

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

TACIANO DE MOURA BARBOSA

**SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) NO BIOMA CAATINGA: REVISÃO
TAXONÔMICA DO SUBGÊNERO *TITANOGRYP*A (*CUCULLOMYIA*) E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESPÉCIES COMO BIOINDICADORAS DE
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

Recife

2019

TACIANO DE MOURA BARBOSA

**SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) NO BIOMA CAATINGA:
REVISÃO TAXONÔMICA DO SUBGÊNERO *TITANOGRYPA* (*CUCULLOMYIA*) E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESPÉCIES COMO BIOINDICADORAS DE
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Biologia Animal da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutor em Biologia Animal.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Prof^o. Dr. Simão Dias Vasconcelos

Coorientadora: Prof^a. Dra. Cátia Antunes Mello-Patiu

Recife

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Claudina Queiroz, CRB4/1752

Barbosa, Taciano de Moura

Sarcophagidae (Diptera) no bioma caatinga: revisão taxonômica do subgênero *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) e avaliação do potencial de espécies como bioindicadoras de conservação ambiental / Taciano de Moura Barbosa - 2019.

165 folhas: il., fig., tab.

Orientador: Simão Dias Vasconcelos

Coorientadora: Cátia Antunes Mello-Patiu

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Recife, 2019.

Inclui referências e apêndice.

1. Entomologia forense 2. Sarcófagídeos 3. Caatinga

I. Vasconcelos, Simão Dias (orient.) II. Mello-Patiu, Cátia Antunes (coorient.) III. Título

595.77

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2019-183

TACIANO DE MOURA BARBOSA

**SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) NO BIOMA CAATINGA: REVISÃO
TAXONÔMICA DO SUBGÊNERO *TITANOGRYPA* (*CUCULLOMYIA*) E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESPÉCIES COMO BIOINDICADORAS DE
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Biologia Animal da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutor em Biologia Animal.

Aprovado em: 21/02/2019

BANCA EXAMINADORA

I Examinador: _____

Prof^ª. Dra. Carina Mara Sousa
Instituto Educacional Guilherme Dorça

II Examinador: _____

Prof^ª. Dra. Luciana Iannuzzi
Universidade Federal de Pernambuco

III Examinador: _____

Prof^º. Dr. Alexandre Oliveira, de Almeida
Universidade Federal de Pernambuco

IV Examinador: _____

Dr. Artur Campos Dália Maia
Universidade Federal de Pernambuco

V Examinador: _____

Dr. Bruno Karol Cordeiro Filgueiras
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico esse trabalho aos meus pais, **Tadeu Barbosa**
e **Maria José**, meus exemplos de vida, fé e
sabedoria.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por estar ao meu lado todos os dias de minha vida. Aos meus Pais, Tadeu Barbosa e Maria José, por todo cuidado, dedicação e apoio nessa longa caminhada.

A minha noiva, Clea Marinho por todo apoio, compreensão e carinho durante todo o doutorado.

As minhas irmãs pelo amor, compreensão, apoio e torcida. Sem elas nada disso seria possível.

Ao Dr. Simão Vasconcelos pela orientação e os valiosos ensinamentos, ao incentivo e puxões de orelha, pois sem tudo isso não seria o profissional que sou. Agradeço ainda por seu voto de confiança, acreditando no meu potencial como pesquisador, e principalmente por ter se tornando um grande amigo.

A professora Cátia Mello-Patiu por me ajudar, apoiar e coorientar nessa jornada. Agradeço ainda pela recepção calorosa em seu grupo de pesquisa, onde aprendi lições que carregarei por toda a vida.

Não poderia deixar de agradecer a Dra. Carla Bicho por ter me apresentado o mundo entomológico e guiado meus primeiros passos como pesquisador.

Aos colegas de laboratório e amigos pessoais, Diego Oliveira e Rodrigo Carmo pelas conversas, companheirismo e auxílio nas coletas dos dados. Destaco que sem eles o doutorado não seria o mesmo.

A Dra. Renata Gama pela amizade, recepção e conselhos durante minhas estádias em Natal/RN.

Aos doutores, Kassio Lima e Leomir Lima pela linda parceria desenvolvida, a qual gerou o terceiro capítulo. Agradeço também pela ótima recepção durante as visitas a Universidade federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

Agradeço ao Dr. José Roberto Botelho Souza (Betinho) por todas as conversas e conselhos ao longo desse período.

Aos colegas e amigos do Museu Nacional/UFRJ, Josenilson Rodrigues, Marco Menezes e Marina Gomes por todo carinho durante as visitas ao Museu. Ao Josenilson ainda sou grato por todo auxílio com a parte taxonômica desta Tese.

Aos colegas do pensionato Pinheiro por todo companheirismo, em especial aos amigos, Alexandre Delgado, Valdemiro Viera e Tathiane Forão.

Agradeço também aos colegas que passaram pelo grupo de pesquisa e com quem tive a oportunidade de conviver. São eles Thiago Ferreira, Lira Jaculi, Fernanda Ito, Marília Cruz e Paulo Junior.

A minha turma de Doutorado e todos os docentes do PPGBA pela convivência nesses quatro últimos anos.

Aos funcionários da Casa Amarela, Fiocruz/RJ por mim receber com todo carinho do mundo.

A todos os amigos que fiz durante as temporadas na Casa Amarela, não irei citar nomes para que eventualmente não venha esquecer ninguém.

Gostaria de agradecer também Leydisson Henry, Vera Dias e toda a sua família pela recepção e suporte durante as coletas em Afogados da Ingazeira.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, aqui representados pelos seus coordenadores, técnicos e Professores, pelo grande empenho na minha formação.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudo e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (Facepe) por seu apoio financeiro.

Por fim, gostaria de agradecer imensamente a todos os professores “grandes mestres” que contribuíram em algum momento para a minha formação. Obrigado àqueles do ensino básico que me ensinaram a ler, escrever e desenvolver o meu senso crítico. Aos professores da graduação por estimularem a busca pelo mundo científico e serem modelos de educadores. E por último a todos os professores do PPGBA por tornarem o pesquisador e pessoa que sou hoje, vocês foram fundamentais para o meu crescimento profissional.

*“Ninguém nasce feito, é experimentando-nos
no mundo que nós nos fazemos”.*

(FREIRE, 2001)

RESUMO

Estudos sobre Sarcophagidae no Brasil têm revelado uma elevada riqueza de espécies. Entretanto, a diversidade em Florestas Tropicais Sazonalmente Secas como caatinga ainda é desconhecida. Esse fato é alarmante, uma vez que a caatinga é o bioma menos protegido e altamente impactado. Além disso, a taxonomia de Sarcophagidae apresenta problemas com a identificação de espécimes fêmeas devido à alta similaridade morfológica. Nesse cenário de incertezas taxonômicas, o subgênero *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) apesar de possuir um número pequeno de espécies (8 spp.) necessita ser revisado, uma vez que a inclusão de espécies no táxon é incerta. Sendo assim, o objetivo geral desse trabalho é contribuir para o conhecimento taxonômico e ecológico de Sarcophagidae (Diptera) da Caatinga, com ênfase no subgênero *Titanogrypa* (*Cucullomyia*). Na parte taxonômica, a revisão dos espécimes-tipo permitiu a redescrição detalhada das espécies e a confecção de uma chave para os espécimes machos. *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) ainda forma um conjunto de espécies que se diferencia principalmente pelo formato do cerco, tufo de cerdas na lateral do escutelo e um basifalco comprido. Além disso, a descrição de um novo gênero, gen./sp. nov. possibilitou uma emenda sobre a coloração dos indivíduos da subfamília Sarcophaginae, que agora podem apresentar duas ou três listras pretas no tórax. Sob enfoque taxonômico, foi possível testar e comprovar a eficiência da espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) para identificação de indivíduos femininos. O método ainda é eficaz para segregação sexual, sendo vantajoso para estudos com insetos já que é não destrutivo e de baixo custo. Na abordagem ecológica, coletas sistematizadas foram realizadas em seis fragmentos de Caatinga no Nordeste do Brasil, sob diferentes níveis de impacto antrópico. O estudo demonstrou que a caatinga abriga uma alta diversidade, já que cerca de 30.000 espécimes de 32 espécies foram coletados. A riqueza entre todos os tratamentos foi similar entre os ambientes sob “Baixo” (LAI) (18 spp.), “Moderado” (MAI) (20 spp.) e “Alto” Impacto Antropogênico (HAI) (24 spp.). A abundância diferiu entre os tratamentos, sendo os maiores valores de abundância (59,4% do total de indivíduos amostrados) observado em HAI. Por outro lado, em fragmentos MAI houve os maiores valores de diversidade α , seguido do tratamento LAI e HAI. Por fim, observou-se que as espécies vistas no estudo como generalistas (e.g. *Tricharaea occidua*) se comportam como “vencedoras”, enquanto espécies mais raras e especialistas parecem ser “perdedoras” frente à intensidade dos impactos antropogênicos. Dessa forma, as contribuições do estudo fortalecem o conhecimento taxonômico e ecológico dípteros necrófagos (Sarcophagidae) na Região Neotropical.

Palavras-chave: Entomologia forense. Caatinga. Sarcófagídeos. *Tricharaea*. Antropização

ABSTRACT

Studies on Sarcophagidae in Brazil have revealed a high species richness. However, diversity in Seasonally Dry Tropical Forests such as caatinga is still unknown. This fact is alarming, since the caatinga is the least protected and a highly impacted biome. In addition, the Sarcophagidae taxonomy presents problems with the identification of female specimens due to the high morphological similarity. In this scenario of taxonomic uncertainties, the subgenus *Titanogrypa* (*Cucullomyia*), despite having a small number of species (8 spp.) needs to be revised, since the inclusion of species in the taxon is uncertain. Thus, the general objective of this work is to contribute to the taxonomic and ecological knowledge of the Sarcophagidae (Diptera) of Caatinga, with emphasis on the subgenus *Titanogrypa* (*Cucullomyia*). In the taxonomic part, the revision of the type specimens allowed the detailed redescription of the species and the production of a key for the male specimens. *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) nevertheless forms a group of species that differs mainly by the shape of the cercu, tuft of setae on the side of the scutelum and a long basiphallus. In addition, the description of a new genus, gen./sp. nov. made possible an amendment on the coloration of the individuals of the subfamily Sarcophaginae, which can now present two or three black stripes on the thorax. Under a taxonomic approach, it was also possible to test and validate the efficiency of the Near Infrared Spectroscopy (NIR) for the identification of female individuals. The method is effective for sexual segregation, being an advantage for studies with insects since it is low-cost and non-destructive. For the ecological standpoint, systematized collections were carried out in six fragments of Caatingas in the Northeast of Brazil under different levels of anthropogenic impact. The study showed that the caatinga harbors a high diversity, since about 30,000 specimens of 32 species were collected. The richness among all treatments was similar between the environments under “Low” (LAI) (18 spp.), “Moderate” (20 spp.) and “High” Anthropogenic Impact (HAI) (24 spp). Abundance differed between treatments, with the highest values of abundance (59.4% of total sampled individuals) observed in HAI. On the other hand, MAI was the treatment that presented the highest α diversity values, followed by LAI and HAI treatment. Finally, it was observed that the species seen in the study as generalists (*e.g.* *Tricharaea occidua*) behave as "winners", while rarer species and specialists appear to be "losers" in the face of the intensity of anthropogenic impacts. Thus, the contributions of the study strengthen the taxonomic and ecological knowledge dipteran necrophagous (Sarcophagidae) in the Neotropical Region.

Keywords: Forensic entomology. Caatinga. Sarcophagidae. *Tricharaea*. Anthropization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	RESULTADOS	14
2.1	ARTIGO 1 - REVISÃO DO SUBGÊNERO <i>TITANOGRYP</i> <i>(CUCULLOMYIA)</i> DIPTERA: SARCOPHAGIDAE), COM CHAVE PARA MACHOS	14
2.2	ARTIGO 2 - CHALLENGE TO THE DEFINITION OF THE SUBFAMILY SARCOPHAGINAE (DIPTERA: SARCOPHAGIDAE); THE PECULIAR COLOR OF GEN. NOV., SP. NOV., FROM THE CAATINGA XERIC SHRUBLAND OF NORTHEASTERN BRAZIL	63
2.3	ARTIGO 3 - FIRST RECORD OF SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) SPECIES IN SEASONALLY DRY TROPICAL FORESTS, WITH NOTES ON THEIR ATTRACTIVENESS TO DECOMPOSING SUBSTRATES	78
2.4	ARTIGO 4 - EFEITOS DE DISTÚRBIOS ANTROPOGÊNICOS CRÔNICOS SOBRE ASSEMBLEIAS DE SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) EM ÁREAS DE FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (CAATINGA)	88
3	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	123
3.1	EIXO TAXONÔMICO	123
3.2	EIXO ECOLÓGICO	124
	REFERÊNCIAS	125
	APÊNDICE A–ARTIGO PUBLICADO NA ACTA TROPICA	134

1 INTRODUÇÃO

A família Sarcophagidae figura entre as mais diversas entre os Diptera na Região Neotropical. No Brasil, estudos envolvendo esta família geralmente têm seguido três linhas principais de investigação, a Taxonomia, a Ecologia ou a Entomologia Forense. Todavia, ainda é visível uma enorme lacuna de pesquisa nas regiões Norte, Centro Oeste e Nordeste, o que pode estar associada à falta de especialistas ou dificuldade na identificação taxonômica, a qual comumente é realizada a partir da teminália masculina, sendo as fêmeas geralmente identificadas apenas parcialmente em nível de família.

Na Taxonomia, busca-se solucionar as incertezas na classificação dos seres vivos, por meio da construção e atualização de chaves taxonômicas, de revisões extensivas e estudos filogenéticos. Além disso, é a partir desse tipo de estudo que o número de espécies conhecidas vem ascendendo, devido ao caráter dinâmico da descrição de novos táxons. Recentemente, estudos taxonômicos sobre a família vêm aumentando em complexidade com a utilização de ferramentas auxiliares, por exemplo, técnicas moleculares e análise de hidrocarbonetos cuticulares. Sendo assim, é fundamental a realização de pesquisas multidisciplinares que busquem técnicas inovadoras, confiáveis, de baixo custo e aplicação e resultado rápido. Nesse contexto, temos como uma alternativa a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), a qual foi testada de forma pioneira na presente pesquisa, com o intuito de auxiliar na identificação das fêmeas cuja identificação é dificultada pela alta similaridade morfológica.

Em contrapartida, a maioria dos estudos ecológicos tem focado em aspectos diversos do processo de decomposição, principalmente de carcaças, o que reforça a importância médico-legal do grupo. A Família Sarcophagidae ainda apresenta grande potencial como modelo biológico por sua resposta frente a pressões antrópicas, sendo as espécies categorizadas em um gradiente compreendido entre dois extremos, as sinantrópicas – que se beneficiam da presença de distúrbios antropogênicos e – as assinantrópicas – que são afetadas negativamente pela ação humana nos ambientes naturais.

O objetivo desta tese foi contribuir para o conhecimento taxonômico e ecológico da família Sarcophagidae em ambientes de Caatinga, por meio de uma pesquisa multidisciplinar que envolveu a taxonomia morfológica e físico-química, descrição de novo táxon para a ciência, atualização da distribuição das espécies e ecologia (efeito da perturbação ambiental). Desta forma, a tese foi estruturada em cinco artigos semi-independentes, apresentados na forma em que foram publicados, submetidos ou prontos para submissão, respeitando-se a formatação de

cada periódico. Os dois primeiros e que se encontra como apêndice priorizam uma abordagem integrativa da taxonomia, na qual se utilizaram fotografias, ilustrações, microscopia de varredura e ferramentas físico-químicas (Espectroscopia de Infravermelho Próximo – NIR) para a identificação dos adultos, e os demais capítulos atualizam a distribuição geográfica para as áreas de caatinga e avaliam o efeito da antropização na estrutura e composição nas assembleias de sarcófagídeos.

O *Artigo I* traz a revisão taxonômica do subgênero *Titanogrypa* (*Cucullomyia*), a partir da qual foi possível confirmar o status taxonômicos das espécies, inclusive de *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) *luculenta*, cuja posição no subgênero era questionada. Além de fornecer novas ilustrações, fotografias e microscopia de varredura, foi confeccionada uma chave para espécimes machos do subgênero. Pretende-se submeter seus resultados ao periódico **Insect Systematics and Diversity**, razão pela qual segue a formatação da revista. O *Artigo II* descreve um novo gênero e espécie de ocorrência – até o momento - exclusiva na caatinga, a qual se deu para espécimes machos e fêmeas. Este capítulo encontra-se em inglês, e está em processo de submissão ao periódico **Zootaxa**. A partir desses espécimes foi possível redefinir a caracterização da subfamília Sarcophaginae, uma vez que o novo gênero apresenta um padrão de coloração incomum à descrita na literatura, com um tórax apresentando apenas duas faixas pretas no fundo cinza, e não as três como conhecido.

O *Artigo III* adicionado após as sugestões da banca de qualificação, e trata de um checklist para a família, no qual foram acrescentados cinco novos registros para a região Nordeste e 14 para áreas de caatinga, ressaltando a importância de inventários entomológicos em ambientes cuja fauna ainda é subestimada. Este capítulo já está em fase de revisão por periódico **Entomological News**, razão pela qual foi mantida a formatação da revista.

O *Artigo IV* apresenta uma abordagem ecológica, norteado pela seguinte questão: como se dá a estruturação das assembleias de Sarcophagidae frente a diferentes níveis de distúrbios antropogênicos crônicos em paisagens de Caatinga? Partimos do pressuposto que os distúrbios crônicos modulam a montagem das assembleias de sarcófagídeos, sendo os efeitos refletidos em parâmetros como densidade, riqueza, dominância, equitabilidade e por consequente a diversidade. De modo geral foi possível observar respostas em nível específico, sendo alguns táxons favorecidos a medida que a antropização aumenta e a nível comunitário já que os distúrbios estão intimamente relacionados com a estruturação e composição das assembleias dessas moscas. Pretendemos submeter seus resultados ao periódico **Environmental Entomology**, razão pela qual segue a formatação da revista.

Por fim, O *Artigo V* apresenta o teste do NIR - técnica que usa o comprimento de ondas (espectros) - como uma alternativa para a discriminação das fêmeas a nível genérico ou específico, além de uma forma alternativa de segregação sexual para Sarcophagidae. O artigo já se encontra publicado na revista **Acta Tropica** e por isso foi disponibilizado na tese como apêndice, sendo a versão submetida no formato da revista.

A caatinga sofre constante ação antrópica pela população circundante, o que ocasiona perda de vegetação, levando futuramente a processo mais graves como desertificação e provavelmente afeta a estrutura e composição da comunidade animal, inclusive as moscas. Dessa forma, funciona como um ótimo cenário para estudos que avalie os efeitos dos distúrbios antropogênicos sobre as comunidades animais. Para nosso conhecimento, trata-se do primeiro estudo a avaliar o efeito de distúrbios antropogênicos crônicos sobre assembleias de sarcófagídeos em ambientes de Caatinga fortalecendo assim o arcabouço teórico da biologia da conservação voltada para a entomologia forense ambiental.

A tese tem como eixo norteador o avanço no conhecimento de Sarcophagidae no Nordeste, e integrou o esforço conjunto de várias instituições como Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Museu Nacional/ Universidade Federal do Rio de Janeiro e Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas da Caatinga (Crad/Univasf). A pesquisa buscou contribuir para uma compreensão mais aprofundada do conhecimento taxonômico e ecológico da família Sarcophagidae, fortalecendo assim a utilização do táxon em estudos da Entomologia Forense Ambiental, que embora seja recente tem se mostrado bastante promissora. Além disso, espera-se com esta tese demonstrar a importância de estudos multidisciplinares para suprir lacunas e facilitar a identificação taxonômica do grupo, já que a parceria entre entomologia e físico-química (NIR) oferece uma solução rápida, barata e não destrutiva para a segregação taxonômica de fêmeas.

Por fim, acredita-se que os resultados desta pesquisa possibilitarão a continuidade e lança diretrizes para novas linhas de investigação construídas no Grupo de Pesquisa Insetos de Importância Forense da Universidade Federal de Pernambuco, o qual vem inovando e colaborando para consolidar o arcabouço teórico-metodológico sobre insetos necrófagos no Brasil. Além de fortalecer a utilização de moscas necrófagas como ferramentas auxiliares para a identificação de impactos ambientais, consolidando a entomologia forense ambiental na região Nordeste, cujas pesquisas se iniciaram há menos de uma década.

2 RESULTADOS

2.1 ARTIGO 1

T. M. Barbosa

Insects of Forensic Importance
Research Group, Departamento de
Zoologia, Universidade Federal de
Pernambuco, Av. Prof. Moraes
Rego, 50.670-420, Recife, PE,
Brazil.

REVISÃO DO SUBGÊNERO *TITANOGRYPA* (*CUCULLOMYIA*) (DIPTERA: SARCOPHAGIDAE), COM CHAVE PARA MACHOS

Taciano M. Barbosa¹, Cátia A. Mello-Patiu² & Simão D. vasconcelos¹

¹ Insects of Forensic Importance Research Group, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 50.670-420, Recife, PE, Brazil.

² Laboratório de Biodiversidade e Sistemática de Díptera, Departamento de Entomologia, Museu Nacional/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 20.940-040 Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

RESUMO

As espécies do subgênero *Cucullomyia* Roback, 1954 são pouco frequentes em coletas, além de pobremente estudadas nos escopos bionômico e taxonômico. Atualmente, oito espécies estão descritas na literatura, distribuídas nas regiões Neotropical e Neártica, com seis espécies exclusivamente neotropicais, quatro delas com registro para o Brasil. Algumas espécies de *Cucullomyia* possuem descrições e ilustrações que carecem de mais detalhamento, o que dificulta sua identificação, além de algumas espécies apresentarem sua inserção no subgênero questionada. A maioria das espécies de *Cucullomyia* possui tufo de cerdas brancas nas laterais do escutelo, porém com algumas exceções, os machos possuem cercos de formato peculiar, com metade basal mais alargada e ápice robusto e arredondado (vista lateral), falos com basifalo muito longo e juxta como um par de lóbulos separados. Assim, este trabalho apresenta a redescrição das espécies do subgênero, expande a distribuição geográfica de algumas espécies no território brasileiro, provê uma chave de identificação para os machos e apresenta uma circunscrição ampliada do grupo. A interpretação da presença do tufo de sétulas nas laterais do escutelo é reavaliada, assim como os limites da vesica e da juxta, uma vez que estas são as estruturas fálicas mais importantes para a segregação das espécies deste táxon.

Palavras-chave: Morfologia, Sarcofagídeos, Taxonomia, Biodiversidade.

INTRODUÇÃO

Cucullomyia foi inicialmente proposto como gênero por Roback em 1954, designando *Sarcophaga pedunculata* Hall, como espécie-tipo. No catálogo de Diptera da América do Norte, Downes (1965) considerou *Cucullomyia* Roback, como sinônimo júnior de *Titanogrypa* Townsend, enquanto no catálogo de Diptera da América do Sul, Lopes (1969) os considerou como gêneros distintos. Posteriormente, com base em caracteres da larva de primeiro instar e da genitália dos adultos (machos e fêmeas), Lopes (1982) propôs a tribo Cucullomyini, composta por seis subtribos: Cucullomyina Rohdendorf, Panavina Lopes, Sarconeivina Lopes, Dexosarcophagina Lopes, Malacophagomyiina Lopes e Udamopygina Lopes, sendo Cucullomyina, por sua vez, composta por *Cucullomyia*, *Titanogrypa* e *Airypel* Dodge. No catálogo mundial de Sarcophagidae, Pape (1996) apresentou um novo arranjo para estes grupos e *Cucullomyia* foi considerado um subgênero de *Titanogrypa*, juntamente com *Airypel*, *Titanogrypa* (*sensu stricto*) e *Sarconeiva* Lopes (Pape 1996).

Titanogrypa é um táxon relativamente pequeno quando comparado a outros gêneros da subfamília Sarcophaginae, com 17 espécies conhecidas, as quais possuem distribuição em sua maioria Neotropical, mas com quatro espécies Neárticas (Pape 1996). Dentre as características que definem o gênero, se sobressaem o basifalo com uma extensão dorsal na junção com o distifalo e a presença de um tufo de cerdas embranquecidas na lateral do escutelo (Pape 1996, Giroux et al. 2010). Contudo, esses caracteres podem variar dentro de níveis taxonômicos supra específicos, estando ausentes em algumas espécies, inclusive do subgênero *Cucullomyia* (Pape, 1996).

Dos quatros subgêneros reconhecidos atualmente em *Titanogrypa*, *Cucullomyia* é o mais diverso com oito espécies: *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) *albuquerquei* (Lopes), *T. (C.) alvarengai* (Lopes), *T. (C.) ecuatoriana* (Lopes), *T. (C.) larvicida* (Lopes), *T. (C.) luculenta* (Lopes), *T. (C.) pedunculata* (Hall), *T. (C.) placida* (Aldrich) e *T. (C.) rubrigaster* Dodge, as

quais ocorrem exclusivamente na Região Neotropical, exceto *T. (C.) pedunculata*, exclusiva da Região Neártica e *T. (C.) placida*, que ocorre em ambas regiões, Neotropical e Neártica (Pape 1996).

Recentemente, espécies de *Titanogrypa*, inclusive *T. placida*, têm sido incluídas em análises filogenéticas de Sarcophaginae (Giroux et al. 2010, Buenaventura e Pape 2018). Essas análises mostraram uma relação de grupo-irmão entre os subgêneros *Cucullomyia* e *Titanogrypa* (*sensu stricto*) (Giroux et al. 2010), ou entre *Cucullomyia* e *Airypel* (Buenaventura e Pape 2018), embora ambas tenham incluído uma amostragem muito pequena do grupo. Giroux et al. (2010), baseando-se em características larvais, sugeriram ainda *Sarcodexia* como grupo-irmão de *Titanogrypa*, porém as relações entre os táxons que compõem o gênero *Titanogrypa* ainda não estão completamente elucidadas.

Cabe ainda ressaltar que os meios de identificação (chaves) disponíveis para as espécies de *Cucullomyia* baseiam-se prioritariamente na caracterização dos segmentos abdominais, *e.g.*, na morfologia do quinto esternito e da terminália masculina, em especial do falo (Lopes 1976), uma vez que a morfologia externa é bastante similar. Além disso, há dificuldades na identificação de fêmeas até mesmo em nível de gênero, o que faz com que muitas espécies sejam ainda desconhecidas. Há ainda uma escassez de estudos sobre morfologia comparada e chaves dicotômicas que englobem todas as espécies, de forma a fornecer ferramentas para uma segregação segura destas espécies; a única chave conhecida necessita ser atualizada pois foi elaborada na década de 1970 e não contempla todas as espécies conhecidas (Lopes 1976). Entretanto, *T. larvicida* tem sido incluída em chaves mais generalistas, que focam nas diversas espécies de Sarcophaginae com provável potencial forense (Carvalho e Mello-Patiu 2008).

Diante desse cenário, o presente estudo, fundamentado a partir de uma revisão com base no material-tipo depositado em coleções entomológicas, objetiva redefinir os caracteres diagnósticos do subgênero *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) e de suas espécies, bem como revisar o

status taxonômico do grupo, uma vez que existem espécies morfologicamente muito similares e outras de posicionamento incerto (Lopes 1976), como por exemplo *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) *luculenta*. Além disso, propõe-se a elaboração de uma chave para os machos das espécies do subgênero *Cucullomyia*, a qual foi adaptada de Lopes (1976). Adicionalmente, propõe-se atualizar a distribuição das espécies com base em expedições de coleta de material biológico realizadas em diferentes ambientes de floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado compreendeu espécimes machos previamente identificados e depositados na Coleção Entomológica do Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (MNRJ) e no American Museum of Natural History, New York (AMNH). O material do MNRJ foi perdido no incêndio de 02 de setembro de 2018. Além deste material, espécimes coletados em expedições de campo no domínio floresta tropical sazonalmente seca entre os anos de 2015 a 2017 também serviram de base deste estudo. Esses espécimes foram coletados a partir da armadilha descrita em Oliveira et al. (2016), iscadas com baço bovino e sardinha previamente decomposto e fezes humanas frescas. Todos os espécimes advindos das atividades de campo foram depositados nas coleções do MNRJ e na Coleção Entomológica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Os espécimes secos foram examinados sob estereomicroscópio Zeiss Discovery V8. As terminálias masculinas dos espécimes tipo (holótipo ou parátipo) das espécies, exceto *T. ecuatoriana* e *T. rubrigaster* foram dissecadas, clareadas em solução de KOH 10% a quente e, posteriormente, neutralizadas em solução de ácido acético-etanol. Logo após esse processo foram colocadas em glicerina, em lâminas temporárias, observadas e ilustradas em estereomicroscópio Leica M205 e microscópio óptico Zeiss M80® equipado com câmara clara. Após serem analisadas, as terminálias foram então colocadas em microtubos contendo glicerina

e fixadas aos seus respectivos espécimes para preservação em longo prazo. As identificações dos espécimes coletados foram baseadas nas descrições originais e comparação com espécimes identificados, principalmente tipos primários.

As imagens digitais foram obtidas com câmera digital Leica DFC450C montada em estereomicroscópio Leica M205 e as camadas de foco foram processadas usando o software Leica Application Suite version 4.8.0. Para a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), as terminálias masculinas foram clarificadas brevemente em solução de KOH 10% a quente para permitir a dissecação do falo. O falo dissecado foi desidratado durante 10 minutos em etanol a 70%, seguido por mais 10 minutos em etanol a 100%. Posteriormente, o falo foi seco, colado em “stubs” de alumínio com fita adesiva dupla-face e revestido por pulverização catódica com ouro usando um sistema Denton Vacuum Desk IV, e examinado sob Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM-6390LV no Centro de Microscopia Eletrônica de Varredura (CMEV) do MNRJ. As imagens finais foram editadas em Adobe Photoshop CS6® e Adobe Illustrator CS6® (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA).

As redescrições se baseiam apenas nos machos e a terminologia usada para os caracteres externos seguiu Cumming e Wood (2009), enquanto para a morfologia fálica foi utilizada a terminologia de Mello-Patiu e Pape (2000) e Giroux et al. (2010). Ao longo do texto foram utilizadas as seguintes abreviaturas: T = tergito e ST = esternito.

Cabe ainda ressaltar que para todas as espécies redescritas, quando se tratando das regiões corporais cabeça, tórax e abdome foram citados apenas caracteres que as diferem da espécie-tipo *T. (C). pedunculata*, com exceção da terminália, que foi descrita por completo, uma vez que grande parte das diferenças se encontram nessa região corporal.

RESULTADOS (TAXONOMIA)

Titanogrypa (Cucullomyia) Roback, 1954

Cucullomyia Roback, 1954: 83. Espécie-tipo: *Sarcophaga pedunculata* Hall (orig. des.).

Titanogrypa; Downes 1965.

Cucullomyia; Lopes 1969 [grafia incorreta de *Cucullomyia* Roback] (catálogo).

Cucullomyia; Lopes 1976 (revisão, chave e descrição de espécie novas); Lopes 1982 (descrição da larva 1, subtribo); Lopes 1988 (descrição de espécie nova).

Titanogrypa (*Cucullomyia*); Pape 1996 (catálogo).

Diagnose subgenérica. Cabeça: cerda orbital proclinada ausente e reclinada presente; cerdas verticais externas diferenciadas das pós-oculares; gena com cerdas pretas na parte anterior e brancas na parte posterior; arista com plumosidade longa nos 2/3 basais. **Tórax:** cerdas acrosticais 0+1(pré-escutelares); 4 dorsocentrais pós-suturais, com as duas posteriores mais desenvolvidas que as demais; notopleurais: 4 (duas primárias e duas subprimárias); proepímero setuloso; parede pós-alar setosa; escutelo com tufo de sétulas brancas que se estende da lateral até a margem inferior do escutelo, exceto em *T. luculenta* e *T. ecuatoriana*, que apresentam sétulas pretas; cerda discal escutelar presente, exceto em *T. luculenta*; cerda apical escutelar ausente, exceto *T. luculenta*; veia R₁ nua, exceto *T. rubrigaster*; terceiro setor costal nu; fêmur médio com ctenídio, exceto *T. luculenta*. **Abdome:** T3–T5 na margem ventral com um conjunto de cerdas longas com ápice ondulando, mais intenso no T5; T4 com um par de cerda marginal mediana; ST5 com base curta, profundamente fendido, com cerdas espiniformes. **Terminália:** Sintergosternito 7+8 e epândrio castanho-avermelhados; pré-gonito longo, com ápice espatulado; cerco com metade basal mais alargada e ápice com formato característico, levemente alargado e arredondado (vista lateral), exceto em *T. albuquerquei*; furcas cercais (*cercal prongs*) paralelas em vista posterior; falos com basifalo, tubo fálico e juxta distintos; basifalo com uma extensão posterior na junção com o distifalo; basifalo longo, com pelo menos três vezes o comprimento do tubo fálico, com extensão de sua base atingindo ou ultrapassando o hipândrio; tubo fálico com um par de quilhas posteriores; vésica conspicuamente

desenvolvida na forma de capuz sobre os estilos; juxta como um par de lóbulos separados; estilos mediano e laterais longos com ápice em forma de tubo.

***Titanogrypa (Cucullomyia) pedunculata* (Hall, 1931)**

Figs. 1-5

Sarcophaga pedunculata Hall, 1931: 284. Localidade-tipo: ESTADOS UNIDOS, Texas, Victoria.

Cucullomyia pedunculata: Lopes 1969 (catálogo); Lopes 1976 (chave, redescrição do macho)

Titanogrypa (Cucullomyia) pedunculata: Pape 1996 (catálogo).

Diagnose. Terminália do macho com vesica apresentando uma porção basal membranosa, formando uma projeção larga em vista lateral (Fig. 5) e margem distal formando uma aba voltada para fora (Fig. 5); juxta ovoide em vista lateral (Fig. 5); estilo mediano com base alargada e serreada com espinhos no ápice (Fig.4); estilos laterais curvos com ápice convergentes e com espinhos (Fig.4).

Redescrição. Macho. Comprimento total = 10–12 mm (n = 2).

Cabeça. Parafaciália e placa frontorbital com pruinossidade dourada; placa frontorbital com sétulas esparsas; parafaciália com uma fileira de sétulas pretas próxima aos olhos e medindo cerca de 0,45 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,30 da largura da cabeça; *vitta* frontal enegrecida ao longo de sua extensão; seis a oito cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, com a primeira cerda superior menos desenvolvida que as demais; cerda frontorbital reclinada presente; cerdas verticais externas diferenciadas das pós-oculares, correspondendo a metade do comprimento da cerda vertical interna; triângulo ocelar escuro; cerdas ocelares desenvolvidas; cerdas pós-oculares e paraverticais presentes; área pós-ocular com pruinossidade dourada; gena com pruinossidade dourada em quase toda a extensão e com cerdas pretas na parte anterior e brancas na parte posterior; pós-gena com pruinossidade

cinza-prateada e com numerosas cerdas brancas; occiputo com pruinossidade cinzenta, com duas fileiras de cerdas pretas externamente e o restante brancas; antena castanho-escura; comprimento total da antena correspondendo a 0,81 da distância até o nível das vibrissas, pedicelo medindo cerca de 0,35 do primeiro flagelômero; arista com plumas longas no 2/3 basal; palpos castanhos com sétulas pretas.

Tórax. Cinza enegrecido com pruinossidade levemente amarelada; lóbulo pós-pronotal, notopleura, anapisterno e anepimero com pruinossidade levemente amarelada; catepisterno com pruinossidade cinza-amarelada. Quetotaxia: cerdas acrosticais não diferenciadas dos cílios de revestimento, exceto o par de pré-escutulares; cerdas dorsocentrals com uma série de pré-suturais pouco diferenciadas, exceto duas próximas a cabeça e uma pré sutural; 4 pós suturais, com as 2 anteriores pouco diferenciadas e as 2 posteriores mais desenvolvidas que as demais; intralares: 1+2; supralares: 2+3 (mediana maior); pós-pronotais: 3; pós-alar: 2; notopleurais: 4; catepisternais: 3 (quase do mesmo nível); meropleurais: 7-8; proepisterno com pruinossidade prateada, com uma cerda desenvolvida seguida por um serie de cerdas menores; proepímero setuloso; parede pós alar setulosa; escutelo com tufo de sétulas brancas que se estendem da lateral até a metade inferior do escutelo; com três pares de cerdas laterais (mediana menor que as demais); cerda discal presente; cerdas apicais ausentes. Asas hialinas com tégula enegrecida, basicosta amarelada e veias marrons; veia R_1 nua; R_{4+5} com cerdas até a metade da distância com r-m; célula R_{4+5} aberta; terceiro setor costal nu; caliptras embranquecidas com cílios claros na base. Pernas castanho-escuras; fêmur II com uma série de cerdas medianas (3-4) na face anterior, uma série de cerdas na margem ântero-ventral, duas cerdas apicais posteriores, duas cerdas medianas e ctenídio (9 espinhos) na margem pósterio-ventral; tíbia II com duas cerda medianas na face ântero-dorsal; uma cerda basal e uma cerda mediana na face posterior, e uma mediana pósterio-dorsal; fêmur III com uma fileira de cerdas ântero-dorsais, uma fileira de cerdas na face anterior indo da base até o meio (2/3 do comprimento), uma cerda apical dorsal

e uma cerda apical pósterio-dorsal, uma série de cerdas nas margens ântero-ventral e pósterio-ventral; tibia III com uma cerda basal, uma cerda mediana e uma cerda apical em mesma posição nas margens ântero-dorsal e pósterio-dorsal, e adicionalmente uma cerda mediana na margem ântero-dorsal, uma cerda mediana anterior; coxa III e trocânter III com cerdas normais.

Abdome. Castanho escuro com manchas de pruinossidade cinza-amarelada no T1+2-T3; T4-T5 castanho-avermelhados com pruinossidade amarelada; T1+2-T4 com cerdas marginais laterais; T3-T5 na face ventral com um conjunto de cerdas longas de ápice ondulado, mais intenso em T5; T4 com um par de cerda marginal mediana; T5 com uma série completa de cerdas marginais (cerca de 12); ST2-4 retangulares com cerdas longas na metade apical; ST5 com base curta e profundamente fendido, com braços longos e estreitos e recoberto com numerosas cerdas longas na base e ápice, cerdas espiniformes na parte mediana (Fig. 1).

Terminália: Castanho-avermelhada; sintergosternito 7+8 com pruinossidade amarelada e sétulas esparsas; epândrio com pruinossidade amarelada, cerda dorsal desenvolvida e sétulas longas e esparsas; surstilo longo, com cerdas no ápice; cerco enegrecido no ápice, com cerdas longas nas margens externas, com a metade basal mais alargada do que a metade apical e ápice arredondado (Fig. 2); furcas cercais (*cercal prongs*) estreitas, paralelas em vista posterior; pré-gonito longo, levemente curvo com ápice alargado e espatulado (Fig. 3); pós-gonito quase tão longo quanto o pré-gonito, com uma cerda mediana longa seguida por uma série de pequenas sétulas (Fig. 3); basifalo com aproximadamente 3x o comprimento do tubo fálico (Fig. 3); tubo fálico com duas quilhas posteriores; vesica desenvolvida com uma porção basal membranosa formando uma projeção larga, em vista lateral (Fig. 5), e em forma de quilha, em vista ventral (Fig. 4), metade distal esclerotizada com ornamentação escamosa e com a margem distal formando uma aba voltada para fora; juxta ovoide em vista lateral (Fig. 5), com uma faixa interna mais esclerotizada em vista ventral (Fig.4); estilo mediano com base alargada e serreada

com espinhos no ápice (Fig.4); estilos laterais curvo com ápice convergente e com espinhos (Fig.4).

Material-tipo examinado. PARÁTIPOS: 2 ♂: ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, Texas, Victoria, 23. IV. 1946, R. A. Roberts (MNRJ).

Distribuição geográfica: Neártica- México (Baja Califórnia Norte), Estados Unidos (Texas).

Comentários: Essa espécie é morfologicamente mais similar a *T. alvarengai* por apresentar uma vesica com porção basal membranosa formando uma projeção larga em vista lateral (Fig. 5 e 15). As espécies ainda apresentam semelhanças no formato do cerco, surstilo (Fig. 2 e 12) e pré-gonito, embora este último seja mais curvo em *T. pedunculata* (Fig. 2 e 12). Dentre as diferenças podemos citar o formato do ST 5, o qual é amplamente mais aberto em *T. pedunculata* (Fig. 1), que em *T. alvarengai* (Fig. 11). Outra diferença é o formato da projeção presente na porção basal da vésica, em que, *T. alvarengai* apresenta a projeção com ápice bilobado em vista lateral (Fig. 15), enquanto *T. pedunculata* apresenta o ápice em lóbulo único.

***Titanogrypa (Cucullomyia) albuquerquei* (Lopes, 1976)**

Figs. 6-10

Cucullomyia albuquerquei Lopes, 1976:750. Localidade-tipo: Brasil, Piauí, Valença.

Titanogrypa (Cucullomyia) albuquerquei; Pape 1996 (catálogo).

Diagnose. Terminália do macho com vesica apresentando a região mediana esclerotizada e com duas porções membranosas, porção proximal formando projeção ímpar na base que se prolonga ventralmente para as laterais e porção distal em forma de abas laterais (Fig. 10); juxta como dois lóbulos, com a região distal mais estreita em vista lateral (Fig. 9); estilo mediano longo com a base alargada, bilobada e com margem interna serreada, com espinhos na metade

distal (Fig. 9); estilos laterais com base arredondada e direcionadas para as laterais, com espinhos na metade apical (Fig. 9).

Redescrição. Macho: Comprimento total = 8 mm (n =1).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: placa parafacial medindo cerca de 0,57 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,26 da largura da cabeça; sete cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, a primeira superior mais fraca que as demais; gena com pruinosidade dourada na parte superior e prateada na inferior; comprimento total da antena correspondendo 0,90 da distância até o nível das vibrissas, com o pedicelo medindo cerca de 0,50 do flagelômero.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com uma série de cerdas pré-suturais pouco diferenciadas, havendo uma cerda próxima a cabeça e a sutura mais desenvolvida, 4 pós-suturais, em que as três posteriores são desenvolvidas com crescimento gradual e a anterior não diferenciada; meropleurais: 7-9; fêmur II com ctenídio (5-7 espinhos) na margem póstero-ventral.

Abdome: T5 com uma série completa de cerdas marginais (10); ST5 com base curta e profundamente fendido, com braços longos e estreitos e recoberto com numerosas cerdas longas na base, cerdas espiniformes na metade apical (Fig. 6).

Terminália: Sintergosternito 7+8 alaranjado, com sétulas esparsas; epândrio laranja-amarelado com cerda dorsal desenvolvida e sétulas esparsas, principalmente na região dorsal; surstilo alaranjado e longo, com ápice levemente alargado, com cerdas restritas à região apical; cerco levemente curvado, base com cerdas longas nas margens interna e externa; pré-gonito castanho, longo e curvo com ápice mais largo e espatulado; pós-gonito castanho, quase tão longo quanto o pré-gonito, com uma cerda mediana longa, seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo longo aproximadamente 2,5x o comprimento do tubo fálico; vesica desenvolvida, sendo 2x mais longa do que larga em vista lateral (Fig. 10), com a região mediana esclerotizada

e com duas porções membranosas, uma proximal e uma distal; porção proximal com uma projeção ímpar na base que se prolonga ventralmente para as laterais; porção distal em forma de abas laterais; região esclerotizada com duas projeções ventro-apicais; juxta como dois lóbulos, com a região distal mais estreita em vista lateral e com uma faixa interna mais esclerotizada (Fig. 9); estilo mediano longo com a base alargada, bilobada e com margem interna serrada, ápice em tubo e com espinhos na metade externa (Fig. 9); estilos laterais com base arredondada e direcionadas para as laterais, com ápice em tubo e espinhos na metade apical (Fig. 9).

Material-tipo examinado: HOLÓTIPO ♂ – BRASIL: Piauí, Valença, 27. III. 1975, Dalcly O. Albuquerque (MNRJ)

Distribuição geográfica: Neotropical – Bahamas, Brasil (Piauí), Cuba.

Comentários: essa espécie se assemelha às espécies *T. pedunculata* e *T. alvarengai* pelo formato da vesica, já que todas apresentam uma porção membranosa formando uma projeção ímpar na base (Fig. 5, 10 e 15). Todavia, *T. albuquerquei* difere de *T. pedunculata* e *T. alvarengai* pelo fato da projeção na porção basal da vésica apresentar uma porção distal em forma de abas laterais diferentemente das demais (Fig. 10). *Titanogrypa albuquerquei* ainda apresenta um cerco que a distingue das demais espécies como observado por Lopes (1976), o qual é levemente curvado e pouco robusto no ápice.

***Titanogrypa (Cucullomyia) alvarengai* (Lopes, 1976)**

Fig. 11-15

Cucullomyia alvarengai Lopes, 1976:752. Localidade-tipo: Brasil, Roraima, Surumu.

Titanogrypa (Cucullomyia) alvarengai; Pape 1996 (catálogo).

Diagnose. Terminália do macho com vesica apresentando região mediana mais esclerotizada e com ornamentação escamosa, apresentando uma porção basal membranosa (Fig. 15); porção basal com uma projeção ímpar em forma de quilha em vista ventral e com ápice bilobado em vista lateral (Fig. 15); juxta como dois lóbulos, com região distal mais estreita em vista lateral (Fig. 14); estilo mediano com base alargada, bilobada e sem espinhos (Fig. 14); estilos laterais com base arredondada levemente mais alargada que o ápice, apresentando espinhos na metade apical (Fig. 14).

Redescrição. Macho: Comprimento total = 10 mm (n = 1).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: placa parafacial medindo cerca de 0,65 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,23 da largura da cabeça; seis a sete cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, com a primeira cerda superior mais fraca que as demais; gena com pruinose dourada na parte superior e prateada na inferior; comprimento total da antena correspondendo 0,84 da distância até o nível das vibrissas, com o pedicelo medindo cerca de 0,41 do flagelômero.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com três pré-suturais pouco diferenciadas e 4 pós-suturais com as duas posteriores bem desenvolvidas, em que as anteriores não são diferenciadas; meropleurais: 8-9; fêmur II com três cerdas medianas ântero-ventral e ctenídio (8 espinhos) na margem pósterio-ventral; tíbia II com duas cerdas medianas pósterio-dorsais; tíbia III com uma cerda basal, uma cerda mediana e uma cerda apical na mesma posição nas margens ântero-dorsal e pósterio-dorsal, adicionalmente com uma cerda basal e uma mediana na margem ântero-dorsal e uma cerda mediana anterior.

Abdome: castanho com manchas de pruinose douradas laterais e dorsais; T5 com uma série completa de cerdas marginais (10-12); ST5 com base curta e profundamente fendido, com

braços longos e estreitos e recoberto com numerosas cerdas longas na base, cerdas espiniformes na metade apical (Fig 11).

Terminália: Sintergosternito 7+8 alaranjado, com cerdas laterais pouco desenvolvidas e sétulas esparsas; epândrio alaranjado com cerda dorsal desenvolvida e sétulas esparsas. Surstilo alaranjado e longo, com ápice alargado com cerdas; pré-gonito castanho, longo e curvo com ápice largo e espatulado; pós-gonito castanho, quase tão longo quanto o pré-gonito, com uma cerda sub-mediana longa, seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo com aproximadamente 3x o comprimento do tubo fálico; tubo fálico com duas quilhas posteriores; vesica conspicuamente desenvolvida, sendo 2x mais longa do que larga, com região mediana mais esclerotizada e com ornamentação escamosa, apresentando uma porção basal membranosa (Fig. 15); porção basal com uma projeção ímpar em forma de quilha em vista ventral e com ápice bilobado em vista lateral (Fig. 15); região esclerotizada com duas projeções ventro-apicais; juxta como dois lóbulos, com região distal mais estreita em vista lateral e com uma faixa interna mais esclerotizada (Fig. 14); estilo mediano com base alargada, bilobada e ápice em tubo (Fig. 14); estilos laterais com base arredondada levemente mais alargada que o ápice, e com ápice em tubo apresentando espinhos na metade apical (Fig. 14).

Material-tipo examinado: HOLÓTIPO ♂ – BRASIL, Roraima, Surumu, IX. 1966, M. Alvarenga (MNRJ).

Distribuição geográfica: Neotropical – Brasil (Roraima).

Comentários: A espécie é morfologicamente mais similar a *T. pedunculata* por causa do formato do cerco e surstilo como já mencionado (ver comentário para *T. pedunculata*).

***Titanogrypa (Cucullomyia) larvicida* (Lopes, 1935)**

Fig. 16-20

Sarcophaga larvicida Lopes, 1935: 470. Localidade-tipo: Brasil, Rio de Janeiro;

Cucullomyia larvicida; Lopes 1969 (catálogo, nova combinação). Refs.: Lopes 1976 (chave e descrição); Linhares 1981 (sinantropia); Carvalho e Linhares 2001 (lista de espécies);

Titanogrypa (Cucullomyia) larvicida; Pape 1996 (catálogo, nova combinação); Refs.: Barros et al. 2008 (lista de espécies); Carvalho e Mello-Patiu 2008 (chave); Morreti et al. 2008 (lista de espécies); Barbosa et al. 2009 (lista de espécies); Rosa et al. 2011 (lista de espécies); Alves et al. 2014 (lista de espécie); Mello-Patiu et al. 2014 (lista de espécies); Barbosa et al. 2015 (lista de espécies); Sousa et al. 2015 (lista de espécies); Sousa et al. 2016 (lista de espécies); Barbosa et al. 2017 (lista de espécies), Buenaventura e Pape 2018 (filogenia de Sarcophaginae); Faria et al. 2018 (lista de espécies).

Diagnose. Terminália do macho com vesica apresentando uma projeção ímpar na base e uma porção distal arredondada e ornamentada com espinhos (Fig. 19 e 20); juxta como dois lóbulos, praticamente com a mesma espessura em sua extensão em vista lateral (Fig. 20); estilo mediano um pouco maior que os laterais com ápice denteado (Fig. 19); estilos laterais com ápice robusto e com numerosos espinhos (Fig. 19).

Redescrição. Macho: Comprimento total = 6,5-10mm (n= 14).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: Placa parafacial medindo cerca de 0,52 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,35 da largura da cabeça; vitta frontal enegrecida com pruinosidade dourada no entorno do triângulo ocelar; cinco a sete cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, com a primeira cerda superior mais fraca que as demais; gena com

pruinose dourada na parte superior e cinzenta na inferior; comprimento total da antena correspondendo 0,74 da distância até o nível das vibrissas.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com uma série de pré-suturais, sendo duas cerdas mais desenvolvidas, uma próxima a cabeça e outra próxima a sutura; 4 pós suturais, com a anterior pouco diferenciada e as posteriores bem desenvolvidas; meropleurais: 7-9; fêmur II com uma série de cerdas medianas (4-6) na face anterior; quatro cerdas medianas ântero-ventrais; 1-2 cerdas medianas e ctenídio (9 espinhos) na margem pósterio-ventral.

Abdome: T5 com uma série completa de cerdas marginais (12-14); ST5 com base curta, profundamente fendido, com braços longos e estritos recobertos com cerdas finas na parte basal e cerdas espiniforme na metade apical (Fig. 16).

Terminália: Sintergosternito 7+8 castanho-alaranjado, com pruinosidade amarelada no dorso e cinza na margem, sétulas esparsas; epândrio castanho-alaranjado com um par de cerdas dorsais desenvolvidas e sétulas esparsas, sendo mais longas na face dorsal; surstilo alaranjado, longo e estreito com numerosas cerdas longas no ápice; pré-gonito castanho, longo e curvo, sendo o ápice alargado e espatulado; pós-gonito castanho, levemente curvo com uma protuberância próxima ao ápice e cerda mediana longa seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo com aproximadamente 3x o tamanho do tubo fálico; tubo fálico com um par de quilhas posteriores; vesica desenvolvida, tão longa quanto larga, com uma projeção ímpar na base e uma porção distal arredondada e ornamentada com espinhos (Fig. 19 e 20); juxta como dois lóbulos, praticamente com a mesma espessura em sua extensão em vista lateral (Fig. 20), e com uma pequena região esclerotizada em vista ventral (Fig. 19); estilo mediano um pouco maior que os laterais com ápice denteado (Fig. 19); estilos laterais com ápice robusto e com numerosos espinhos (Fig. 19).

Material-tipo examinado: HOLÓTIPO ♂: BRASIL: Rio de Janeiro, Jardim Botânico, X. 1935, Lopes, H.S. (MNRJ).

PARÁTIPOS: 2 ♂: BRASIL: Rio de Janeiro, Jardim Botânico, X. 1935, Lopes, H.S. (MNRJ); 1 ♂: BRASIL: Paraíba, Santa Luzia, 28. 1933, Ihering, R.V. leg. (MNRJ).

Material adicional examinado: 1 ♂: BRASIL: Rio de Janeiro, Grajaú, 28. V. 1939, Lopes, H.S. (MNRJ); 1 ♂: Minas Gerais, Cambugueira, II. 1942, Lopes, H.S. (MNRJ); 1 ♂: Rio de Janeiro, Marambaia, 12. XI. 1993, Mello-Patiu, C.A. (MNRJ); 1 ♂: Rio de Janeiro, Marambaia, 18. III. 1993, Mello-Patiu, C.A. (MNRJ); 3 ♂: Pernambuco, Buíque, IX. 2015, Barbosa, T.M. e Carmo, R.F.R (CE-UFPE); 3 ♂: Paraíba, Boqueirão, II. 2017, Barbosa, T.M. e Carmo, R.F.R (CE-UFPE).

Distribuição geográfica: Neotropical - Brasil (Rio de Janeiro, **São Paulo**, **Minas Gerais**, **Brasília**, **Mato Grosso**, **Espirito Santo**, **Ceará**, Rio Grande do Norte, **Pernambuco** e Paraíba).

Comentários: essa espécie apresenta uma projeção ímpar na base da vesica (Fig. 20), estrutura presente também em *T. pedunculata*, *T. albuquerquei* e *T. alvarengai*. Todavia, nesta espécie a projeção é esclerotizada, diferido das demais, nas quais é membranosa. O adulto de *T. larvicida* pode ser facilmente distinguido das outras espécies por apresentar um vesica ornamentada por espinhos (Fig. 19), o que a difere das demais espécies. Além do mais, durante as coletas na Caatinga, *T. larvicida* foi coletada nos três substratos testados baço bovino e peixe decomposto, e fezes humanas frescas.

***Titanogrypa (Cucullomyia) luculenta* (Lopes, 1938)**

Fig. 21-25

Sarcophaga despecta Lopes, 1935:42. Localidade-tipo: Rio de Janeiro, Angra dos Reis.

[Homônimo primário júnior de *Sarcophaga despecta* Thomson, 1869]

despecte: Lopes 1935; grafia original incorreta de *despecta* Lopes 1935.

Sarcophaga luculenta; Lopes 1938. Nome novo para *Sarcophaga despecta* Lopes 1935.

lutulenta; Lopes 1969; grafia original incorreta de *luculenta* Lopes 1938.

Cuculomyia luculenta; Lopes 1976 (Chave)

Titanogrypa (Cucullomyia) luculenta; Pape 1996 (catálogo, nova combinação). Refs.: Pape et al. 2004 (lista de espécies); Méndez et al. 2008 (citação); Kutty et al. 2010 (filogenia molecular); Sousa et al. 2011 (lista de espécies); Sousa et al. 2015 (lista de espécies); Mello-Patiu 2016 (catálogo); Buenaventura e Pape 2015 (filogenia de *Peckia*); Buenaventura et al 2017 (filogenia); Buenaventura e Pape. 2018 (filogenia de Sarcophaginae).

Diagnose. Terminália do macho com vesica apresentando a base membranosa sem projeção, metade distal alargada com várias projeções em ponta (Fig. 23 e 24); juxta pouco destacada do tubo fálico como duas projeções pontiagudas (Fig. 23 e 25); estilo mediano mais longo que os laterais com ápice denteado (Fig. 25); estilos laterais com espinhos além da metade apical (Fig. 25).

Redescrição. Macho (Fig. 36): Comprimento total = 10-18 mm (n= 4).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: Placa parafacial e medindo cerca de 0,46 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,29 da largura da cabeça; (9-10) cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, com as primeiras cerdas superiores mais fracas que as demais (Fig. 31); gena com pruinose dourada na parte superior e cinzenta na inferior; comprimento total da antena correspondendo 0,84 da distância até o nível das vibrissas, com o pedicelo medindo cerca de 0,37 do flagelômero.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com as pré-suturais pouco diferenciadas; 4 pós suturais, com a anterior pouco diferenciada e as posteriores bem desenvolvidas; pós-pronotais: 2; meropleurais: 10-11; escutelo com tufo de sétulas pretas que se estende da lateral até a metade inferior do escutelo (Fig. 34); cerda discal ausente; cerdas apicais presentes. Caliptras com cílios escuros nas margens. Pernas com fêmures e tíbias com

conspícua pilosidade na face ventral; fêmur II com uma série de cerdas medianas (4) na face anterior; sem ctenídio na margem póstero-ventral; tíbia II com uma cerda mediana na face anterior; uma cerda basal e uma cerda mediana na face posterior, e uma mediana póstero-dorsal.

Abdome: castanho com manchas de pruinose dourada nas laterais e face dorsal; T5 com uma série completa de cerdas marginais (12-14); ST4 com um tufo de cerdas espiniforme formando um tapete apical; ST5 com base alargada e com uma área central despigmentada, braços curtos e alargados recoberto com cerdas espiniformes (Fig. 21).

Terminália: Sintergosternito 7+8 alaranjado com pruinose dourada, com uma série de cerdas marginais (7-8) e sétulas esparsas; epândrio alaranjado com sétulas longas e esparsas; surstilo castanho e longo, com formato de bumerangue, com cerdas numerosas concentradas nas margens anterior e apical; cerco castanho na base e enegrecido no ápice, com cerdas longas nas margens externas, com a metade basal mais alargada do que a metade apical e ápice arredondado, com uma concavidade posterior na região mediana em vista lateral; ápice estreito, paralelo e separados com ápice convergente em vista posterior; pré-gonito castanho na base e enegrecido no ápice, longo e curvo, com base mais alargada e ápice espatulado com um projeção pré-apical na margem anterior; pós-gonito castanho, tão longo quanto o pré-gonito e com uma cerda mediana seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo estreito em vista lateral, com a extensão posterior mais curta e arredondada, com aproximadamente 3x o comprimento do tubo fálico; tubo fálico com duas quilhas posteriores; vesica desenvolvida, tão longa quanto larga em vista lateral (Fig. 25), com a base membranosa sem projeção, metade distal alargada com várias projeções em ponta; juxta pouco destacada do tubo fálico como duas projeções pontiagudas (Fig. 23 e 25); estilo mediano mais longo que os laterais com ápice denteado (Fig. 25); estilos laterais com espinhos além da metade apical (Fig. 25).

Material-tipo examinado: HOLÓTIPO ♂: BRASIL, Angra dos Reis, Japuíba, VI. 1931, L. Travassos leg. (MNRJ).

Material adicional examinado: 3 ♂: BRASIL: Espírito Santo, VII. 1972, P.C. Elias (MNRJ); 1 ♂: Mato Grosso, Salobra, I. 1941, I.O.C. (MNRJ); 2 ♂: Amapá, Serra do navio, IX. 1957, J. Lane (MNRJ).

Distribuição geográfica: Neotropical- Brasil (**Amapá**, Rio de Janeiro, **São Paulo**, **Mato Grosso**, **Goiás**, **Espírito Santo**, **Ceará e Maranhão**); Colômbia.

Comentários: essa espécie mais similar a *T. ecuatoriana*, uma vez que ambas espécies apresentam o escutelo com tufo de sétulas pretas, surstilo em formato de bumerangue e o pré-gonito com base larga e ápice pontiagudo. Por outro lado, *T. luculenta* difere de *T. ecuatoriana*, principalmente pelo formato do cerco, sendo está estrutura mais curvada em *T. luculenta*. Além do mais, *T. luculenta* apresenta uma vésica pontas em sua porção distal, estruturas ausentes na vésica de *T. ecuatoriana*, a qual possui formato de flor. A coloração do tufo de cerdas do escutelo e o formato do surstilo e pré-gonito ainda diferencia de *T. luculenta* e *T. ecuatoriana* das outras espécies. Além disso, similarmente a *T. larvicida*, essa espécie tem sido comumente registrada em material em decomposição (Sousa et al., 2011, 2015), o que sugere um hábito sarcossaprófago.

***Titanogrypa (Cucullomyia) placida* (Aldrich, 1925)**

Fig. 26-30

Sarcophaga placida Aldrich, 1925:24. Localidade-tipo: Panamá, Zona do canal, Ancon.

Cucullomyia placida; Lopes 1969 (catálogo, nova combinação). Ref.: Lopes 1976 (chave e redescrição);

Titanogrypa (Cucullomyia) placida; Pape 1996 (catálogo, nova combinação). Refs.: Reeves et al. 2000 (nota sobre a biologia); Giroux et al. 2010 (filogenia morfológica e molecular); Yepes-Guarisas et al. 2013 (sinantropia); Mello-Patiu 2016 (catálogo); Valverde-Castro et al. 2017 (lista de espécies), Buenaventura e Pape 2018 (filogenia de Sarcophaginae).

Diagnose. Terminália do macho com vesica mais longa que larga, sem projeção na base, com bainha mais esclerotizada na margem distal, voltada para fora em vista ventral (Fig. 30); juxta com os lóbulos largos ao longo de toda sua extensão e tão longa quanto o tubo fálico (Fig. 28, 29 e 30); estilos mediano e laterais muito longos ultrapassando a juxta em vista lateral, ambos com espinhos no ápice (Fig. 29).

Redescrição. Macho: Comprimento total = 11-12 mm (n = 5).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: Placa parafacial medindo cerca de 0,48 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,33 da largura da cabeça; sete a oito cerdas frontais, atingindo a base do pedicelo, com a primeira superior mais fraca que as demais; gena com pruinose dourada na parte superior e cinza na inferior; comprimento total da antena correspondendo 0,77 da distância até o nível das vibrissas; pedicelo medindo cerca de 0,45 do flagelômero; arista com plumas longas no 2/3 basais.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com 3 pré-suturais pouco diferenciadas; 4 pós suturais, com a anterior pouco diferenciada e as posteriores bem desenvolvidas; fêmur II com duas cerdas medianas e ctenídio (10 espinhos) na margem pósterio-ventral; tíbia II com uma cerda mediana na face ântero-dorsal; uma cerda basal e uma cerda mediana na face posterior, e uma mediana pósterio-dorsal.

Abdome: castanho alaranjado com manchas de pruinose amarelada nas laterais e face dorsal; T5 mais claro que os demais; T5 com uma série completa de cerdas marginais (12-14); ST5 com base curta e profundamente fendido, com braços longos e estreitos e recoberto com cerdas longas na base, e cerdas espiniformes na metade apical (Fig. 26).

Terminália: Sintergosternito 7+8 alaranjado com sétulas esparsas; epândrio alaranjado com cerda dorsal desenvolvida e sétulas longas e esparsas. Surstilo alaranjado, longo com ápice mais alargado e numerosas cerdas longas; pré-gonito castanho, longo e levemente curvo com ápice

espatulado; pós-gonito castanho e com cerda mediana longa seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo com aproximadamente 3x o tamanho do tubo fállico; tubo fállico com duas quilhas posteriores; vesica desenvolvida mais longa que larga, sem projeção na base, com bainha mais esclerotizada na margem distal, voltada para fora em vista ventral (Fig. 30); juxta com os lóbulos largos ao longo de toda sua extensão e tão longa quanto o tubo fállico, com uma faixa interna mais esclerotizada (Fig. 28, 29 e 30); estilos mediano e laterais muito longos ultrapassando a juxta em vista lateral, ambos com espinhos no ápice (Fig. 29).

Material examinado: 1 ♂: MÉXICO, Oaxaca, 30. VI. 1951, W.G. Downs (MNRJ); 1 ♂: MÉXICO, Xalapa, Vera Cruz, 25. IX. 1950, W.G. Downs (MNRJ); 1 ♂: COSTA RICA, Província de Guanacaste, Santa Rosa National Park, II.1983, Janzen, D.H. e HallWacks, W. (MNRJ); 1 ♂: COSTA RICA, Parque Nacional Guanacaste, 14-18. VIII. 2010, Nihei S. Col (MNRJ); 1 ♂: COSTA RICA, Parque Nacional Guanacaste, 15. VIII. 2010, Gibson J. col. (MNRJ).

Distribuição geográfica: Neártica- México (Sonora); Neotropical- Colômbia, Costa Rica, El Salvador, Nicarágua e Panamá.

Comentários: essa espécie apresenta um cerco bastante semelhante ao observado em *T. albuquerquei* e *T. rubrigaster*, sendo em todas levemente curvado (Fig. 7, 27 e 41). Já o ST 5 se assemelhar ao observado em *T. larvicida*, embora nesta espécie os braços sejam separados uma membrana (Fig. 16). Entretanto, *T. placida* é bem distinta das demais, diferindo principalmente por possuir uma vesica longa com bainha na margem distal, juxta com os lóbulos tão longos quanto o tubo fállico, além dos estilos mediano e laterais serem muito longos ficando expostos em vista lateral (Fig. 28 e 30).

***Titanogrypa (Cucullomyia) ecuatoriana* (Lopes, 1988)**

Fig. 35-39

Cucullomyia ecuatoriana Lopes, 1988:101. Localidade-tipo: Equador, Loja, Zaruma rd, S. Pedro.

Titanogrypa (Cucullomyia) ecuatoriana; Pape 1996 (catálogo). Refs: Méndez et al. 2008 (citação); Kutty et al. 2010 (filogenia molecular), Buenaventura e Pape 2018 (filogenia de Sarcophaginae).

Diagnose. Terminália do macho com vesica desenvolvida tão longa quanto larga, apresentando formato de flor; juxta com lóbulos curtos; estilos mediano e laterais de comprimento proporcionais, apresentando ápice em tubo e espinhos na metade apical.

Redescrição. Macho: Comprimento total = 10 mm (n =1).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: Placa parafacial medindo cerca de 0,65 da distância entre as vibrissas; fronte, ao nível do primeiro ocelo medindo cerca de 0,33 da largura da cabeça; (9-10) cerdas frontais atingindo a base do pedicelo, com a cerda frontal superior não equidistante, reclinada e deslocada para próximo da cerda frontal reclinada (Fig. 32); comprimento total da antena correspondendo 0,87 da distância até o nível das vibrissas, com o pedicelo medindo cerca de 0,38 do flagelômero; arista longa e plumosa, com plumas além do 2/3 basal.

Tórax: Quetotaxia: cerdas dorsocentrals diferenciadas, com uma série de cinco cerdas pré-suturais (uma perto da cabeça e outra mediana mais desenvolvida), e com 4 pós-sutural, sendo as duas posteriores mais desenvolvidas e as anteriores não diferenciadas; meropleurais: 10-11; escutelo com tufo de sétulas pretas que se estende da lateral até a metade inferior do escutelo. Fêmur II com três cerdas medianas ântero-ventral; duas cerdas apicais pósterodorsal; duas cerdas medianas e ctenídio (6-8 espinhos) na margem pósterodorsal; tíbia II com duas cerdas

medianas na margem ântero-dorsal; uma cerda basal e uma cerda mediana na face posterior, uma cerda mediana póstero-dorsal e com parte ventral com cílios longos; fêmur III três medianas póstero-dorsais.

Abdome: castanho com manchas de pruinossidade prateada nas laterais e face dorsal; T5 com forte pruinossidade dourada; T5 com uma série completa de cerdas marginais (10-12); ST5 base levemente alargada, profundamente fendido, com braços longos e estreitos totalmente recoberto com numerosas cerdas longas.

Terminália (Fig. 38 e 39): Sintergosternito 7+8 alaranjado, com sétulas esparsas; epândrio alaranjado com cerdas longas e finas distribuídas uniformemente; surstilo enegrecido, longo com numerosas cerdas cobrindo quase que toda a extensão e com formato de bumerangue; pré-gonito castanho com base larga e ápice espatulado, com uma projeção pré-apical na margem externa; pós-gonito castanho, longo cerca de 2/3 do pré-gonito, com ápice estreito e curvo e uma cerda mediana seguida por uma série de pequenas sétulas; basifalo longo aproximadamente 2,5x o comprimento do tubo fálico; vesica desenvolvida tão longa quanto larga, apresentando formato de flor; juxta com lóbulos curtos; estilos mediano e laterais de comprimento proporcionais, apresentando ápice em tubo e espinhos na metade apical.

Material-tipo examinado: PARÁTIPO: 1 ♂: EQUADOR, Loja, Zaruma rd, S. Pedro. 9. IV. 1965, L. Pena (MNRJ).

Distribuição geográfica: Neotropical – Equador.

Comentários: essa espécie é morfologicamente mais similar a *T. luculenta* (ver comentários de *T. luculenta*). Diferindo das demais espécies por apresentar tufo de cerdas pretas na lateral do escutelo (Fig. 34); pré-gonito com base alargada e ápice com projeção pré-apical, surstilo com formato de bumerangue (Fig. 37 e 38), e pelo formato da vesica, a qual é tão longa quanto larga, apresentando formato de flor (Fig. 39).

***Titanogrypa (Cucullomyia) rubrigaster* Dodge, 1965**

Fig. 40-42

Titanogrypa rubrigaster Dodge, 1965:495. Bahamas, Grand Bahama, West End.

Titanogrypa (Cucullomyia) rubrigaster; Pape 1996 (catálogo, nova combinação).

Diagnose. Terminália do macho com vesica desenvolvida, com porção proximal mais esclerotizada e porção distal membranosa, apresentando o formato de um capuz curto (Fig. 41); distifalo com ápice arredondado, juxta como lóbulos curtos (Fig. 42).

Redescrição. Macho: Comprimento médio (4.5 - 5.5 mm).

Difere de *T. (C.) pedunculata* por apresentar:

Cabeça: Placa parafacial e fronto-orbital e gena com pruinossidade cinza prateada; cinco pares de cerdas frontais atingindo a base do pedicelo; arista longa com plumas curtas restrita a metade basal; palpos pretos longas e delgados.

Tórax: Quetotaxia: acrosticais 0 +1; cerdas dorsocentraes diferenciadas, com uma série de três cerdas pré-suturais e três cerdas pós-suturais, com espaçamento para quatro sendo as duas posteriores mais desenvolvidas; supralares 1+3; escutelo com tufos de sétulas embranquecidas que se estendem da lateral até a metade inferior do escutelo; com duas marginais e um par de pré apicais. Asa apresentando cerdas na veia R₁ na fase dorsal. Fêmur II sem ctenídio na margem na margem pósterio-ventral.

Abdome: T1+2 pretos; T3 com porção proximal enegrecida e porção distal castanho alaranjado (Fig. 41); T4 - 5 castanhos alaranjado; T3-5 com cerdas marginais medianas; T5 com uma série completa de cerdas marginais (12-14); ST5 fendido na base, com braços levemente divergentes e recoberto com numerosas sétulas pretas.

Terminália: Sintergosternito 7+8, epândrio e cerco alaranjados com cerdas longas e finas distribuídas uniformemente (Fig. 40); Sintergosternito 7+8 com porção dorsal com mancha

enegrecida; surstilo alaranjado e curto; pré-gonito castanho escuro e espatulado; pós-gonito castanho, longo e com uma cerda mediana; vesica desenvolvida, com porção proximal mais esclerotizada e porção distal membranosa com formato de um capuz curto (Fig. 41); distifalo com ápice arredondado, juxta como lóbulos curtos (Fig. 42).

Material-tipo examinado: Holótipo, 1 macho: BAHAMAS, Grand Bahamas Isl. West End, 12. V. 1953, Hayden, E.B. & Rabb, G.B. (AMNH).

Distribuição geográfica: Neotropical – Bahamas (Grand Bahamas).

Comentários: é uma espécie endêmica da região Neotropical, com registro para Bahamas. Essa espécie, possui o tufo de cerdas brancas do escutelo encontrado em *T. pedunculata*, *T. alburquerquei*, *T. alvarengai*, *T. plácida* e *T. larvicida*, porém, apresenta uma série de caracteres externos distintos, por exemplo, veia R₁ com cerdas na face dorsal, cerdas marginais medianas nos T 3-5 e pós-gonito longo e fino (Fig. 41). Ainda foi possível observar que *T. rubrigaster* assim como *T. luculenta* não possui ctenídios no fêmur II, e a vésica apresenta um capuz mais curto semelhante a *T. ecuatoriana* (Fig. 39 e 41), embora apresente um distifalo com ápice arredondado, juxta como lóbulos curtos (Fig. 42) que a destingue das demais.

Chave para os machos de *Cucullomyia* Roback, 1954

- 1 Escutelo com tufos de sétulas brancas que se estendem da lateral até a metade inferior do escutelo (Fig. 33); pré-gonito com base e ápice de espessuras proporcionais, surstilo com cerdas restritas ao ápice, sem formato de bumerangue. 2
- 1' Escutelo com tufos de sétulas pretas que se estendem da lateral até a metade inferior do escutelo (Fig. 34); pré-gonito com base alargada e ápice pontiagudo; surstilo com cerdas em quase toda extensão, e com formato de bumerangue (Fig. 7). 7
- 2 Vésica em formato de capuz, sem a presença de projeção em forma de ponta ou aba na porção basal (Fig. 30). 3

- 2' Vésica desenvolvida em formato de capuz apresentando uma projeção ímpar em forma de ponta ou aba na porção basal (Fig. 5). 4
- 3 Vésica longa com bainha na margem distal e sem projeção basal, juxta com os lóbulos largos e tão longa quanto o tubo fálico, estilos mediano e laterais muito longos ficando expostos em vista lateral (Fig. 29 e 30). **placida**
- 3' Vésica curta sem bainha na margem distal, com porção basal mais esclerotizada e distal membranosa, juxta com lóbulos mais curto que o tubo fálico; estilos mediano e laterais curtos não expostos em vista lateral. **rubrigaster**
- 4 Vésica desenvolvida, tão longa quanto larga, com uma projeção ímpar e esclerotizada na base e uma porção distal arredondada e ornamentada com espinhos (Fig. 19 e 20)
..... **larvicida**
- 4' Vésica desenvolvida, sendo 2x mais longa do que larga, apresentando uma projeção basal membranosa e sem ornamentação com espinhos (Fig. 10). 5
- 5 Vésica com duas porções membranas, uma proximal e uma distal; porção distal em forma de abas laterais (Fig. 9 e 10). **albuquerquei**
- 5' Vésica apresentando um única porção membranosa formando uma projeção ímpar na base; sem porção distal em forma de abas laterais (Fig. 5 e 15). 6
- 6 Porção membranosa da vesica formando uma projeção larga em vista lateral, com ápice em ponta, se prolonga até dois 2/3 do comprimento da vesica (Fig. 4); juxta ovoide em vista lateral (Fig. 5). **pedunculata**
- 6' Porção membranosa da vesica formando uma projeção curta e com ápice bilobado em vista lateral (Fig. 15), juxta em formato diferente, com a região distal mais estreita em vista lateral (Fig. 15). **alvarengai**

7 Sintergosternito 7+8 com uma série de cerdas marginais (7-8) (Fig. 22); basifalo estreito em vista lateral, com a extensão dorsal curta e arredondada (Fig. 23); vesica com projeções pontiagudas distalmente (Fig. 25 (Fig. 24 e 25)).***luculenta***

7' Sintergosternito 7+8 sem uma série de cerdas marginais (Fig. 38); basifalo alargado em vista lateral e com extensão dorsal pontiaguda; vesica sem projeções pontiagudas, com formato semelhante a uma flor (Fig. 38 e 39).***ecuatoriana***

DISCUSSÃO

O estudo comparativo das espécies de *Cucullomyia* possibilita uma diagnose mais detalhada do subgênero, assim como a reinterpretação das estruturas da terminália masculina desse táxon. Como resultado deste estudo morfológico, observamos que algumas características são compartilhadas por todas as espécies, em especial da terminália masculina, as quais são úteis na diagnose genérica de *Cucullomyia*. Tais caracteres incluem, por exemplo, escutelo com tufo de sétulas que se estendem da lateral até a margem inferior do escutelo; cercos castanhos na base e enegrecidos no ápice, com metade basal mais alargada que a metade apical e ápice robusto e arredondado (vista lateral); basifalo longo, com pelo menos 2,5x o comprimento do tubo fálico e apresentando uma extensão posterior na junção com o distifalo e, por fim, juxta como um par de lóbulos separados.

Em relação ao tufo de sétulas do escutelo, nota-se que a configuração do tufo é similar entre todas as espécies de *Cucullomyia*, tanto aquelas com sétulas brancas, como as que possuem sétulas pretas (Fig. 33 e 34). Entretanto, difere da configuração das sétulas presentes em outros membros da subfamília Sarcophaginae, como por exemplo em *Oxysarcodexia* Townsend, onde tais sétulas estão presentes, mas não formam um tufo com a mesma extensão que é observado nas espécies estudadas (Fig. 34 e 35). Portanto, consideramos o tufo homólogo em todas as espécies do subgênero. Assim, é possível interpretar que esse caráter, pelo menos

em *Cucullomyia*, apresenta dois estados, com sétulas brancas, presente em *T. pedunculata*, *T. albuquerquei*, *T. alvarengai*, *T. larvicida*, *T. placida* e *T. rubrigaster*, e com sétulas pretas, presente em *T. ecuatoriana* e *T. luculenta*. Além disso, contrapondo-se à caracterização de ausência de cerdas brancas nas laterais do escutelo de *T. larvicida* afirmada por Pape (1996), verificamos sétulas brancas em todos os espécimes analisados neste estudo, incluindo o holótipo (Fig. 33).

A presença do tufo de sétulas brancas é relatada também para as espécies dos subgêneros *Airypel* e *Titanogrypa*, porém ausente em *Sarconeiva* (Pape 1996). Contudo, somente a partir de uma revisão ampla de *Titanogrypa sensu lato* será possível verificar se as espécies de *Sarconeiva* possuem o tufo de sétulas pretas homólogo a *T. ecuatoriana* e *T. luculenta*, e provavelmente este caráter seja uma importante sinapormofia para todo o grupo.

Estes dois grupos de espécies também foram observados quando consideradas outras características morfológicas, por exemplo, a conformação do pré-gonito. Enquanto, o pré-gonito com base estreita está presente em *T. pedunculata*, *T. albuquerquei*, *T. alvarengai*, *T. larvicida*, *T. placida* e *T. rubrigaster* um outro caracteriza-se por apresentar uma base alargada em *T. ecuatoriana* e *T. luculenta*. Tal diferenciação confirma-se ao se analisar o padrão visto para o formato do surstilo, o qual é espatulado (*T. pedunculata*, *T. albuquerquei*, *T. alvarengai*, *T. larvicida*, *T. placida* e *T. rubrigaster*) e em forma de “bumerangue” (*T. ecuatoriana* e *T. luculenta*).

Além disso, quando analisado o *phallus*, notou-se que estruturas nomeadas por Lopes (1976) como “placa lateral e placa apical”, na realidade correspondem à vesica e à juxta (Fig. 43-48), respectivamente. Isso é corroborado por Giroux et al. (2010), que define que os lóbulos unidos imediatamente acima dos estilos e projetados da face anterior do falo, e originados da base do distifalos representam a vesica. O estudo detalhado da vesica de *Cucullomyia*, por sua vez, ainda mostra que o seu formato segue um padrão entre as espécies, no qual toma a forma

de um capuz na parte superior, que pode conter projeções em sua base ou não como é o caso de (*T. luculenta*, *T. placida*, *T. rubrigaster* e *T. ecuatoriana*).

Outro caráter analisado foi a extensão da base do basifalo. Cumming e Wood (2009) definem o epifalo como um lóbulo distinto que emerge da superfície dorso-mediana do basifalo. Em *Cucullomyia*, há um lóbulo distinto do observado por Cumming e Wood (2009), o qual emerge da região ventral e não da região dorsal, como um epifalo. Pelo posicionamento, provavelmente não é um caráter homólogo ao epifalo, podendo a presença desta extensão da base do basifalo ser uma sinapomorfia para o subgênero. Cabe ainda destacar a extensão posterior do basifalo na junção com o distifalo, um provável caráter que sustenta a monofília do gênero *Titanogrypa* s.l. (Giroux et al. 2010). Essa estrutura está presente em todas as espécies de *Cucullomyia*, embora algumas delas a apresentem de forma mais reduzida (*T. luculenta* e *T. pedunculata*). Assim, esse resultado também contradiz a diagnose de Pape (1996) que relata a ausência dessa extensão em *T. pedunculata*, mas uma extensão reduzida foi visualizada e ilustrada no presente estudo (Fig. 3).

Em relação à identidade das espécies, foi possível observar que *T. luculenta* é uma espécie morfológicamente mais diferente das demais, pois apresenta o ST5 com uma membrana fina na base e braços alargados e curtos (Fig. 21), enquanto nas demais espécies os braços são estreitos e alongados (Fig. 1, 6, 11, 16 e 26). Todavia, *T. luculenta* está mais próxima de *T. ecuatoriana*, uma vez que como mencionado, apresenta muitos caracteres compartilhados, por exemplo, sétulas pretas na lateral do escutelo. Cabe destacar que o padrão diferenciado de *T. luculenta* já havia sido mencionado por Lopes (1976), que relatou a espécie como “espécie aberrante” dentro do táxon.

Entretanto, a partir da revisão foi possível confirmar a identidade da espécie como uma integrante do subgênero *Cucullomyia*, já que a mesma compartilha as principais características diagnósticas com as demais espécies, como escutelo com tufo de sétulas que se estendem da

lateral até a margem inferior do escutelo (Fig. 34); cercos castanhos na base e enegrecidos no ápice, com metade basal mais alargada que a metade apical e ápice arredondado (vista lateral); basifalo longo, com pelo menos 2,5x o comprimento do tubo fálico e extensão posterior na junção com o distifalo (Fig. 23). Contudo, uma análise filogenética do gênero é necessária para corroborar essas hipóteses, assim como o posicionamento de *Cucullomyia* em *Titanogrypa sensu lato*.

A confecção de uma chave que concentre todas as espécies do subgênero é uma contribuição fundamental para o conhecimento do grupo, uma vez que a única chave específica para *Cucullomyia* (Lopes 1976) disponível até o momento não contemplava todas as espécies. Dessa forma, uma chave que contemple todas as espécies é apresentada, com ilustrações e fotos com maior nitidez de detalhes que possibilitam segregar as espécies congêneres.

As espécies *T. larvicida* e *T. luculenta* ainda tiveram sua distribuição geográfica atualizada para o território brasileiro, já que a partir do material examinado, dados de campo e registros da literatura, confirmou-se a presença desses táxons para estados das regiões Centro Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste. Por fim, destacamos ainda a presença de *T. larvicida* no domínio Caatinga, um tipo de floresta seca exclusiva do território brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudo do primeiro autor, Barbosa, T. M.; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade de SDV e CAMP e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (Facepe) por seu apoio financeiro. A Josenilson Santos pelo auxílio na obtenção das microscópias de varredura e sugestões no manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Aldrich, J. M. 1925.** New Diptera or two-winged flies in the United States National Museum. Proc. U. S. Natl. Mus. 66: 1–36.
- Alves, A. C. F., W. E. Santos, e A. J. Creão-Duarte. 2014.** Diptera (Insecta) de importância forense da região Neotropical. *Entomotropica*, 29: 77–94.
- Barbosa, R. R., C. A. Mello-Patiu, R. P. Mello, e M. M. C. Queiroz. 2009.** New records of calyptrate dipterans (Fanniidae, Muscidae and Sarcophagidae) associated with the decomposition of domestic pigs in Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 104: 923-926.
- Barbosa, T. M., C. A. Mello-Patiu, e S. D. Vasconcelos. 2015.** Flesh fly (Diptera: Sarcophagidae) survey on coastal environments in northeastern Brazil: New records and notes on the expanded geographical distribution. *Entomotropica*, 30: 112-117.
- Barbosa, T. M., R. F. R. Carmo, L. P. Silva, R. G. Sales, e S. D. Vasconcelos. 2017.** Diversity of sarcosaprophagous calyptratae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environ. Entomol.* 46: 460-469.
- Barros, R. M., C. A. Mello-Patiu, e J. R. Pujol-Luz. 2008.** Sarcophagidae (Insecta, Diptera) associados à decomposição de carcaças de *Sus scrofa* Linnaeus (Suidae) em área de cerrado do Distrito Federal, Brasil. *Rev. Bras. Entomol.* 52: 606-609.
- Buenaventura, E., e T. Pape. 2015.** Phylogeny of the Peckia-genus group: evolution of male genitalia in the major necrophagous guild of Neotropical flesh flies (Diptera: Sarcophagidae). *Org. Divers. Evol.* 15: 301-331.
- Buenaventura, E., D. Whitmore, e T. Pape. 2017.** Molecular phylogeny of the hyper diverse genus *Sarcophaga* (Diptera: Sarcophagidae), and comparison between algorithms for identification of rogue taxa. *Cladistics*, 33: 109-133.
- Buenaventura, E. e T. Pape. 2018.** Phylogeny, evolution and male terminalia functionality of Sarcophaginae (Diptera: Sarcophagidae). *Zool. J. Linnean Soc.* 183: 808–906.

- Carvalho, C. J. B., e C. A. Mello-Patiu. 2008.** Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. *Rev. Bras. Entomol.* 52: 390-406.
- Carvalho, L. M. L., e A. L. Linhares. 2001.** Seasonality of insect successions and pig carcass decomposition on a natural forest area in Southeastern Brazil. *J. Forensic Sci.* 46: 604-608.
- Cumming, J. M., D. M. Wood. 2009.** Adult morphology and terminology. *In:* Brown, B. V., A. Borkent, J. M. Cumming, D. M. Wood, N. E. Woodley, e M. A Zumbado. (Eds.), *Manual of Central American Diptera*. Vol. 1. NRC Research Press, Ottawa, Canada, pp. 9–50.
- Dodge, R. H. 1965.** The Sarcophagidae (Diptera) of the West Indies. I. The Bahama Islands. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 58: 474–497.
- Downes, W. L. 1965.** Family Sarcophagidae. Pp. 933-961 *In:* Stone, A., C. W. Sabrosky, W. W. Wirth, R. H. Foote, e J. R. Coulson (eds), *A catalog of the Diptera of America north of Mexico*. U.S. Dept. of Agric., Agric. Handbk 276: 1696 pp.
- Faria, L. S., M. L. Paseto, M. S. Couri, C. A. Mello-Patiu, e J. Mendes. 2018.** Insects associated with pig carrion in two environments of the brazilian savana. *Neotrop. Entomol.* 47: 181-198.
- Giroux, M., T. Pape, T. A. Wheeler. 2010.** Towards a phylogeny of the flesh flies (Diptera: Sarcophagidae): morphology and phylogenetic implications of the acrophallus in the subfamily Sarcophaginae. *Zool. J. Linnean Soc.* 158: 740–778.
- Hall, D. G. 1931.** New Texas Sarcophaginae (Diptera: Calliphoridae). *Entomol. News* 42: 280–286.
- Kutty, S. N., T. Pape, B. M. Wiegmann, e R. Meier. 2010.** Molecular phylogeny of the Calyptratae (Diptera, Cyclorrhapha) with an emphasis on the superfamily Oestroidea and the position of Mystacinobiidae and McAlpine's fly. *System. Entomol.* 35: 614–635.
- Linhares, A. X. 1981.** Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in the city of Campinas, São Paulo, Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* 25: 189–215.

- Lopes, H. S. 1935.** Algumas espécies de Sarcophaga do Brasil (Dip. Sarcophagidae). Rev. Entomol. 5: 38–46.
- Lopes, H. S. 1938.** *Sarcophaga luculenta*, nov. nom. (Dipt.). Rev. Entomol. 8: 209.
- Lopes, H. S. 1969.** Family Sarcophagidae. In: Papavero, N. (Ed.), A catalogue of the Diptera of the Americas south of the United States. Departamento de Zoologia, Secretaria de Agricultura, São Paulo, 88 pp.
- Lopes, H. S. 1976.** On the genus *Cucullomyia* Roback (Diptera, Sarcophagidae). Rev. Bras. Biol. 36: 745–757
- Lopes, H. S. 1982.** The importance of the mandible and clypeal arch of the first instar larvae in the classification of the Sarcophagidae (Diptera). Rev. Bras. Entomol. 26: 293-326.
- Lopes, H. S. 1988.** Old and new Andean Sarcophagidae (Diptera). Mem. Inst. Oswaldo Cruz 83: 101-111.
- Mello-Patiu, C. A., e T. Pape. 2000.** Definitions of *Dexosarcophaga* Townsend, 1917 and *Sarcofartiopsis* (Hall, 1933), including two new species and redescrptions of *Sarcofartiopsis cuneata* (Townsend, 1935) (Diptera, Sarcophagidae). Boletín Entomología Venezolana, 15: 181–194.
- Mello-Patiu, C. A. 2016.** Family Sarcophagidae. *Zootaxa*, 4122: 884-903.
- Mello-Patiu, C. A., M. L. Paseto, L. S. Faria, J. Mendes, e A. L. Linhares. 2014.** Sarcophagid flies (Insecta, Diptera) from pig carcasses in Minas Gerais, Brazil, with nine new records from the Cerrado, a threatened neotropical biome. Rev. Bras. Entomol. 58: 142–146.
- Méndez, J., C. A. Mello-Patiu, e T. Pape. 2008.** New flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) from coastal mangroves of Panama with taxonomic notes and keys. J. Nat. Hist. 42: 249-257.
- Moretti, T. C., O. B. Ribeiro, P. J. Thyssen, e D. R. Solis. 2008.** Insects on decomposing carcasses of small rodents in a secondary forest in Southeastern Brazil. Europ. J. Entomol. 105: 691- 696.

- Oliveira, D. L., T. F. Soares, e S. D. Vasconcelos. 2016.** Effect of bait decomposition on the attractiveness to species of Diptera of veterinary and forensic importance in a rainforest fragment in Brazil. *Parasitol. Res.* 115: 449–455.
- Pape, T. 1996.** Catalogue of the Sarcophagidae of the World (Insecta: Diptera). *Memoirs on Entomology, International*, 8: 1–558.
- Pape, T., M. Wolff, e E. Amat. 2004.** Los Califóridos, Éstridos, Rinofóridos y Sarcofágidos (Diptera: Calliphoridae, Oestridae, Rhinophoridae, Sarcophagidae) de Colombia. *Biota Colomb.* 5: 201-208.
- Reeves, W. K., T. Pape, e P. H. Adler. 2000.** Biological notes on New World Sarcophagidae (Diptera). *Stud. Dipterol.* 2: 497-500.
- Roback, S. S. 1954.** The evolution and taxonomy of the Sarcophagidae. *Illinois Biological Monographs*, 23, 1–181.
- Rosa, T. A., M. L. Y. Babata, C. M. Souza, D. Sousa, C. A. Mello-Patiu, F. Z. Vaz-de-Melo, e J. Mendes. 2011.** Arthropods associated with pig carrion in two vegetation profiles of Cerrado in the state of Minas Gerais, Brazil. *Rev. Brasil. Entomol.* 55:424–434.
- Sousa, J. R. P., M. C. Esposito, e F. S. Carvalho Filho. 2011.** Composition, abundance and richness of Sarcophagidae (Diptera, Oestroidea) in forests and forest gaps with different vegetation cover. *Neotrop. Entomol.* 40: 20–27.
- Sousa, J. R. P., F. S. Carvalho-Filho, e M. C. Esposito. 2015.** Distribution and abundance of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae and Sarcophagidae) in Maranhão, northeastern Brazil. *J. Insect Sci.* 15: 70–79.
- Sousa, J. R. P., F. S. Carvalho-Filho, L. Juen, e M. C. Esposito. 2016.** Evaluating the effects of different vegetation types on necrophagous fly communities (Diptera: Calliphoridae; Sarcophagidae): Implications for conservation. *PLoS One* 11: 1-23.

Valverde-Castro, C., E. Buenaventura, J. D. Sánchez-Rodríguez, e M. Wolff. 2018. Flesh flies (Diptera: Sarcophagidae: Sarcophaginae) from the Colombian Guajira biogeographic province, an approach to their ecology and distribution. *Zoologia*, 34: 1-11.

Yepes-Gaurisas, D., J. D. Sánchez-Rodríguez, C. A. Mello-Patiu, e M. Wolff. 2013. Synanthropy of Sarcophagidae (Diptera) in La Pintada, Antioquia–Colombia. *Int. J. Trop. Biol.* 61: 1275–1287.

LISTAS DE FIGURAS

Figuras 1–5. *Titanogrypa (Cucullomyia) pedunculata* (Hall), terminália do macho. 1. Esternito 5. 2. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, *vista lateral*. 3. *Phallus* e estruturas associadas, *vista lateral*. 4. *Phallus*, *vista ventral*. 5. *Phallus*, *vista lateral*. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea – apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga – apódema pós-gonal; hp – hipândrio; j – juxta; ls – estilo lateral; ms – estilo mediano; ph – falopódema; po – pós-gonito; pr – pré-gonito; pt – tubo fálico; sur – surstilo; st – estilos; stg 7+8 – sintergosternito 7+8; v- vésica.

Figuras 6–10. *Titanogrypa (Cucullomyia) albuquerquei* (Lopes), terminália do macho. 6. Esternito 5. 7. Epândrio, surstilo e cerco, *vista lateral*. 8. *Phallus* e estruturas associadas, *vista lateral*. 9. *Phallus*, *vista ventral*. 10. *Phallus*, *vista lateral*. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea – apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga – apódema pós-gonal; hp – hipândrio; j – juxta; ls – estilo lateral; ms – estilo mediano; ph – falopódema; po – pós-gonito; pr – pré-gonito; pt – tubo fálico; sur – surstilo; st – estilos; stg 7+8 – sintergosternito 7+8; v- vésica.

Figuras 11–15. *Titanogrypa (Cucullomyia) alvarengi* (Lopes), terminália do macho. 11. Esternito 5. 12. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, *vista lateral*. 13. *Phallus* e estruturas associadas, *vista lateral*. 14. *Phallus*, *vista ventral*. 15. *Phallus*, *vista lateral*. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea – apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga – apódema pós-gonal; hp – hipândrio; j – juxta; ls – estilo lateral; ms – estilo mediano; ph – falopódema; po – pós-gonito; pr – pré-gonito; pt – tubo fálico; sur – surstilo; st – estilos; stg 7+8 – sintergosternito 7+8; v- vésica.

Figuras 16–20. *Titanogrypa (Cucullomyia) larvicida* (Lopes), terminália do macho. 16. Esternito 5. 17. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, vista lateral. 18. *Phallus* e estruturas associadas, vista lateral. 19. *Phallus*, vista ventral. 20. *Phallus*, vista lateral. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea - apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga - apódema pós-gonal; hp - hipândrio; j - juxta; ls - estilo lateral; ms - estilo mediano; ph - falopódema; po - pós-gonito; pr - pré-gonito; pt - tubo fálico; sur - surstilo; st - estilos; stg 7+8 - sintergosternito 7+8; v- vésica.

Figuras 21–25. *Titanogrypa (Cucullomyia) luculenta* (Lopes), terminália do macho. 21. Esternito 5. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, vista lateral. 23. *Phallus* e estruturas associadas, vista lateral. 24. *Phallus*, vista ventral. 25. *Phallus*, vista lateral. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea - apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga - apódema pós-gonal; hp - hipândrio; j - juxta; ls - estilo lateral; ms - estilo mediano; ph - falopódema; po - pós-gonito; pr - pré-gonito; pt - tubo fálico; sur - surstilo; st - estilos; stg 7+8 - sintergosternito 7+8; v- vésica.

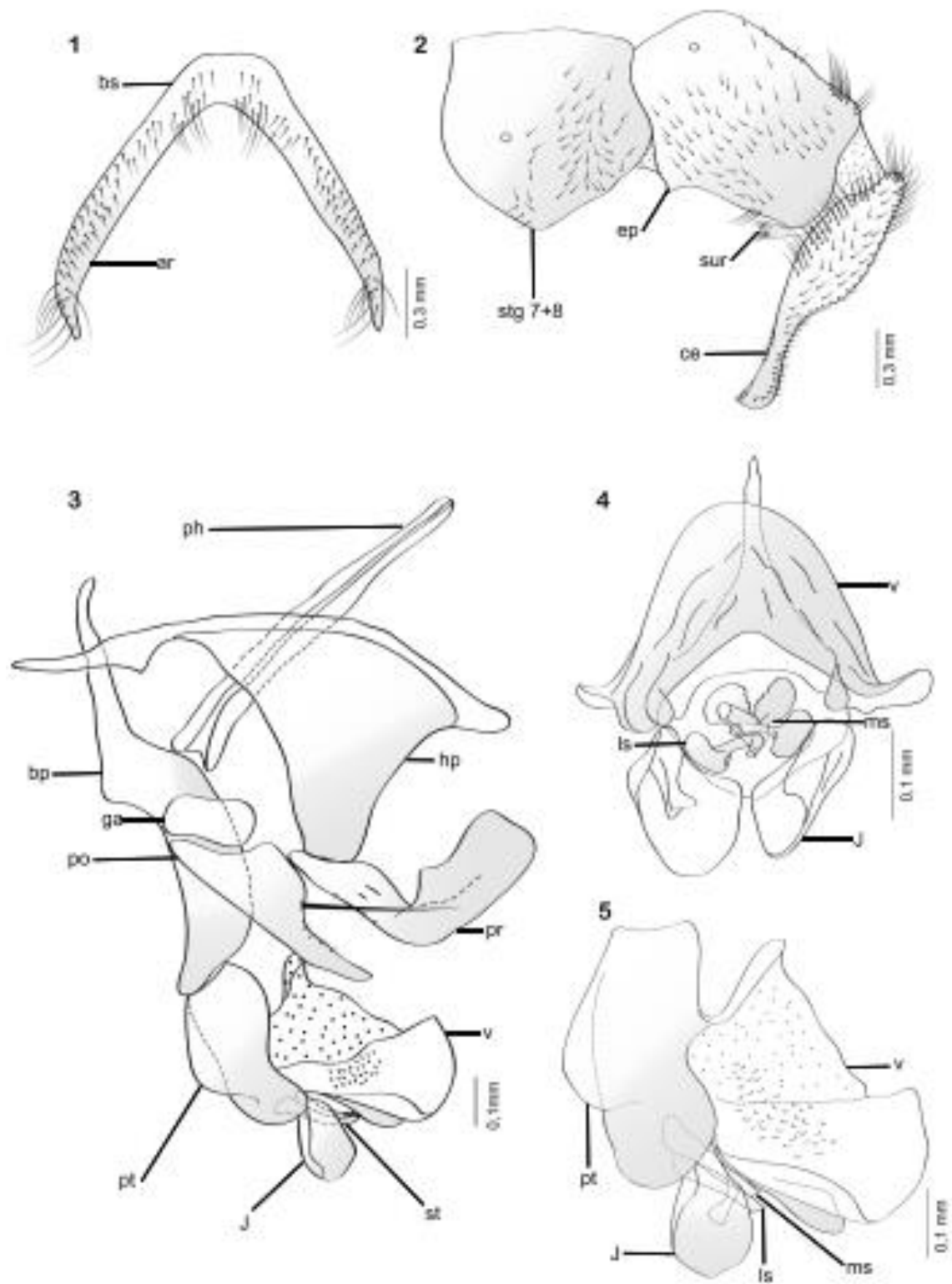
Figuras 26–30. *Titanogrypa (Cucullomyia) placida* (Aldrich), terminália do macho. 26. Esternito 5, vista ventral. 27. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, vista lateral. 28. *Phallus* e estruturas associadas, vista lateral. 29. *Phallus*, vista ventral. 30. *Phallus*, vista lateral. ar - braço; bp - basifalo; bs - base; ce - cerco; ea - apódema ejaculatório; ep - epândrio; ga - apódema pós-gonal; hp - hipândrio; j - juxta; ls - estilo lateral; ms - estilo mediano; ph - falopódema; po - pós-gonito; pr - pré-gonito; pt - tubo fálico; sur - surstilo; st - estilos; stg 7+8 - sintergosternito 7+8; v- vésica.

Figuras 31-39. 31. Cabeça de *T. luculenta*. 32. Cabeça de *T. ecuatoriana*. 33. Escutelo de *T. larvicida*. 34. Escutelo de *T. luculenta*. 34. Escutelo de *Oxysarcodexia thornax* (Walker). 35-39. *Cucullomyia ecuatoriana* (Lopes). 35. Habitus. 36 e 37. Sintergosternito 7+8, epândrio, surstilo e cerco, vista lateral. 39. Phallus em vista lateral. ce - cerco; ep - epândrio; po – pós-gonito; pr – pré-gonito; phl – falos; sur – surstilo; stg 7+8 – sintergosternito 7+8.

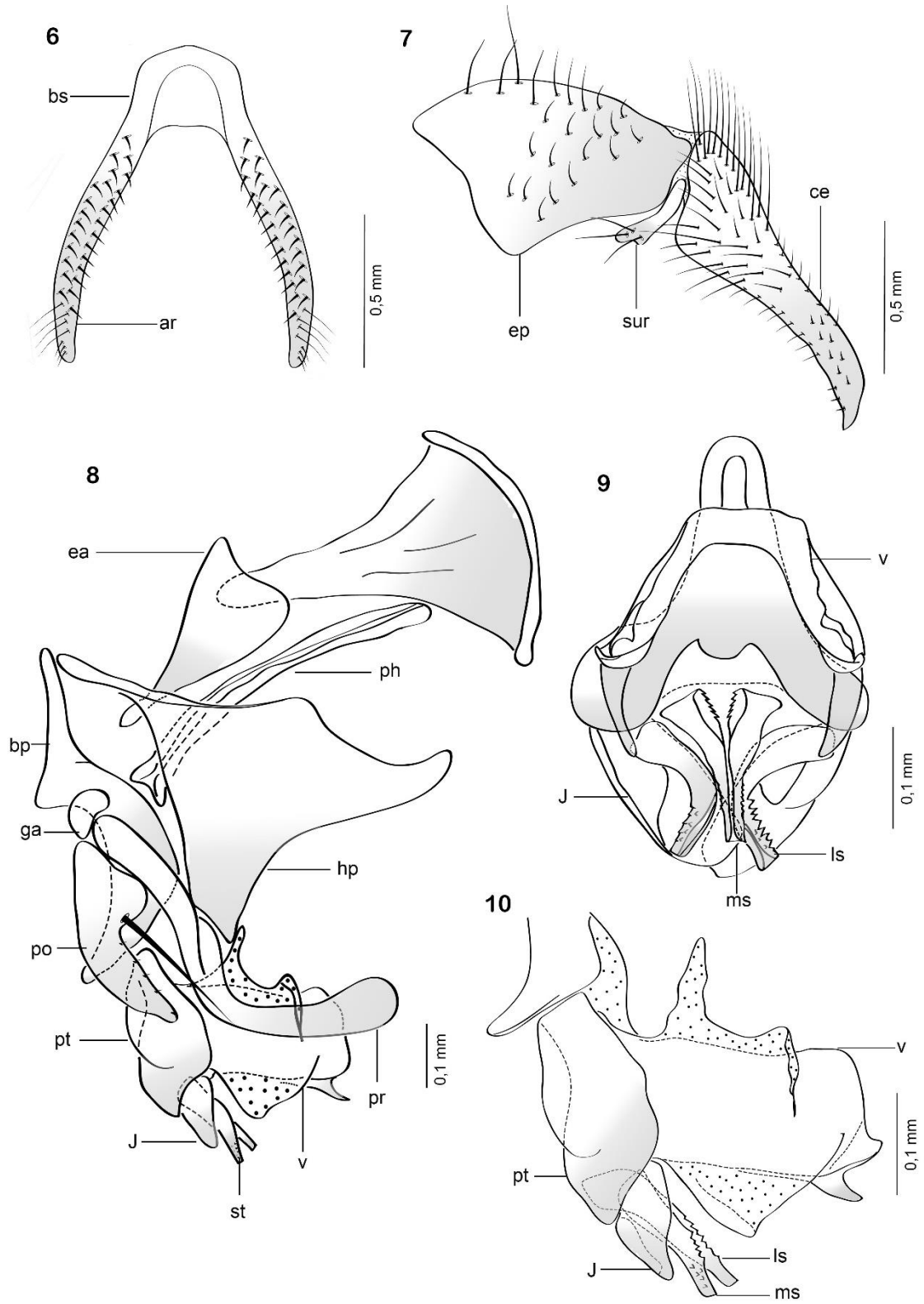
Figuras 40-42. *Titanogrypa (Cucullomyia) rubrigaster* Dodge. 40. Habitus, vista lateral. 41. Terminália vista lateral. 42. Terminália, vista posterior. ce - cerco; ep - epândrio; phl – falos.

Figuras 43- 48. Microscópia electronica de varredura de *Titanogrypa (Cucullomyia) larvicida* (Lopes) e *Titanogrypa (Cucullomyia) luculenta* (Lopes). *T. larvicida*, 43. Falos vista lateral; 44. Distifalo vista dorsal; 45 Distifalo vista ventral; *T. luculenta*, 46. Distifalo vista lateral; 47. Distifalo vista dorsal e 48. Distifalo vista ventral. j – juxta; ls – estilo lateral; ms – estilo mediano; st – estilos; v – vesica.

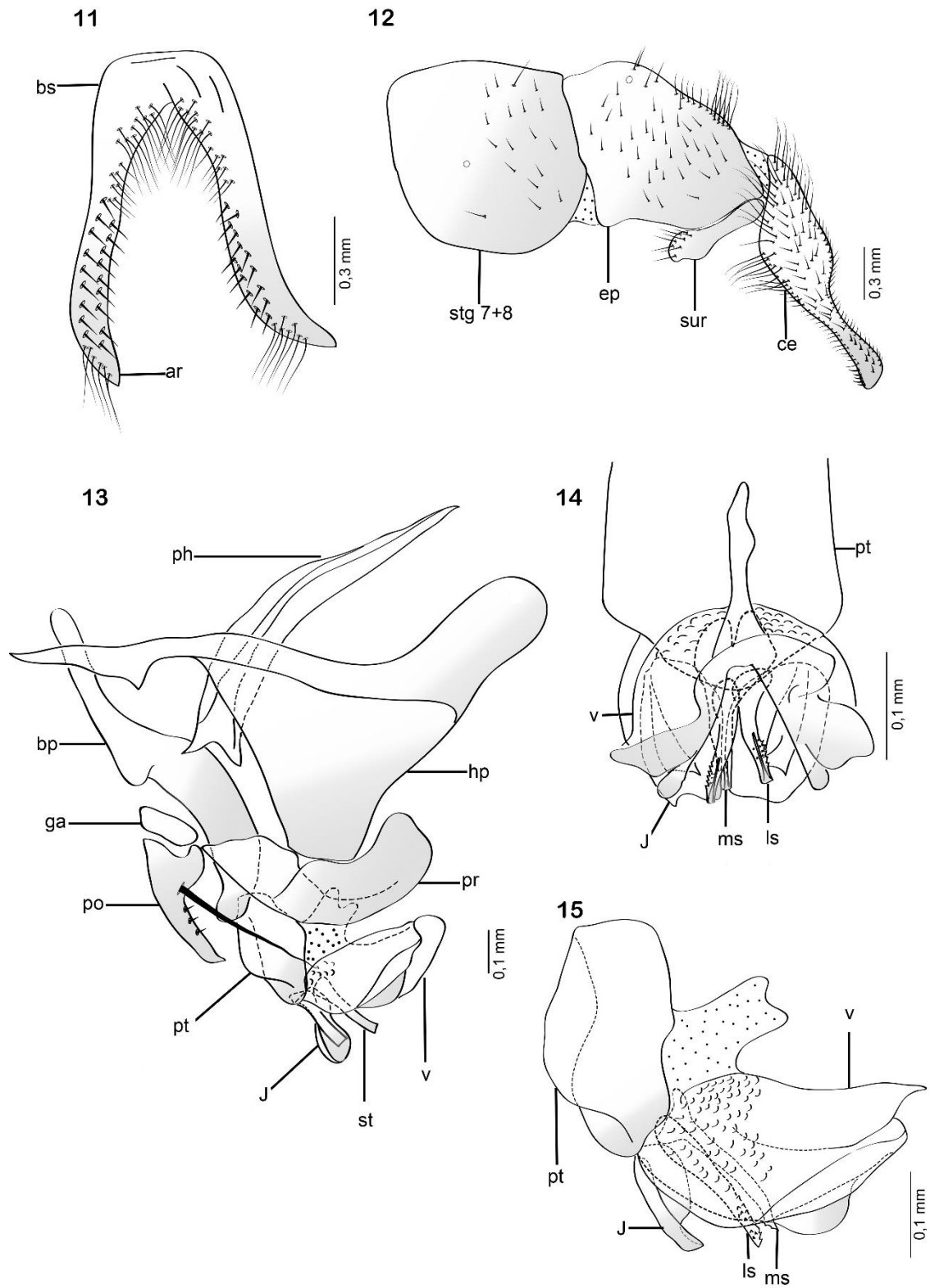
Figuras 1-5



Figuras 6-10

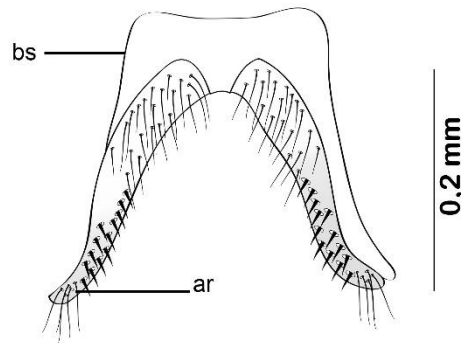


Figuras 11-15

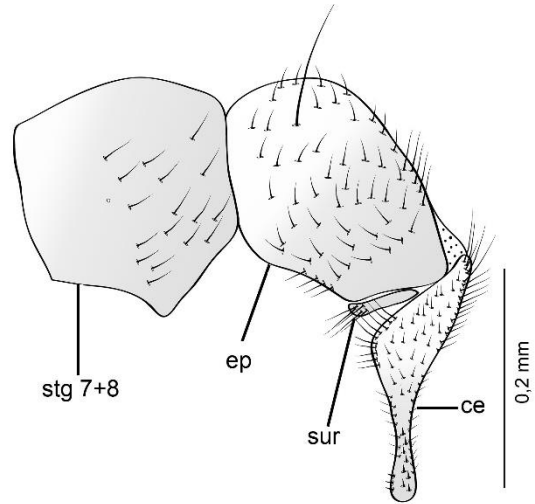


Figuras 16-20

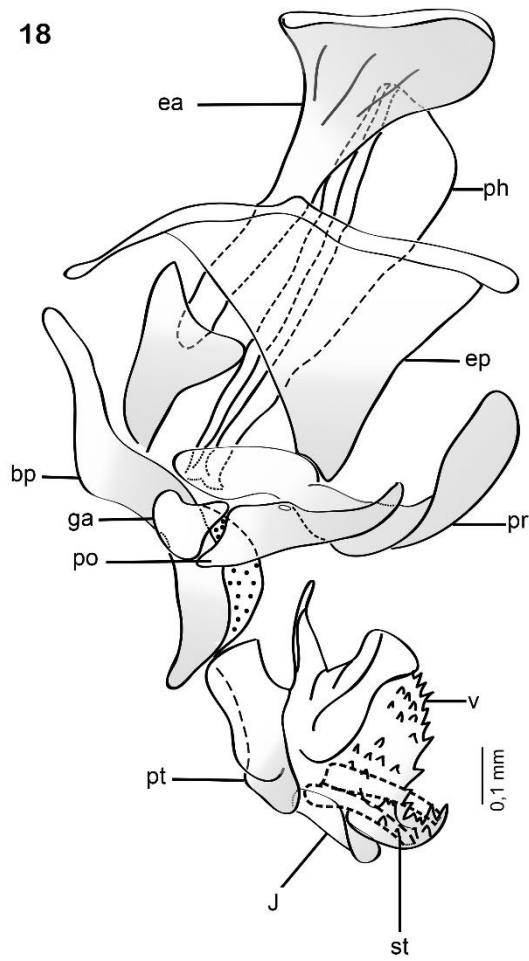
16



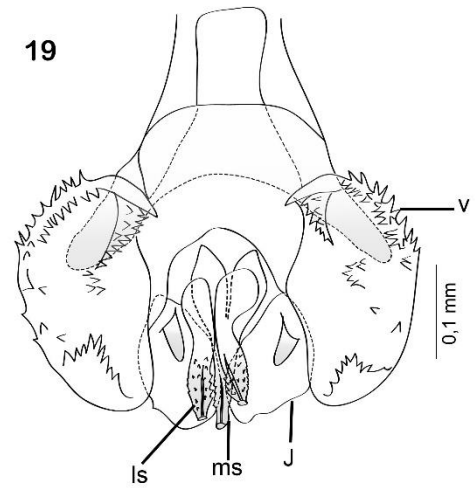
17



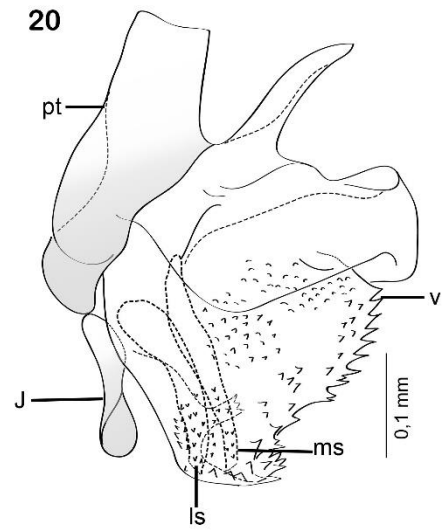
18



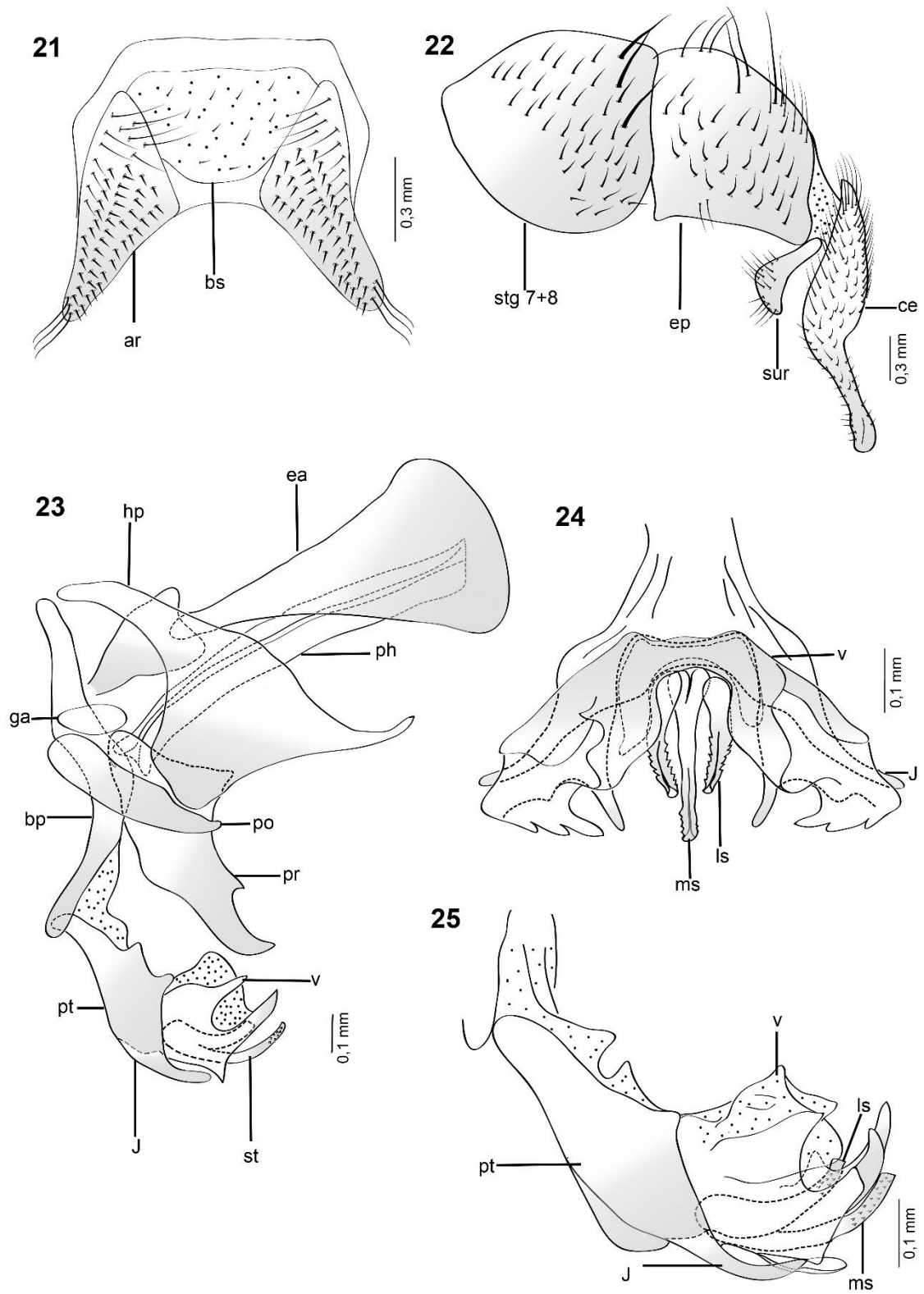
19



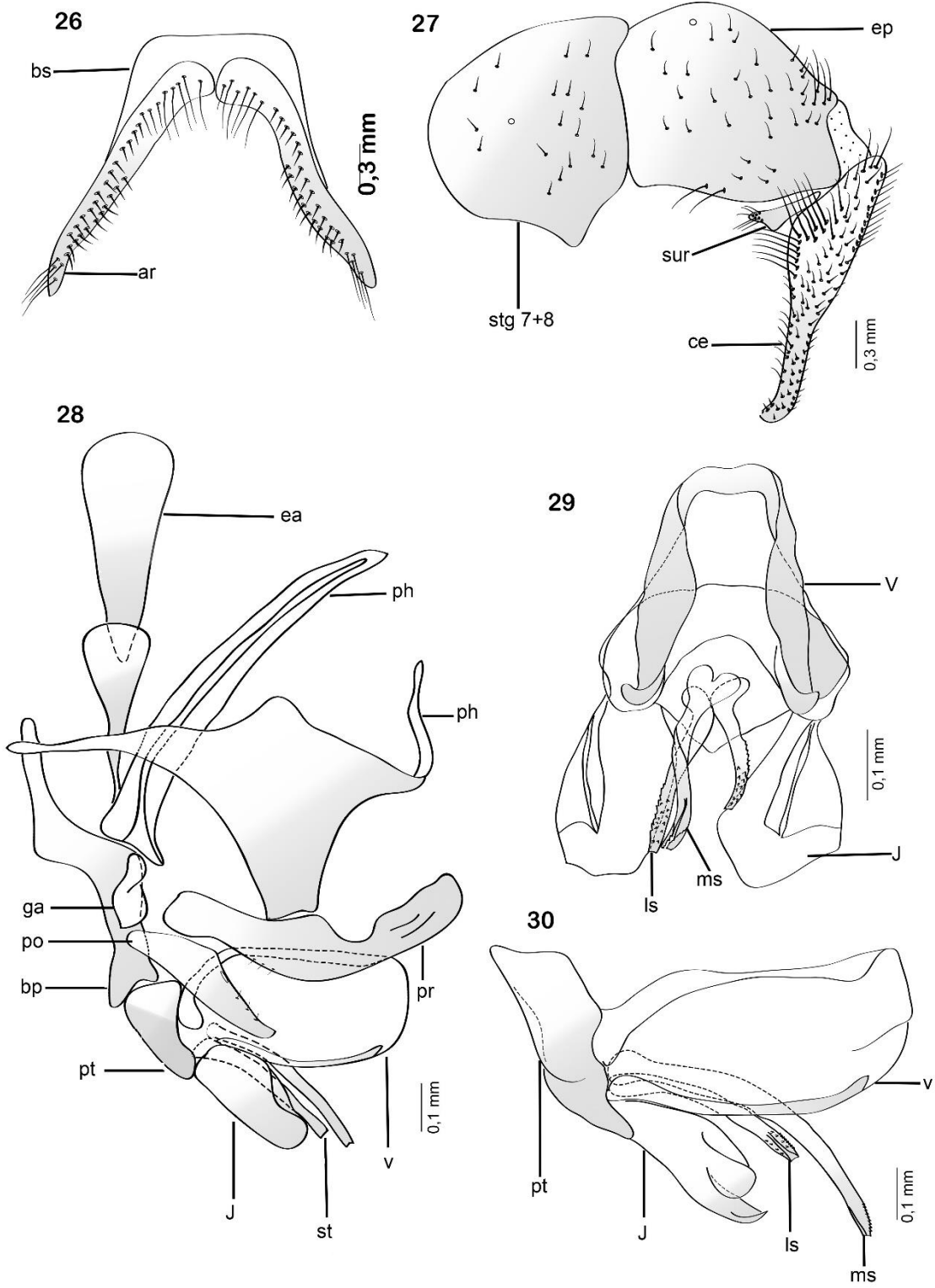
20



Figuras 21-25



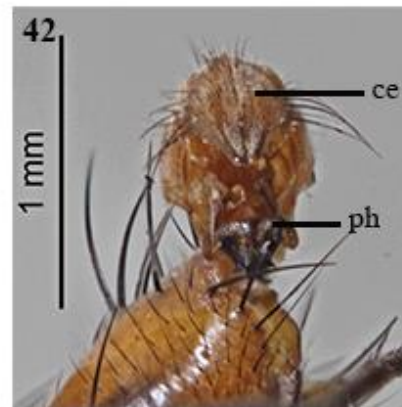
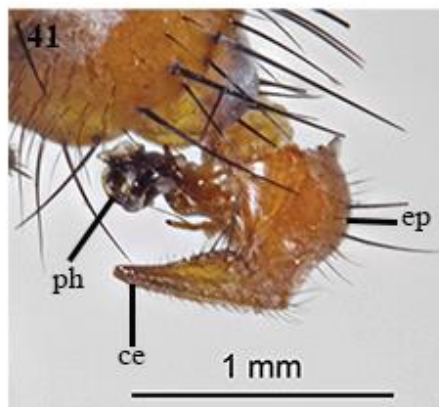
Figuras 26-30



Figuras 31-39



Figuras 40-42



Figuras 43-48



2.2 ARTIGO 2

symbols: #m = male; #f= female

CHALLENGE TO THE DEFINITION OF THE SUBFAMILY SARCOPHAGINAE (DIPTERA: SARCOPHAGIDAE): THE PECULIAR COLOR OF GEN. NOV., SP. NOV., FROM THE CAATINGA XERIC SHRUBLAND OF NORTHEASTERN BRAZIL

TACIANO MOURA BARBOSA¹, SIMÃO DIAS VASCONCELOS¹, CÁTIA ANTUNES DE
MELLO-PATIU²

¹ Insects of Forensic Importance Research Group, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 50.670-420, Recife, PE, Brazil.

² Laboratório de Biodiversidade e Sistemática de Díptera, Departamento de Entomologia, Museu Nacional/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 20.940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Corresponding author: TMB – tacionomoura7@gmail.com

RUNNING TITLE: *New genus and species of Sarcophaginae from the Brazilian Caatinga*

ABSTRACT

A new genus and species (Diptera: Sarcophagidae, Sarcophaginae), with only two thoracic black stripes, is described in detail, including male and female. The type material was collected in the state of Pernambuco, Brazil, in localities inserted in the Caatinga ecoregion, a xeric shrubland predominately located in Northeastern Brazil. Its systematic position is considered, as well as the possible close relationship to genera *Rafaelia* Townsend, 1917, *Microplagia* Townsend, 1915 and *Malacophagula* Bequaert, 1925.

Key words: Flesh fly, taxonomy, biodiversity, Neotropics.

INTRODUCTION

The Family Sarcophagidae is a highly diverse group that comprises over 3,100 known species, distributed into three subfamilies, Miltogramminae, Paramacronychiinae e Sarcophaginae (Pape *et al.* 2011). In the Neotropical region, Sarcophaginae is the most diverse subfamily, with over 800 species, most of which have robust body and uniform colour, with three black stripe son the thorax (Pape, 1996).

The genera *Peckia* Robineau-Desvoidy and *Oxysarcodexia* Townsend are the most studied of the Neotropical Sarcophaginae, which may be due to their forensic potential, because several species act in the decomposition of organic material such as faeces and carcasses (Carvalho & Mello-Patiu, 2008; Pape & Dahlem, 2010; Mello-Patiu *et al.* 2014). This reflects the high frequency of flesh flies in forensic surveys in the Neotropical region (Mello-Patiu *et al.* 2014; Vasconcelos *et al.* 2014; Vairo *et al.* 2017).

Although faunistic surveys have been performed in the last years (Sousa *et al.* 2015; Dufek *et al.* 2016; Barbosa *et al.* 2017), it is believed that, the actual diversity of Sarcophagidae is quite underestimated for the Neotropical region, especially in the Northern and Northeastern regions in Brazil. New records and the description of new spceis have been increasingly frequent (Carvalho-Filho *et al.* 2014; Barbosa *et al.* 2015, Carvalho-Filho *et al.* 2016), but the taxonomical status of some species is still controversial.

We describe and illustrate here a new genus and new species of Sarcophaginae based on male and female specimens. We discuss its affinity with other genera of this subfamily, based on the morphology of the *phallus*, which is similar to that from species of the genera *Rafaelia* Townsend, *Microplagia* Townsend and *Malacophagula* Bequaert.

MATERIAL AND METHODS

The studied material comprised male and female specimens collected in 2014 and 2015 in two fragments of seasonally dry tropical forest endemic to Brazil known as Caatinga (see “Examined material” for details), in Pernambuco State, Northeastern Brazil. Adults were collected in suspended traps containing decomposing substrates (bovine spleen and rat carcasses) as baits, as described elsewhere (Oliveira *et al.* 2016).

Dry-pinned specimens were examined under a Zeiss Discovery V8 stereomicroscope. The male and female terminalias were dissected, cleared in a hot 10% KOH solution, and

subsequently neutralized in an acetic acid-ethanol solution. The terminalias were placed in glycerin on temporary slides, observed and illustrated under a Zeiss M80 optical microscope equipped with a camera lucida. They were then placed in microvials filled with glycerin and pinned with their respective specimens for long-term preservation. The new genus and species were described and illustrated based on male and female specimens.

Digital images were taken using a Leica DFC450C digital camera mounted on a Leica M205 stereomicroscope, and focus stacks were processed using the Leica Application Suite version 4.8.0 software. To obtain the scanning electron microscopy (SEM) analysis, the male terminalia was briefly softened in a hot 10% KOH solution to allow dissection of the phallus. The dissected phallus was dehydrated for 10 minutes in 70% ethanol, followed by 10 minutes in 100% ethanol. Afterwards, the phallus was dried, glued to an aluminum stub with double-sided adhesive tape, sputter-coated with gold using a Denton Vacuum Desk IV system and examined under a JEOL JSM-6390LV Scanning Electron Microscope at the Scanning Electron Microscopy Center (CMEV) of Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ). Image processing programs used in this study included Adobe Photoshop CS6® and Adobe Illustrator CS6® (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA). The terminology follows Cumming & Wood (2009) for external features, with the abbreviations T (= tergite) and ST (= sternite) used in the text. Phallic terminology follows Giroux *et al.* (2010) and Whitmore *et al.* (2013).

The material collected was deposited in the entomological collections of the Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ) and the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

RESULTS - TAXONOMY

gen. nov.

Type species. sp. nov., by present designation.

Diagnosis. This genus differs from the other Neotropical genera of Sarcophaginae, because it presents a peculiar coloration, whose gray thorax has only two blackish vittae. This distinction is further strengthened by a set of characters present in the phallus as: vesica reduced to a small plaque; juxta long, with two sclerotized and separated projections, with the base membranous and united; median and lateral stylus exposed and free at the apex of the phallus; median stylus very long, exceeding the length of the juxta and presenting the distal part in the form of an arrowhead; lateral stylus with base folded laterally and facing the dorsal part of the phallus, covering the base of the juxta in dorsal view.

Etymology.

The name of the genus was chosen as a tribute to the municipality of Petrolina, where the type was collected.

sp. nov.

(Figs 1–16)

Type material. Holotype #m: BRAZIL, Pernambuco, Petrolina, I. 2015, Barbosa, TM e Carmo, RFR (UFPE). **Paratypes:** (1#m): Pernambuco, Petrolina, I. 2015, Barbosa, TM e Carmo, RFR (UFPE); (4 #m, 3 #f): Pernambuco, Tacaratu, VII. 2014, Oliveira, DL (UFPE).

Etymology.

The species epithet refers to the distinguished feature of the adult, which is the presence of two black stripes on the grey thorax. This character so far differentiates the genus and the species from the other taxons that comprise the subfamily Sarcophaginae.

Diagnosis.

Male: *Head.* Parafacial and fronto-orbital plates with golden pruinosity; proclinate orbital setae absent; frons about 0.33x head width at level of ocellar triangle. *Thorax.* Gray with slightly yellowish pruinosity on the back and sides and with only two blackish vittae; acrostichals setae 0 + 1; dorsocentrals setae 4 + 3; intra-alars: 1 + 1; supra-alars: 1 + 3; postpronotals: 3; postalar: 2; notopleurals: 4 and katepisternals: 3. *Wing.* Hyaline, R1 with setulae in basal 2/3, third costal sector ventrally bare. *Legs.* Femur II apically with posteroventral ctenidium (6-7 spines). *Abdomen.* Dark brown with spots of slightly yellowish gray pruinosity, being more intense in T5; ST 5 with broad and membranous base, deeply cleft, short arms. *Terminalia.* Surstylus pyriform; cercus with numerous long setae on base and short and sparse setae in apical half, apex curved forward in lateral view; cercal prongs with inner margins deeply depressed in posterior view; phallus with basiphallus, phallic tube and juxta distinct; vesica reduced forming a small sclerotized plate; juxta in the form of two long sclerotized projections; median and lateral stylus exposed and free sides at the apex of the phallus. **Female:** frons about 0.43x head width at level of ocellar triangle; two proclinate orbital setae. Femur II without ctenidium in the posteroventral margin. ST 5 without arms; spiracles 6 in intersegmental membrane and spiracles 7 in tergal plate; ST 6-8 fused; T8 united with arch shape; hypoproct presenting only small setulae; cercus rounded with setulae along their length; spermatheca pyriform and striated.

Description. *Male* (n=6). Length: 9–11 mm.

Head. Parafacial and fronto-orbital plate with golden pruinosity; parafacial plate with few fine setulae and measuring about ($m = 0.38$; $n = 6$) of the distance between the vibrissae; frons about $0.33 \times$ head width at level of ocellar triangle; post-cranium with gray pruinosity, with rows of black setae on top and other pale setae; frontal vitta narrow and blackish along its length; six to seven frontal setae reaching the base of the pedicel, with the first upper setae equidistant and reclinate; proclinate orbital setae absent and reclinate present; outer vertical setae differentiated from the postocular, with approximately $1/3$ of the length of the inner vertical setae; ocellar triangle blackish brown; ocellar setae as developed as upper frontals; postocellar and paraverticlar setae differentiated from postocular setae; postocular area with yellowish pruinosity; gena with slightly golden pruinosity in the upper part and gray in the lower, with black setae in almost all extension; postgena with gray pruinosity, with numerous pale setae; facial ridge blackish brown with short setulae in the inferior half; antenna, blackish brown, length ($m = 0.79$, $n = 6$) of the distance from the base of the antenna to the level of the vibrissae; pedicel measuring about ($m = 0.43$; $n = 6$) of the first flagellomere; first flagellomere with gray-yellowish pruinosity; arista long plumose on basal $2/3$; palpus blackish brown with black setulae.

Thorax. Gray with slightly yellowish pruinosity on the back and sides, with only two blackish vittae (Fig. 11 and 13); *Chaetotaxy*. Acrostichals $0 + 1$ (prescutellar setae slightly differentiated); dorsocentrals $4 + 3$; intra-alars $1 + 1$; supra-alars $1 + 3$ (median setae most developed); postpronotals 3; notopleurals 4 (2 small, 2 large); postalar wall setulose; scutellum with two pairs of marginal lateral setae, some specimens with a differentiated setae near the posterior marginal; katapisternum with 3 setae almost of the same level; meral setae 7-8; proepisternum bare; prosternum setulose. *Wing*. Hyaline, with brown veins; tegula dark brown; basicosta yellowish; vein R_1 with setulae in basal $2/3$; vein R_{4+5} with setulae dorsally on $2/3$ of distance to crossvein r-m; cell r_{4+5} open at wing margin; third costal sector ventrally bare; costal spine differentiated; whitish caliptras with light hairs. *Legs*. Dark brown; femur I with a row of setae on the posterior surface and a series of setae on the posterodorsal and posterolateral margins; tibia I with two median setae at the anterodorsal margin and a median posterior setae; femur II with (3-4) median setae on the anterior surface, three median setae on the anteroventral and posterolateral margins, two apical posterior setae and with ctenidium (6-7 spines) in the posterolateral margin; tibia II with two median setae on the anterodorsal margin, 1 anteroventral setae in the apical $1/3$, 1 basal setae and 1 apical setae on the posterolateral margin; femur III

with a row of anterodorsal setae, 3-4 median setae on the anterior surface, with a series of anteroventral setae, being 1 basal, 3 median and 1 apical, with two apical setae on the dorsal surface and two posteroventral; tibia III with 1 basal setae, 1 median setae and 1 apical setae in the same position on the anterodorsal and posterodorsal margins, and 1 median anterior setae; coxae III and trochanter III with normal setae.

Abdomen. dark brown with usual spots of slightly yellowish gray pruinosity, being more intense in T5 (Fig. 11); T1+2 with 1 pair of lateral marginal setae; T3 with 1 pair of lateral marginal setae and 1 pair of median marginal setae; T4 with two pair of lateral marginal setae and 1 pair of median marginal setae; T5 with a row of 12-14 marginal setae; ST2-4 with small, black and decumbent setae with the same development; ST5 with broad and membranous base, deeply cleft and presenting with long arms and covered by developed setae at the outer margin (Fig. 3).

Terminalia. yellowish; syntergosternite 7+8 with basal half glabrous and bare, apical half with yellowish pruinosity on the dorsal surface, with sparse setae and a row of marginal setae (Fig 2 and 12); epandrium short with long setae almost everywhere and a pair of setae differentiated on the dorsal surface (Fig 2 and 12); cercus with long setae on the base and short on the apical half, with a concavity median and apex curved forward in lateral view (Fig. 1 and 16); inner margins of the cercal prong deeply depressed in posterior view, forming a longitudinal keel; surstylus pyriform with longer apical marginal setae (Fig 2 and 12); postgonite shorter than the pregonite (Fig. 7), with a curved apex and a long median setae on the anterior surface, followed by a series of setulae; pregonite long and curved, with the outer margin in the form of folded flap and with apex convergent to the median axis; phallus with basiphallus, phallic tube and juxta distinct (Fig. 7 and 9); phallic tube with a pair of posterior keels at the apex; vesica reduced forming a small sclerotized plate (Fig. 6 and 8); juxta in the form of two long, sclerotized and separated projections, with membranous and united base (ventral and dorsal views), presenting two median ventral projections in lateral view (Fig. 9 and 10); median and lateral stylus exposed and free on the apex of the phallus (Fig. 9 and 15); median stylus very long, exceeding the length of the juxta; lateral stylus with approximately half the length of the median stylus, with slender apex, without spine and with grooves, with folded base laterally facing the dorsal part of the phallus covering the base of the juxta in dorsal view (Fig. 10).

Female (n = 3). Length: 9–10 mm.

Differs from the male by: frons about 0.43x head width at level of ocellar triangle; two proclinate orbital setae; first pair of reclinate setae crossed; ocellar setae developed as long as reclinates; outer vertical differentiated measuring more than half of inner vertical; frontal vitta brown; femur II without ctenidium in the posteroventral margin; T6+7 fused, with marginal setae differentiated (Fig 4 and 14); spiracles 6 in the intersegmental membrane and spiracles 7 in the tergal plate; T8 united with arch shape, with lateral plates extend and without setae; ST5 without arms; ST 6-8 fused, forming a single plate with the spaces delimited by setae (Figs. 4 and 14); ST8 showing only small setulae; hypoproct presenting only small setulae (Fig 4 and 14); cercus rounded with setae along their length; spermatheca pyriform and striated (Fig. 5).

DISCUSSION

The new genus/species present a unique external characteristic that is, to our knowledge, uncommon for the genera included in the subfamily Sarcophaginae, which is the presence of only two black stripes on the grey thorax (Fig. 13). This pattern diverges from all 52 genera previously described, which have three distinct black stripes (Pape, 1996). However, the male genitalia, which is of high taxonomical value for flesh flies, is typical of the subfamily Sarcophaginae. The suite of morphological characters of the phallus locates the species next to the genera that comprised the former tribe *Rafaelini* Rohdendorf, 1967.

According to Lopes, the categorization of *Rafaelini* was supported by a series of characters related to male specimens, such as: free and exposed lateral and median stylii, vesica and juxta poorly developed or absent. The females were reunited by presenting the last membranous abdominal sternites (Lopes, unpublished catalog). In genus/species nov. the male specimens also present the lateral and median stylus free and exposed, and the vesica poorly developed with the shape of a small sclerotized plate (Figure 6, 8 and 9). However, the juxta is well developed, long and sclerotized (Figure 6 and 10) and the median stylus presenting a peculiar shape differing from the other members of the *Rafaelini* tribe.

A meticulous examination of the specimens from the Caatinga, in comparison with previous descriptions of genera of the former tribe *Rafaelini*, indicates that genera nov. may be close to the valid genera *Rafaelia*, *Malacophagula* and *Microplagia*. According to Lopes (1982), the genera *Malacophagula* and *Microplagia* are close and share some structures present in the male head and genitalia, for example, the presence of a short antenna, parafacial with a

row of strong setulae and vesica and juxta poorly developed. Similarly to the genera *Malacophagula* e *Microplagia*, the male specimens of genera nov. present the lateral and median stylus free and the vesica undeveloped. However, in addition to the color pattern differing from these two genera, gen. nov. is distinguished by presenting parafacial without the row strong setulae, a long and plumose arista, and a well-developed juxta. In turn, females differ mainly by present the sternites 6, 7 and 8 united, with the plates being delimited by setae (Figure 4), these being separated in *Microplagia* (Lopes, 1979).

When compared to specimens of *Rafaelia*, the adults of gen. nov. differ because of the presence of the third costal sector ventrally bare, mid femur with ctenidium in the posteroventral margin, juxta developed and long, lateral stylus presenting only grooves and without spines. The female of gen. nov. differs by presence of spiracle 6 on the intersegmental membrane and spiracle 7 on the tergal plate and ST 6, 7 and 8 forming a single plate, with the spaces delimited by setae (Figure 4), and in *Rafaelia* both spiracles are found in the tergal plate and only ST 6 and 7 are united (Lopes, 1953). In view of all the cited divergences, especially the question of coloration seen for male and female specimens, the present study proposes the inclusion of this new genus in Sarcophaginae.

An unambiguous taxonomical classification of flesh flies is far from being achieved. The combination of high diversity, relatively limited number of taxonomy experts, insufficient sampling in biodiversity hotspots and inherent morphological features (the remarkable similarities in larval and adult morphology of specimens within a subfamily above all) leads to a fairly unresolved state of knowledge. Initiatives for (re)organizing this situation included the exclusion of the tribes and the grouping (= synonyms) of a few genera (Pape, 1996). Molecular phylogeny may be generally congruent with most morphologically based classification systems (Giroux et al., 2010) and it is expected that the increasing knowledge on evolutionary relationships derived from these techniques will support more definite classifications. Until then, it is not unlikely that monospecific genera can be more frequently described.

Another issue limiting studies with the Sarcophagidae family is the fact that their morphology is poorly documented, especially for females of various genera and species that are commonly have been left undescribed or are unknown. In the present study, in addition to the male specimens, we provide a detailed description of the morphological phenotype of the female, which has the same peculiar pattern of male coloration, but with some differences such as the presence of two proclinate orbital setae, the first pair of crossed reclinate orbital setae, besides the absence of the subapical posteroventral ctenidium in mid femur

Ecological features, including endemism, must also be taken into consideration. Despite extensive field sampling performed in many environments in the Northeastern Brazil, which included agroecosystems, urban zones, rainforests and coastal environments (Vasconcelos *et al.*, 2015; Barbosa *et al.*, 2017), all specimens in this study were collected in a dry forest exclusive from Brazil (Caatinga), which suggests that the genus/species nov. is associated with xeric environments. Contrarily, there is no record of the closely-related genera *Rafaelia*, *Malacophagula* and *Microplagia* in dry forests (Pape 1996). The description presented in this study highlights the need for field surveys in poorly known Neotropical biomes, such as the Caatinga. The fact that over 63% of its extension has been lost or modified means that an unmapped biodiversity may be lost before being properly described (Silva & Barbosa, 2017).

Finally, the intimate association of the species with carrion subsidizes further studies on the forensic relevance of sp. nov., as indicators of post-mortem corpse transfer or as additional tools in the estimation of the minimum post-mortem interval, especially in areas exposed to high rates of homicides which is the case of South America (Mexico, 2017).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES) for providing a scholarship to TMB and *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) for financial support, for providing a research fellowship to CAMP and SDV, Diego Oliveira for providing part of the samples, Josenilson Santos for the support with photography techniques and *Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade* (ICMBio) for the licence for insect collection.

REFERENCES

Barbosa, T.M., Carmo, R.F.R., Silva, L.P., Sales, R.G. & Vasconcelos, S.D. (2017) Diversity of sarcosaprophagous Calyptratae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environmental Entomology*, 46: 460-469.

- Barbosa, T.M., Mello-Patiu, C.A. & Vasconcelos, S.D. (2015) Flesh fly (Diptera: Sarcophagidae) survey on coastal environments in northeastern Brazil: New records and notes on the expanded geographical distribution. *Entomotropica*, 30, 112-117.
- Byrd, J.H. & Castner, J.L. (2010). *Forensic entomology: The utility of arthropods in legal investigations*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Carvalho, C.J.B. & Melo-Patiu, C.A. (2008). Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. *Revista Brasileira de Entomologia*, 52: 390-406.
- Carvalho-Filho, F.D.S., Esposito, M.C. & Azevedo Silva A. (2014) A further new species of *Sarcophahrtiopsis* Hall (Diptera: Sarcophagidae) associated with faeces of the disk-winged bat (*Thyroptera Spix*: Chiroptera) in Brazil and the redescription of the female terminalia of *S. cuneata* (Townsend). *Zootaxa* 3889: 118–126.
- Carvalho-Filho, F.S., Soares, J.M.M., Souza, C.S. & Gorayeb, I.S. (2016). *Peckia veropeso* sp. nov., a flesh fly (Diptera: Sarcophagidae) from the Brazilian Amazon associated with riparian habitats. *Zootaxa*, 4067: 233-238.
- Cumming, J.M. & Wood, D.M. (2009) Adult morphology and terminology. In: Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley, N.E. & Zumbado, M.A. (Eds.), *Manual of Central American Diptera*. Vol. 1. NRC Research Press, Ottawa, pp. 9–50.
- Dufek, M.I., Oscherov, E.B., Damborsky, M.P. & Mulieri, P.R. (2016). Assessment of the abundance and diversity of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in sites with different degrees of human impact in the Iberá Wetlands (Argentina). *Journal of Medical Entomology*, 1-9.
- Giroux, M., Pape, T. & Wheeler, T.A. (2010) Towards a phylogeny of the flesh flies (Diptera: Sarcophagidae): morphology and phylogenetic implications of the acrophallus in the subfamily Sarcophaginae. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 158, 740–778.
- Lopes, H.S. (1953) Sobre “*Rafaelia*” Townsend e “*Sarcodexia*” Townsend (Diptera, Sarcophagidae). *Revista Brasileira de Biologia*, 13 (3): 225-233.
- Lopes, H.S. (1979) Redescription of the holotypes of some neotropical Sarcophagidae (Diptera) described by C.H.T. Townsend. *Canadian Entomologist*, 111: 149-160.
- Lopes, H.S. (1982) The importance of the mandible and clypeal arch of the first instar larvae in the classification of the Sarcophagidae (Diptera). *Revista Brasileira de Entomologia*, 26: 293-326.
- Mello-Patiu, C.A., Paseto, M.L., Faria, L.S., Mendes, J. & Linhares, A.X. (2014) Sarcophagid flies (Insecta, Diptera) from pig carcasses in Minas Gerais, Brazil, with nine new records from the Cerrado, a threatened neotropical biome. *Revista Brasileira de Entomologia*, 58: 142–146.

- Mexico, 2017. Metodología del ranking (2016) de las 50 ciudades más violentas del mundo. Consejo Ciudadano para la Seguridad Pública y Justicia Penal, Available at <http://www.seguridadjusticiaypaz.org.mx/biblioteca/prensa/send/6-prensa/239-las-50-ciudades-mas-violentas-del-mundo-2016-metodologia>, accessed on 12 June 2017.
- Oliveira, D.L., Soares, T.F. & Vasconcelos, S.D. (2016). Effect of bait decomposition on the attractiveness to species of Diptera of veterinary and forensic importance in a rainforest fragment in Brazil. *Parasitology Research* 115: 229-455.
- Pape, T. (1996) Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: Diptera). *Memoirs on Entomology, International*, 8, 558p.
- Pape, T. & Dahlem, G.A. (2010) Sarcophagidae. In: Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley, N.E. & Zumbado, M. (Eds.), *Manual of Central American Diptera*. Vol. 2. NRC Research Press, Ottawa, pp. 1313–1335.
- Pape, T., Blagoderov, V. & Mostovski, M.B. (2011) Order Diptera Linnaeus, 1758. In: Zhang ZQ. (Ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148: 237 pp.
- Silva, J.M.C. & Barbosa, L.C.F. (2017) Impact of Human Activities on the Caatinga. In: Silva, J.M.C., Leal, I.R. & Tabarelli, M. (Ed.) *Caatinga: The largest tropical dry forest Region in South America*. 1ed. Cahm: Springer International Publishing, Vol. 1. 482p.
- Sousa, J.R.P, Esposito, M.C. & Carvalho-Filho, F.S. (2015) Distribution and abundance of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae and Sarcophagidae) in Maranhão, Northeastern Brazil. *Journal of Insect Science*, 15: 70.
- Vasconcelos, S.D., Soares, T.F. & Costa, D.L. (2014) Multiple colonization of a cadaver by insects in an indoor environment: First record of *Fannia trimaculata* (Diptera: Fanniidae) and *Peckia (Peckia) chrysostoma* (Sarcophagidae) as colonizers of a human corpse. *International Journal of Legal Medicine*, 11: 1–5.
- Whitmore, D., Pape, T. & Cerretti, P. (2013) Phylogeny of Heteronychia: the largest lineage of *Sarcophaga* (Diptera: Sarcophagidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 169, 604–639.

LIST OF FIGURES

Figure 1-5. Species nov., **1.** Cerci, dorsal view. **2.** Syntergosternite 7+8, epandrium, cercu and surstylus, lateral view. **3.** Sternite 5. **4.** Terminalia, ventral view. **5.** Spermatheca. Abbreviations: ar, arm; bs, base; ce, cercus; ep, epandrium; hp, hypandrium; sur – surstylus; st5 – sternite 5; st 6, 7 and 8, sternites 6, 7 and 8; stg 7+8, syntergosternite 7+8; tg 5, tergite 5; tg 6+7, tergite 6+7; tg 8, tergite 8.

Figure 6-10. Species nov., male holotype. **6.** Distiphallus, ventral view; **7.** Phallus and associated structures, lateral view. **8.** Distiphallus, lateral view. **9.** SEM image of distiphallus, lateral view. **10.** Distiphallus, dorsal view. Abbreviations: bp, basiphallus; ea, ejaculatory apodeme; ep, epandrium; ga, postgonal apodeme; j, juxta; ls, lateral stylus; ms, median stylus; ph, phallapodeme; po, postgonite; pr, pregonite; pt, phallic tube; v, vesica.

Figure 11-16. Species nov., **11.** Habitus, lateral view. **12.** Syntergosternite 7+8, epandrium, cercu and surstylus, lateral view. **13.** Habitus, dorsal view. **14.** Terminalia, ventral view. **15.** SEM image of distiphallus, ventral view. **16.** Cerci, dorsal view. Abbreviations: ce, cercus; ep, epandrium; j, juxta; ls, lateral stylus; ms, median stylus; po, postgonite; pr, pregonite; phl, phallus; sur – surstylus; st5 – sternite 5; st 6, 7 and 8, sternites 6, 7 and 8; tg 5, tergite 5; tg 6+7, tergite 6+7; tg 8, tergite 8; v, vesica.

Figure 1-5.

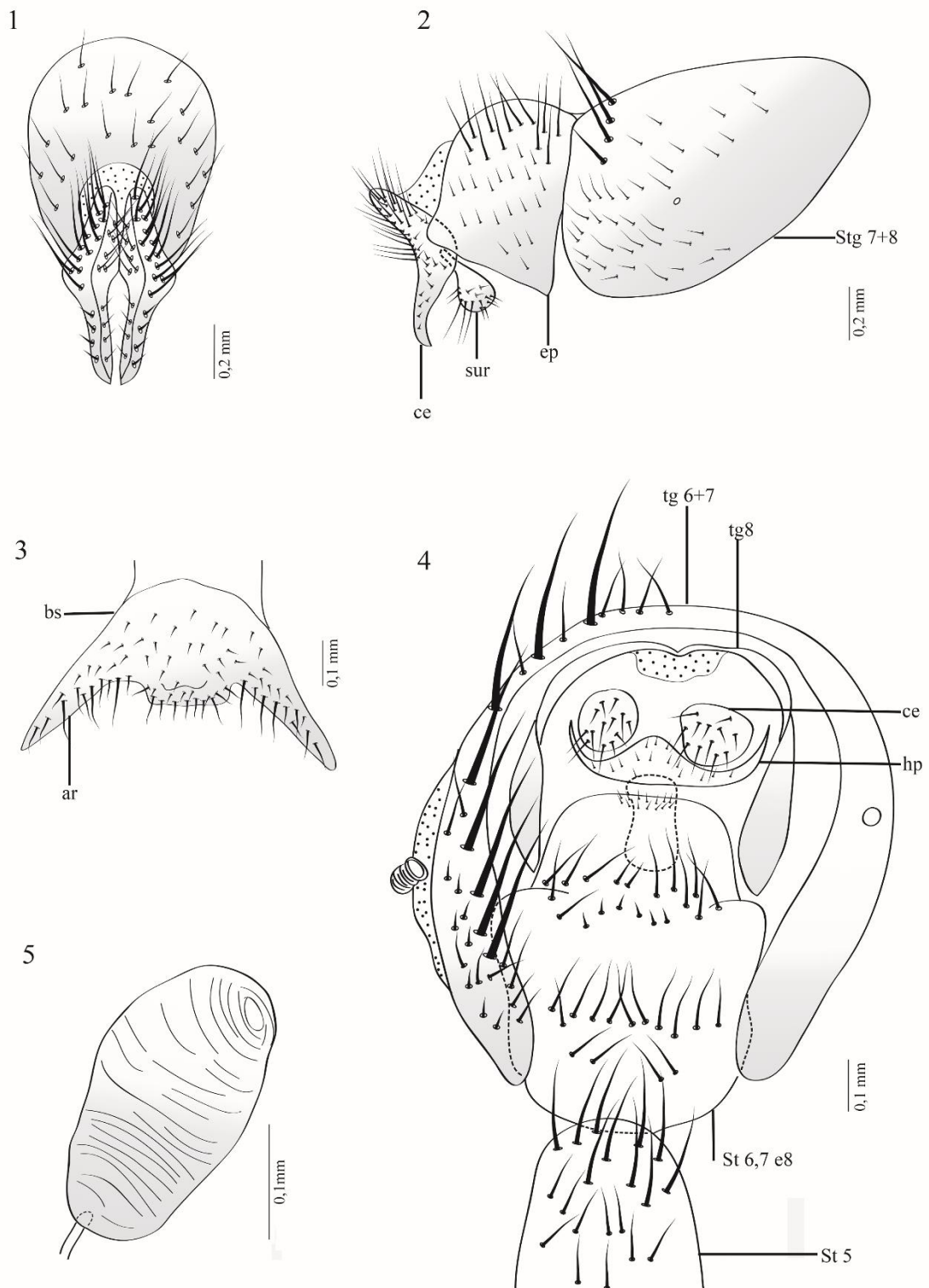


Figure 6-10.

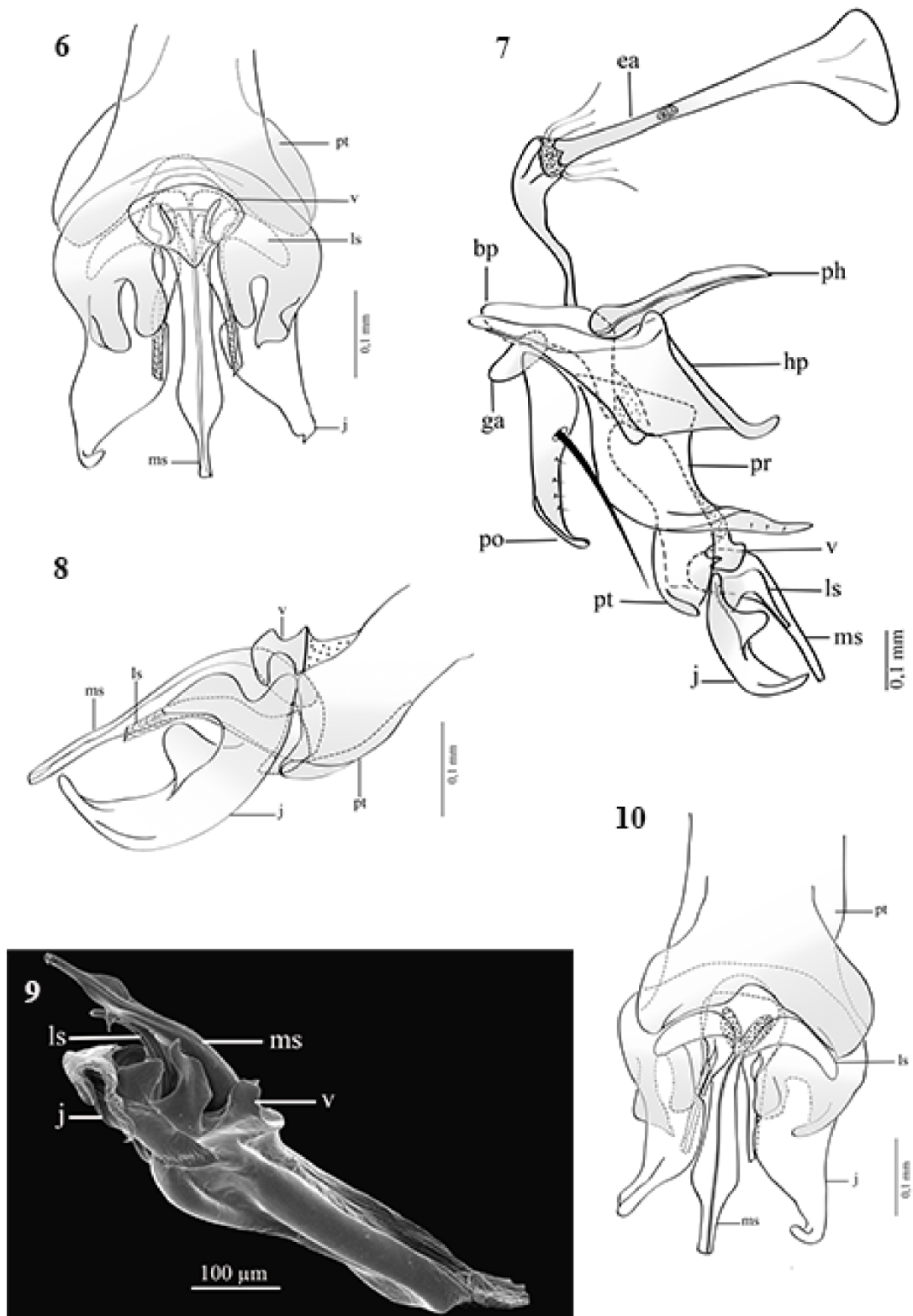
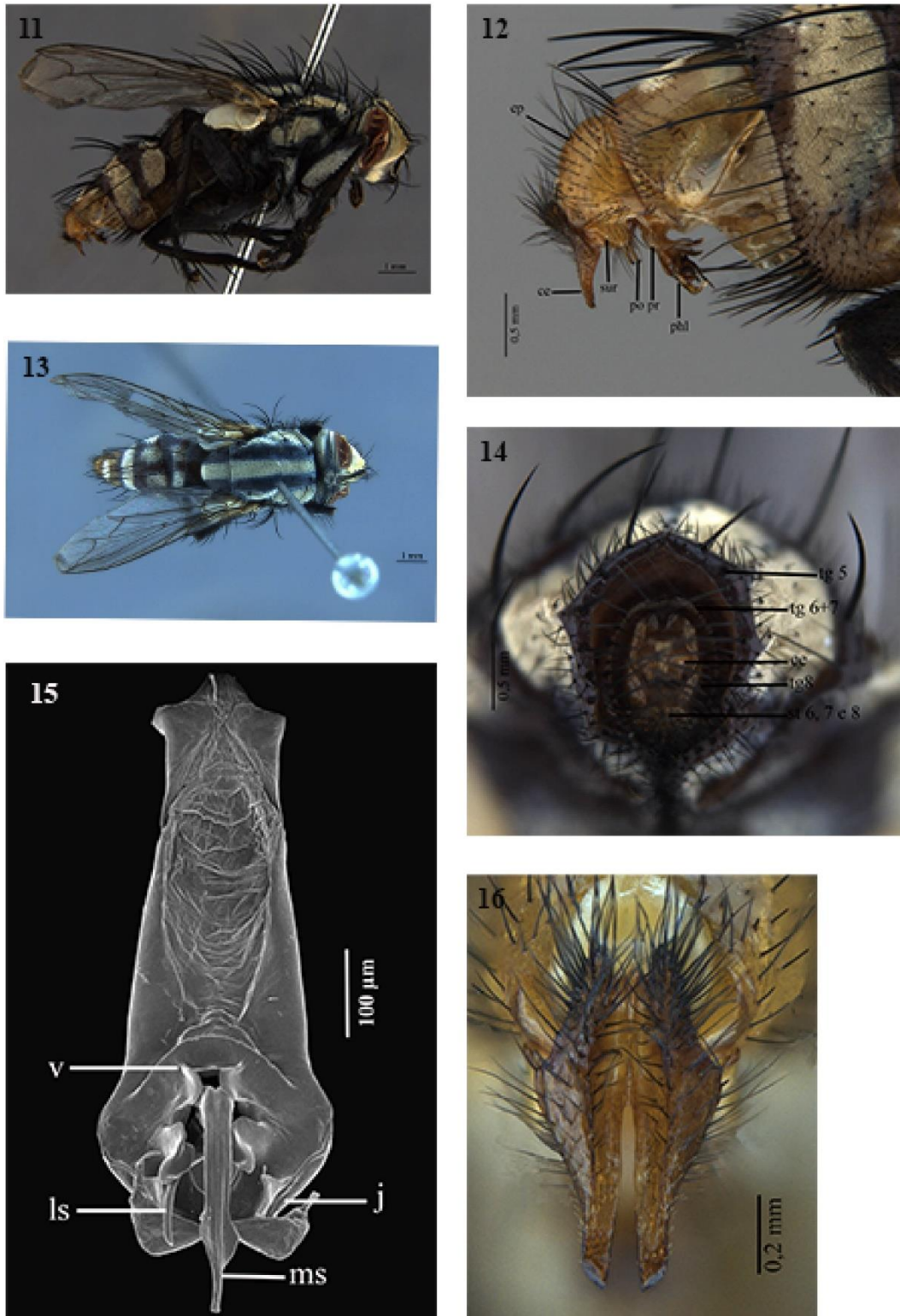


Figure 11-16.



2.3 ARTIGO 3

FIRST RECORD OF SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) SPECIES IN SEASONALLY DRY TROPICAL FORESTS, WITH NOTES ON THEIR ATTRACTIVENESS TO DECOMPOSING SUBSTRATES

Taciano M. Barbosa^{1,2,3}, Catia A. Mello-Patiu² and Simão D. Vasconcelos¹

¹ Insects of Forensic Importance Research Group, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 50.670-420, Recife, PE, Brazil.

² Laboratório de Biodiversidade e Sistemática de Díptera, Departamento de Entomologia, Museu Nacional/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista, 20.940-040 Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

³ Correspondent author: TMB – tacionomoura7@gmail.com

ABSTRACT: Sarcophagidae is a highly diverse family of Diptera whose geographical distribution in the Neotropics is still poorly understood. We performed a two-year survey on flesh flies in fragments of Seasonally Dry Tropical Forests (SDTF's) in Northeastern Brazil using three types of substrate as baits: bovine spleen, fish and human faeces. Thirty-one species are registered, of which 13 are reported for the first time in SDTF's. Spleen was associated with the highest diversity and abundance of flesh flies. A strong female bias was observed in all samples. We report several species of medical, veterinary and forensic relevance and discuss aspects of their synanthropy.

KEY WORDS: insect ecology, carrion, forensic entomology, Caatinga, Brazil

INTRODUCTION

Sarcophagidae is one of the largest families within the Diptera, with approximately 173 genera and 3,100 species registered in several ecosystems worldwide (Pape et al., 2011). Records of family Sarcophagidae in the Neotropical Region are mostly restricted to Atlantic Forest, coastal areas, the savannah-like *Cerrado* biome in Central South America, the Amazon Forest, agroecosystems, urban areas and mangroves (Vasconcelos et al., 2015; Souza et al., 2016; Barbosa et al., 2017).

Comparatively, knowledge on the geographical distribution of the species of Sarcophagidae in Seasonally Dry Tropical Forests (SDTF's) is scarce, despite the fact that SDTF's cover ca. 10% of the terrestrial environments in the world (Santos et al., 2011). The *Caatinga* is a type of SDTF exclusive to Brazil, characterized by limited and irregular rainfall, high temperature throughout the year, low air and soil humidity and a local fauna and flora adapted to xeric conditions (Santos et al., 2011). Only recently have short-term inventories addressed the biodiversity of Sarcophagidae in the *Caatinga* (Alves et al., 2014; Vasconcelos et al., 2016; Oliveira and Vasconcelos, 2018) and preliminary data suggest that the actual diversity of flesh flies has been vastly underestimated.

Sarcophagidae are a key taxon in applied entomology due to their medical, veterinary and, particularly, forensic relevance. Several species, such as *Oxysarcodexia riograndensis* Lopes, 1946 and *Ravinia belforti* (Prado & Fonseca, 1932), colonize human cadavers and have been increasingly used as additional evidence in medico-legal investigations (Oliveira and Vasconcelos, 2010).

The scarcity of field data is a limiting factor for biogeographical studies in environments associated with stressful abiotic conditions and limited resource availability, such as the Brazilian *Caatinga*. To improve the understanding of Sarcophagidae distribution in xeric environments in the Neotropical Region, the present study aimed to investigate the diversity of flesh flies in STDF fragments in Northeastern Brazil, related to differences in the attractiveness of different animal substrates as baits.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments were performed in six fragments of SDTF in the states of Paraíba and Pernambuco, Northeastern Brazil, separated from one another by at least 100 km, in the municipalities of Afogados da Ingazeira (lat 07°45'03"S, long 37°38'20"W), Buíque (lat 08°29'56"S, long 37°22'14"W), Betânia (lat 08°16'29"S, long 38°02'03"W), Petrolina (lat 09°23'39"S, long 40°30'35"W) and Boqueirão (lat 08°25'35"S, long 36°08'06"W). Insect collection was carried out in 2015 and 2016 in Buíque, Betânia and Petrolina, while the SDTF fragments in Afogados da Ingazeira and Boqueirão were sampled in 2016 and 2017. Despite intrinsic variations, vegetation in all fragments consists mostly of shrub native species, with predominance of Bromeliaceae, Anacardiaceae, Rhamnaceae and Cactaceae, and sparsely distributed trees adapted to xeric environments.

Adult flies were collected using traps described by Oliveira et al. (2016), a low-cost device that relies on olfactory cues and positive phototropism. The traps were suspended 1.0 m above the soil and contained decomposing matter as bait (150 g, after 48 h exposure to 25°C). Three types of baits were used: bovine spleen, fish (sardine) and human faeces. Twenty four traps of each treatment separated from one another by 25 m were exposed in the field for 48 h in each environment, after which all traps were taken to the laboratory and adults were identified using the taxonomic keys of Carvalho and Mello-Patiu (2008) and Vairo et al. (2011), besides comparison with material deposited in the National Museum of Rio de Janeiro/UFRJ. The definition of the new records and degree of synanthropy was based on specific literature (e.g., Pape, 1996).

We compared the mean number of adults associated with each type of bait by performing a Chi-square test. We also compared the sex ratio of insects in traps containing each type of bait. The statistical package Biostat 5.0 was used, with 5% significance level.

RESULTS AND DISCUSSION

When all samplings were combined, approximately 30,000 adults were collected, of which 3,758 were males, a fact that allowed for species identification. Thirty-one species belonging to 14 genera were identified. The genera *Oxysarcodexia* Townsend, 1917 and *Helicobia* Coquillett, 1895 were represented by seven and four species respectively (Table 1). Thirteen species are reported for the first time in the Seasonally Dry Tropical Forests and five species in the Northeastern region of Brazil (Table 1).

Of the three substrates tested for their attractiveness to sarcophagids, bovine spleen was associated with the highest number of species (26), while faeces were attractive to less than half (14) of the total species (Table 2). Species of all genera were recorded in traps baited with spleen, with the exception of *Malacophagomyia* Lopes, 1966. Adults of 11 species were collected on the three types of bait. No species was found in association exclusively with faeces, in contrast with four species that were registered only in traps containing spleen. The suitability of spleen for the attractiveness to adults in the present study was attributed to the fact that sarcophagids prefer animal tissues as a protein source and substrate for depositing larvae (D'Almeida and Mello, 1996).

In total, 26,050 adults were females and only 3,758 were males. The dominance of females was over 70% in all traps, with the lowest ratio for faeces and spleen as the substrate with the strongest female bias (Table 3). The female bias on substrates of animal origin is a common pattern for the necrophagous flies (Barbosa et al., 2017). Besides attracting a higher diversity of species when compared to the other substrates, spleen also attracted a significantly higher abundance of adults ($P < 0.05$). Approximately 56% of all individuals were collected on traps containing this bait.

Prior to this report, the known geographical distribution of many of the new records for the *Caatinga* was limited to localities in the *Cerrado*, Atlantic forest, mangrove, coastal and urban areas (Alves et al., 2014, Sousa et al., 2016, Barbosa et al., 2017). For example, *Sarcophaga* (*Liopygia*) *ruficornis* (Fabricius, 1794), reported for the first time in a SDTF, has forensic and medical-veterinary importance (Greenberg, 1971; Carvalho and Mello-Patiu, 2008) (Table 3). The first register of several species in the STDF reflects not only the high diversity of this taxon, but also the scarcity of inventories in this biome. Interestingly, five species registered for the first time in SDTF's had been previously categorized as synanthropic (Table 3), which illustrate how insect assemblages respond to the anthropogenic activity.

In addition, the results presented in this study support the environmental plasticity of these species, as their distribution is expanded to arid environments. This is the case of *Tricharaea* (*Sarcophagula*) *canuta* (Wulp, 1896), whose previous distribution in northeastern Brazil was associated to humid environments, such as beaches and mangroves (Sousa et al., 2016; Barbosa et al., 2017). On the other hand, we corroborate the successful adaptation of *Blaesoxipha* (*Gigantotheca*) *stallengi* (Lehille, 1907) to dry environments. Adaptation of Sarcophagidae to *Caatinga* can be associated to the fact of larviviparity, since this phenomenon makes it possible to use ephemeral resources quickly and efficiently in arid environments (Aballay et al., 2011).

Faunistic inventories of flesh fly species in the Neotropical region strengthen the database for areas as diverse as forensic entomology, biogeography and conservation. For example, the data on geographical distribution reported here may assist in criminal investigators because many of the new records are of forensic importance (Table 3). For instance, *Peckia* (*Peckia*) *chrysostoma* (Wiedemann, 1830) was recently discovered as a cadaver colonizer in Northeastern Brazil (Vasconcelos et al., 2014). The new records expand the known distribution of the family into poorly investigated biomes in Neotropical region.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES) and *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) for financial support, Rodrigo Carmo, Diego Oliveira and Paulo Dias for invaluable help in the field and *Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade* (ICMBio) for the licence for insect collection.

LITERATURE CITED

- Aballay, F. H., F. Fernández Campón, P. R. Mulieri, and S. V. Urquiza.** 2011. Sarcophagidae (Diptera) de importancia forense en la Puna de Catamarca, Argentina: la ovoviviparidad como ventaja en condiciones de extrema aridez. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 70: 255-266.
- Alves, A. C. F., W. E. Santos, and A. J. Creão-Duarte.** 2014. Diptera (Insecta) de importância forense da região Neotropical. *Entomotropica* 29: 77-94.
- Barbosa, T. M., R. F. R. Carmo, L. P. Silva, R. G. Sales, and S. D. Vasconcelos.** 2017. Diversity of sarcosaprophagous Calyptratae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environmental Entomology* 46: 460-469.
- Carvalho, C. J. B. and C. A. Melo-Patiu.** 2008. Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. *Revista Brasileira de Entomologia* 52: 390-406.
- D’Almeida, J. M. and Mello, R. P.** 1996. Comportamento de dípteros muscóides frente a substratos de oviposição, em laboratório, no Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 91: 131-136.

- Greenberg, B.** 1971. Flies and Disease Vol. I, Ecology, Classification, and Biotic Association. Princeton, NJ, Princeton University Press. 586p.
- Linhares, A. X.** 1981. Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in the city of Campinas, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 25:189–215.
- Oliveira, T. C. and S. D. Vasconcelos.** 2010. Insects (Diptera) associated with cadavers at the Institute of Legal Medicine in Pernambuco, Brazil: implications for forensic entomology. *Forensic Science International* 198, 97–102.
- Oliveira, D. L. and S. D. Vasconcelos.** 2018. Diversity, daily flight activity and temporal occurrence of necrophagous Diptera associated with decomposing carcasses in a semi-arid environment. *Neotropical Entomology* 47: 470-477.
- Oliveira, D. L., T. F. Soares, and S. D. Vasconcelos.** 2016. Effect of bait decomposition on the attractiveness to species of Diptera of veterinary and forensic importance in a rainforest fragment in Brazil. *Parasitology Research* 115: 229-455.
- Pape, T.** 1996. Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: Diptera). *Memoirs on Entomology, International* 8, 558p.
- Pape, T., V. Blagoderov, and M. B. Mostovski.** 2011. Order Diptera Linnaeus, 1758. In: **Zhang ZQ. (Ed.)** Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa* 3148: 237 pp.
- Santos, J. C., I. R. Leal, J. S. Almeida-Cortez, G. W. Fernandes, and M. Tabarelli,** 2011. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. *Tropical Conservation Science* 4: 276-286.
- Sousa, J. R. P., F. S. Carvalho-Filho, L. Juen, and M. C. Esposito.** 2016. Evaluating the effects of different vegetation types on necrophagous fly communities (Diptera: Calliphoridae; Sarcophagidae): Implications for conservation. *PLoS One* 11(10): e0164826.
- Vairo, K. P., C. A. Mello-Patiu, and C. J. B. Carvalho.** 2011. Pictorial identification key for species of Sarcophagidae (Diptera) of potential forensic importance in southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 55: 333–347.
- Vasconcelos, S. D., R. L. Salgado, T. M. Barbosa, and J. R. B. Souza.** 2016. Diptera of medico-legal importance associated with pig carrion in a tropical dry forest. *Journal of Medical Entomology* 53: 1131-1139.
- Vasconcelos, S. D., T. F. Soares, and D. L. Costa.** 2014. Multiple colonization of a cadaver by insects in an indoor environment: First record of *Fannia trimaculata* (Diptera: Fanniidae) and *Peckia (Peckia) chrysostoma* (Sarcophagidae) as colonizers of a human corpse. *International Journal of Legal Medicine* 11: 1–5.

Vasconcelos, S. D., T. M. Barbosa, and T. P. B. Oliveira. 2015. Diversity of forensically-important dipteran species in different environments in Northeastern Brazil, with notes on the attractiveness of animal baits. *The Florida Entomologist* 98: 770-775.

Yepes-Guarisas, D., J. D. Sánchez-Rodríguez, C. A. Mello-Patiu, and M. Wolff. 2013. Synanthropy of Sarcophagidae (Diptera) in La Pintada, Antioquia-Colombia. *Revista de Biología Tropical* 61: 1275-1287.

LIST OF TABLES

Table 1- Species of Sarcophagidae registered in fragments of seasonally dry tropical forests in Northeastern Brazil.

Genus	Species	1st record STDF	1st record NE, BR
<i>Argoravinia</i>	<i>Argoravinia rufiventris</i> (Wiedemann, 1830)	-	-
<i>Blaesoxipha</i>	<i>Blaesoxipha (Gigantotheca) plinthopyga</i> (Wiedemann, 1839)	Yes	Yes
	<i>Blaesoxipha (Gigantotheca) stallengi</i> (Lahille, 1907)	-	-
<i>Dexosarcophaga</i>	<i>Dexosarcophaga paulistana</i> (Lopes, 1982)	Yes	Yes
<i>Helicobia</i>	<i>Helicobia aurescens</i> (Townsend, 1927)	Yes	Yes
	<i>Helicobia cearensis</i> (Tibana, 1976)	-	-
	<i>Helicobia morionella</i> (Aldrich, 1930)	-	-
	<i>Helicobia pilifera</i> Lopes, 1939	Yes	-
<i>Malacophagomyia</i>		Yes	-
<i>a</i>	<i>Malacophagomyia filamenta</i> (Dodge, 1964)		
<i>Microcerella</i>	<i>Microcerella halli</i> (Engel, 1931)	-	-
<i>Oxysarcodexia</i>	<i>Oxysarcodexia amorosa</i> (Schiner, 1868)	-	-
	<i>Oxysarcodexia aura</i> (Hall, 1937)	-	-
	<i>Oxysarcodexia avuncula</i> (Lopes, 1933)	-	-
	<i>Oxysarcodexia bakeri</i> (Aldrich, 1916)	Yes	-
	<i>Oxysarcodexia intona</i> (Curran & Walley, 1934)	Yes	-
	<i>Oxysarcodexia thornax</i> (Walker, 1849)	-	-
	<i>Oxysarcodexia timida</i> (Aldrich, 1916)	Yes	-
<i>Peckia</i>	<i>Peckia (Peckia) chrysostoma</i> (Wiedemann, 1830)	-	-
	<i>Peckia (Sarcodexia) lambens</i> (Wiedemann, 1830)	-	-
	<i>Peckia (Peckia) pexata</i> (Wulp, 1895)	-	-
<i>Ravinia</i>	<i>Ravinia aureopyga</i> (Hall, 1928)	Yes	Yes
	<i>Ravinia belforti</i> (Prado & Fonseca, 1932)	-	-
	<i>Ravinia effrenata</i> (Walker, 1861)	-	-
<i>Retrocitomyia</i>	<i>Retrocitomyia mizuguchiana</i> Tibana & Xerez, 1985	-	-
	<i>Retrocitomyia retrocita</i> (Hall, 1933)	Yes	-
<i>Sarcophaga</i>	<i>Sarcophaga (Liopygia) ruficornis</i> (Fabricius, 1794)	Yes	Yes
<i>Titanogrypa</i>	<i>Titanogrypa (Sarconeiva) fimbriata</i> (Aldrich, 1916)	Yes	-
	<i>Titanogrypa (Cucullomyia) larvicida</i> (Lopes, 1935)	-	-
<i>Tricharaea</i>	<i>Tricharaea (Sarcophagula) canuta</i> (Wulp, 1896)	Yes	-
	<i>Tricharaea (Sarcophagula) occidua</i> (Fabricius, 1794)	-	-
<i>Udamopyga</i>	<i>Udamopyga setigina</i> (Enderlein, 1928)	-	-

Table 2. Association of Sarcophagidae species with different types of organic substrates, related to the presence (+) or absence (-) of adult flies in the traps

Species	Faeces	Fish	Spleen
<i>Argoravinia rufiventris</i>	+	+	+
<i>Blaesoxipha plinthopyga</i>	-	+	+
<i>Blaesoxipha stallengi</i>	+	+	+
<i>Dexosarcophaga paulistana</i>	+	+	+
<i>Helicobia aurescens</i>	-	+	+
<i>Helicobia cearensis</i>	+	+	+
<i>Helicobia morionella</i>	+	+	-
<i>Helicobia pilifera</i>	+	+	+
<i>Malacophagomyia filamenta</i>	-	+	-
<i>Microcerella halli</i>	-	+	+
<i>Oxysarcodexia amorosa</i>	-	-	+
<i>Oxysarcodexia aura</i>	-	-	+
<i>Oxysarcodexia avuncula</i>	-	+	+
<i>Oxysarcodexia bakeri</i>	-	+	-
<i>Oxysarcodexia intona</i>	-	-	+
<i>Oxysarcodexia thornax</i>	+	+	+
<i>Oxysarcodexia timida</i>	-	-	+
<i>Peckia chrysostoma</i>	-	+	+
<i>Peckia lambens</i>	+	+	+
<i>Peckia pexata</i>	-	+	+
<i>Ravinia aureopyga</i>	-	-	+
<i>Ravinia belforti</i>	+	+	+
<i>Ravinia effrenata</i>	+	+	-
<i>Retrocitomyia mizuguchiana</i>	+	+	+
<i>Retrocitomyia retrocita</i>	+	+	+
<i>Sarcophaga ruficornis</i>	-	+	+
<i>Titanogrypa fimbriata</i>	-	+	-
<i>Titanogrypa larvicida</i>	-	+	+
<i>Tricharaea canuta</i>	+	-	+
<i>Tricharaea occidua</i>	+	+	+
<i>Udamopyga setigina</i>	-	-	+
NUMBER OF SPECIES	14	24	26
SEX RATIO (♀ / ♀+ ♂)	0.71	0.88	0.91

Table 3. Previous reports of forensic and medical importance and synanthropy of Sarcophagidae species registered for the first time in seasonally dry tropical forests, according to the literature. Presence (+) or absence of reports (-).

Species	Forensic relevance	Medical Relevance	Synanthropy
<i>Blaesoxipha plinthopyga</i>	+	+	-
<i>Dexosarcophaga paulistana</i>	+	-	-
<i>Helicobia aurescens</i>	+	-	-
<i>Helicobia pilifera</i>	+	-	-
<i>Malacophagomyia filamenta</i>	-	-	-
<i>Oxysarcodexia bakeri</i>	-	-	+
<i>Oxysarcodexia intona</i>	+	-	+
<i>Oxysarcodexia timida</i>	+	-	+
<i>Ravinia aureopyga</i>	-	-	-
<i>Retrocitomyia retrocita</i>	-	-	-
<i>Sarcophaga ruficornis</i>	+	+	+
<i>Titanogrypa fimbriata</i>	+	-	-
<i>Tricharaea canuta</i>	+	-	+

*sources: Carvalho and Mello-Patiu, 2008; Alves et al., 2014; Greenberg, 1971; Linhares, 1981; Yepes-Gaurisas et al., 2013; Barbosa et al., 2017.

2.4 ARTIGO 4

**EFEITOS DE DISTÚRBIOS ANTROPOGÊNICOS CRÔNICOS SOBRE
ASSEMBLEIAS DE SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) EM ÁREAS DE FLORESTAS
TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (CAATINGA)**

Taciano M. Barbosa^{1*}, Rodrigo F.R. Carmo¹, Cátia A. Mello-Patiu², Inara R. Leal³, Simão D. Vasconcelos¹

¹ Grupo de Pesquisa Insetos de Importância Forense, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rêgo, 50.670-420, Recife – PE, Brasil. * tacionomoura7@gmail.com

² Departamento de Entomologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista s/nº, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rêgo, 50.670-420, Recife – PE, Brasil.

RESUMO

As florestas tropicais secas estão entre os ecossistemas mais vulneráveis aos efeitos dos distúrbios antrópicos crônicos, sendo os efeitos dessas alterações sobre a biodiversidade de dípteros pouco conhecidos, particularmente no Brasil. Nós avaliamos o efeito de distúrbios antropogênicos crônicos nas assembleias de sarcófagídeos ao longo de um mosaico de Caatinga no Brasil. No total, foram coletados 29.810 espécimes adultos, dos quais 3.760 foram identificados em 14 gêneros e 32 espécies. As repostas da assembleia frente aos distúrbios antropogênicos em ambientes de Caatinga pode ser resumida nas seguintes respostas: 1) a diversidade alfa é favorecida com o aumento dos impactos até um linear de alteração da paisagem, porém em ambientes altamente modificados é afetada negativamente; 2) áreas sob altos níveis de impacto suportam assembleias formadas por um maior número de espécimes, porém com menor equitabilidade das abundâncias; 3) espécies sinantrópicas consideradas

generalistas (*T. occidua* e *P. lambens*) são beneficiadas à medida que a antropização se intensifica 4) há substituição de espécies na composição das assembleias ao longo dos tratamentos, com poucas espécies ocorrendo em todos os níveis de impacto. As evidências apresentadas aqui confirmam o potencial de Sarcophagidae como possíveis indicadores biológicos de desmatamento em ambientes expostos a impactos crônicos, uma vez que menos em ambientes com vegetação naturalmente esparsa parece responder biologicamente as sutis alterações humanas.

Palavras chaves: *Tricharaea*, *antropização*, *Caatinga*, *Peckia*.

INTRODUÇÃO

Perda de habitat e perturbações antrópicas nos habitats remanescentes são a principal causa de do declínio de biodiversidade em todo o globo (Pereira et al. 2010, Tilman et al. 2017). Os impactos da perda de habitat sobre a diversidade são evidentes e foram investigados profundamente nas últimas décadas (Hanski 2011), mas a maioria das áreas remanescentes de florestas tropicais está sujeitas a perturbações antrópicas crônicas (chronic anthropogenic disturbance, CAD), tais como pastoreio por animais domésticos, coleta de lenha, exploração de produtos florestais não madeireiros e caça (Singh 1998, Martorell e Peters 2005), as quais têm impactos ecológicos menos evidentes. Contudo, estudos recentes têm demonstrado que CAD pode causar redução nas populações de especialistas simultaneamente ao aumento daquelas adaptadas às perturbações (Oliveira et al. 2017, Rito et al. 2017a, Siqueira et al. 2017) levando à homogeneização biológica de comunidades de plantas e animais (Ribeiro-Neto et al. 2016); redução na diversidade taxonômica, funcional e filogenética das comunidades de plantas e animais (Ribeiro et al. 2015, 2016, Ribeiro-Neto et al. 2016, Rito et al. 2017b, Arnan et al. 2018); e colapso de interações entre plantas e animais como dispersão de sementes por formigas (Leal et al. 2014) e proteção de plantas contra herbívoros (Leal et al. 2015); e mudanças nos

padrões de estoque e ciclagem de nutrientes (Schultz et al. 2016, Souza et al. 2019). Esses estudos demonstram que CAD pode alterar de populações a ecossistemas, atuando de forma tão deletéria quanto à perda de habitat para a integridade das florestas tropicais, sobretudo as áreas de floresta seca como a Caatinga.

A Caatinga é maior e mais diversa mancha de floresta tropical sazonalmente seca (SDTF) neotropical cobrindo 912,529 km² do nordeste brasileiro (Silva et al. 2017). Apesar de sua localização latitudinal equivalente a outros sistemas úmidos, algumas anomalias climáticas são encontradas na Caatinga, como menor precipitação (quantitativa e qualitativamente), condicionando um elevado período de seca ao longo do ano (Nimer, 1972). Essa demarcada sazonalidade na Caatinga impõe obstáculos abióticos tanto para colonização de comunidades biológicas naturais quanto para o estabelecimento e subsistência de populações humanas (Murphy and Lugo, 1986). A Caatinga é a região semiárida mais populosa do globo com 26 habitantes/km² (INSA 2012), e por causa da sua baixa renda, depende dos recursos naturais da Caatinga para sua subsistência (Albuquerque et al. 2017), em um cenário típico de CAD (Ribeiro et al. 2015). Atividades como coleta de lenha, extração de produtos florestais, criação extensiva de animais domésticos, introdução de espécies exóticas forrageiras para suprir a carência da vegetação nativa durante a estação seca, agricultura de corte e queima são comuns na Caatinga desde o século XVI (Ramos et al. 2008; Albuquerque et al. 2017), diminuindo sua produtividade e aumentando a chance de desertificação na região (Tabarelli et al. 2017). Dessa forma, a Caatinga oferece uma oportunidade interessante para se estudar como CAD afeta a organização de comunidades em STDF, sobretudo aquelas comunidades que dependem de recursos efêmeros, como carcaças, as quais demandam dos organismos colonizadores rápidas respostas de detecção e colonização para alimento e deposição da progênie, como é o caso de insetos necrófagos e sarcosaprófagos.

Sarcophagidae é um grupo diverso entre os dípteros sarcosaprófagos que compreende diversas espécies sinantrópicas – com forte preferência por ambientes urbanizados [eg. *Tricharaea* (*Sarcophagula*) *occidua* (Fabricius) e *Oxysarcodexia timida* (Aldrich)], e assinantrópicas – restritas a áreas mais conservadas, como *Peckia* (*Pattonella*) *intermutans* (Walker) (Yepes-Gaurisas et al. 2013). Estudos recentes têm mostrado que as assembleias de sarcofagídeos respondem a perturbações ambientais (Sousa et al. 2011), além da comunidade diferir ao longo de gradientes de rural-urbanização (Linhares 1981, Mulieri et al. 2011). Além disso, espécies com guilda alimentar mais ampla, por exemplo, *Peckia* (*Sarcodexia*) *lambens* parecem ser beneficiadas em ambientes afetados por perturbações antrópicas (Sousa et al. 2011). Todavia, espécies raras e especialistas têm sua distribuição afetada quando esses distúrbios são intensos, por exemplo, processos de urbanização (Mulieri et al. 2011).

Considerando-se que a caatinga apresenta um cenário típico de CAD (Ribeiro et al. 2015), a qual pode ocasionar uma homogeneização da comunidade (McKinney e Lockwood 1999), perturbações de intensidade ou frequência intermediárias podem favorecer a coexistência de mais espécies como postula a Hipótese do Distúrbio Intermediário (Connell 1978). Isso porque em áreas muito conservadas, as espécies mais competitivas excluiriam as menos competitivas e diminuiria o número de espécies. Por outro lado, em áreas muito perturbadas há o favorecimento de espécies boas colonizadoras, em geral generalistas como observado para ambientes de caatinga (Oliveira et al. 2017, Rito et al. 2017a, Siqueira et al. 2017).

O CAD ainda pode ocasionar mudanças na estrutura e composição da comunidade levando à substituição de espécies “perdedoras”, ou seja, que dependem das áreas mais conservadas frente a distúrbios antropogênicos, por espécies resilientes “vencedoras”, mais adaptadas a áreas sob CAD (Tabarelli et al., 2012). Essa substituição pode assim aumentar a similaridade de espécies entre as comunidades levando à diminuição da diversidade em escala

espacial (β -diversity) (Arroyo-Rodríguez et al., 2013). Dessa forma, é de extrema importância compreender como as assembleias de Sarcophagidae respondem a presença do CAD nos ambientes de Caatinga.

Nesse cenário, o objetivo principal desse estudo foi avaliar o efeito de distúrbios antropogênicos crônicos no padrão de diversidade de sarcófagídeos ao longo de um mosaico de Caatinga. Especificamente, objetivou-se: (i) caracterizar as assembleias de moscas Sarcophagidae em ambientes de floresta seca expostos a níveis crescentes de distúrbios antropogênicos e (ii) avaliar o padrão de distribuição de espécies (β -diversity) ao longo dos ambientes. Com isso, testaremos a hipótese de que o aumento progressivo da perturbação antrópica afeta diretamente a diversidade de moscas Sarcophagidae, desencadeando a homogeneização da fauna local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em seis ambientes de floresta tropical sazonalmente seca (SDTF's) no Nordeste do Brasil (Figure 1). Cada área amostral apresenta uma formação fitofisionômica distinta, além de serem inseridos em regiões com diferentes graus de distúrbios antropogênicos crônico (CAD). Para uma melhor compreensão da influência do CAD na diversidade de Sarcophagidae, nós categorizamos as áreas amostrais em três tratamentos de acordo com o grau de distúrbios antropogênicos – baixo impacto antrópico (*Low Anthropogenic Impact* - LAI), impacto antrópico intermediário (*Intermediate Anthropogenic Impact* - IAI) and alto impacto antrópico (*High Anthropogenic Impact* - HAI).

Áreas sob baixo impacto antrópico (low anthropogenic impact, LAI)

Parque Nacional (PARNA) do Catimbau (08°33'75"S, 37°15'39"W): abrange uma área total de 60 mil ha, de clima semiárido (Bsh) com transição para o tropical chuvoso (As') de

acordo com a escala de Köppen (SNE 2002). A precipitação é irregular e varia entre 480 a 1.100 mm/ano, com temperatura média anual de 23 °C (SNE 2002). A vegetação é típica de Caatinga hipoxerófila, predominantemente formada por plantas arbustivas e herbáceas das famílias Fabaceae, Euphorbiaceae, Boraginaceae, Cactaceae, Bromeliaceae, Malvaceae, Sterculiaceae e Asteraceae. Extensos chapadões com solos arenosos e profundos são comuns no Parque que podem ser caracterizados por diferentes ambientes com flora e vegetação distintas (SNE 2002). Trata-se de área sob máxima proteção ambiental. Código LAI1.

Refúgio de Vida Silvestre (RVS) Tatu-Bola (09°02'19"S, 40°25'05"W): a área da reserva de vida silvestre leva o nome do ameaçado tatu-bola-da-caatinga, localizada no município de Petrolina. Inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco apresenta clima tropical semiárido quente, com chuvas de verão e período chuvoso nos meses de novembro a abril, precipitação média de 431 mm e temperatura média de 26 °C. A vegetação é Caatinga Hiperxerófila, com trechos de Floresta Caducifólia, representada tanto por lenhosas como por cactáceas, sendo as famílias mais representativas: Fabaceae, Euphorbiaceae, Cactaceae, Malvaceae e Bromeliaceae (Siqueira-Filho 2012). Código LAI2.

Áreas sob impacto antrópico intermediário (intermediate anthropogenic impact, IAI)

Fragmento semi-conservado de SDTF, no município de Betânia (08°18'30"S, 37°59'07"W): localizada a 100 km a leste do PARNA Catimbau, esta área está exposta a pouca ou moderada influência antrópica. O clima é tropical semiárido (Aw) com temperatura média anual de 27 °C e umidade relativa de 62%. As chuvas são escassas com maior volume entre novembro e abril (557 mm/ano) (APAC 2017). A vegetação é predominantemente formada pelo estrato arbustivo representado pelas cactáceas e bromeliáceas, o que configura essa caatinga como sendo hiperxerófila arbustiva. O solo é raso e cristalino (Beltrão et al. 2005a). Código IAI1.

Fragmento semi-conservado de SDTF, no município de Afogados da Ingazeira (07°44'06"S, 37°35'16"W): Inserido na porção média da Depressão Sertaneja dista 75 km de Betânia. O clima é do tipo tropical semiárido com chuvas de verão irregulares ao longo do ano com maiores índices de novembro a abril (432 mm/ano) (APAC 2017). A temperatura média anual é de 25 °C com umidade relativa do ar de 55%. A vegetação é formada por caatinga hiperxerófila com trechos de florestas caducifólia com presença de representantes das famílias Bromeliaceae, Anacardiaceae, Cactaceae e Rhamnaceae (Lima, 2014). A diversificação florística tem forte relação com a tipologia do relevo; o solo é na maioria das vezes raso, pedregoso ou inexistente em áreas com afloramentos rochosos (Beltrão et al. 2005b). Código LAI2.

Áreas sob alto impacto antrópico (high anthropogenic impact - HAI)

Fragmento modificado de SDTF, no município de Lagoa Grande (08°57'12"S, 40°30'09"W): localizado 370 km a sudoeste de Afogados da Ingazeira, a área experimental dista 30 km de LAI2 na RVS Tatu-Bola. A vegetação nativa sofreu intenso desmatamento e foi substituída por culturas anuais como feijão, milho e pastagem. Além disso, há intensa produção de carvão vegetal a partir da vegetação nativa e criação de animais, por exemplo, vacas, ovelhas e cabras. Código HAI1.

Fragmento modificado de SDTF, no município de Boqueirão (08°25'35"S, 36° 08'06"W): localizado a 165 km sudoeste do ponto de coleta mais próximo, Afogados da Ingazeira. O clima é do tipo tropical chuvoso, com chuvas esparsas ocorrendo entre os meses de janeiro e setembro, sendo o verão seco com média de precipitação anual de 400 mm e temperatura de 27 °C (Beltrão et al. 2005c). A área apresenta vegetação formada por florestas caducifólia e subcaducifólia caracterizadas por Fabaceae, Cactaceae, Malvaceae, Rhamnaceae e Bromeliaceae. O solo é medianamente profundo e argiloso com afloramentos rochosos (Beltrão et al. 2005c). O

município tem alto potencial para agricultura e pecuária devido à presença do reservatório, Epitácio Pessoa. Código HAI2.

Desenho experimental: categorização dos tratamentos, coleta e identificação dos insetos

A categorização da intensidade do impacto antrópico foi realizada a partir de um conjunto de variáveis quantitativas – distâncias médias para estradas, rodovias, casas e vilas ou centro urbanos e extensão das áreas desmatadas, e qualitativas – uso da terra para pecuária e para agricultura e extração de madeira (Tabela 1). Para o melhor entendimento da influência antrópica nas assembleias de Sarcophagidae, o índice de distúrbio antropogênico crônico (CAD) baseado em Arman et al. (2018) foi realizado a partir da análise de componentes principais (PCA), levando-se em consideração as variáveis numéricas. O índice é composto pelo primeiro eixo da PCA, o qual explica cerca de 75% da variação das amostras (Figura 2).

As variáveis quantitativas foram obtidas a partir de imagens de satélite acessadas através do Google Earth® durante o ano de coleta e por GPS (Tabela 1). O uso da terra para a extração de madeira foi categorizado em *low*, *moderate* and *high* de acordo com observações diretas e a partir de informações obtidas junto à população local (*e.g.* tempo de uso da área, presença de áreas desmatadas, produção constante de carvão e tijolos), enquanto a utilização para agricultura e pecuária foi categorizada como presente ou ausente, sendo consideradas atividades como pastagens e culturas de subsistência (milho e feijão). Em relação ao tempo de uso da área, foram consideradas como Low – as áreas com pouca intervenção humana direta (*e.g.* desmatamento) por mais de 20 anos; Intermediate – com intervenções esporádicas, porém com baixa exploração vegetal entre 10 e 15 anos e High – aquelas com atividades intensas e constantes (produção agrícola e pecuária).

Em cada área amostral dois subplots separados por 1 km foram instalados. Cada subplot continha um conjunto de 34 armadilhas suspensas a 80 cm do solo (Oliveira et al. 2016), com iscas (ca. 150 g) em estágio inicial de decomposição sendo: 12 armadilhas iscadas com baço

bovino, 12 com sardinha e 10 com fezes humanas frescas. A distribuição das armadilhas em cada ponto amostral foi realizada de forma randômica, com distância entre elas de 20 m. Cada armadilha foi considerada uma unidade amostral independente, ou seja, uma réplica espacial para cada ambiente. As armadilhas ficaram expostas no ambiente por 48 horas.

Os espécimes capturados foram mortos com acetato de etila e fixados em etanol a 70% e identificados em laboratório (Carvalho e Mello-Patiu 2008; Vairo et al. 2011 e Buenaventura e Pape 2013), com base nos exemplares machos, pois a determinação específica baseia-se na morfologia do edeago. O material testemunho foi depositado na Coleção Científica da UFPE (Curadora Dra. L. Iannuzzi) e no Museu Nacional do Rio de Janeiro/UFRJ (Curadora Dra. C. A. Mello-Patiu).

Análise dos dados

As assembleias de Sarcophagidae foram caracterizadas a partir das métricas de diversidade (alfa e beta) ao longo do grau de antropização (tratamentos). A diversidade- α foi calculada com base na série numérica de Hill (1973). O perfil de diversidade de Hill reflete o número efetivo de espécies, sendo composto por uma família de índices de diversidade matematicamente unificada (que diferem entre si pelo expoente q), os quais incorporam a abundância relativa e a riqueza de espécies (Chao et al. 2014). Dentre os expoentes utilizados para construção do perfil de diversidade nós selecionamos: os valores de riqueza de espécies (0D), os valores da entropia de Shannon (1D), além do índice de Simpson (2D). Já a diversidade beta foi acessada a partir das funções ‘beta.multi’ e ‘beta.pair’ (disponíveis no pacote ‘betapart’; Baselga e Orme, 2012), as quais levam em consideração a partição da diversidade beta em aninhamento e turnover. Essa rotina de análise nos permite entender melhor o padrão de distribuição das espécies ao longo dos tratamentos. Além disso, a dominância das espécies por tratamento foi calculada através do inverso do coeficiente de Simpson ($D = 1/{}^2D$), assessorado

por um ranking de dominância construído a partir das abundâncias relativas das espécies em ordem decrescente.

A hipótese de que a composição de espécies entre os tratamentos é semelhante, foi testada pela associação das análises de PERMANOVA e PERMDISP (homogeneidade da dispersão) realizadas a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis (Anderson e Walsh 2013). A existência de autocorrelação espacial foi avaliada a partir do teste de Mantel (Legendre e Legendre 2012). Utilizamos a correlação de Spearman (devido à ausência de normalidade ou homocedasticidade em algumas variáveis) para testar as correlações entre o táxon e os atributos utilizados na categorização dos níveis antropogênicos.

Já a hipótese da influência da antropização na homogeneização da fauna de Sarcophagidae foi testada a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis associada ao escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS). A contribuição de cada espécie para a segregação dos grupos foi avaliada através do SIMPER. As diferenças da riqueza e abundâncias por tratamento (nível de impacto antropogênico) foram testadas através da análise de PERMANOVA, com 999 permutações e nível de significância de 5%. Modelos lineares generalizados (GLM) foram utilizados para testar os efeitos das variáveis ambientais e CAD na abundância, riqueza de espécies ao longo dos tratamentos. Finalmente, para determinar se as variáveis ambientais dos locais (chuva, vegetação, tipo de solo e CAD) explicavam a variação na composição de espécies e se alguma espécie estava associada a alguma dessas variáveis ambientais, foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA). As análises foram realizadas na plataforma estatística R (R Development Core Team, 2017) ($\alpha < 0,05$).

RESULTADOS

Montagem de comunidades e efeito do CAD na diversidade alfa

Amostramos um total de 32 espécies de moscas ao longo do gradiente antrópico, com diferenças marcantes entre habitats: 865 indivíduos (18 espécies) em ambientes sob low

anthropogenic impact (LAI), 602 indivíduos (20 espécies) em áreas sob intermediate anthropogenic impact (IAI) e 2.293 indivíduos (24 espécies) em ambientes sob high anthropogenic impact (HAI) (Tabela 2). Um total de 29.810 adultos de moscas foram amostrados, mas apenas 3.760 foram identificados em nível específico (machos) (Tabela 2). Os tratamentos foram semelhantes em termos de riqueza (Pseudo-F₂; 11 = 0,652; P = 0,557), porém diferiram bastante em termos de abundância (Pseudo-F_{2,11} = 1,370; P < 0,05). Tal variação é refletida na diversidade alfa, quando a entropia de Shannon é analisada (D1). Tratamentos sob impacto antropogênico intermediário foram 1,75 vezes mais diversificados que o HAI e 1,29 mais diversificados que o LAI (Figura 3).

Não houve autocorrelação espacial entre os tratamentos (Mantel-test: $r = -0,259$, $P = 0,822$), em que o aumento gradual das perturbações antropogênicas parecem ter uma correlação direta com o aumento da diversidade alfa, mas apenas até um limiar. Os ambientes de HAI apresentaram o menor valor de equitabilidade ($J = 0,271$), que é resultado de uma grande dominância de espécies neste tratamento (Figura 4). Os gêneros *Tricharaea* e *Blaesoxipha* foram amostrados em todos os ambientes e representam juntos 82% de todas as moscas adultas amostradas. Essa abundância é notável no tratamento HAI, para o qual *T. occidua* mostrou um padrão claro de dominância (Figura 4).

As análises do GLM não revelaram a influência das variáveis ambientais tanto na abundância ($r^2 = 0,179$) quanto na riqueza de espécies ($r^2 = 0,209$) (Tabela 3). No entanto, os dois primeiros eixos do CCA explicaram 51,4% da variação na composição de espécies e revelaram correlações entre distribuições de espécies e variáveis ambientais. As dimensões do eixo foram diferentes (CCA1: $F = 4,078$, $P < 0,001$ e CCA2: $F = 3,260$, $P < 0,001$) e o modelo final foi significativo com variação explicada pela precipitação ($F = 3,376$, $P < 0,001$), vegetação ($F = 2,623$, $P < 0,001$) e CAD ($F = 2,115$, $P < 0,005$). Mais especificamente, o eixo CCA-1 correlacionou-se negativamente com a precipitação e o eixo CCA-2 correlacionou-se

positivamente com a CAD. Três espécies, *Microcellaria halli*, *Ravinia effrenata* e *T. occidua* apresentaram forte associação com CAD (Figura 5).

Diversidade beta e semelhança taxonômica

Em geral, a similaridade taxonômica foi moderada (Bray-Curtis = $0,586 \pm 0,291$). No entanto, os tratamentos sob baixo e moderado impacto antropogênico apresentaram os maiores valores de similaridade (0,821). Os dois extremos do gradiente antropogênico foram os menos similares (0,415), enquanto os ambientes MAI e HAI apresentaram valor em torno da média (0,547). *Tricharaea occidua*, *P. lambens*, *Ravinia belforti* e *Helicobia cearensis* foram as principais responsáveis pela dissimilaridade entre os tratamentos MAI e HAI, com contribuição de 29,1%, 10,8%, 6,5% e 6,4%, respectivamente (Tabela 4).

A distribuição da diversidade pode ser encontrada no NMDS, que denota um padrão claro de rotatividade de espécies (Figura 6). Tal distribuição é clara quando a composição de espécies é analisada de acordo com o impacto antrópico. Menos de 50% das espécies ocorreram nos três graus de impacto antropogênico simultaneamente (Figura 7). O turnover espacial é o componente mais importante para explicar a distribuição da diversidade beta ($\beta_{SIM} = 0,55$), não tendo resposta expressiva ao aninhamento de espécies ($\beta_{NES} = 0,10$; $\beta_{SOR} = 0,65$). Numericamente, o padrão estrutural das distribuições de diversidade é melhor explicado pela variação de abundância entre os tratamentos ($F_{PERMANOVA} = 12,819$; $df = 2$; $P < 0,001$) do que pela dispersão dentro dos tratamentos ($F_{PERMDISP} = 2,640$; $df = 2$; $P = 0,071$).

DISCUSSÃO

Nossos resultados confirmam uma das hipóteses iniciais, uma vez que observamos que o aumento na intensidade dos distúrbios antropogênicos crônicos está relacionado com alteração na distribuição da abundância, riqueza e diversidade alfa de Sarcophagidae. Houve ainda uma distribuição quadrática da diversidade alfa de sarcófagídeos ao longo dos níveis de

antropização, uma vez que os maiores índices de diversidade foram registrados nos tratamentos sob impacto antrópico intermediário. Tais resultados se mostram de acordo com a Hipótese do Distúrbio Intermediário, a qual postula que em regiões com intensidade moderada de distúrbio há uma tendência de aumento da diversidade alfa em comparação com os seus extremos (Connell 1978).

Segundo Connell (1978) e Roxburgh et al. (2004), a hipótese do distúrbio intermediário (IDH) reflete uma resposta ao conjunto de mecanismos de coexistência, dos quais o aumento na densidade de espécies competidoras e/ou mais eficientes na exploração recursos pode interferir na ocorrência de outras espécies, ocasionando a exclusão competitiva. Isto foi observado no presente estudo, em que medida que a perturbação se intensifica a abundância de poucas espécies aumenta, este aumento na taxa de crescimento pode estar fortalecendo assim a concorrência e possibilitando a exclusão competitiva. Tal fato, explicaria o sucesso de *Tricharaea occidua* ao longo dos níveis de perturbações antrópicas e a diminuição de espécies mais especialistas, uma vez que *T. occidua* apresenta maior plasticidade alimentar.

Além disso, o sucesso das espécies sinantrópicas pode ser atribuído ao fato desses táxons serem resistentes a pressões negativas proporcionados pelos distúrbios antropogênicos crônicos como a perda de vegetação, que provoca maior exposição à insolação. Espécies de *Oxysarcodexia*, gênero com muitos representantes sinantrópicos, por exemplo, apresentam larvas resistentes ao ressecamento (Lopes 1973), o que possibilita maior sucesso na exploração de recursos em áreas abertas e desmatadas.

Em contrapartida, os resultados contraponham-se à nossa segunda hipótese, já que a distribuição da diversidade beta ao longo do gradiente foi majoritariamente explicada pelo turnover de espécies do que pelo aninhamento. O turnover ao longo do gradiente se deu principalmente pela substituição de espécies especialistas (e.g. *Udamopyga sertigina* (Enderlein), *Oxysarcodexia amorosa* (Schiner) e *Sarcophaga (Liopygia) rufirconis* (Fabricius)

- comuns nas áreas com níveis mais baixos de impactos - por espécies generalistas (em sua maioria sinantrópicas) que apresentaram um pool de espécimes à medida que o distúrbio antropogênico aumentava (ver Figura 7).

Dessa forma, para o presente estudo a taxa do turnover parece ser influenciada por dois fatores: 1) comportamento alimentar – já que espécies generalistas são beneficiadas e 2) plasticidade ambiental – já que as espécies sinantrópicas também são beneficiadas, inclusive com espécies restritas a ambientes IAI e HAI, por exemplo, *O. timida* e *Oxysarcodexia intona* (Curran & Walley), respectivamente. Chisté et al. (2017) também relataram o turnover de espécies como o principal modulador da diversidade β para comunidades de plantas e cigarrinhas ao longo de um gradiente de uso do solo. Esses autores ainda associaram o aumento da densidade com os altos valores da diversidade β no local, mas esse pool de espécimes diminui a rotatividade de espécies.

A perturbação crônica vem afetando principalmente espécies especialistas (McKinney e Lockwood 1999, Leal et al. 2017), o que valida os resultados do presente estudo, uma vez que espécies exclusivamente necrófagas foram mais frequentes nos fragmentos menos impactados, embora sempre em baixa abundância. As reduzidas abundâncias dessa classe de espécies podem estar atreladas à estratégia reprodutiva mais próxima dos "k-estrategistas" (Forsyth e Robertson 1974), já que sarcófagídeos exibem 1) alta mortalidade dependente da densidade; 2) larvas de hábito agressivo e com comportamento territorial intraespecífico e 3) taxa de larviposição com reduzida progênie comparada a espécies ovíparas.

Segundo Connell (1978), há uma relação unimodal entre a diversidade e o nível de distúrbio, em que altas perturbações antrópicas servem como um filtro a todos os representantes de uma comunidade, mas favorecendo espécies mais oportunistas. Tal favorecimento ocasiona uma elevada dominância de poucas espécies na estruturação das assembleias em ambientes sob

altos impactos, o que leva ao baixo valor de diversidade alfa nesses ambientes como observado no presente estudo para ambientes de caatinga.

Nesse contexto, nossos dados revelam que a presença de distúrbios antropogênicos na Caatinga modula a estrutura e composição das assembleias de Sarcophagidae. Nós embasamos nossa interpretação nas seguintes respostas: 1) áreas HAI suportam assembleias formadas por um maior número, porém com menor equitabilidade das abundâncias; 2) espécies sinantrópicas consideradas generalistas (*T. occidua* e *P. lambens*) são beneficiadas em níveis altos de distúrbios (Tabela 2); 3) há substituição de espécies na composição das assembleias ao longo dos tratamentos, fato corroborado pela análise de beta diversidade e, mais importante, 4) os maiores valores de diversidade foram registrados em ambientes sob moderada intensidade de perturbação antrópica (Figura 3).

O favorecimento de espécies de sarcófagídeos sinantrópicos e generalistas em ambientes altamente impactados pode resultar de dois fatores: i) atividade pecuária baseada na criação de caprinos e bovinos – que são mantidas em grandes áreas abertas – e fornecem fezes como recursos efêmeros as espécies de sarcófagídeos; e ii) pela extração de madeira e remoção de árvores, um processo que, como mencionado, beneficia espécies de sarcófagídeos que preferem ambientes abertos (Sousa et al. 2011). Esses fatores são particularmente corroborados pelo fato de a riqueza de espécies aumentar de acordo com o nível de impacto, ou seja, respondem positivamente à perturbação crônica. Consequentemente, essa sobreposição das espécies generalistas pode levar ao empobrecimento taxonômico da assembleia, porque a substituição de espécies sensíveis a perturbações antrópicas, como as especialistas, por pequeno conjunto de espécies generalistas pode futuramente levar à homogeneização da comunidade (McKinney e Lockwood 1999, Tabareli et al. 2012).

No entanto, a diversidade alfa, a qual mede a uniformidade das assembleias é afetada negativamente pelo impacto humano (Figura 3), o que reflete a dominância de algumas espécies

nas assembleias. Portanto, nossa hipótese de que espécies respondem de maneira diferente à alteração ambiental induzida pelo homem é confirmada. A dominância de dípteros sinantrópicos em ambientes modificados é descrita para vários ecossistemas (Linhares 1981, Yepes-Gaurisas et al. 2013), mas a abundância em si não deve ser considerada a única resposta à ação antropogênica. Mudanças mais complexas - e menos visíveis devem ser investigadas, como o favorecimento de espécies com nichos ecológicos e/ou hábitos alimentares específicos (decompositores, por exemplo).

Análise da influência dos impactos antrópicos sobre as assembleias de moscas necrófagas é mais bem estudada para a família Calliphoridae (Sousa et al. 2010, Sousa et al. 2014, Barbosa et al. 2017). Em ambiente insular, Carmo e Vasconcelos (2016) evidenciaram a importância da ação antrópica crônica em assembleias de moscas necrófagas. A presença de atividades humanas ao longo de aproximadamente 40 anos promoveu a chegada de espécies sinantrópicas (invasoras) neste ambiente, favorecendo seu estabelecimento imediato e proporcionando o deslocamento do nicho de espécies nativas (Carmo e Vasconcelos 2016). Para Sarcophagidae, a relação das atividades humanas como fator promotor de homogeneidade da biodiversidade requer mais atenção haja vista a escassez de informações sobre importância ambiental de espécies como possíveis indicadoras de qualidade ambiental.

Como proxy para os distúrbios antrópicos, proximidade a cidades e proximidade a casas ou fazendas apresentaram uma forte correlação negativa com a distribuição das abundâncias de sarcófagídeos ($r = -0.828$; $P = 0.04$ e $r = -0.840$; $P = 0.03$), respectivamente. Isto confirma nossa ideia de que ambientes modificados por atividades humanas favorecem espécies mais generalistas (*Tricharaea occidua* e *Peckia lambens*). Sousa et al. (2011) também mencionam essa capacidade de muitas espécies de Sarcophagidae se beneficiarem da presença de atividades humanas em ambientes naturais, o que foi associado à capacidade do grupo de explorar rapidamente os recursos efêmeros típicos de áreas degradadas. Esses autores ainda enfatizam a

capacidade dessas espécies de se beneficiarem da remoção da cobertura florestal. Esse potencial adaptativo de espécies generalistas no estudo pode estar atrelado ao fato da plasticidade alimentar, uma vez que essas espécies se alimentaram e se reproduziram nos diferentes substratos utilizados.

Além disso, a caatinga apresenta naturalmente uma vegetação esparsa com áreas naturais de clareiras (Queiroz et al. 2017). Porém, sutis distúrbios crônicos como a remoção de arbustos nativos pelos moradores e presença de animais domésticos ampliam a proporção de áreas descobertas de vegetação. Nesse cenário, as alterações causadas pelo homem ampliam o surgimento e o isolamento de manchas remanescentes nos ambientes naturais (McKinney 2002), sendo a presença dessas manchas mais intensas nas áreas sob alto impacto.

Na Caatinga, a criação de caprinos e bovinos proporciona um aumento de oferta de recursos efêmeros já que muitas espécies se alimentam de fezes (Pape 1996). Isso é visto quando analisada a capacidade de suporte das áreas mais impactadas, já que o maior número de espécies e abundância de sarcófagídeos foi aumentado nas áreas sob IAI e HAI. Isso ainda confirma a ideia que a família apresenta táxons com forte preferência por áreas abertas, por exemplo, o gênero *Tricharaea* (Sousa et al. 2011).

Do ponto de vista prático, nossos dados levantam questões sobre o estado de conservação de áreas aparentemente protegidas pela legislação ambiental brasileira - O Parque Nacional do Catimbau e o recém-instalado RVS Tatu Bola, uma vez que espécies sinantrópicas são dominantes em todas as áreas. A sobreposição numérica de táxons generalistas (e.g. *T. occidua*) sobre a guilda necrófaga nessas áreas pode decorrer da intensa presença de caprinos observada na extensão territorial dos parques. Outros estudos também relatam a presença desses animais influenciando as populações de animais e vegetais em áreas de caatingas (Leal et al. 2014, Ribeiro et al. 2015).

Em síntese, nossos resultados demonstram que nem toda espécie responde negativamente aos distúrbios humanos, já que as espécies com maior plasticidade alimentar são capazes de se beneficiar do efeito de perturbações humanas em um ambiente com características tão limitantes, como longos períodos de secas, baixa precipitação e limitada fauna de grandes vertebrados. O efeito de distúrbios antropogênicos e o favorecimento de guildas generalistas já foram descritos para outros táxons (e.g. formigas) na Caatinga (Leal et al. 2014, Siqueira et al. 2017) e mesmo para dípteros necrófagos em regiões litorâneas (Barbosa et al. 2017). As evidências apresentadas aqui confirmam o potencial de Sarcophagidae como indicadores biológicos de desmatamento em ambientes expostos a impactos crônicos causados por atividades humanas contínuas.

Diante dos resultados obtidos conclui-se que espécies de Sarcophagidae, além do potencial forense no escopo médico-legal, podem fornecer pistas sobre o aumento no nível de impacto antrópico, por exemplo, a presença de áreas abertas e intensidade de atividades pecuárias, sendo essa última uma das principais perturbações crônicas em ambientes de caatinga, as quais estão sob o risco de desertificação (Santos et al. 2011, Ribeiro et al. 2015).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudo do primeiro autor, Barbosa, T.M.; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (Facepe) por seu apoio financeiro. Ao CNPq pelas bolsas de produtividades dos autores Cátia A. Mello-Patiu, Inara R. Leal e Simão D. Vasconcelos; ao Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas da Caatinga (Crad/Univasf) pelo apoio logístico; aos Drs. Luciana Iannuzzi e Artur Maia, pelas correções do manuscrito e a Diego Oliveira e Paulo Junior pela ajuda na amostragem dos espécimes.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, U. P., E. L. Araújo, C. C. Castro, e R. R. N. Alves. 2017.** People and Natural Resources in the Caatinga. In J. M. C. Silva, I. R. Leal e M. Tabarelli (Eds.) 2017. Caatinga; The Largest Tropical Dry Forest Region in South America (pp. 303-334). Cahm, Springer International Publishing.
- Anderson, M. J., e D. C. I. Walsh. 2013.** PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: What null hypothesis are you testing? *Ecol. Monogr.* 83: 557–574.
- APAC -Agência Pernambucana de Águas e clima.** Monitoramento Hidrológico. Acessível em: <www.apac.pe.gov.br>. Acessado em: 13 de julho de 2017.
- Arnan, X., I. R. Leal, M. Tabarelli, et al. 2018.** A framework for deriving measures of chronic anthropogenic disturbance: Surrogate, direct, single and multi-metric indices in Brazilian Caatinga. *Ecol. Indic.* 94: 274-282.
- Arroyo-Rodriguez, V., M. Ros, F. Escobar, F. P. L. Melo, B. A. Santos, M. Tabarelli, e R. L. Chazdon. 2013.** Plant *b*-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. *J. Ecol.* 101: 1449–1458.
- Barbosa, T. M., R. F. R. Carmo, L. P. Silva, R. G. Sales, e S. D. Vasconcelos. 2017.** Diversity of sarcosaprophagous calyptratae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environ. Entomol.* 46: 460-469.
- Baselga A, e C. D. L. Orme. 2012.** betapart: An R package for the study of beta diversity. *Methods Ecol. Evol.* 3: 808-812
- Beltrão et al. 2005a.** Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Betânia, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 25p.

- Beltrão et al. 2005b.** Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Afogados da Ingazeira, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 26p.
- Beltrão et al. 2005c.** Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Boqueirão, estado da Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM, 21p.
- Buenaventura, E., e T. Pape. 2013.** Revision of the New World genus *Peckia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Sarcophagidae). Zootaxa, 3622: 001-087.
- Carmo, R. F. R., e S. D. Vasconcelos. 2016.** Assemblage of Necrophagous Diptera in Atlantic Insular Environments and Response to Different Levels of Human Presence. Neotrop. Entomol. 45: 471-481.
- Carvalho, C. J. B., e C. A. Melo-Patiu. 2008.** Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. Rev. Brasil. Entomol. 52: 390-406.
- Chao, A., N. J. Gotelli, T. C. Hsieh, E. L. Sander, K. H. Ma, R. K. Colwell, e A. M. Ellison. 2014.** Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. Ecol. Monogr. 84: 45–67.
- Chisté, M. N., K. Mody, G. Kunz, J. Gunczy, e N. Blüthgen. 2018.** Intensive land use drives small-scale homogenization of plant and leafhopper communities and promotes generalists. Oecologia, 186: 529-540.
- Connell, J. H. 1978.** Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199: 1302–1310.
- Forsyth, A. B., e R. J. Robertson. 1975.** K reproductive strategy and larval behavior of the pitcher plant Sarcophagid fly, *Blaesoxipha fletcheri*. Canadian Journal of Zoology, 53: 174-179.
- Hanski, I. 2011.** Habitat Loss, the Dynamics of Biodiversity, and a Perspective on conservation. *Ambio* 40:248–255.

- Hill, M. 1973.** Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54:427–432.
- INSA 2012.** Sinopse do Censo Demográfico para o Semi-arido Brasileiro. INSA, Campina Grande, Brazil.
- Leal, L. C., A. N. Andersen, e I. R. Leal. 2014.** Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174: 173–181.
- Leal, L. C., A. N. Andersen, e I. R. Leal. 2015.** Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. *Biotropica* 47 (4), 468–474.
- Leal, R. L., J. D. Ribeiro-Neto, J. D., X. Arnan, F. M. P. Oliveira, G. B. Arcoverde, R. M. Feitosa, e A. N. Andersen. 2017.** Ants of the Caatinga: Diversity, biogeography, and functional responses to anthropogenic disturbance and climate change. *In: Silva J. M. C., I. R. Leal, e M. Tabarelli. (Org.). Caatinga. 1ed.* Cham: Springer International Publishing, 2017, v. 1, p. 65-95.
- Legendre, P. and Legendre, L. 2012.** Numerical Ecology, 3rd English edn. Elsevier Science Bv, Amsterdam.
- Lima, D. A. 2007.** Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Agronomia*, 4: 243-274.
- Linhares, A. X. 1981.** Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in the city of Campinas, Sao Paulo, Brazil. *Rev. Brasil. Entomol.* 25: 189-215.
- Lopes, H. S. 1973.** Collecting and rearing Sarcophagidae flies (Diptera) in Brazil during forty years. *Na. Acad. Bras. Ciênc.* 45: 279–291.
- Martorell, C., e E. Peters. 2005.** The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol. Conserv.* 124: 199–207.
- McKinney, M. L. 2002.** Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience* 52:883–890.

- McKinney, M. L., e J. L. Lockwood. 1999.** Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends Ecol. Evol.* 14, 450–453.
- Mulier, P. R., L. D. Patitucci, J. A. Schnack, e J. C. Mariluis. 2011.** Diversity and seasonal dynamics of an assemblage of sarcophagid Diptera in a gradient of urbanization. *J. Insect Sci.* 11: 1-15.
- Murphy, P. G., e A. E. Lugo. 1986.** Ecology of tropical dry forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17: 67-88.
- Nimer, E. 1972.** Climatologia da Região Nordeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica. *Rev. Brasil. Geog.* 34: 3–51.
- Oliveira, D. L., T. F. Soares, e S. D. Vasconcelos. 2016.** Effect of bait decomposition on the attractiveness to species of Diptera of veterinary and forensic importance in a rainforest fragment in Brazil. *Parasit. Res.* 115: 229-455.
- Oliveira, F. M. P., J. D. Ribeiro-Neto, A. N. Andersen, e I. R. Leal. 2017.** Chronic anthropogenic disturbance as a secondary driver of ant community structure: interactions with soil type in Brazilian Caatinga. *Environ. Conserv.* 44:115–123.
- Pape T. 1996.** Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: Diptera). *Memoirs on Entomology, International* 8, 558p.
- Pereira, H. M., P. W. Leadley, V. Proenca, R. Alkemade, J. P. W. Scharlemann, J. F. Fernandez-Manjarrés, M. B. Araújo, P. Balvanera, R. Biggs, W.W. Cheung, L. Chini, D. Cooper, E. L. Gilman, S. Guénette, G. C. Hurtt, H. P. Huntington, G. M. Mace, T. Oberdorff, C. Revenga, P. Rodrigues, R. J. Scholes, e U. R. Sumaila, M. Walpole. 2010.** Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science*, 330, 1496–1501.
- Queiroz, L. P., D. Cardoso, M. F. Fernandes, e M. F. Moro. 2017.** Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. *In: Silva J. M. C., I. R. Leal, e M. Tabarelli. (Org.). Caatinga. 1ed.* Cham: Springer International Publishing, v. 1, p. 23-64.

- Ramos, M. A., P. M. Medeiros, A. L. S. Almeida, A. L. P. Feliciano, e U. P. Albuquerque. 2008.** Can wood quality justify local preferences for firewood in an area of Caatinga (dryland) vegetation? *Biomass Bioenerg.* 32: 503–509.
- Ribeiro, E. M. S., B. A. Santos, V. Arroyo-Rodríguez, M. Tabarelli, G. Souza, e I. R. Leal. 2016.** Phylogenetic impoverishment of plant communities following chronic human disturbances in the Brazilian Caatinga. *Ecology* 97, 1583–1592.
- Ribeiro, E. M. S., V. Arroyo-Rodríguez, B. A. Santos, M. Tabarelli, e I. R. Leal. 2015.** Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. *J. Appl. Ecol.* 52: 611–620.
- Ribeiro-Neto, J. D., X. Arnan, M. Tabarelli, e I. R. Leal. 2016.** Chronic anthropic disturbance causes homogenization of plant and ant communities in the Brazilian Caatinga. *Biodivers. Conserv.* 25: 943–956.
- Rito, K.F., M. Tabarelli, e I. R. Leal. 2017a.** Euphorbiaceae responses to chronic anthropogenic disturbances in Caatinga vegetation: from species proliferation to biotic homogenization. *Plant Ecol.* 218, 749–759.
- Rito, K. F., V. Arroyo-Rodríguez, R. T. de Queiroz, I. R. Leal, e M. Tabarelli. 2017b.** Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. *J. Ecol.* 105, 828–838.
- Roxburgh, S. H., K. Shea, e J. B. Wilson. 2004.** The intermediate disturbance hypothesis: patch dynamics and mechanisms of species coexistence. *Ecology* 85: 359–371.
- Santos, J. C., I. R. Leal, J. S. Almeida-Cortez, G. W. Fernandes, e M. Tabarelli. 2011.** Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. *Trop. Conserv. Sci.* 4: 276–286.

- Schulz, K., K. Voigt, C. Beusch, J. S. Almeida-Cortez, I. Kowarik, A. Walz, e A. Cierjacks. 2016.** Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *Forest Ecol. Manag.* 367, 62–70.
- Silva, J. M. C., L. C. F. Barbosa, I. R. Leal, e M. Tabarelli. 2017.** The Caatinga: Understanding the Challenges. In J. M. C. Silva, I. R. Leal, e M. Tabarelli (Eds.) 2017. *Caatinga; The Largest Tropical Dry Forest Region in South America* (pp. 461-474). Cahm, Springer International Publishing.
- Singh, S. P. 1998.** Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environ. Conserv.* 25, 1–2.
- Siqueira Filho, J. A. 2012.** Flora das Caatingas do Rio São Francisco: História natural e conservação. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, v. 1. 552p.
- Siqueira, F. F. S., J. D. Ribeiro-Neto, M. Tabarelli, A. N. Anderson, R. Wirth, e I. R. Leal. 2017.** Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *J. Trop. Ecol.*, 33: 1-8.
- SNE. 2002.** Projeto técnico para criação do Parque Nacional do Catimbau/PE. Versão final. Sociedade Nordestina de Ecologia (SNE), Recife.
- Sousa, J. R. P., M. C. Esposito, e F. S. Carvalho Filho. 2010.** Composição, abundância e riqueza de Calliphoridae (Diptera) das matas e clareiras com diferentes coberturas vegetais da Base de Extração Petrolífera, bacia do Rio Urucu, Coari, Amazonas. *Rev. Brasil. Entomol.* 54: 270-276.
- Sousa, J. R. P., M. C. Esposito, e F. S. Carvalho Filho. 2011.** Diversity of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera, Oestroidea) in continuous forest and gaps at different stages of regeneration in the Urucu oilfield in western Brazilian Amazonia. *Rev. Brasil. Entomol.* 55: 578-582.

- Sousa, J. R. P., M. C. Esposito, F. S. Carvalho-Filho, e L. Juen. 2014.** The potential use of sarcosaprophagous flesh flies and blowflies for the evaluation of the regeneration and conservation of forest clearings: A case study in the amazon forest. *J. Insect Sci.* 14: 1-5.
- Souza, D. G., J. C. SFAIR, A. S. de Paula, M. F. Barros, K. F. Rito, e M. Tabarelli. 2019.** Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. *Forest EcoL. Manag.* 435: 57-65.
- Tabarelli, M., C. A. Peres, e F. P. L. Melo. 2012.** The ‘few winners and many losers’ paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity. *Biological Conservation* 155:136–140.
- Tabarelli, M., I. R. Leal, F. R. Scarano, e J. M. C. Silva. 2017.** The future of the Caatinga. In J. M. C. Silva, I. R. Leal, e M. Tabarelli (Eds.) 2017. *Caatinga; The Largest Tropical Dry Forest Region in South America* (pp. 461-474). Cahm, Springer International Publishing.
- Tilman, D., M. Clark, D. R. Williams, K. Kimmel, S. Polasky, e C. Packer. 2017.** Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546: 73–81.
- Vairo, K. P., C. A. Mello-Patiu, e C. J. B. Carvalho. 2011.** Pictorial identification key for species of Sarcophagidae (Diptera) of potential forensic importance in southern Brazil. *Rev. Brasil. Entomol.* 55: 333-347.
- Yepes-Gaurisas, D., J. D. Sanchez-Rodriguez, C. A. Mello-Patiu, e E. M. Wolff. 2013.** Synanthropy of Sarcophagidae (Diptera) in La Pintada, Antioquia-Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 61: 1275–1287.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das áreas experimentais – fragmentos de Caatinga no Nordeste do Brasil. **a** e **f** = áreas sob baixo impacto antrópico; **c** e **d** = áreas sob impacto antrópico intermediário; **b** e **e** = áreas sob alto impacto antrópico.

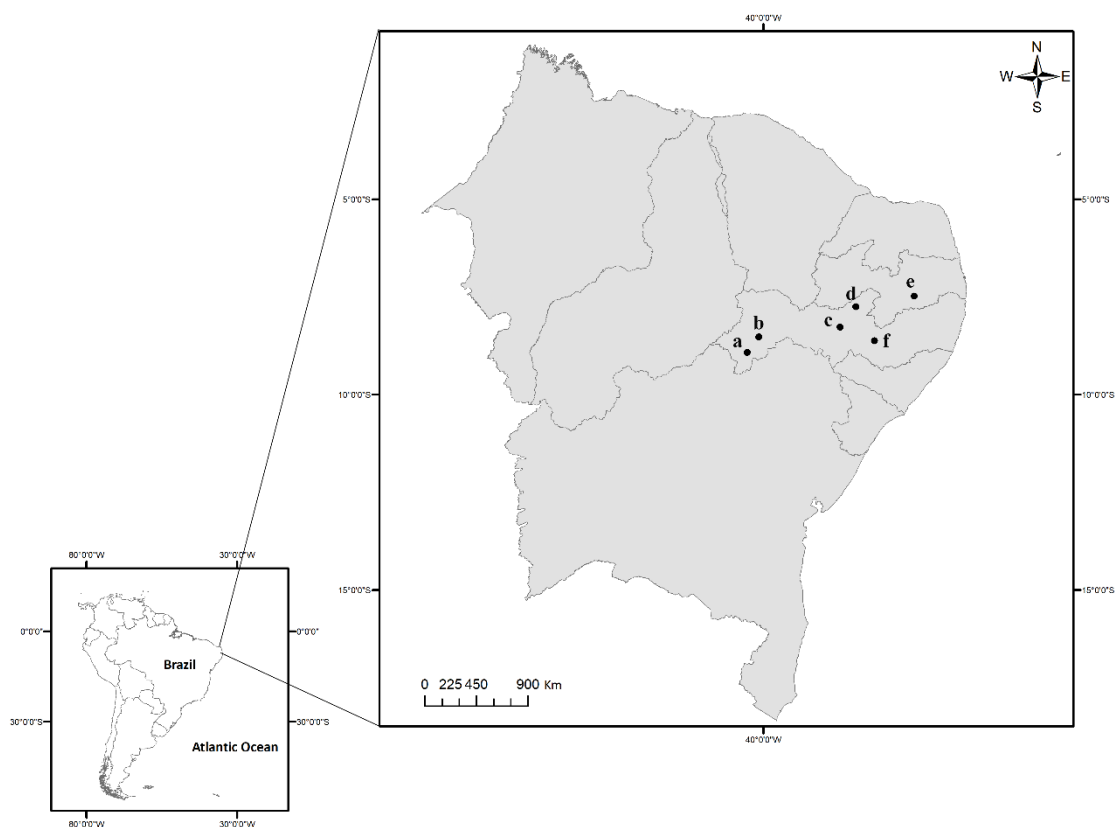


Figura 2 – Análise de componentes principais (PCA) dos pontos amostrais e as métricas de distúrbios crônicos usadas para o cálculo do índice do distúrbio atropogênico crônico (CAD). DH – Distância para rodovias, DR- Distância para estradas, NH- proximidade de casas e NT- proximidade de cidades ou vilas.

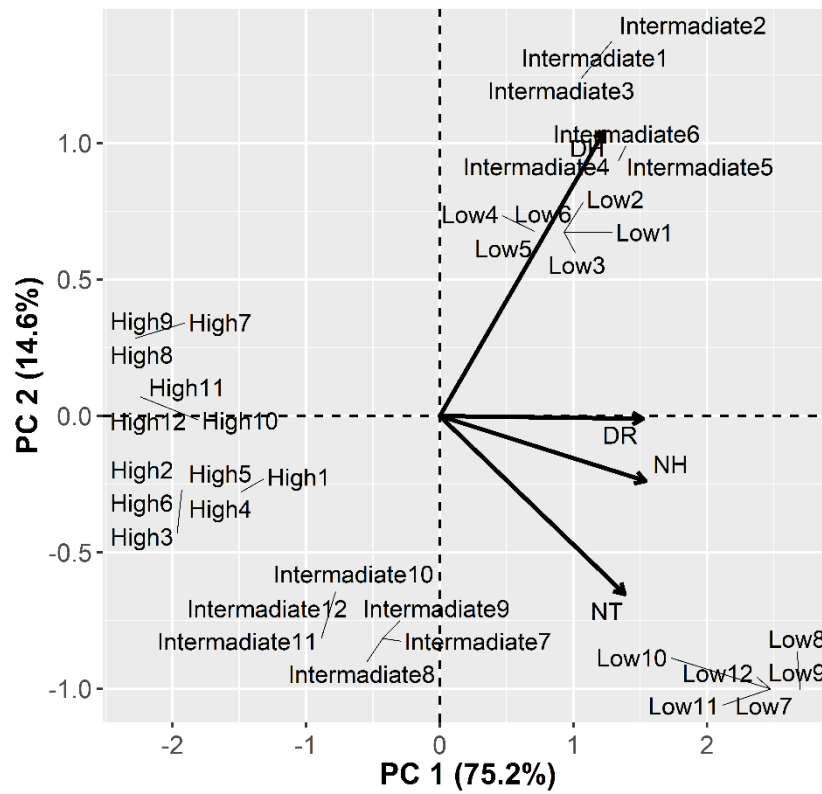


Figura 3 - Perfil de diversidade α seguindo a série de Hill (1973) entre nos diferentes níveis de antropização.

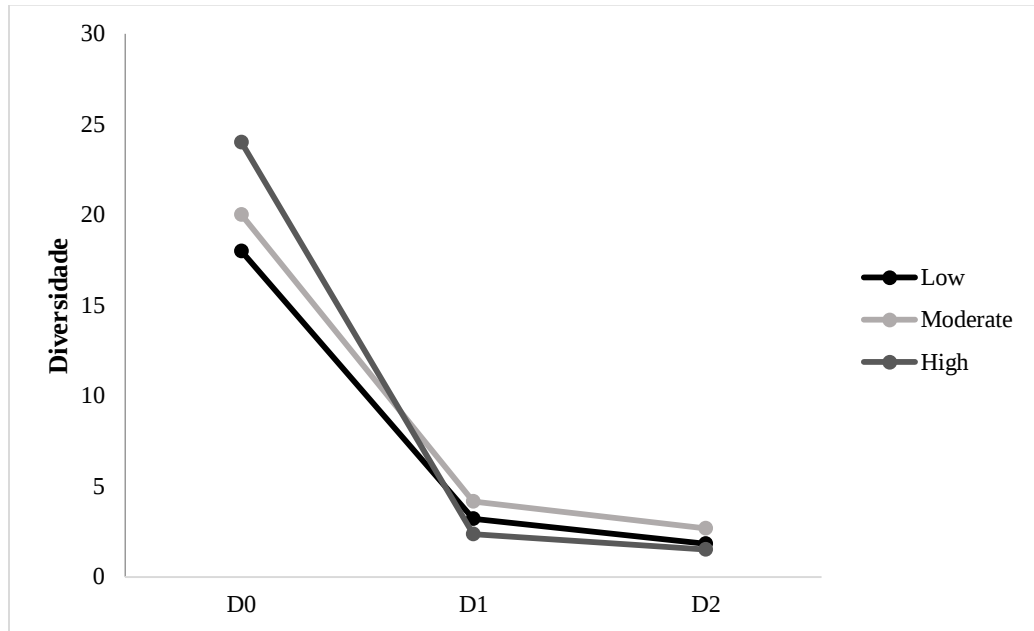


Figura 4- Ranking de dominância para espécies Sarcophagidae (Diptera) de acordo com o grau de impacto antropogênico. $D_{Low} = 0.548$, $D_{Moderate} = 0.374$ e $D_{High} = 0.666$.

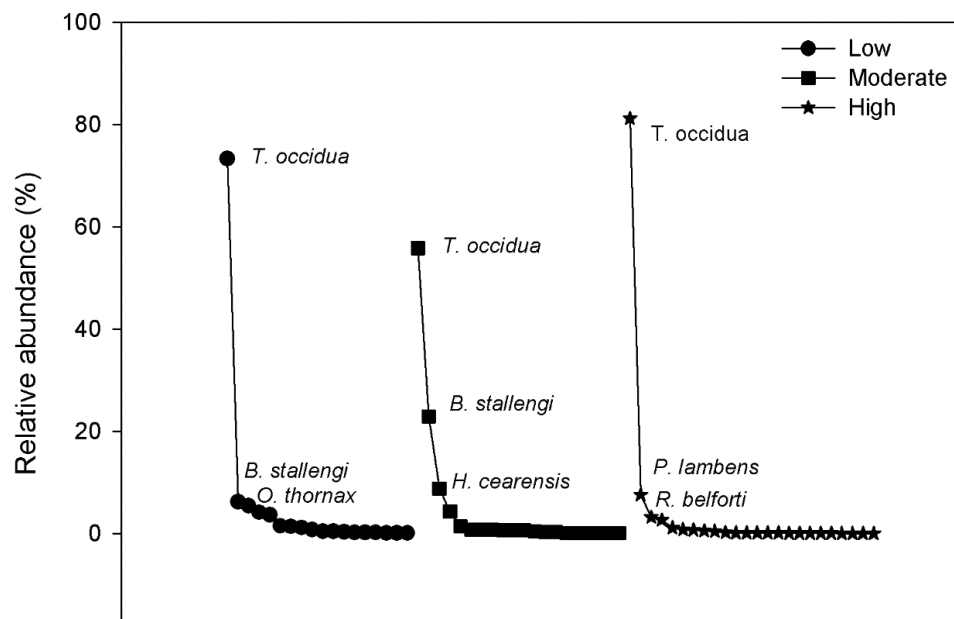


Figura 5 - Análise de Correspondência Canônica (CCA) mostrando a composição da assembleia de Sarcophagidae em relação a precipitação, fitofionomia, tipo de solo e CAD.

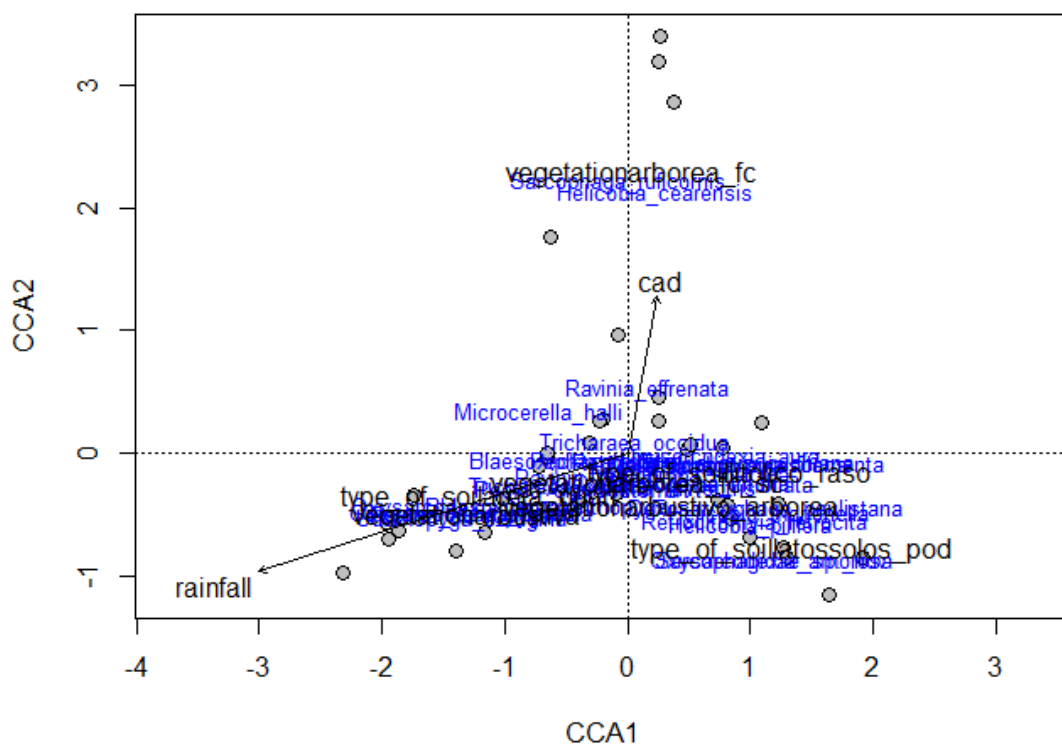


Figura 6 – Análise de ordenação por escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), usando distância de Bray-Curtis para mostrar a distribuição das amostras entre os tratamentos.

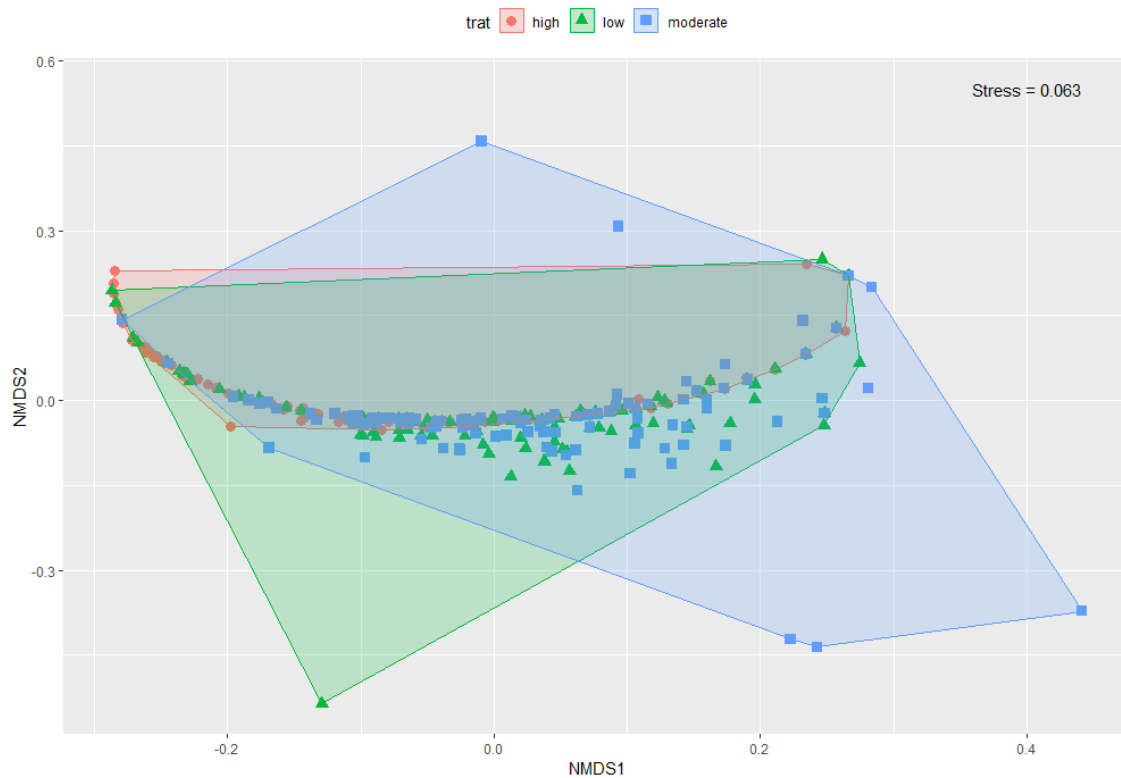
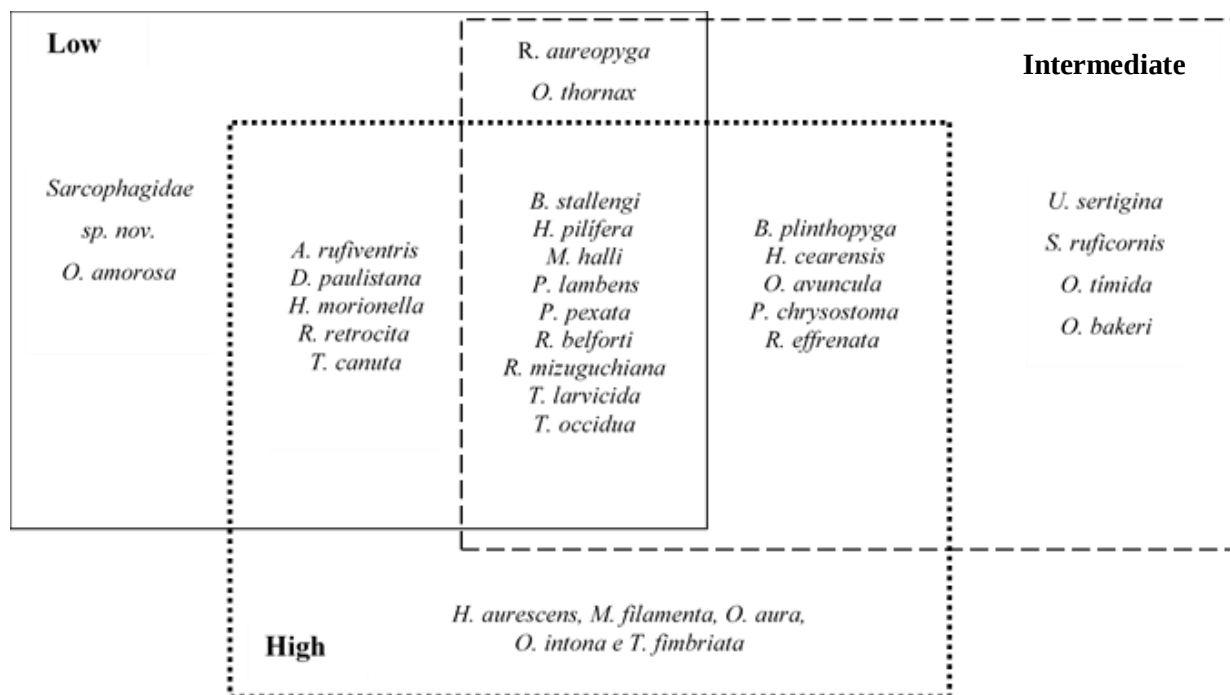


Figura 7- Distribuição das espécies de Sarcophagidae ao longo dos níveis de distúrbios antrópicos crônicos.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das áreas de Caatinga nos diferentes níveis atuação humana, tomando como base indicadores numéricos e categóricos. TB – Tabu bola, CAT- Catimbau, BET- Betânia, AFI- Afogados da Ingazeira, BOQ- Boqueirão.

Sample area	LAI		MAI		HAI	
	TB 1	CAT.	BET.	AFI	BOQ	TB 2
Numerical variables						
Nearest house (km)	2.8	1.2	1.6	0.4	0.4	0.2
Nearest town (km)	6	3.5	3.8	4.7	0.9	2.9
Distance to roads (km)	1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3
Distance to highway (km)	11.5	16.3	25.4	4.2	1.1	2
Categorical variables						
Use in livestock	Low	Low	Moderate	Moderate	High	High
Use in agriculture	Absent	Absent	Absent	Absent	Present	Present
Extraction of wood	Low	Low	Low	Low	High	High

Tabela 2- Abundâncias (A) e frequência relativa (RF) das espécies de Sarcophagidae (Diptera) em ambientes de Caatinga sob diferentes níveis de antropização.

Species	Low		Intermediate		High	
	A	RF (%)	N	RF (%)	N	RF (%)
<i>Argoravinia rufiventris</i>	2	0.23	-	-	18	0.78
<i>Blaesoxipha plinthopyga</i>	-	-	1	0.17	1	0.04
<i>Blaesoxipha stallengi</i>	54	6.24	138	22.92	61	2.66
<i>Dexosarcophaga paulistana</i>	3	0.35	-	-	5	0.22
<i>Helicobia aurescens</i>	-	-	-	-	2	0.09
<i>Helicobia cearensis</i>	-	-	53	8.80	4	0.17
<i>Helicobia morionella</i>	1	0.12	-	-	1	0.04
<i>Helicobia pilifera</i>	36	4.16	1	0.17	17	0.74
<i>Malacophagomyia filamenta</i>	-	-	-	-	1	0.04
<i>Microcerella halli</i>	2	0.23	4	0.66	2	0.09
<i>Oxysarcodexia amorosa</i>	1	0.12	-	-	-	0.00
<i>Oxysarcodexia aura</i>	-	-	-	-	2	0.09
<i>Oxysarcodexia avuncula</i>	-	-	3	0.50	4	0.17
<i>Oxysarcodexia bakeri</i>	-	-	1	0.17	-	0.00
<i>Oxysarcodexia intona</i>	-	-	-	-	3	0.13
<i>Oxysarcodexia thornax</i>	47	5.43	5	0.83	-	0.00
<i>Oxysarcodexia timida</i>	-	-	2	0.33	-	0.00
<i>Peckia chrysostoma</i>	-	-	1	0.17	2	0.09
<i>Peckia lambens</i>	32	3.70	26	4.32	175	7.63
<i>Peckia pexata</i>	13	1.50	9	1.50	26	1.13
<i>Ravinia aureopyga</i>	1	0.12	2	0.33	-	0.00
<i>Ravinia belforti</i>	10	1.16	5	0.83	74	3.23
<i>Ravinia effrenata</i>	-	-	1	0.17	3	0.13
<i>Retrocitomyia mizuguchiana</i>	12	1.39	4	0.66	13	0.57
<i>Retrocitomyia retrocita</i>	4	0.46	-	-	4	0.17
<i>Sarcophaga ruficornis</i>	-	-	5	0.83	-	0.00
<i>Sarcophagidae sp. n.</i>	2	0.23	-	-	-	0.00
<i>Titanogrypa fimbriata</i>	-	-	-	-	1	0.04
<i>Titanogrypa larvicida</i>	7	0.81	4	0.66	11	0.48
<i>Tricharaea canuta</i>	4	0.46	-	-	2	0.09
<i>Tricharaea occidua</i>	634	73.29	336	55.81	1,861	81.16
<i>Udamopyga sertigina</i>	-	-	1	0.17	-	0.00
Total of male specimens	865	100.00	602	100.00	2,293	100.00
<i>Sarcophagidae sp.*</i>	6,448	100	4,195	100	15,407	100

*Fêmeas não identificadas;

Tabela 3 – Resultados da análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre a abundância e riqueza de Sarcophagidae com a precipitação, tipo de solo e o CAD.

Abundância						
	Df	Devaince resid.	Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
Null			35	81.237		
Rainfall	1	0.0406	34	81.196	0.017	0.895
Type of soil	4	12.8332	30	68.363	1.396	0.26
Cad	1	1.7229	29	66.64	0.749	0.393
rsq (mod1)						0.179
rsq (mod1, adj = T)						0.009
Riqueza						
	Df	Devaince resid.	Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
Null			35	343.89		
Rainfall	1	0.788	34	343.1	0.084	0.773
Type of soil	4	60.434	30	282.67	1.612	0.197
Cad	1	10.94	29	271.73	1.167	0.289
rsq (mod2)						0.209

Tabela 4 - Resultados da análise de Percentagem de similaridade (SIMPER), mostrando a abundância média das principais espécies de Sarcophagidae e seu percentual de contribuição para a dissimilaridade entre os grupos sob impacto intermediário (MAI) e alto impacto (HAI).

Species	Group MAI	Group HAI	Contribution %	Cumulative %
	Average abundance	Average abundance		
<i>Tricharaea occidua</i>	8.41	19.81	29.12	29.12
<i>Peckia lambens</i>	2.25	4.37	10.82	39.94
<i>Ravinia belforti</i>	0.75	3.19	6.48	46.42
<i>Helicobia cearensis</i>	2.55	0.5	6.44	52.86
<i>Blaesoxipha stallengi</i>	5.72	3.9	4.91	57.77
<i>Argoravinia rufiventris</i>	-	1.72	4.28	62.05
<i>Helicobia pilifera</i>	0.25	1.75	4.14	66.19
<i>Peckia pexata</i>	1.41	2.08	3.54	69.73
<i>Retrocitomyia mizuguchiana</i>	0.5	1.27	3.06	72.8
<i>Titanogrypa larvicida</i>	0.68	1.6	2.64	75.43
<i>Oxysarcodexia thornax</i>	0.79	0	2.01	77.44
<i>Sarcophaga ruficornis</i>	0.79	0	1.99	79.42
<i>Oxysarcodexia avuncula</i>	0.43	0.5	1.78	81.2
<i>Dexosarcophaga paulistana</i>	-	0.75	1.77	82.97
<i>Retrocitomyia retrocita</i>	-	0.71	1.64	84.62
<i>Ravinia effrenata</i>	0.25	0.6	1.64	86.26
<i>Oxysarcodexia intona</i>	-	0.6	1.55	87.81
<i>Microcerella halli</i>	0.85	0.5	1.48	89.29
<i>Tricharaea canuta</i>	-	0.5	1.38	90.67

3 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Uma tese desenvolvida e estruturada de forma multidisciplinar possibilitou a fixação de novas linhas de investigação no Grupo de Pesquisa Insetos de Importância Forense da Universidade Federal de Pernambuco, além de lançar diretrizes para futuras pesquisas nos espaços taxonômico e ecológico sobre dípteros necrófagos na Caatinga. Embora cada capítulo tenha suas contribuições, apresentamos de forma sumarizada algumas conclusões e futuras perspectivas para o conhecimento taxonômico e ecológico da família Sarcophagidae.

3.1 EIXO TAXONÔMICO:

- As incertezas taxonômicas para *Titanogrypa* (*Cucullomyia*) foram resolvidas, sendo todas as espécies estudadas, *T. albuquerquei*, *T. alvarengai*, *T. larvicida*, *T. luculenta*, *T. ecuatoriana*, *T. pedunculata*, *T. placida* e *T. rubrigaster* consideradas válidas;
- O subgênero *Cucullomyia* Roback, 1954 pode ser reconhecido, principalmente, pela seguinte combinação de caracteres: tufo de cerdas na lateral do escutelo, cerco ápice robusto e arredondado (vista lateral), falos com basifalo muito longo e juxta como um par de lóbulos separados. Porém, pesquisas filogenéticas são necessárias e poderá esclarecer o seu posicionamento dentro de *Titanogrypa*.
- A elaboração de uma chave de identificação para as espécies que ocorrem no território brasileiro facilitará a identificação de nossa fauna e seu melhor conhecimento.
- A descrição de um novo padrão de coloração para a subfamília Sarcophaginae, extrapola o leque de caracteres externos utilizados na identificação dos sarcófagídeos neotropicais;
- O registro de um novo táxon para ciência amplia o número de espécies de Sarcophaginae, além de demonstrar a necessidade de inventários faunísticos em ambientes mega diversos, como as florestas neotropicais;
- A partir do exame detalhado da terminália do gen. nov. foi possível relacioná-lo com os membros que perfaziam a tribo Rafaelini *Rafaelia* Townsend, 1917, *Microplagia*

Townsend, 1915 e *Malacophagula* Bequaert, 1925, uma questão há ser elucidada por futuros estudos;

- A técnica NIR é um método promissor para estudos com espécies similares morfológicamente, uma vez que se mostrou não destrutivo, barato, rápido e eficiente na resolução de problemas taxonômicos, por exemplo, a identificação das fêmeas;
- O NIR foi eficiente e equivalente aos resultados relatados para técnicas moleculares, já que a taxa de diferenciação alcança mais de 98% de confiabilidade.

3.2 EIXO ECOLÓGICO:

- A caatinga abriga uma alta diversidade de sarcófagídeos como destacado no Cap. 4, embora outros estudos são necessários para estimar a verdadeira diversidade família em ambientes de caatinga;
- A estrutura e composição das assembleias de sarcófagídeos se mostraram bons modelos biológicos para o estudo sobre o efeito da intensidade dos distúrbios antropogênicos crônicos sobre assembleias de dípteros. Uma vez que espécies generalistas se portam como vencedoras e as especialistas são afetados negativamente;
- O fato das áreas sob níveis de distúrbios intermediários concentrarem maior diversidade vai de encontro a hipótese do distúrbio intermediário, e revela uma coocorrência de espécies especialistas e generalistas até um limiar de antropização;
- A presença de atividade agropecuária nas áreas sob alto impacto é um fator importante para o sucesso das espécies generalistas, uma vez que utilizam fezes como recurso alimentar ou local de desenvolvimento.
- Espera-se que este estudo sirva de base para futuras pesquisas sobre o efeito do CAD sobre a fauna de moscas sarcosaprofagas.

REFERÊNCIAS

- ABALLAY, F. H. et al. Sarcophagidae (Diptera) de importancia forense en la Puna de Catamarca, Argentina: la ovoviviparidad como ventaja en condiciones de extrema aridez. **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, v. 70, p. 255-266, 2011.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. People and Natural Resources in the Caatinga. In SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.) **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cahm, Springer International Publishing, 2017. 487 p.
- ALDRICH, J. M. New Diptera or two-winged flies in the United States National Museum. **Proceedings of the United States National Museum**, v. 66, p. 1–36, 1925.
- ALVES, A. C. F.; SANTOS, W. E.; CREÃO-DUARTE, J. A. Diptera (Insecta) de importância forense da região Neotropical. **Entomotropica**, v. 29, p. 77-94, 2014.
- ANDERSON, M. J.; WALSH, E D. C. I. PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: What null hypothesis are you testing? **Ecological Monograph**, v. 83, p. 557–574, 2013.
- APAC -Agência Pernambucana de Águas e clima. Monitoramento Hidrológico. Acessível em: <www.apac.pe.gov.br>. Acessado em: 13 de julho de 2017.
- ARNAN, X. et al. A framework for deriving measures of chronic anthropogenic disturbance: Surrogate, direct, single and multi-metric indices in Brazilian Caatinga. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 274-282, 2018.
- ARROYO-RODRIGUEZ, V. et al. Plant *b*-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Journal of Ecology**, v. 101, p. 1449–1458, 2013.
- BARBOSA, R. R. et al. New records of calyptrate dipterans (Fanniidae, Muscidae and Sarcophagidae) associated with the decomposition of domestic pigs in Brazil. **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 104, p. 923-926, 2009.
- BARBOSA, T. M.; MELLO-PATIU, C. A.; VASCONCELOS, S. D. Flesh fly (Diptera: Sarcophagidae) survey on coastal environments in northeastern Brazil: New records and notes on the expanded geographical distribution. **Entomotropica**, v. 30, p. 112-117, 2015.
- BARBOSA, T. M. et al. 2017. Diversity of sarcosaprophagous Calyptratae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. **Environmental Entomology**, v. 46, p. 460-469, 2017.
- BARROS, R. M.; MELLO-PATIU, C. A.; PUJOL-LUZ, J. R. Sarcophagidae (Insecta, Diptera) associados à decomposição de carcaças de *Sus scrofa* Linnaeus (Suidae) em área de cerrado do Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, p. 606-609, 2008.
- BASELGA A.; ORME, C. D. L. betapart: An R package for the study of beta diversity. **Methods Ecology Evolution**, v. 3, p. 808-812, 2012.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Betânia, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005a. 25p.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Afogados da Ingazeira, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005b. 26p.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Boqueirão, estado da Paraíba.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005c. 21p.

BUENAVENTURA, E.; PAPE, T. Revision of the New World genus *Peckia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Sarcophagidae). **Zootaxa**, v. 3622, p. 001-087, 2013.

_____. Phylogeny of the *Peckia*-genus group: evolution of male genitalia in the major necrophagous guild of Neotropical flesh flies (Diptera: Sarcophagidae). **Organisms Diversity & Evolution**, v. 15, p. 301-331, 2015.

_____. Phylogeny, evolution and male terminalia functionality of Sarcophaginae (Diptera: Sarcophagidae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 183, p. 808–906, 2018.

BUENAVENTURA, E.; WHITMORE, D.; PAPE, T. Molecular phylogeny of the hyper diverse genus *Sarcophaga* (Diptera: Sarcophagidae), and comparison between algorithms for identification of rogue taxa. **Cladistics**, v. 33, p. 109-133, 2017.

BYRD, J. H.; CASTNER, J. L. **Forensic entomology: The utility of arthropods in legal investigations**, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 2010. 708p.

CARMO, R. F. R.; VASCONCELOS, S. D. Assemblage of Necrophagous Diptera in Atlantic Insular Environments and Response to Different Levels of Human Presence. **Neotropical Entomology**, v. 45, p. 471-481, 2016.

CARVALHO, C. J. B.; MELO-PATIU, C. A. Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, p. 390-406, 2008.

CARVALHO, L. M. L.; LINHARES, A. L. Seasonality of insect successions and pig carcass decomposition on a natural forest area in Southeastern Brazil. **Journal Forensic Science**, v. 46, p. 604-608, 2001.

CARVALHO-FILHO, F. D. S.; ESPOSITO, M. C.; AZEVEDO SILVA, A. A further new species of *Sarcophagtiopsis* Hall (Diptera: Sarcophagidae) associated with faeces of the disk-winged bat (*Thyroptera Spix*: Chiroptera) in Brazil and the redescription of the female terminalia of *S. cuneata* (Townsend). **Zootaxa**, v. 3889, p. 118–126, 2014.

Carvalho-Filho, F.S. et al. *Peckia veropeso* sp. nov., a flesh fly (Diptera: Sarcophagidae) from the Brazilian Amazon associated with riparian habitats. **Zootaxa**, v. 4067, p. 233-238, 2016.

CHAO, A. et al. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monograph**, v. 84, p. 45–67, 2014.

CHISTÉ, M. N. et al. Intensive land use drives small-scale homogenization of plant and leafhopper communities and promotes generalists. **Oecologia**, v. 186, p. 529-540, 2018.

CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. **Science**, v. 199, p. 1302–1310, 1978.

CUMMING, J. M.; WOOD, D. M. Adult morphology and terminology. In: BROWN, B. V. et al. (Eds.), **Manual of Central American Diptera**. Vol. 1. NRC Research Press, Ottawa, Canada, 2009. 714 p.

d'ALMEIDA, J. M.; MELLO, R. P. Comportamento de dípteros muscóides frente a substratos de oviposição, em laboratório, no Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 91, p. 131-136, 1996.

DODGE, R. H. 1965. The Sarcophagidae (Diptera) of the West Indies. I. The Bahama Islands. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 58, p. 474–497, 1965.

DOWNES, W. L. Family Sarcophagidae. Pp. 933-961 In: STONE, A. et al. (eds), **A catalog of the Diptera of America north of Mexico**. U.S. Dept. of Agric., Agric. Handbk v. 276, 1965. 1696 pp.

DUFEEK, M. I. et al. Assessment of the abundance and diversity of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in sites with different degrees of human impact in the Iberá Wetlands (Argentina). **Journal of Medical Entomology**, v. 53, p. 837-835, 2016.

FARIA, L. S. et al. Insects associated with pig carrion in two environments of the Brazilian savana. **Neotropical Entomology**, 47, p. 181-198, 2018.

FORSYTH, A. B.; ROBERTSON, R. J. K reproductive strategy and larval behavior of the pitcher plant Sarcophagid fly, *Blaesoxipha fletcheri*. **Canadian Journal of Zoology**, v. 53, p. 174-179, 1975.

GIROUX, M.; PAPE, T.; WHEELER, T. A. Towards a phylogeny of the flesh flies (Diptera: Sarcophagidae): morphology and phylogenetic implications of the acrophallus in the subfamily Sarcophaginae. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 158, p. 740–778, 2010.

GREENBERG, B. **Flies and Disease, Ecology, Classification, and Biotic Association**. Vol. I, Princeton, NJ, Princeton University Press. 1971. 586p.

HALL, D. G. New Texas Sarcophaginae (Diptera: Calliphoridae). **Entomological News**, v. 42, p. 280–286, 1931.

HANSKI, I. Habitat Loss, the Dynamics of Biodiversity, and a Perspective on conservation. **Ambio**, v. 40, p. 248–255, 2011.

HILL, M. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, p. 427–432, 1973.

INSA 2012. Sinopse do Censo Demográfico para o Semi-árido. Brasileiro. INSA, Campina Grande, Brazil.

KUTTY, S. N. et al. Molecular phylogeny of the Calyptratae (Diptera, Cyclorrhapha) with an emphasis on the superfamily Oestroidea and the position of Mystacinobiidae and McAlpine's fly. **Systematic Entomology**, v. 35, p. 614–635, 2010.

LEAL, L. C.; ANDERSEN, A. N.; LEAL, I. R. Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. **Oecologia**, v. 174, p. 173–181, 2014.

LEAL, L. C.; ANDERSEN, A. N.; LEAL, I. R. Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. **Biotropica**, v. 47, p. 468–474, 2015.

LEAL, R. L. et al. Ants of the Caatinga: Diversity, biogeography, and functional responses to anthropogenic disturbance and climate change. In: SILVA J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Org.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cahm, Springer International Publishing, 2017. 487 p.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical Ecology, 3rd English edn. Elsevier Science Bv, Amsterdam. 2010. 1006 p.

LIMA, D. A. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Agronomia**, v. 4, p. 243–274, 2007.

LINHARES, A. X. Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in the city of Campinas, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 25, p. 189–215, 1981.

LOPES, H. S. Algumas espécies de Sarcophaga do Brasil (Dip. Sarcophagidae). **Revista de Entomologia**, v. 5, p. 38–46, 1935.

LOPES, H. S. *Sarcophaga luculenta*, nov. nom. (Dipt.). **Revista de Entomologia**, v. 8, p. 209, 1938.

LOPES, H. S. Family Sarcophagidae. In: Papavero, N. (Ed.), **A catalogue of the Diptera of the Americas south of the United States**. Departamento de Zoologia, Secretaria de Agricultura, São Paulo, 1969. 88 pp.

LOPES, H. S. Collecting and rearing Sarcophagidae flies (Diptera) in Brazil during forty years. **Anais da Academia Brasileira Ciência**, v. 45, p. 279–291, 1973.

LOPES, H. S. On the genus *Cucullomyia* Roback (Diptera, Sarcophagidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 36, p. 745–757, 1976.

LOPES, H. S. The importance of the mandible and clypeal arch of the first instar larvae in the classification of the Sarcophagidae (Diptera). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 26, p. 293–326, 1982.

LOPES, H. S. Old and new Andean Sarcophagidae (Diptera). **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 83, p. 101–111, 1988.

LOPES, H. S. Sobre “*Rafaelia*” Townsend e “*Sarcodexia*” Townsend (Diptera, Sarcophagidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 13, p. 225–233, 1953.

LOPES, H. S. Redescription of the holotypes of some neotropical Sarcophagidae (Diptera) described by C.H.T. Townsend. **Canadian Entomologist**, v. 111, p. 149-160, 1979.

MARTORELL, C.; PETERS, E. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. **Biological Conservation**, v. 124, p.199–207, 2005.

MCKINNEY, M. L. Urbanization, biodiversity, and conservation. **BioScience**, v. 52, p. 883–890, 2002.

MCKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. **Trends Ecology Evolution**, v.14, p. 450–453, 1999.

MELLO-PATIU, C. A. Family Sarcophagidae. **Zootaxa**, v. 4122, p. 884-903, 2016.

MELLO-PATIU, C. A.; PAPE, T. Definitions of *Dexosarcophaga* Townsend, 1917 and *Sarcofartiopsis* (Hall, 1933), including two new species and redescrptions of *Sarcofartiopsis cuneata* (Townsend, 1935) (Diptera, Sarcophagidae). **Boletín Entomología Venezolana**, v. 15, p. 181–194, 2000.

MELLO-PATIU, C. A. et al. Sarcophagid flies (Insecta, Diptera) from pig carcasses in Minas Gerais, Brazil, with nine new records from the Cerrado, a threatened neotropical biome. **Revista de Brasileira Entomologia**, v. 58, p. 142–146, 2014.

MÉNDEZ, J.; MELLO-PATIU, C. A.; PAPE, T. New flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) from coastal mangroves of Panama with taxonomic notes and keys. **Jaournal of Natural History**, v. 42, p. 249-257, 2008.

Mexico, 2017. **Metodología del ranking (2016) de las 50 ciudades más violentas del mundo**. Consejo Ciudadano para la Seguridad Pública y Justicia Penal, Available at <http://www.seguridadjusticiaypaz.org.mx/biblioteca/prensa/send/6-prensa/239-las-50-ciudades-mas-violentas-del-mundo-2016-metodologia>, accessed on 12 June 2017.

MORETTI, T. C. et al. Insects on decomposing carcasses of small rodents in a secondary forest in Southeastern Brazil. **European Journal of Entomology**, v. 105, p. 691- 696, 2008.

Mulieri, P. R. et al. Diversity and seasonal dynamics of an assemblage of sarcophagid Diptera in a gradient of urbanization. **Journal of Insect Science**, v. 11, p. 1-15, 2011.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67-88, 1986.

NIMER, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, p. 3–51, 1972.

OLIVEIRA, D. L.; VASCONCELOS, S. D. Diversity, daily flight activity and temporal occurrence of necrophagous Diptera associated with decomposing carcasses in a semi-arid environment. **Neotropical Entomology**, v. 47, p. 470-477, 2018.

OLIVEIRA, D. L.; SOARES, T. F.; VASCONCELOS, S. D. Effect of bait decomposition on the attractiveness to species of Diptera of veterinary and forensic importance in a rainforest fragment in Brazil. **Parasitology Research**, v. 115, p. 229-455, 2016.

OLIVEIRA, F. M. P. et al. Chronic anthropogenic disturbance as a secondary driver of ant community structure: interactions with soil type in Brazilian Caatinga. **Environmental Conservation**, v. 44, p. 115–123, 2017.

OLIVEIRA, T. C.; VASCONCELOS, S. D. Insects (Diptera) associated with cadavers at the Institute of Legal Medicine in Pernambuco, Brazil: implications for forensic entomology. **Forensic Science International**, v. 198, p. 97–102, 2010.

PAPE T. **Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: Diptera)**. Memoirs on Entomology, International 8, 1996. 558p.

PAPE, T.; DAHLEM, G.A. Sarcophagidae. In: BROWN, B. V. et al.(Eds.), **Manual of Central American Diptera**. Vol. 2. NRC Research Press, Ottawa, 2010. 728 p.

PAPE, T.; BLAGODEROV, V.; MOSTOVSKI, M. B. Order Diptera Linnaeus, 1758. In: ZHANG, Z. Q. (Ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. **Zootaxa**, v. 3148, 2011. 237 pp.

PAPE, T.; WOLFF, M.; AMAT, E. Los Califóridos, Éstridos, Rinofóridos y Sarcófágidos (Diptera: Calliphoridae, Oestridae, Rhinophoridae, Sarcophagidae) de Colombia. **Biota Colombiana**, v. 5, p. 201-208, 2004.

PEREIRA, H. M. et al. Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. **Science**, v. 330, p. 1496–1501, 2010.

QUEIROZ, L. P. et al. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. In: SILVA J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Org.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cahm, Springer International Publishing, 2017. 487 p.

RAMOS, M. A. et al. Can wood quality justify local preferences for firewood in an area of Caatinga (dryland) vegetation? **Biomass Bioenergy**, v. 32, p. 503–509, 2008.

REEVES, W. K.; PAPE, T.; ADLER, P. H. Biological notes on New World Sarcophagidae (Diptera). **Studia Dipterologica**, v. 2, p. 497-500, 2000.

RIBEIRO, E. M. S. et al. Phylogenetic impoverishment of plant communities following chronic human disturbances in the Brazilian Caatinga. **Ecology**, v. 97, p. 1583–1592, 2016.

RIBEIRO, E. M. S. et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, p. 611–620, 2015.

RIBEIRO-NETO, J. D. et al. Chronic anthropic disturbance causes homogenization of plant and ant communities in the Brazilian Caatinga. **Biodiversity Conservation**, v. 25, p. 943–956, 2016.

RITO, K. F.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Euphorbiaceae responses to chronic anthropogenic disturbances in Caatinga vegetation: from species proliferation to biotic homogenization. **Plant Ecology**, v. 218, p. 749-759, 2017a.

RITO, K. F. et al. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, p. 828–838, 2017b.

ROBACK, S. S. 1954. The evolution and taxonomy of the Sarcophagidae. **Illinois Biological Monographs**, v. 23, p. 1–181, 1954.

ROSA, T. A. et al. Arthropods associated with pig carrion in two vegetation profiles of Cerrado in the state of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 424–434, 2011.

ROXBURGH, S. H.; SHEA, K.; WILSON, J. B. The intermediate disturbance hypothesis: patch dynamics and mechanisms of species coexistence. **Ecology**, v. 5, p. 359–371, 2004.

SANTOS, J. C. et al. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, p. 276-286, 2011.

SCHULZ, K. et al. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62–70, 2016.

SILVA, J. M. C. et al. The Caatinga: Understanding the Challenges. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cahm, Springer International Publishing, 2017. 487 p.

SINGH, S. P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental Conservation**, v. 25, p. 1–2, 1998.

SIQUEIRA FILHO, J. A. **Flora das Caatingas do Rio São Francisco: História natural e conservação**. 1ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, v. 1, 2012. 552p.

SIQUEIRA, F. F. S. et al. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. **Journal Tropical of Ecology**, v. 33, p. 337-344, 2017.

SNE. **Projeto técnico para criação do Parque Nacional do Catimbau/PE**. Versão final. Sociedade Nordestina de Ecologia (SNE), Recife, 2002.

SOUSA, J. R. P.; ESPOSITO, M. C.; CARVALHO FILHO, F. S. Composição, abundância e riqueza de Calliphoridae (Diptera) das matas e clareiras com diferentes coberturas vegetais da Base de Extração Petrolífera, bacia do Rio Urucu, Coari, Amazonas. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, p. 270-276, 2010.

_____. Composition, abundance and richness of Sarcophagidae (Diptera, Oestroidea) in forests and forest gaps with different vegetation cover. **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 20–27, 2011.

_____. Diversity of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera, Oestroidea) in continuous forest and gaps at different stages of regeneration in the Urucu oilfield in western Brazilian Amazonia. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 578-582, 2011.

_____. Distribution and abundance of necrophagous flies (Diptera: Calliphoridae and Sarcophagidae) in Maranhão, northeastern Brazil. **Journal of Insect Science**, v. 15, p. 70–79, 2015.

SOUSA, J. R. P. et al. Evaluating the effects of different vegetation types on necrophagous fly communities (Diptera: Calliphoridae; Sarcophagidae): Implications for conservation. **PLoS One**, v. 11(10): e0164826, 2016.

_____. The potential use of sarcosaprophagous flesh flies and blowflies for the evaluation of the regeneration and conservation of forest clearings: A case study in the amazon forest. **Journal of Insect Science**, v. 14, p. 1-5, 2014.

SOUZA, D. G. et al. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 57-65, 2019.

TABARELLI, M.; PERES, C. A.; MELO, F. P. L. The ‘few winners and many losers’ paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity. **Biological Conservation**, v. 155, p. 136–140, 2012.

TABARELLI, M. et al. The future of the Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cahm, Springer International Publishing, 2017. 487 p.

TILMAN, D. et al. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. **Nature**, v. 546, p. 73–81, 2017.

VAIRO, K. P.; MELLO-PATIU, C. A.; CARVALHO, C. J. B. Pictorial identification key for species of Sarcophagidae (Diptera) of potential forensic importance in southern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 333–347, 2011.

VALVERDE-CASTRO, C. et al. Flesh flies (Diptera: Sarcophagidae: Sarcophaginae) from the Colombian Guajira biogeographic province, an approach to their ecology and distribution. **Zoologia**, v. 34, e12277, 2018.

VASCONCELOS, S. D. et al. Diptera of medico-legal importance associated with pig carrion in a tropical dry forest. **Journal of Medical Entomology**, v. 53, p. 1131-1139, 2016.

VASCONCELOS, S. D.; SOARES, T. F.; COSTA, D. L. Multiple colonization of a cadaver by insects in an indoor environment: First record of *Fannia trimaculata* (Diptera: Fanniidae) and *Peckia* (*Peckia*) *chrysostoma* (Sarcophagidae) as colonizers of a human corpse. **International Journal of Legal Medicine**, v. 128, p. 229-233, 2014.

VASCONCELOS, S. D.; BARBOSA, T. M.; OLIVEIRA, T. P. B. Diversity of forensically-important dipteran species in different environments in Northeastern Brazil, with notes on the attractiveness of animal baits. **The Florida Entomologist**, v. 98, p. 770-775, 2015.

WHITMORE, D.; PAPE, T.; CERRETTI, P. (2013) Phylogeny of Heteronychia: the largest lineage of *Sarcophaga* (Diptera: Sarcophagidae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 169, p. 604–639, 2013.

YEPES-GAURISAS, D. et al. Synanthropy of Sarcophagidae (Diptera) in La Pintada, Antioquia-Colombia. **Revista de Biología Tropical**, v. 61, p. 1275–1287, 2013.

APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO NA ACTA TROPICA

A NOVEL USE OF INFRA-RED SPECTROSCOPY (NIRS AND ATR-TIR) COUPLED WITH VARIABLE SELECTION ALGORITHMS FOR THE IDENTIFICATION OF INSECT SPECIES (DIPTERA: SARCOPHAGIDAE) OF MEDICO-LEGAL RELEVANCE

Taciano M. Barbosa^{1¶}, Leomir A. S. de Lima^{2¶}, Marfran C. D. dos Santos^{2¶}, Simão D. Vasconcelos^{1¶}, Renata A. Gama^{3¶}, Kássio M. G. Lima^{2¶*}

¹Insects of Forensic Importance Research Group, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, Recife – PE, 50.670-420, Brazil.

²Biological Chemistry and Chemometrics, Institute of Chemistry, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal – RN, 59.072-970, Brazil.

³Laboratory of Insect and Vectors, Department of Microbiology and Parasitology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal – RN, 59.072-970, Brazil.

*** Corresponding author:** Prof. Dr. Kássio M.G. Lima, Institute of Chemistry, Biological Chemistry and Chemometrics, UFRN, Natal - RN, 59.072-970, Brazil; E-mail: kassiolima@gmail.com; Tel.: +55(84)3342 2323

¶ These authors contributed equally to this work.

Abstract: Unequivocal identification of fly specimens is an essential requirement in forensic entomology. Herein, a simple, non-destructive and rapid method based on two vibrational spectroscopy techniques [Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) and attenuated total reflection Fourier-transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy] coupled with variable selection techniques such as genetic algorithm-linear discriminant analysis (GA-LDA) and successive projection algorithm-linear discriminant analysis (SPA-LDA) were applied for identifying and discriminating six species of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) native to Neotropical regions. This novel approach is based on the unique spectral “fingerprints” of their biochemical composition. One hundred sixty (160) NIRS and FT-IR specimens (120 male, 40 female) were acquired; different pre-processing methods such as baseline correction, derivative and Savitzky-Golay smoothing were also performed. In addition, the multivariate classification accuracy results were tested based on sensitivity, specificity, positive (or precision) and negative predictive values, Youden index, positive and negative likelihood ratios. Principal components analysis (PCA) was employed for male vs. female category using NIRS, strongly showing the separation between the classes with only three principal components and 99% explained variance. Differentiation between the genera *Oxysarcodexia*, *Peckia* and *Ravinia* was efficiently confirmed by both techniques. In comparison with other biological methods, this approach represents an effective choice for fast and non-destructive identification in forensic entomology.

Keywords: NIRS; forensic entomology; ATR-FTIR; SPA-LDA; GA-LDA; PCA.

Introduction

Accurate identification of necrophagous insect species is a major obstacle for strengthening forensic entomology worldwide. This is best illustrated in the case of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae), a taxon that has been frequently found on cadavers resulting from homicides and natural death (Oliveira and Vasconcelos, 2010). Sarcophagidae is a highly diverse family with over 3,200 described species (Pape et al, 2011), of which some have medical and veterinary relevance as causal myiasis agents and as vectors of microorganisms which are pathogenic to humans and other animals (Greenberg, 1971). Recently, sarcophagids have also been used as indicators of environmental quality due to their fast response to habitat modification, such as deforestation in the Amazon (De Sousa et al, 2014) and anthropogenic action in coastal environments (Barbosa et al, 2017).

Taxonomical identification of Sarcophagidae is hindered by their similar morphology - which relies mostly on laborious examination of male genitalia - and inadequate documentation of their thermal biological histories (Silva and Mello-Patiu, 2010). Since cadavers predominantly attract females for feeding and larviposition, identification is left incomplete in most forensic cases. To overcome such obstacles, DNA-based techniques for barcoding (Madeira et al, 2016) and analytical methods (e.g., characterization of cuticular hydrocarbons) (Braga et al, 2013) based on gas and liquid chromatography-mass spectrometry (Carvalho et al, 2001; Gosselin et al, 2010) have been developed.

Although these techniques present high sensitivity, they have several drawbacks in the analysis of insect tissues such as being an invasive and destructive procedure and the use of bulky instrumentation that impairs in-field monitoring. A rapid, inexpensive and non-destructive method for species identification with the potential for high throughput would thus be desirable as an alternative to morphology-based methods. However, most techniques require sophisticated equipment and expensive reagents, and frequently demand a large number of

individuals - a major hindrance given the fact that sarcophagids are usually found in high species richness and low abundance in nature (Sousa et al, 2014).

In this scenario, vibrational spectroscopies such as near infra-red (NIR) and attenuated total reflection Fourier-transform infrared (FTIR) are label-free, rapid, non-destructive techniques that are cost effective and require little sample preparation. They can be used to determine the insect metabolic identity (lipids, proteins, cellular processes) and to differentiate between species based on their absorbance characteristics because the cuticle of each species may have a unique chemical composition (Lima et al, 2014). Thus, it can be as specific as barcoding, without the need for time-consuming and expensive DNA extraction and analysis techniques. Because absorption is determined by the internal and external biochemical composition of the organism, a species will have a "fingerprint" based on its particular absorption spectrum (Rodríguez-Fernández et al, 2010).

NIR applications in entomology have varied so far. It has been useful to determine the age and species of *Anopheles gambiae* sensu lato complex (Sikulu et al, 2010), to detect flunitrazepan in larvae, puparia and adults of necrophagous blow flies (*Chrysomya megacephala*, *Chrysomya albiceps* and *Cochliomyia macellaria*) (Oliveira et al, 2014; Baia et al, 2016), to discriminate live individuals of two *Drosophila* species (*D. subobscura* and *D. obscura*) (Fischnaller et al, 2012), to identify stored grain beetles (Jia et al, 2007), to differentiate species of Lepidoptera (Dowell et al, 2005), and to determine gender in fly pupae (Dowell et al, 1999).

However, this technique generates several hundreds or even thousands of variables that exist in the near infra-red/infra-red spectra. In addition, redundancy and collinearity are widespread phenomena among these variables, since they contain interference coming from background, noise and overlapping bands, challenging a high-quality calibration model for unknown sample prediction. Therefore, the use of appropriate chemometrics tools for

multivariate calibration and classification is largely responsible for advancing spectroscopic techniques. These include partial least squares (PLS) (Dupuy et al, 2010), principal component regression (PCR) (Xie and Kalivas, 1997) artificial neural networks (ANN) (Makino et al, 2010) and least squares-vector support machine (LS-SVM) (Shao et al, 2012). Further, there is still the principal component analysis (PCA) for initial data reduction (Marques et al, 2013), hierarchical cluster analysis (HCA) to analyze groups in a set of data on the basis of spectral similarities (Martin et al, 2011) and linear discriminant analysis (LDA) to classify unknown samples into predetermined groups (Cheung et al, 2011). Finally, a well-succeeded approach to overcome problems with redundancy or collinearity is the successive projections algorithm (SPA) (Pontes et al, 2005) in conjunction with linear discriminant analysis (LDA) and genetic algorithm (GA) (Tapp et al, 2003).

The choice and development of the multivariate classification approaches ensure reliable insect identification using NIR/IR spectroscopy. For instance, multivariate classification quality features such as sensitivity, specificity, positive and negative predictive values, Youden index, and positive and negative likelihood ratios should be calculated to ensure the validity of the results in accordance with International guidelines (Costa et al, 2016).

Herein, we have evaluated a simple, non-destructive and rapid method based on two vibrational spectroscopy techniques (NIR and ATR-FTIR) coupled with variable selection techniques such as genetic algorithm-linear discriminant analysis (GA-LDA) and successive projection algorithm-linear discriminant analysis (SPA-LDA) for the identification and discrimination of Sarcophagidae species. In our study, sample preparation, spectroscopic measurement, data preprocessing, feature selection and analytical validation were developed. Specifically, we aimed to: i) test the validity of NIR and ATR-FTIR for identifying flesh fly species native to Neotropical regions; ii) compare the effectiveness of the two methods for taxonomical purposes; and iii) infer on the applicability of NIR as an accessible tool for species

identification in comparison to morphological methods. To our knowledge, this is the first application of PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA to differentiate insect samples based on spectral data.

Material and Methods

Insects

Specimens used in this study were collected from different locations in Pernambuco State, Northeastern Brazil, between October/2012 and August/2013. Collecting was done using traps baited with decomposing chicken liver and fish, previously exposed for 48 h at 24 °C. The field-caught flies were killed with ethyl acetate for morphology-based species identification. Ten male specimens of each species were identified – *Oxysarcodexia timida* (OTI), *Oxysarcodexia thornax* (OT), *Peckia chrysostoma* (PC), *Peckia lambens* (PS), *Ravinia belforti* (RF) and *Tricharaea occidua* (TA) and 40 unidentified female individuals were selected for the analyses. These species were chosen due to their forensic and/or medical relevance and ubiquitous presence in several environments in the Neotropical Region (Vasconcelos et al, 2015). Prior to the analysis, specimens were removed from the alcohol and left to dry on absorbent tissue paper for at least 10 minutes, to allow for alcohol evaporation.

NIR spectroscopy

NIR spectral [$n = 60$, 20 *Peckia chrysostoma*, 20 *Peckia lambens*, 20 *Ravinia belforti*] measurements were performed using an Antaris MX FT-NIR spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific Inc., USA) equipped with a transreflectance fiber optic probe. The NIR spectra were obtained over a range of 10,000-4000 cm^{-1} , or 1000-2500 nm, and were recorded with a spectral resolution of 32 cm^{-1} , with 32 co-added scans. The time measurement was 26 s (32

scans) per spectrum. The transfectance probe was washed with ethanol (70% v/v) and dried using tissue paper after each sample. Cleanliness of the transfectance probe was verified by collecting an absorbance spectrum of the probe using the most recently collected background as a reference. Spectral measurements were done in an acclimatized room under controlled temperature of 22°C and 60% relative air humidity. Samples were allowed to equilibrate to this temperature before the analysis.

ATR-FTIR spectroscopy

IR spectra [$n = 160$, 60 male (2 spectra), 40 female] were collected from each individual insect using the Bruker Lumus FTIR spectrometer with motorized ATR crystal (Bruker Optics Ltd, Coventry, U.K.). Prior to analyzing each specimen, the diamond crystal within the spectrometer was washed and a background spectrum was obtained to account for atmospheric composition.

Chemometrics methods: PCA-LDA, SPA-LDA, GA-LDA and PCA

LDA is a supervised linear transformation that projects the variables (wavenumbers, for example) into a variable-reduced space, which is optimal for discrimination between treatment classes. An LDA seeks for a projection matrix such that Fisher criterion (i.e. the ratio of the between-variance scatter to the within-class variance) is maximized after the projection. The variables created through LDA (factors) are linear combinations of the wavenumber-absorbance intensity values (Martin et al, 2007). Thus, the use of LDA for identification or classification of spectral data generally requires appropriate variable selection procedures (Silva et al, 2013). In the present study, the PCA, SPA and GA were adapted for this function. In the PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA models, the validation set was used to guide the variable selection, a strategy to avoid overfitting. The optimum number of variables for SPA-

LDA and GA-LDA was determined from the minimum of the cost function G calculated for a given validation data set as:

$$G = \frac{1}{N_V} \sum_{n=1}^{N_V} g_n, \quad (1)$$

where g_n is defined as

$$g_n = \frac{r^2(x_n, m_{I(n)})}{\min_{I(m) \neq I(n)} r^2(x_n, m_{I(m)})} \quad (2)$$

where $I(n)$ is the index of the true class for the n^{th} validation object x_n .

In the GA-LDA model, the mutation and reproduction probabilities were kept constant at 10 and 80%, respectively. The initial population was 120 individuals, with 60 generations. The best solution resulting from the three GA realizations was kept.

For this study, LDA scores, loading and discriminant function (DF) values were derived for the biochemical-insect fingerprint region. The first LDA factor (LD1) was used to visualize the alterations of the insect sample in 1-dimensional (D) scores plots that represented the main chemical alterations.

Software

The import and pre-treatment data, as well as the chemometric model constructions were implemented into MATLAB R2014a software (Mathworks Inc, Natick, MA, USA). NIR raw spectra were pre-processed cutting 1000–1800 nm, and a Savitzky-Golay derivative (first order, 15 points) was applied. ATR-FTIR raw spectra were pre-processed cutting 900–1600 cm^{-1} in the biological fingerprint region; baseline and Savitzky-Golay smoothing filter (15 points) were applied. Mean centering was applied to all spectra before performing variable

subset selection and calibration. For PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA models, each class was treated separately. The samples were divided into training, validation and test sets by applying the classic Kennard-Stone (KS) uniform sampling algorithm (Kennard and Stone, 1969) to the NIR/IR spectra. The number of samples in each set is presented in Table 1a and 1b, respectively.

[Insert Table 1a and Table 1b here]

Results

Discrimination of species using NIR (males)

For the NIR method, the raw and pre-treated spectra can be visualized (Figure 1a, 1b). When considering all classes, the discriminant functions did not present a very clear segregation for the PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA, respectively. When the classes were reduced to the most discriminating, the number of informational variables decreased from 78 to 39 (SPA-LDA), and from 48 to 24 in the GA-LDA method, where both decreases were statistically significant ($\chi^2_{\text{Yates}} = 13$; $P = 0.0004$, and $\chi^2_{\text{Yates}} = 8$, $P = 0.0067$, respectively) and can be visualized in Figures 2a and 2b. The discriminant function showed clearer segregations for the species *Peckia chrysostoma* (PC), *Peckia lambens* (PS) and *Ravinia belforti* (RF) (Figure 3a, 3b and 3c).

[Insert Figure 1a and 1b here]

[Insert Figure 2a and 2b here]

[Insert Figure 3a, 3b and 3c here]

Species segregation (Males) using FT-IR

The raw and preprocessed spectra for the FT-IR method can be visualized in Figures 4a and 4b, respectively. The biological fingerprint region was used for this method for elaborating the classification models in applying the same PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA algorithms. Despite showing a tendency to segregate between classes, PCA-LDA formed only one group (Figure 5a). In the case of SPA-LDA, the number of variables selected was similar to that of the NIR method (78 variables) (Figure 2c), whereas the number was lower in GA-LDA (31 variables) (Figure 2d). In addition, FT-IR was more sensitive in segregating pre-defined classes, with clearer group formation in both SPA-LDA and GA-LDA (Figures 5b and 5c). Regardless of the algorithm used, it was observed that the results were similar, with a clear separation of the species *Tricharaea occidua* (TA) and *Ravinia belforti* (RF) being clearly set in specific clusters in relation to the other clusters, which allowed for distinct genera: a) a group of the genus *Peckia* [*P. chrysostoma* (PC) near *P. lambens* (PS)] and b) a group of the genus *Oxysarcodexia* [*O. timida* (OTI) approach to *O. thornax* (OT)].

[Insert Figure 4a and 4b here]

[Insert Figure 5a and 5b here]

Identification of females from male profiles

The set of raw spectra and cut spectra in the biological fingerprint region for male specimens of the [*O. thornax* (OT) and *P. chrysostoma* (PC)] and unidentified females are available in Figures 6a and 6b. The best separation between males and females using the PCA technique was achieved using three main components (PCs), which together represented more than 99.5% of the total data variance. That is, most of the significant values were reached to discriminate both sex and species among Sarcophagidae adults.

[Insert Figure 6a and 6b here]

Based on the analysis of the components, it is observed that PC1 and PC2 were efficient in allowing segregation between sex and species, so that clusters above the PC2 axis mean different species, while the right PC1 clusters correspond to the male two species, *P. chrysostoma* and *O. thornax* (Figure 7a). The PC2 components confirm the segregation between clusters corresponding to the species, also pointing out the existence of unidentified specimens of the genus *Peckia* which were configured as outliers. PC3 clearly demonstrates the separation between male and female specimens (Figure 7b). That is, three components are sufficient to identify female specimens from the comparison of the profiles obtained for males of *P. chrysostoma* and *O. thornax*.

[Insert Figure 7a and 7b here]

Performance of methods

Classification rates were determined by using the best models. Table 2a and 2b present the performance features results for the optimized models (PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA) of each category. According to the sensitivity and specificity results shown in Tables 2a and 2b, it is possible to see that these rates varied according to the model used; meaning PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA. Furthermore, as shown in Table 2b, the specificity for all categories suggests that PCA-LDA as well as GA-LDA presented improved accuracy in comparison with SPA-LDA.

[Insert Table 2a and Table 2b here]

PCA-LDA still achieved sensitivity and specificity scores of 100% for all the species categories, thus showing that the species can be relatively well classified by these methods. However, in general the other tested methods also showed high sensitivity and specificity (Table 2b). These results still show that NIR and ATR-FTIR microspectroscopy in conjunction with powerful chemometric approaches has the potential to identify and differentiate species of necrophagous flies captured in a corpse.

Discussion

The need for rapid identification of insect species requires complementary tools for morphology-based taxonomical keys. In this study, we have demonstrated that NIR and/or FT-IR associated with proper techniques for variable selection (PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA) enable the segregation of male specimens of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) at a specific level based on biological spectral “fingerprints” derived from the biochemical composition of their cuticles. These tools can help to elucidate divergences in species identification rapidly and accurately without the need for previous treatment of the biological material (Rodríguez-Fernández et al, 2011; Kim et al, 2004). Accordingly, the efficiency of infrared spectroscopy has been demonstrated in diverse areas of knowledge such as medicine (Theophilou et al, 2016), quality control of commercial products (Costa et al, 2015), the design of landscape ecology theoretical models (Youngentob et al, 2012), vector control (Sikulu et al, 2010) and the identification of plants, bacteria, fungi and insects (Rodríguez-Fernández et al, 2011; Luginbühl et al, 2006; Morais et al, 2017).

Although biospectroscopy has been revealed as a promising tool in the discrimination and identification of Muscidae species (Rodríguez-Fernández et al, 2011), and corroborated for Sarcophagidae in this study, its use in forensic entomology is embryonic. NIR applications include the detection of insect fragments in stored products (Jia et al, 2007) and of illicit substances in necrophagous species (Baia et al, 2016), as well as rapidly discriminating and determining the age of immature blow fly stages (Pickering et al, 2015). Additionally, the geographical origin of the fungus *Ganoderma lucidum* was determined by NIR (Chen et al, 2008), which opens possibilities for its use in drug tracking investigations.

In the case of Sarcophagidae flies, ATR-FTIR proved to be more sensitive to the spectra of all species studied, regardless of the algorithm tested (PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA).

This may be associated with the fact that FT-IR spectroscopy is more efficient in discriminating species and the varieties of this taxon (Kim et al, 2004) because the technique is based on vibrations correlated to functional groups present in biomolecules present on the exoskeleton, such as carbohydrates, proteins, cuticular lipids, DNA and RNA, whereas in the case of FT-NIR overtones of these functional groups may overlap, making it difficult to visualize possible spectral differences. On the other hand, the apparatus needed for the use of NIR is more easily manipulated in the field when compared to the equipment used in the FT-IR analysis. On the other hand, it can be argued that both FT-NIR and FT-IR can be used to discriminate closely-related species (Maree et al, 2011). This was demonstrated in a study that applied NIR for the identification of species and subspecies of *Zootermopsis* (Isoptera: Termopsidae), with over 95% and 80% precision, respectively (Aldrich et al, 2007).

In this study, NIR and ATR-FTIR were successful in discriminating the genera and species of sarcophagids, such as *Peckia chrysostoma* and *Ravinia belforti*, previously registered on cadavers (Oliveira and Vasconcelos, 2010; Vasconcelos et al, 2014). Given the fact that the scarcity of bionomical and behavioural studies limits the potential of Sarcophagidae species in estimating the PMI (Vairo et al, 2014), accurate identification of the target species of this study is of utmost importance. From a medical standpoint, identification of larvae and adults is crucial for developing the monitoring and control of flesh fly species that act as vectors of pathogens and causal myiasis agents (Greenberg et al, 1971; Vairo et al, 2014).

In this study, it was possible to identify females at a specific level based on the spectral signatures of adult males of the same species, being able to explain 99.5% of the variance between classes, and requiring only three PCs. This contribution expands the usefulness of females in practical cases of criminal investigations, since ephemeral substrates (carcasses, cadavers) are mostly visited by females for feeding and immature deposition; the female-driven sex ratio frequently exceeds 90% in field studies (Barbosa et al, 2017). Taxonomical keys

currently available prioritize morphological characters of the male (e.g. shape of the aedeagus), so that tools based on female specimen morphology are still scarce and limited to a few species (Vairo et al, 2014).

In the last decades, several techniques have been applied to identify Diptera species of forensic importance such as molecular identification (Madeira et al, 2016), due to their high specificity and sensitivity, and not having the need to wait until adult emergence, using larvae (GilArriortua et al, 2015) and empty puparia (Bickford et al, 2007). However, molecular technique applications (DNA) have disadvantages such as high cost, the need for fresh material that motivates collection of new specimens (Bickford et al, 2007), in addition to being a destructive technique that consumes considerable effort and time.

On the other hand, NIR and ATR-FTIR associated with variable selection techniques (GA-LDA and SPA-LDA) proved to be an efficient alternative in identification, since it presented high specificity and sensitivity both in sex segregation (male and female), as well as the taxonomic level of genus and species. The merit figures for both FT-NIR and FT-IR were calculated and can be visualized in Tables 2a and b, respectively. FT-NIR spectroscopy showed sensitivity and specificity close to the values predicted by the morphological methodology, around 60% accuracy for the PS class and superior for the other classes. On the other hand, FT-IR spectroscopy presented values of sensitivity and specificity superior to the morphological methodology, obtaining 100% correctness. In addition, this technique has other positive points because it does not require sample preparation, it does not generate residue, and is fast, non-destructive and low cost (Rodríguez-Fernández et al, 2011).

The results show that the high efficiency of FT-NIR, revealed in the high potential for identifying females, can be extrapolated to discriminate the young stages (larvae and pupae) of the species of recognized medical and forensic potential, as already seen for the Calliphoridae family (Pickering et al, 2015). From the forensic science perspective, our study shows that the

taxonomy tool resulting from infrared spectroscopy (FT-NIR and FT-IR) acts as a starting point for developing a spectral database library covering different necrophagous species, allowing for practical use by forensic investigators. The busy routine of a criminal expert in cities exposed to high homicide rates, for example, in Northeast Brazil, makes it impossible to collect, create and identify necrophagous specimens under controlled conditions, which is a necessary procedure to obtain reliable entomological evidence. Cooperation with academic institutions would amplify the realism of investigations by elucidating the identity of the entomological agent involved. However, it is extremely important to substantiate the identification through reliable methods in order to guarantee the quality of the spectral bank.

Acknowledgements

We thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for financial support, the team of the Insects of Forensic Importance Research Group for their invaluable help with insect collection, and the Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) for sampling authorization. K.M.G. Lima acknowledges the CNPq/Capes project (Grant 070/2012 and 442087/2014-4) for financial support.

REFERENCES

- Oliveira, T. C.; Vasconcelos, S. D. Insects (Diptera) associated with cadavers at the Institute of Legal Medicine in Pernambuco, Brazil: implications for forensic entomology. *Forensic Sci. Int.* **2010**, *198*, 97–102.
- Pape, T.; Blagoderov, V.; Mostovski, M. Order Diptera Linnaeus, 1758. In Z. Q. Zhang (Ed.), *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa* **2011**, *3148*, 222–229.
- Greenberg, B. Ecology, classification and biotic associations. In *Flies and Disease*; Princeton University Press: Princeton, 1971.

- De Sousa, J. R. P.; Esposito, M. C.; Carvalho Filho, F. D. S.; Juen, L. The potential uses of sarcosaprophagous flesh flies and blowflies for the evaluation of the regeneration and conservation of forest clearings: A Case study in the Amazon forest. *J. Insect Sci.* **2014**, *14*, 1–5.
- Barbosa, T. M.; Carmo, R. F. R.; Silva, L. P.; Sales, R. G.; Vasconcelos, S. D. Diversity of sarcosaprophagous calyptratae (diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environ. Entomol.* **2017**, *46*, 460–469.
- Silva, K. P.; Mello-Patiu, C. A. New species of *Dexosarcophaga* Townsend from Panama with an illustrated key to species of the subgenus *Bezzisca* (Diptera: Sarcophagidae). *J. Nat. Hist.* **2010**, *44*, 89–106.
- Madeira, T.; Souza, C. M.; Cordeiro, J.; Thyssen, P. J. The use of DNA barcode for identifying species of *Oxysarcodexia* Townsend (Diptera: Sarcophagidae): A preliminary survey. *Acta Trop.* **2016**, *161*, 73–78.
- Braga, M. V.; Pinto, Z. T.; de Carvalho Queiroz, M. M.; Matsumoto, N.; Blomquist, G. J. Cuticular hydrocarbons as a tool for the identification of insect species: Puparial cases from Sarcophagidae. *Acta Trop.* **2013**, *128*, 479–485.
- Carvalho, L. M.; Linhares, a X.; Trigo, J. R. Determination of drug levels and the effect of diazepam on the growth of necrophagous flies of forensic importance in southeastern Brazil. *Forensic Sci. Int.* **2001**, *120*, 140–4.
- Gosselin, M.; Fernandez, M. del M. R.; Wille, S. M. R.; Samyn, N.; Boeck, G. De; Bourel, B. Quantification of Methadone and its Metabolite Third Instar Larvae of *Lucilia sericata* (Diptera : Calliphoridae) Using Liquid Chromatography – Tandem Mass Spectrometry. *J. Anal. Toxicol.* **2010**, *34*, 374–380.
- Sousa, J.; Esposito, M.; Filho, F.; Juen, L. The Potential Uses of Sarcosaprophagous Flesh Flies and Blowflies for the Evaluation of the Regeneration and Conservation of Forest Clearings: A Case Study in the Amazon Forest. *J. Insect Sci.* **2014**, *14*, 1–5.
- Lima, L. A. S., Baia, T. C., Gama, R. A., Lima, K. M. G. Near infrared spectroscopy as an emerging tool for forensic entomotoxicology. **2014**, *25*, 5–7.
- Rodríguez-Fernández, J. I.; Carvalho, C. J. B.; Pasquini, C.; Lima, K. M. G.; Moura, M. O.; Arízaga, G. G. C. Barcoding without DNA? Species identification using near infrared spectroscopy. *Zootaxa* **2011**, *2933*, 1–9.
- Sikulu, M.; Killeen, G. F.; Hugo, L. E.; Ryan, P. A.; Dowell, K. M.; Wirtz, R. A.; Moore, S. J.; Dowell, F. E. Near-infrared spectroscopy as a complementary age grading and species identification tool for African malaria vectors. *Parasit. Vectors* **2010**, *3*, 49.

- Oliveira, J. S.; Baia, T. C.; Gama, R. A.; Lima, K. M. G. Development of a novel non-destructive method based on spectral fingerprint for determination of abused drug in insects: An alternative entomotoxicology approach. *Microchem. J.* **2014**, *115*, 39–46.
- Baia, T. C.; Gama, R. A.; Lima, L. A. S.; Lima, K. M. G. FTIR microspectroscopy coupled with variable selection methods for the identification of flunitrazepam in necrophagous flie. *Anal. M* **2016**, *8*, 968–972.
- Fischnaller, S.; Dowell, F. E.; Lusser, A.; Schlick-Steiner, B. C.; Steiner, F. M. Non-destructive species identification of *Drosophila obscura* and *D. subobscura* (Diptera) using near-infrared spectroscopy. *Fly (Austin)*. **2012**, *6*, 284–9.
- Jia, F.; Maghirang, E.; Dowell, F.; Abel, C.; Ramaswamy, S. Differentiating Tobacco Budworm and Corn Earworm Using Near-Infrared Spectroscopy. *J. Econ. Entomol.* **2007**, *100*, 759–764.
- Dowell, F. E.; Parker, A. G.; Benedict, M. Q.; Robinson, A. S.; Broce, A. B.; Wirtz, R. A. Sex separation of tsetse fly pupae using near-infrared spectroscopy. *Bull. Entomol. Res.* **2005**, *95*, 249–257.
- Dowell, F. E.; Throne, J. E.; Wang, D.; Baker, J. E. Identifying Stored-Grain Insects Using Near-Infrared Spectroscopy. *J. Econ. Entomol.* **1999**, *92*, 165–169.
- Dupuy, N.; Galtier, O.; Ollivier, D.; Vanloot, P.; Artaud, J. Comparison between NIR, MIR, concatenated NIR and MIR analysis and hierarchical PLS model. Application to virgin olive oil analysis. *Anal. Chim. Acta* **2010**, *666*, 23–31.
- Xie, Y.-L.; Kalivas, J. H. Local prediction models by principal component regression. *Anal. Chim. Acta* **1997**, *348*, 29–38.
- Makino, Y.; Ichimura, M.; Oshita, S.; Kawagoe, Y.; Yamanaka, H. Estimation of oxygen uptake rate of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits by artificial neural networks modelled using near-infrared spectral absorbance and fruit mass. *Food Chem.* **2010**, *121*, 533–539.
- Shao, Y.; Zhao, C.; Bao, Y.; He, Y. Quantification of Nitrogen Status in Rice by Least Squares Support Vector Machines and Reflectance Spectroscopy. *Food Bioprocess Technol.* **2012**, *5*, 100–107.
- Marques, A. S.; de Melo, M. C. N.; Cidral, T. A.; de Lima, K. M. G. Feature selection strategies for identification of *Staphylococcus aureus* recovered in blood cultures using FT-IR spectroscopy successive projections algorithm for variable selection: A case study. *J. Microbiol. Methods* **2013**, *98*, 26–30.
- Martin, F. L.; Llabjani, V.; Evans, G.; Trevisan, J.; Martin-Hirsch, P. L.; Patel, I. I.; Stringfellow, H. F. High contrast images of uterine tissue derived using Raman

microspectroscopy with the empty modelling approach of multivariate curve resolution-alternating least squares. *Analyst* **2011**, *136*, 4950–4959.

Cheung, K. T.; Trevisan, J.; Kelly, J. G.; Ashton, K. M.; Stringfellow, H. F.; Taylor, S. E.; Singh, M. N.; Martin-Hirsch, P. L.; Martin, F. L. Fourier-transform infrared spectroscopy discriminates a spectral signature of endometriosis independent of inter-individual variation. *Analyst* **2011**, *136*, 2047–2055.

Pontes, M. J. C.; Galvão, R. K. H.; Araújo, M. C. U.; Moreira, P. N. T.; Neto, O. D. P.; José, G. E.; Saldanha, T. C. B. The successive projections algorithm for spectral variable selection in classification problems. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* **2005**, *78*, 11–18.

Tapp, H. S.; Defernez, M.; Kemsley, E. K. FTIR spectroscopy and multivariate analysis can distinguish the geographic origin of extra virgin olive oils. *J. Agric. Food Chem.* **2003**, *51*, 6110–5.

Costa, F. S. L.; Silva, P. P.; Morais, C. L. M.; Arantes, T. D.; Lima, M. G. Attenuated total reflection Fourier transform- infrared (ATR-FTIR) spectroscopy as a new technology for discrimination between *Cryptococcus neoformans* and *Cryptococcus gattii*. *Anal. Methods* **2016**, *8*, 7107–7115.

Vasconcelos, S. D.; Barbosa, T. M.; Oliveira, T. P. B. Diversity of forensically-important dipteran species in different environments in northeastern Brazil, with notes on the attractiveness of animal baits. *Florida Entomol.* **2015**, *98*, 770–775.

Martin, F. L.; German, M. J.; Wit, E.; Fearn, T.; Ragavan, N.; Pollock, H. M. Identifying variables responsible for clustering in discriminant analysis of data from infrared microspectroscopy of a biological sample. *J. Comput. Biol.* **2007**, *14*, 1176–84.

Silva, C. S.; Borba, F. D. S. L.; Pimentel, M. F.; Pontes, M. J. C.; Honorato, R. S.; Pasquini, C. Classification of blue pen ink using infrared spectroscopy and linear discriminant analysis. *Microchem. J.* **2013**, *109*, 122–127.

R.W. Kennard; L.A. Stone Computer Aided Design of Experiments. *Technometrics* **1969**, *11*, 137–148.

Kim, S. W.; Ban, S. H.; Chung, H.; Cho, S.; Chung, H. J.; Choi, P. S.; Yoo, O. J.; Liu, J. R. Taxonomic discrimination of flowering plants by multivariate analysis of Fourier transform infrared spectroscopy data. *Plant Cell Rep.* **2004**, *23*, 246–250.

Theophilou, G.; Lima, K. M. G.; Martin-Hirsch, P. L.; Stringfellow, H. F.; Martin, F. L. ATR-FTIR spectroscopy coupled with chemometric analysis discriminates normal, borderline and malignant ovarian tissue: classifying subtypes of human cancer. *Analyst* **2016**, *141*, 585–594.

Costa, F. S. L.; Pedroza, R. H. P.; Porto, D. L., Lima, K. M. G. Multivariate Control Charts for

- Simultaneous Quality Monitoring of Isoniazid and Rifampicin in a Pharmaceutical Formulation Using a Portable Near Infrared Spectrometer. **2015**, 26, 64–73.
- Youngentob, K. N.; Renzullo, L. J.; Held, A. A.; Jia, X.; Lindenmayer, D. B.; Foley, W. J. Using imaging spectroscopy to estimate integrated measures of foliage nutritional quality. *Methods Ecol. Evol.* **2012**, 3, 416–426.
- Luginbühl, W.; Jimeno, J.; Zehntner, U. Identification of seven species of the *Lactobacillus acidophilus* group by FT-IR spectroscopy. *LWT - Food Sci. Technol.* **2006**, 39, 152–158.
- Morais, C. L. M.; Costa, F. S. L.; Lima, K. M. G. Variable selection with a support vector machine for discriminating *Cryptococcus* fungal species based on ATR-FTIR spectroscopy. *Anal. Methods* **2017**, 9, 2964–2970.
- Pickering, C. L.; Hands, J. R.; Fullwood, L. M.; Smith, J. A.; Baker, M. J. Rapid discrimination of maggots utilising ATR-FTIR spectroscopy. *Forensic Sci. Int.* **2015**, 249, 189–196.
- Chen, Y.; Xie, M. Y.; Yan, Y.; Zhu, S. Bin; Nie, S. P.; Li, C.; Wang, Y. X.; Gong, X. F. Discrimination of *Ganoderma lucidum* according to geographical origin with near infrared diffuse reflectance spectroscopy and pattern recognition techniques. *Anal. Chim. Acta* **2008**, 618, 121–130.
- Maree, J. E.; Viljoen, A. M. Fourier transform near- and mid-infrared spectroscopy can distinguish between the commercially important *Pelargonium sidoides* and its close taxonomic ally *P. reniforme*. *Vib. Spectrosc.* **2011**, 55, 146–152.
- Aldrich, B. T.; Maghirang, E. B.; Dowell, F. E.; Kambhampati, S. Identification of termite species and subspecies of the genus *Zootermopsis* using near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Insect Sci.* **2007**, 7, 18.
- Vasconcelos, S. D.; Soares, T. F.; Costa, D. L. Multiple colonization of a cadaver by insects in an indoor environment: First record of *Fannia trimaculata* (Diptera: Fanniidae) and *Peckia* (*Peckia*) *chrysostoma* (Sarcophagidae) as colonizers of a human corpse. *Int. J. Legal Med.* **2014**, 128, 229–233.
- Vairo, K. P. E.; Ururahy-Rodrigues, A.; Osvaldo Moura, M.; Antunes De Mello-Patiu, C. Sarcophagidae (Diptera) with forensic potential in Amazonas: A pictorial key. *Trop. Zool.* **2014**, 27, 140–152.
- GilArriortua, M.; Saloña Bordas, M. I.; de Pancorbo, M. M. Uso de vestigios moleculares en entomología forense. *Cienc. Forense* **2015**, 12, 35–78.
- Bickford, D.; Lohman, D. J.; Sodhi, N. S.; Ng, P. K. L.; Meier, R.; Winker, K.; Ingram, K. K.; Das, I. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends Ecol. Evol.* **2007**, 22, 148–155.

CAPTIONS FOR FIGURES

Figure 1: (a) Average spectra acquired from three categories. The spectra from *Peckia chrysostoma* (PC) are shown in black; those with *Peckia lambens* (PS) are shown in green; those with *Ravinia belforti* (RF) are shown in pink. (b) Pre-processing spectra from three categories. The spectra from PC are shown in black; those with PS are shown in green; those with RF are shown in pink.

Figure 2: (a) Variables selected by SPA-LDA in PC, PS and RF classification. (b) Variables selected by GA-LDA in PC, PS and RF classification. (c) Variables selected by SPA-LDA in OTI, OT, PC, PS, RF and TA classification. (d) Variables selected by SPA-LDA in *Oxysarcodexia timida* (OTI), *Oxysarcodexia thornax* (OT), *Peckia chrysostoma* (PC), *Peckia lambens* (PS), *Ravinia belforti* (RF) and *Tricharaea occidua* (TA) classification.

Figure 3: (a) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using principal component analysis (PCA) - linear discriminant analysis (LDA) results from three categories. (b) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using the variables selected by successive projection algorithm (SPA) - linear discriminant analysis (LDA) results from three categories. (c) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using the variables selected by genetic algorithm (GA) - linear discriminant analysis (LDA) results from three categories.

Figure 4: (a) Average spectra acquired from all categories. The spectra from *Oxysarcodexia timida* (OTI) are shown in blue; those with *Oxysarcodexia thornax* (OT) are shown in red; those with *Peckia chrysostoma* (PC) are shown in cyan; those with *Peckia lambens* (PS) are shown in green; those with *Ravinia belforti* (RF) are shown in purple; those with *Tricharaea occidua* (TA) are shown in black. (b) Pre-processing spectra from all categories. The spectra from OTI are shown in blue; those with OT are shown in red; those with PC are shown in cyan; those with PS are shown in green; those with RF are shown in purple; those with TA are shown in black.

Figure 5: (a) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using principal component analysis (PCA) - linear discriminant analysis (LDA) results from all categories. (b) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using the variables selected by successive projection algorithm (SPA) - linear discriminant analysis (LDA) results from all categories. (c) DF1 x DF2 discriminant function values calculated by using the variables selected by genetic algorithm (GA) - linear discriminant analysis (LDA) results from all categories.

Figure 6: (a) Average spectra acquired from three categories. The spectra from *Oxysarcodexia thornax* (OT) are shown in red; those with *Peckia chrysostoma* (PC) are shown in green; those with Female are shown in gray. (b) Pre-processing spectra from three categories. The spectra from OT are shown in red; those with PC are shown in green; those with Female are shown in gray.

Figure 7: (a) Biplot graph of PC1xPC2 scores calculated by using principal component analysis (PCA); (b) Biplot graph of PC2xPC3 scores calculated by using principal component analysis.

Figure 1a

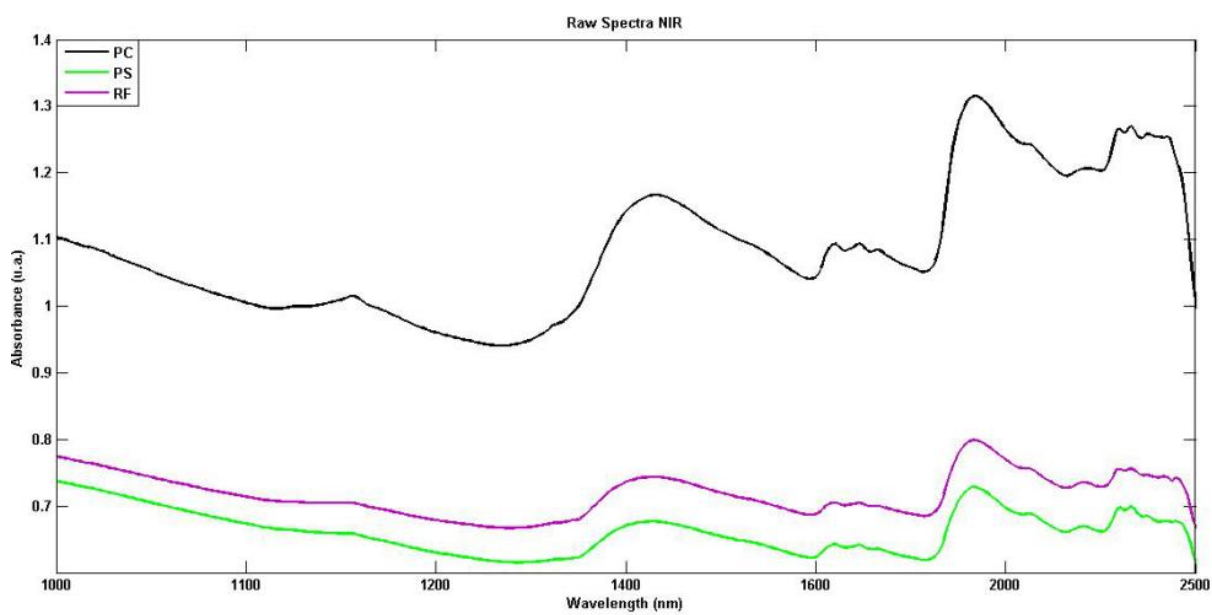


Figure 1b

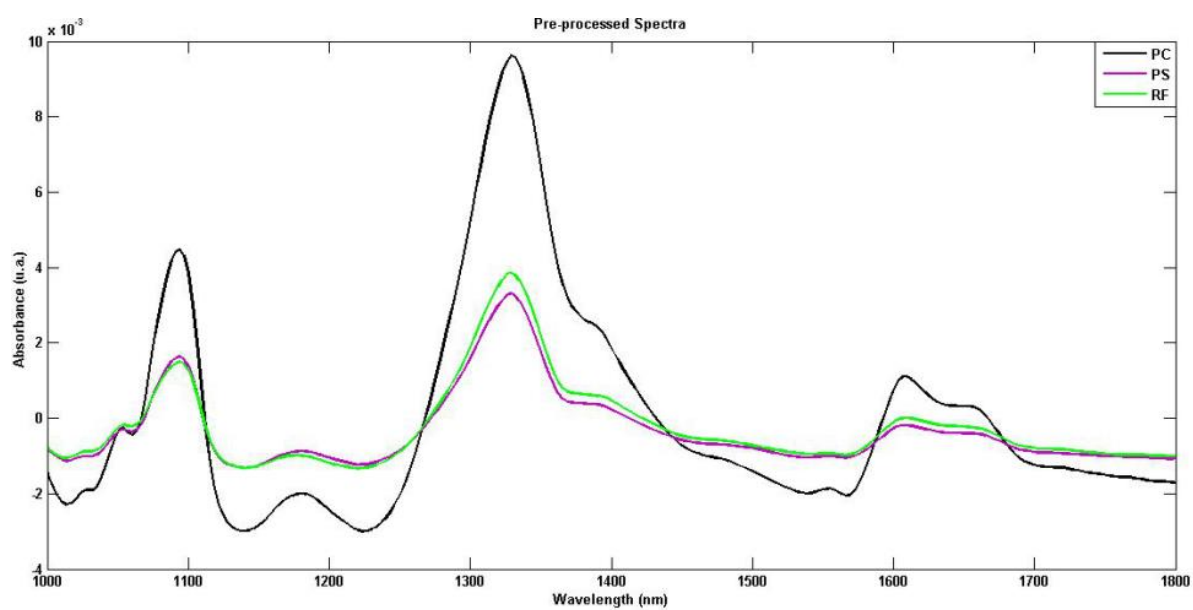


Figure 2a

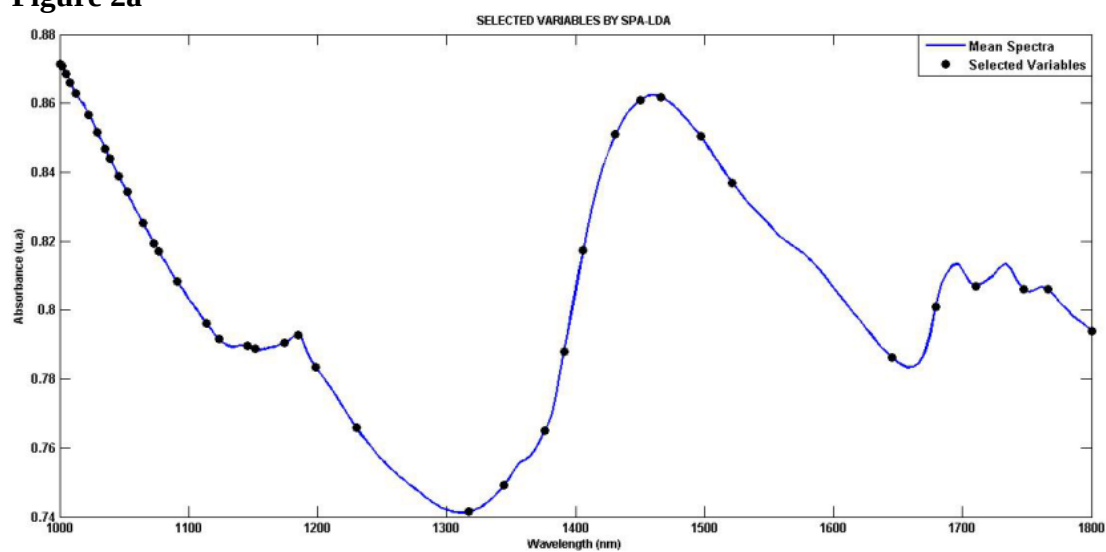


Figure 2b

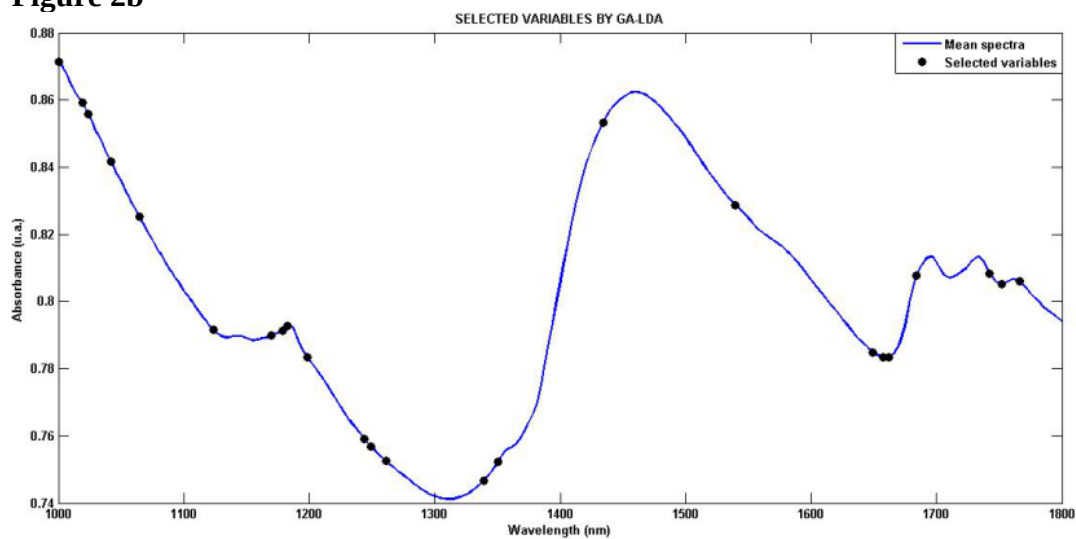


Figure 2c

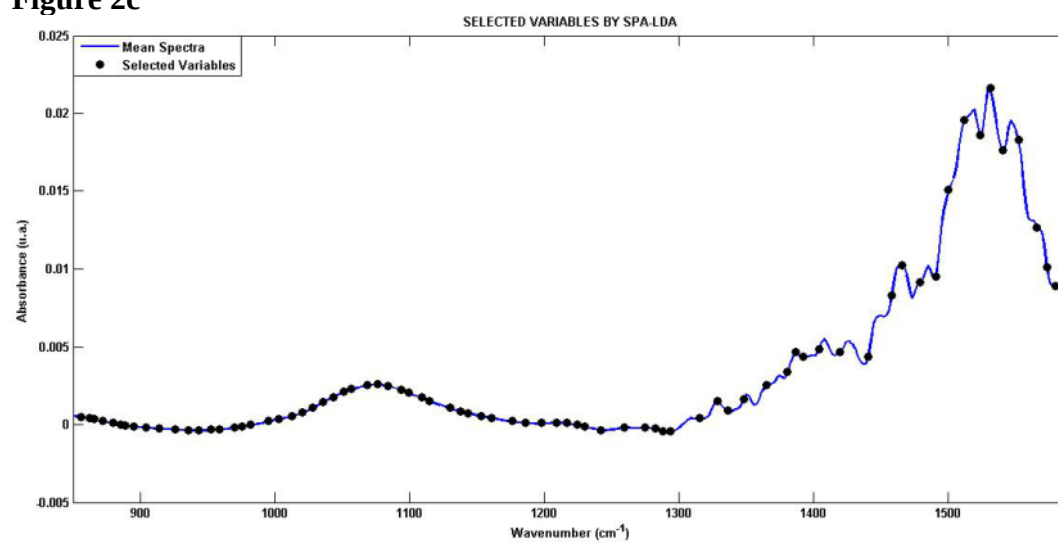


Figure 2d

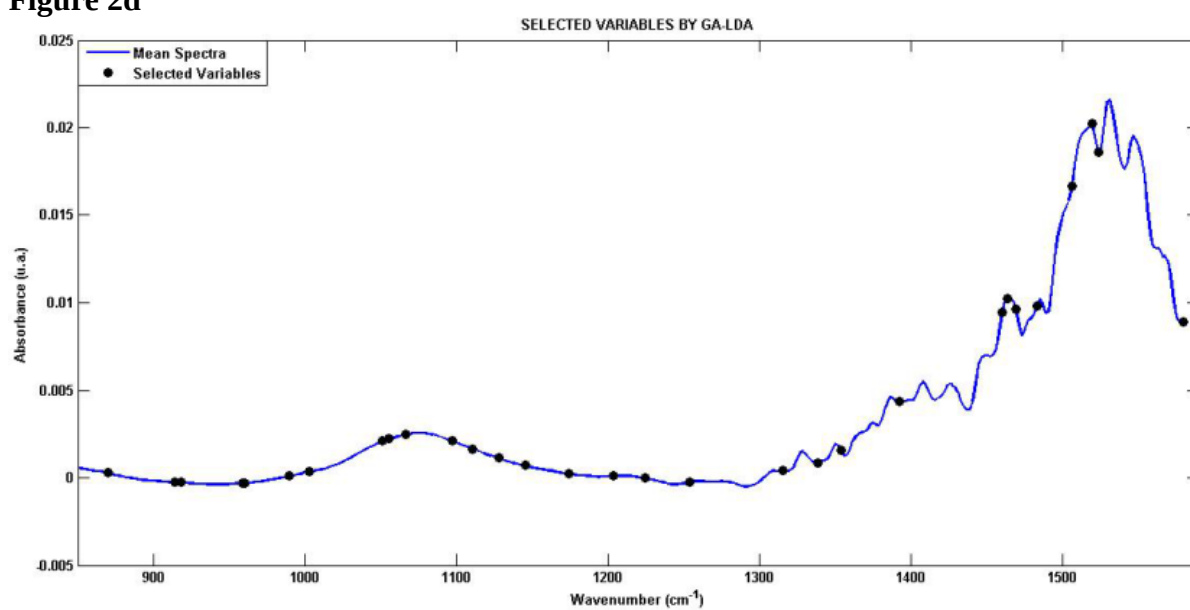


Figure 3a

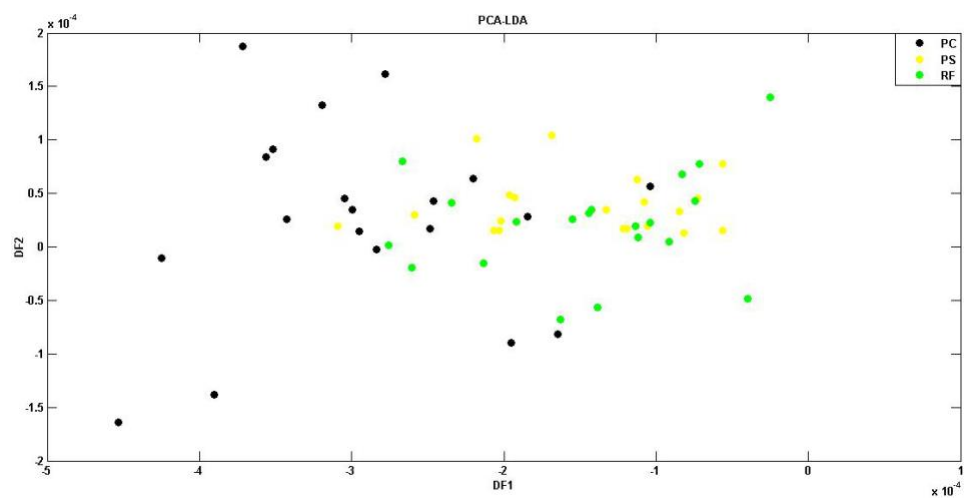


Figure 3b

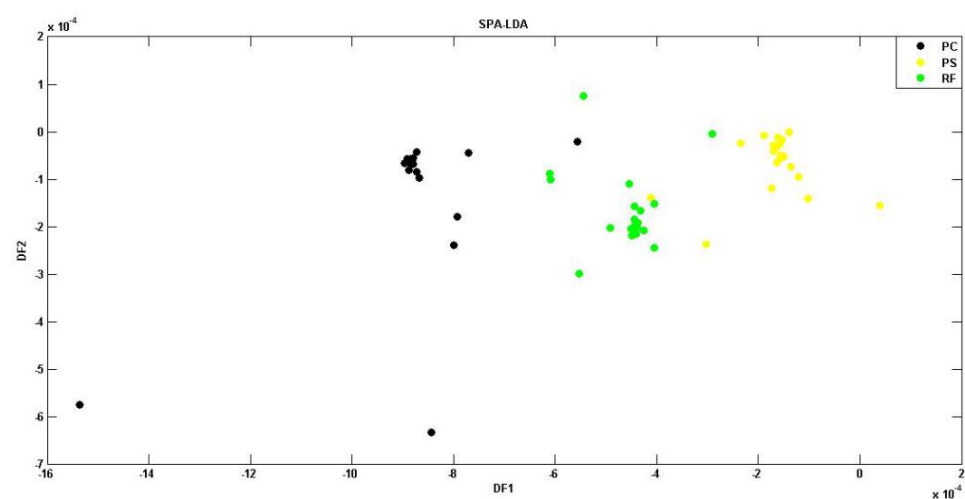


Figure 3c

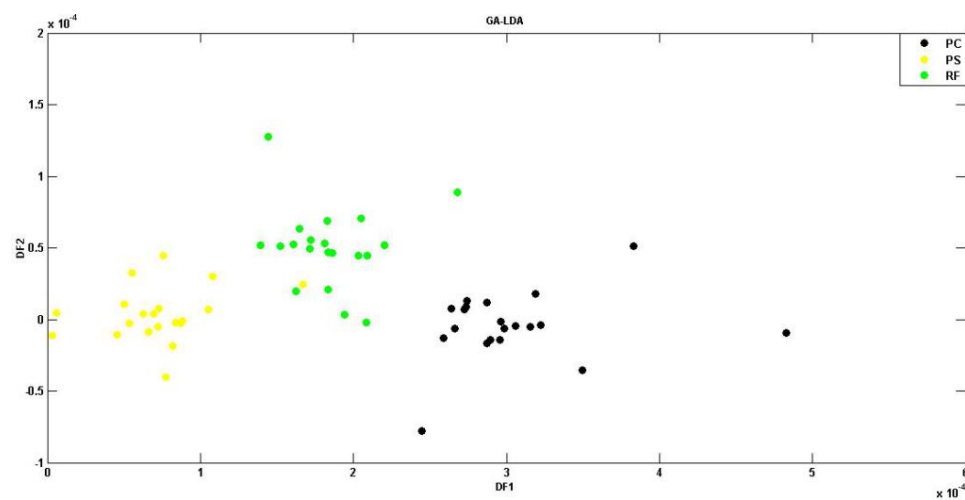


Figure 4a

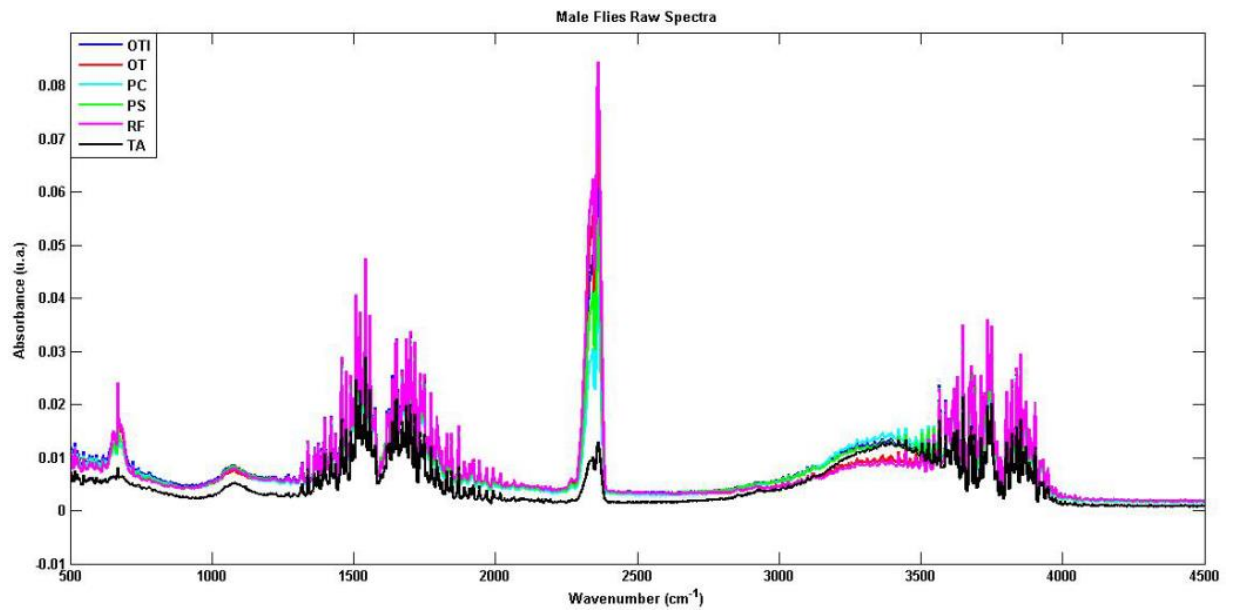


Figure 4b

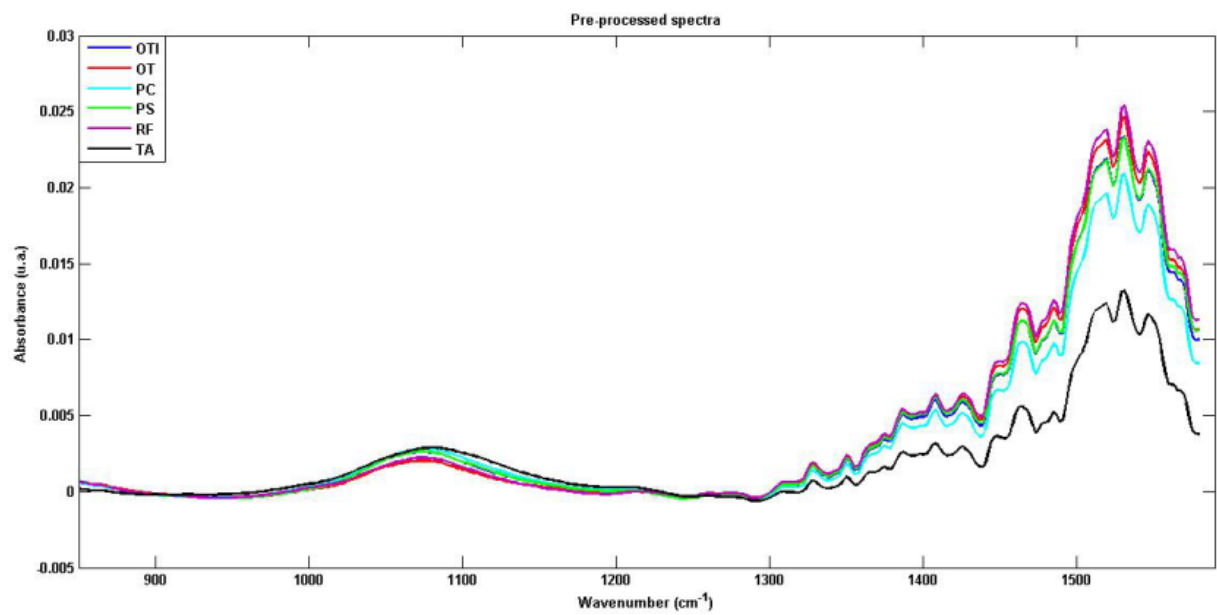


Figure 5a

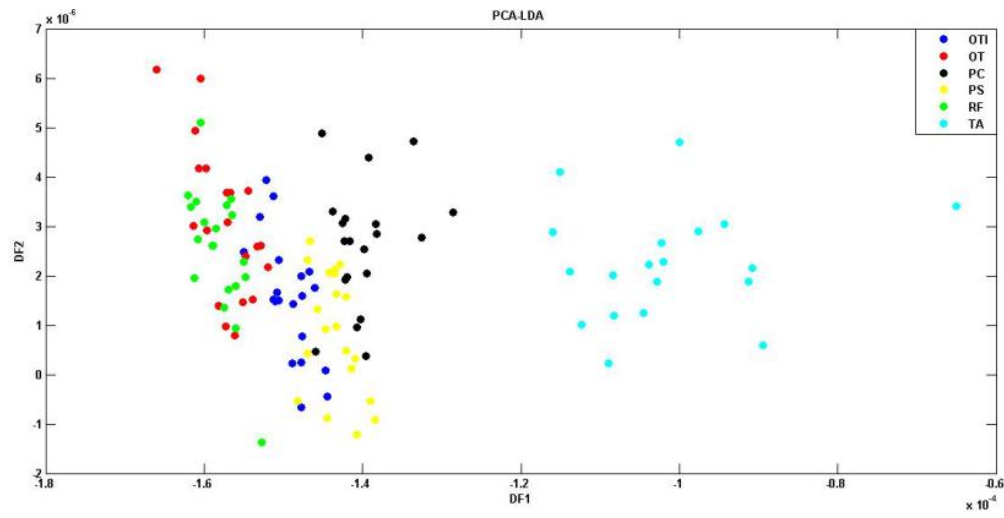


Figure 5b

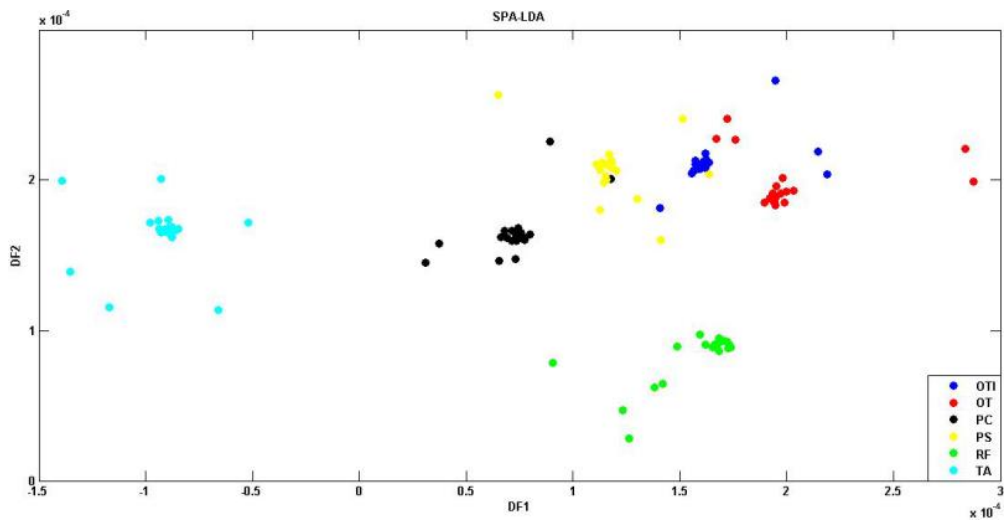


Figure 5c

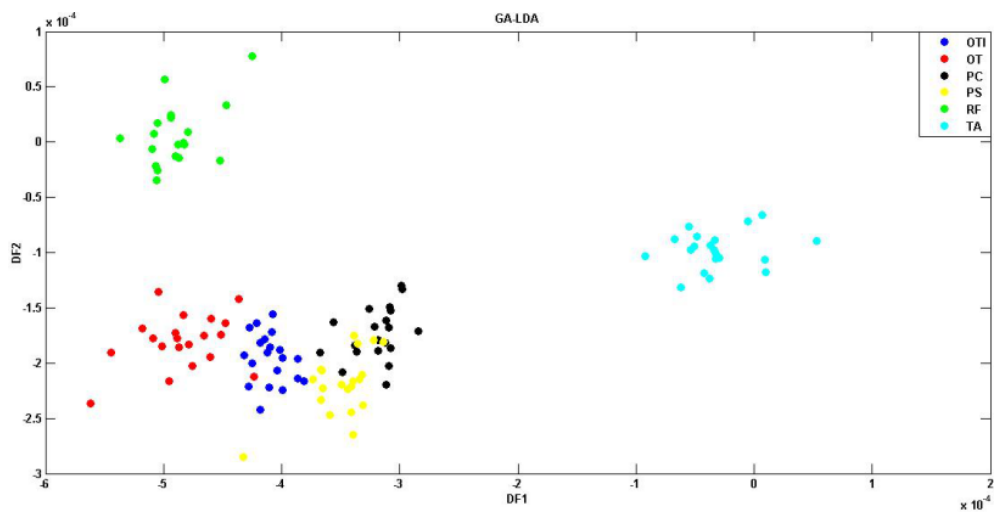


Figure 6a

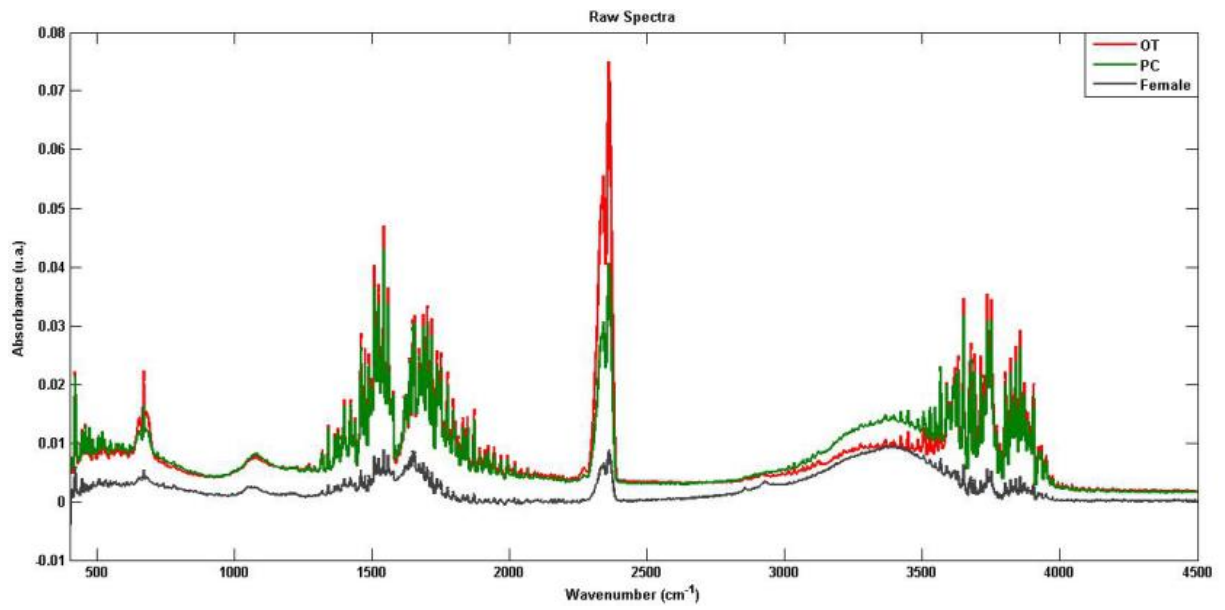


Figure 6b

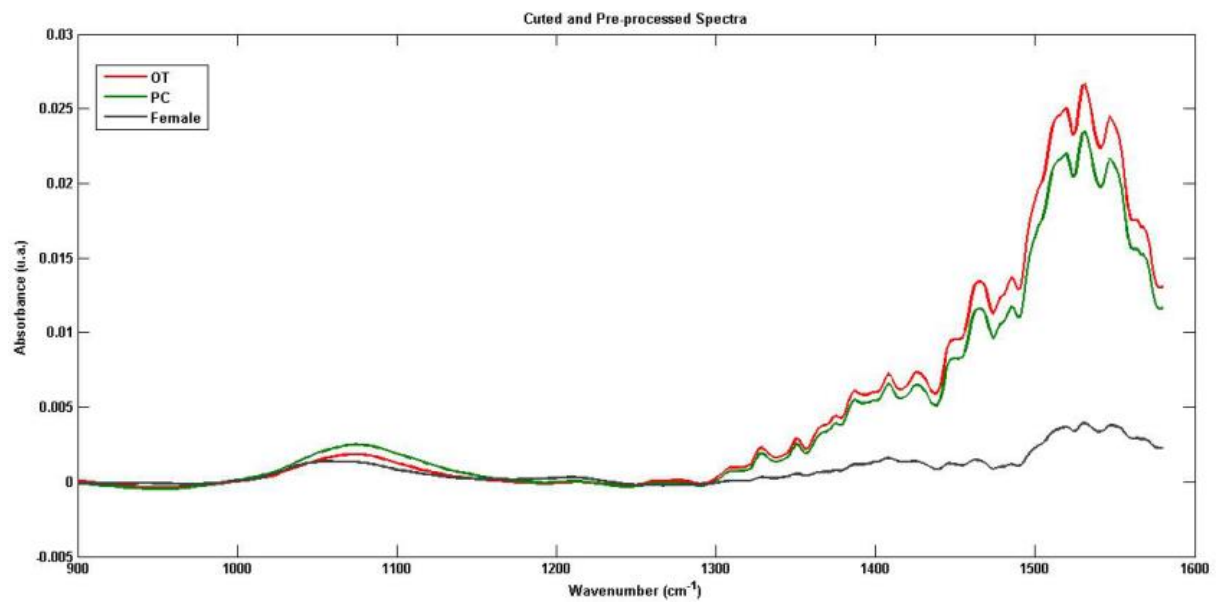


Figure 7a

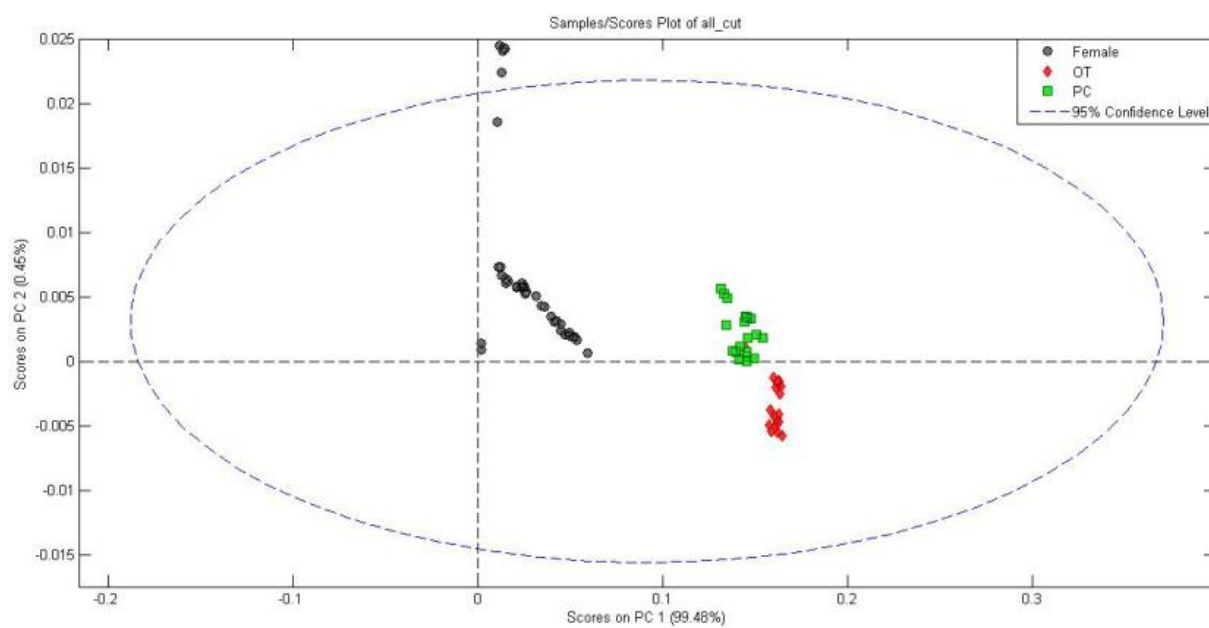
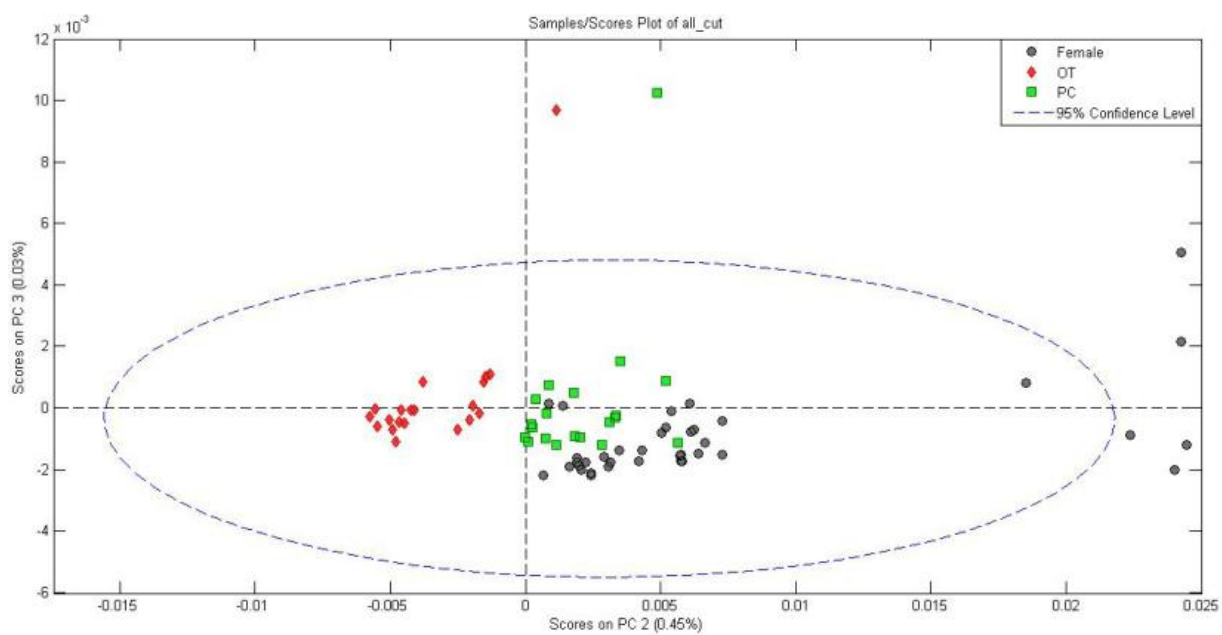


Figure 7b



LIST OF TABLES

Table 1: (A) Number of training, validation and prediction specimens in each category for three classes classification.

Category	Set training	Set Validation	Set Prediction
PC	14	3	3
PS	14	3	3
RF	14	3	3

(B) Number of training, validation and prediction specimens in each category for all classes classification.

Category	Set training	Set Validation	Set Prediction
OTI	14	3	3
OT	14	3	3
PC	14	3	3
PS	14	3	3
RF	14	3	3
TA	14	3	3

Table 2: (A) Values of quality performance features from three classification methods (PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA) by FTIR microspectroscopy for three category.

		PC	PS	RF
PCA-LDA	sens	66.67	0	66.67
	spec	66.67	0	66.67
	ppv	66.67	0	66.67
	npv	66.67	0	66.67
	you	33.33	-100	33.33
	LR(+)	2	0	2
	LR(-)	0.5	0	0.5
SPA-LDA	sens	66.67	66.67	100
	spec	66.67	66.67	100
	ppv	66.67	66.67	100
	npv	66.67	66.67	100
	you	33.33	33.33	100
	LR(+)	2	2	0
	LR(-)	0.5	0.5	0
GA-LDA	sens	100	66.67	66.67
	spec	100	66.67	33.33
	ppv	100	66.67	50
	npv	100	66.67	50
	you	100	33.33	0
	LR(+)	0	2	1
	LR(-)	0	0.5	1

(B) Values of quality performance features from three classification methods (PCA-LDA, SPA-LDA and GA-LDA) by FTIR microspectroscopy for all category.

		OTI	OT	PC	PS	RF	TA
PCA-LDA	sens	100	100	100	100	100	100
	spec	100	100	100	100	100	100
	ppv	100	100	100	100	100	100
	npv	100	100	100	100	100	100
	you	100	100	100	100	100	100
	LR(+)	0	0	0	0	0	0
	LR(-)	0	0	0	0	0	0
SPA-LDA	sens	66.66	33.33	66.66	33.33	100	100
	spec	66.66	33.33	66.66	33.33	100	100
	ppv	66.66	33.33	66.66	33.33	100	100
	npv	66.66	33.33	66.66	33.33	100	100
	you	33.33	-33.33	33.33	-33.33	100	100
	LR(+)	2	0.5	2	0.5	0	0
	LR(-)	0.5	2	0.5	2	0	0
GA-LDA	sens	100	100	33.33	100	100	100
	spec	100	100	33.33	100	100	100
	ppv	100	100	33.33	100	100	100
	npv	100	100	33.33	100	100	100
	you	100	100	-33.33	100	100	100
	LR(+)	0	0	0.5	0	0	0
	LR(-)	0	0	2	0	0	0