric.* V.3, p. 293-303, 1985.

SILVA, A C; RICALDE, M P. First Occurrence of *Sternochetus mangiferae* (Fabricius) (Coleoptera: curculionidae) in brazil. **Neotropical Entomology**, [S.L.], v. 46, n. 5, p. 587-590, 24 maio 2017. Springer Science and Business Media LLC.

<http://dx.doi.org/10.1007/s13744-017-0523-1>.

SILVA, A. C. Broca-da-manga *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae): uma ameaça para as exportações de mangas do Brasil. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2019. Acesso em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1116030>.

SIROT, L. K.; LAPOINTE, S. L. Patterns and Consequences of Mating Behavior of the Root Weevil *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: curculionidae). **Florida Entomologist**, [S.L.], v. 91, n. 3, p. 400-406, set. 2008. Florida Entomological Society. [http://dx.doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)91\[400:pacomb\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1653/0015-4040(2008)91[400:pacomb]2.0.co;2).

SLIPINSKI, S. A.; LESCHEN, R. A. B.; LAWRENCE, J. F. Order Coleoptera Linnaeus, 1758. In: zhang, z.-q. (ed.) animal biodiversity. **Zootaxa**, [S.L.], v. 3148, n. 1, p. 1-6, 23 dez. 2011. Magnolia Press. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3148.1.39>.

SMITH, E.S.C. Mango Seed Weevil (*Sternochetus mangiferae*). Horticulture and Forestry Science Newsletter. Northern Territory, Australia. 1996.

SMITH, J. M; HARPER, D. **Animal signals**. [S.I]: Oxford University Press, 2003. 176 p. Oxford Series in Ecology and Evolution.

SOUZA, R. M. **SINAIS ENVOLVIDOS NA COMUNICAÇÃO DE AMERRHINUS YNCA SAHLBERG, 1823 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)**. 2006. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - Rj, 2006.

STEIGER, S; SCHMITT, T; SCHAEFER, H. M. The origin and dynamic evolution of chemical information transfer. **Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [S.L.], v. 278, n. 1708, p. 970-979, 22 Dez. 2010. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2010.2285>.

SUBRAMANYAM, C K. A note on the life history of *Cryptorhynchus mangiferae* (Fab.). Madras Agriculture Department Yearbook for 1925: p. 29-36, 1926

TAVARES, P. L.; CAMPOS, F. P. V. de; TAVARES, A. M. Adequação de iluminação artificial para insetos submetidos a ambiente controlado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 68., 2016, Porto Seguro. Resumos. ... São Paulo: SBPC, 2016.

THOMAS, P.; KANNAN, A.; DEGWEKAR, V.H.; RAMAMURTHY, M.S. Non-destructive detection of seed weevil-infested mango fruits by X-ray imaging. **Postharvest Biology and Technology**, [S.L.], v. 5, n. 1-2, p. 161-165, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00019-o](http://dx.doi.org/10.1016/0925-5214(94)00019-o).

TINBERGEN, N. Derived activities; their causation, biological significance, origin, and emancipation during evolution. **Jstor Archival Journal: The Quarterly Review of Biology**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-32, mar. 1952. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/398642>.

UZAKAH, R. P; ODEBIYI, J. A. The mating behaviour of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: curculionidae). **Scientific Research And Essays**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 348-355, 30 maio 2015. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/sre2015.6186>.

VALENTINE, B.D. Grooming Behavior in Coleoptera. **The Coleopterists Bulletin**. [S.L.], p. 63-73. jun. 1973. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3999432>. Acesso em: 17 fev. 2023.

VERGHESE, A. Recent studies on the management of mango stone weevil *Sternochetus mangiferae* Fab. (Coleoptera: curculionidae) in south India. **Acta Horticulturae**, [S.L.], n. 509, p. 819-822, fev. 2000. International Society for Horticultural Science (ISHS). <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2000.509.97>.

VERGHESE, A; NAGARAJU, D.K.; JAYANTHI, P.D. K; MADHURA, H.S. Association of mango stone weevil, *Sternochetus mangiferae* (Fabricius) (Coleoptera: curculionidae) with fruit drop in mango. **Crop Protection**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 479-481, maio 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2004.07.010>.

VIANA, A. M. M.; VILELA, E. F. Comportamento de corte e acasalamento de

Cosmopolites sordidus Germar (Coleoptera: Curculionidae). **An. Soc. Entomol. Brasil**, v. 25, n. 2, p. 347-350, 1996.

VIRANT-DOBERLET, M; COKL, A. Vibrational communication in insects. **Neotropical Entomology**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 121-134, abr. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-566x2004000200001>.

VIRANT-DOBERLET, M; COKL, A; ZOROVIC, M. Use of substrate vibrations for orientation: from behaviour to physiology. In: **Insect Sounds And Communication**, p. 71-80, 2006. CRC Press.

VIRANT-DOBERLET, M; STRITIH-PELJHAN, N; ŠUNIČ-KOSI, A; POLAJNAR, J. Functional Diversity of Vibrational Signaling Systems in Insects. **Annual Review Of Entomology**, [S.L.], v. 68, n. 1, p. 191-210, 23 jan. 2023. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-095459>.

WALGENBACH, C A.; BURKHOLDER, W E. Mating Behavior of the Maize Weevil, Sitophilus zeamais (Coleoptera: curculionidae)1. **Annals Of The Entomological Society Of America**, [S.L.], v. 80, n. 5, p. 578-583, 1 set. 1987. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/aesa/80.5.578>.

WANTO, M. M.; FISCHER, M. L. Comportamento sexual de Tenebrio molitor Linnaeus, 1785 (Insecta, Coleoptera). **Revista Brasileira de Zociências**, [s.], v. 7, n. 1, p. 143-164, [s.]. 2005.

WESSEL, A. Stridulation in the Coleoptera - An Overview. In: **Insect Sounds And Communication**, p. 397-403, 2 nov. 2006. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420039337.ch30>.

WILSON, E O. **Sociobiology**: the new synthesis. Cambridge, Ma: Havard University Press, 1975. 697 p.

WILSON, L.M.; HENRY, C.S.; JOHNSON, J.B.; MCCAFFREY, J.P. Sound Production in Phrydiuchus tau (Coleoptera: curculionidae). **Annals Of The Entomological Society Of America**, [S.L.], v. 86, n. 5, p. 621-630, 1 set. 1993.

Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/aesa/86.5.621>.

WOJCIK, D. P. Mating Behavior of 8 Stored-Product Beetles (Coleoptera: dermestidae, tenebrionidae, cucujidae, and curculionidae). The Florida Entomologist, [S.L.], v. 52, n. 3, p. 171, set. 1969. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/3493853>.

WOODRUFF, R.E; FASULO, T.R. **Mango Seed Weevil, Sternochetus mangiferae (Fabricius) (Insecta: Coleoptera: Curculionidae)**. 2018. Disponível em: http://entomology.ifas.ufl.edu/creatures/fruit/beetles/mango_seed_weevil.htm. Acesso em: 15 jul. 2022.

Apêndice 1

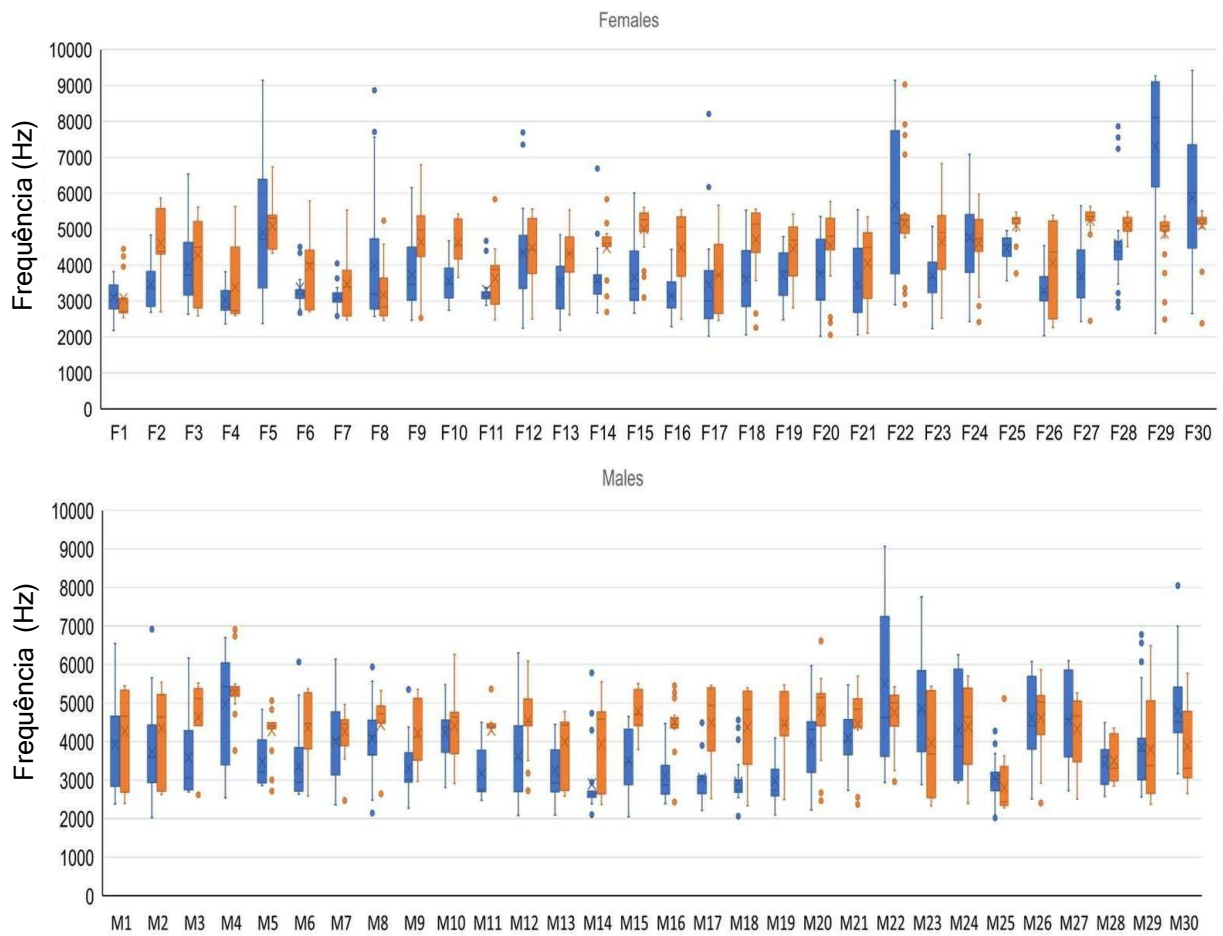


Figura a. Box plot da frequência dominante dos sinais estridultórios emitidos em situação de estresse por 30 fêmeas (FEstr) e 30 machos (MEstr) de *Sternochetus mangiferae*. Caixas azuis: sinais gravados no microfone, caixas laranja: sinais gravados no acelerômetro piezoeletrico. Os pontos fora dos quartis superiores e inferiores representam outliers que não foram incluídos nas análises estatísticas.

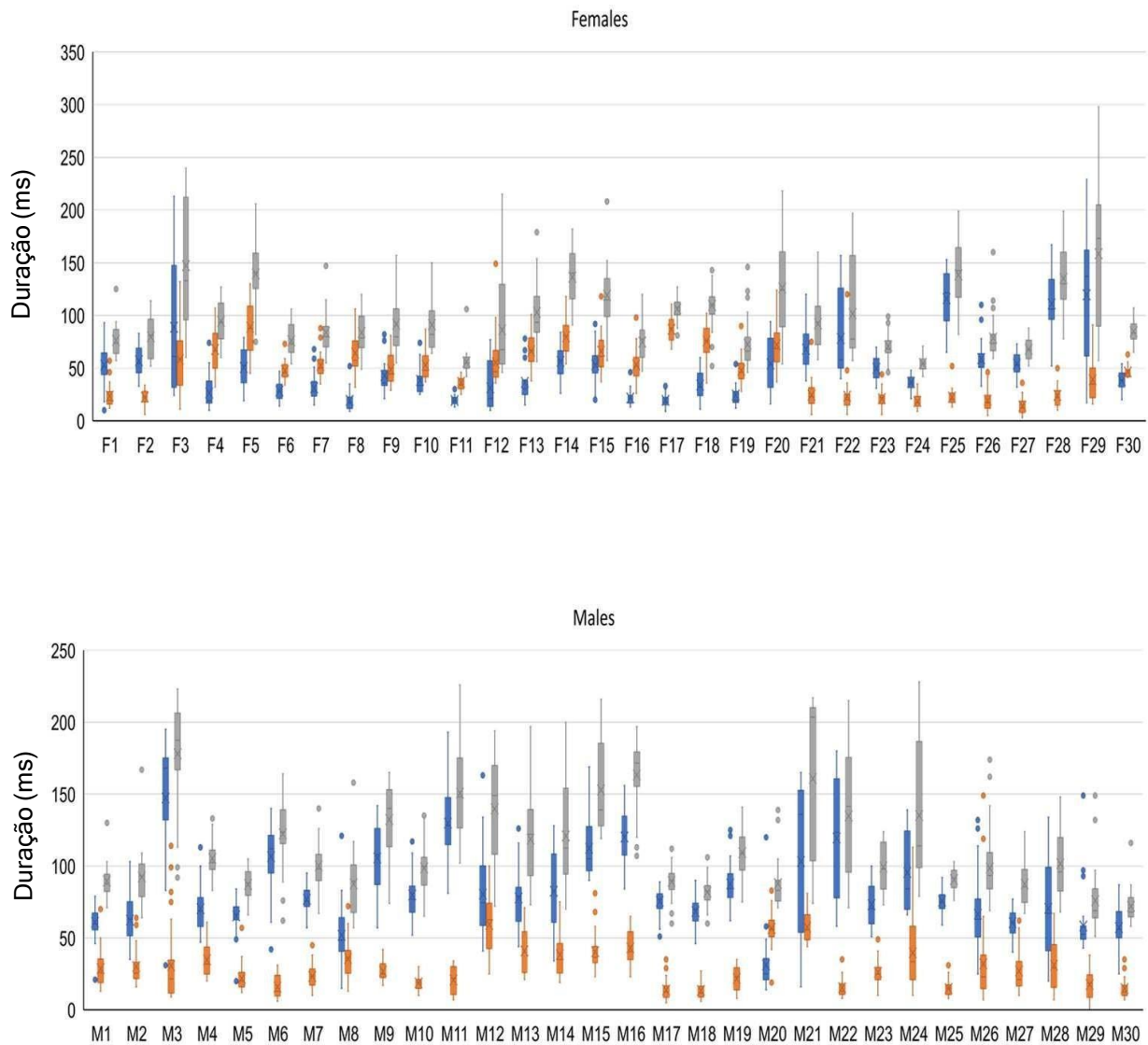


Figura b. Box plot das características temporais dos sinais emitidos em situações de estresse por 30 fêmeas (FEstr) e 30 machos (MEstr) de *Sternochetus mangiferae*. Caixas azuis: duração dos pulsos, caixas laranja: intervalos de pulso, caixas cinza: tempo de repetição dos pulsos. Os pontos fora dos quartis superiores e inferiores representam outliers que não foram incluídos nas análises estatísticas.

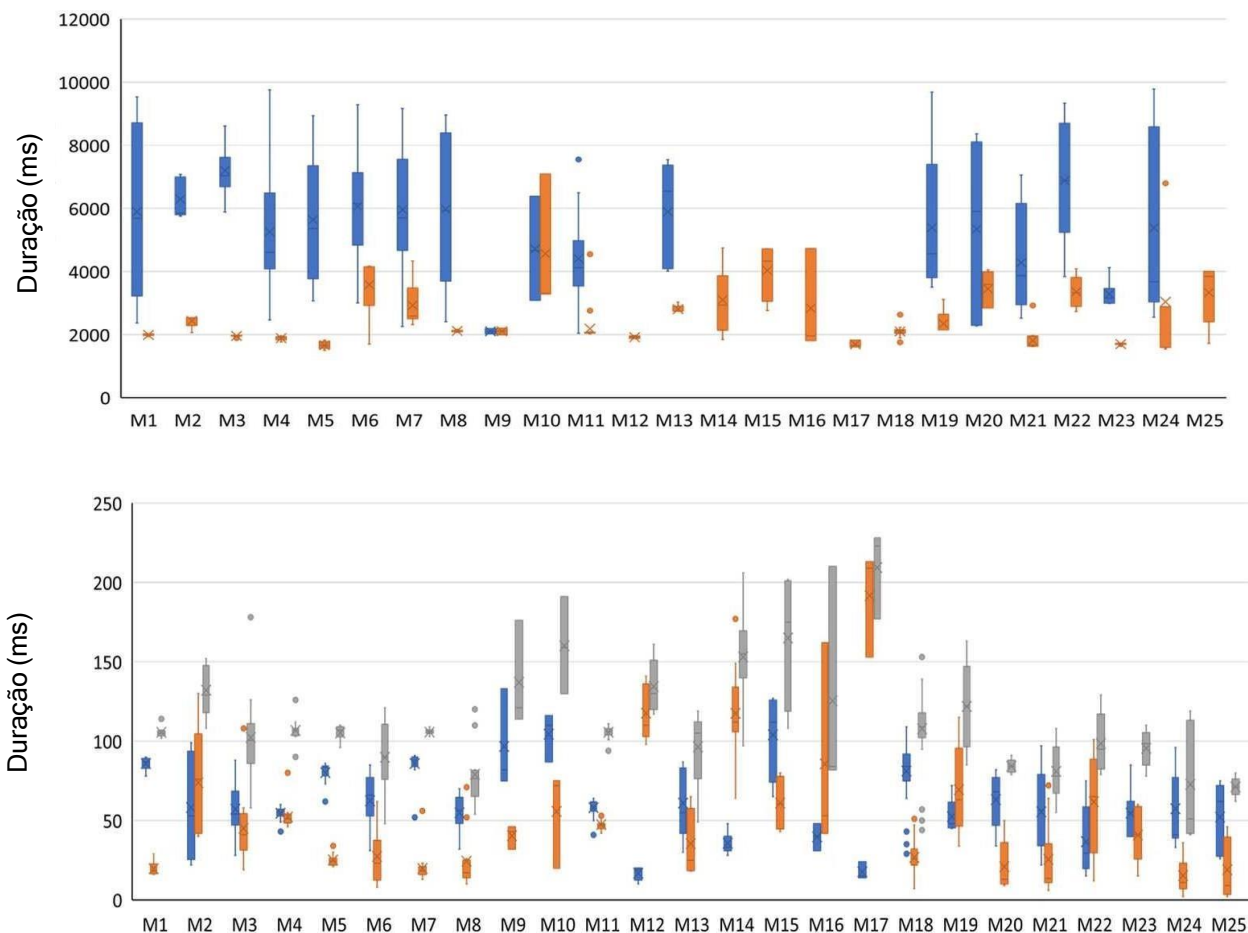


Figura c. Box plot da Frequência Dominante (gráfico superior) e características temporais (gráfico inferior) dos sinais emitidos por machos de *Sternochetus mangiferae* em situações de acasalamento (SAcM). Gráfico superior, Caixas azuis: sinais gravados no microfone, Caixas laranja: sinais gravados no acelerômetro piezoelétrico. Gráfico inferior, caixas azuis: duração dos pulsos, caixas laranja: intervalos de pulsos, caixas cinzas: tempo de repetição dos pulsos. Os pontos fora dos quartis superiores e inferiores representam outliers que não foram incluídos nas análises estatísticas.