



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO



MORFOMETRIA GEOMÉTRICA COMO FERRAMENTA PARA A
DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE VESPAS SOCIAIS DO GÊNERO *POLYBIA*
LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA, VESPIDAE, POLISTINAE)

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

JÉSSICA SOUZA CARDOSO



JEQUIÉ – BA
2020

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



JÉSSICA SOUZA CARDOSO

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

MORFOMETRIA GEOMÉTRICA COMO FERRAMENTA PARA A DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE VESPAS SOCIAIS DO GÊNERO *POLYBIA* LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA, VESPIDAE, POLISTINAE)



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, para obtenção do título de Mestre em Genética, Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Lorena Andrade Nunes

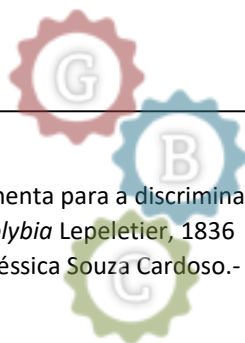
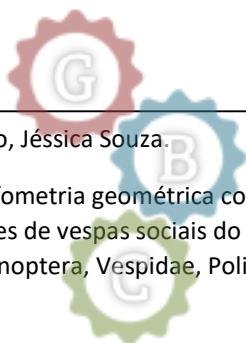
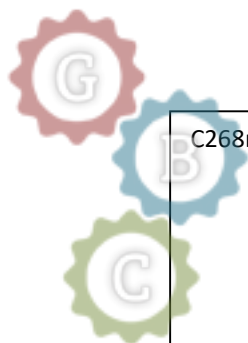


JEQUIÉ – BA
2020

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



C268m Cardoso, Jéssica Souza.

Morfometria geométrica como ferramenta para a discriminação de espécies de vespas sociais do gênero *Polybia* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) / Jéssica Souza Cardoso.- Jequié, 2020.

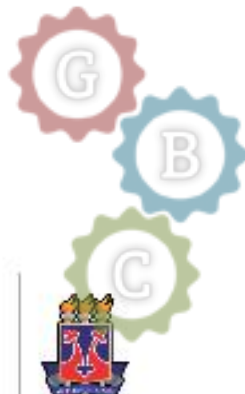
57f.

(Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, sob orientação do Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior e coorientação da Prof.^a Dr.^a Lorena Andrade Nunes)

Rafaella Cândia Portela de Sousa - CRB 5/1710. Bibliotecária – UESB - Jequié



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Governo do
Estado da Bahia

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB
Recredenciada pelo Decreto Estadual
Nº 16.825, de 04.07.2016

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “MORFOMETRIA GEOMÉTRICA COMO FERRAMENTA PARA A DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE VESPAS SOCIAIS DO GÊNERO *POLYBIA* LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA, VESPIDAE, POLISTINAE)”

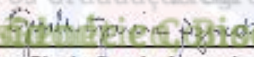
Autora: Jéssica Souza Cardoso

Orientador: Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior

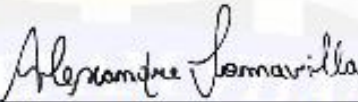
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, pela Banca

Examinadora:


Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior – UESB


Prof. Dra. Gisele Garcia Azevedo – UFMA


Prof. Dra. Raquel Pérez-Maluf – UESB


Prof. Dr. Alexandre Somavilla - INPA

Data de realização: 26 de setembro de 2020.

Campus de Jequié

(73) 3528-9725 | ppe.gbc@uesb.edu.br

Campus de Ilhéus
Rua da Trindade, 40
Bairro Ilhéus
44.600-000
BA, Brasil
(73) 3528-9725

Campus de Jequié
Rua José Maria Sobrinho, 20
Bairro Jequié
44.600-000
BA, Brasil
(73) 3528-9725

Campus de Vitória da Conquista
Estrada do Bom Querência
Bairro Universitário
45.000-000
BA, Brasil
(73) 3528-9725

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



AGRADECIMENTO

Primeiramente à Deus, por me abençoar e iluminar meu caminho.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação (PPGGBC), pela estrutura e apoio concedidos.

Ao Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior, por ter aceitado me orientar, partilhar seu conhecimento e estar disposto a me ajudar.

À minha coorientadora, Dra. Lorena Andrade Nunes, pelas inúmeras e fundamentais contribuições, principalmente nas análises de morfometria geométrica.

Aos meus professores, pois foram essenciais para o meu crescimento.

Aos colegas, por compartilhar experiências e pela troca de conhecimentos. Especialmente à Armanda e à colega de turma, Letícia, pela ajuda com a morfometria geométrica.

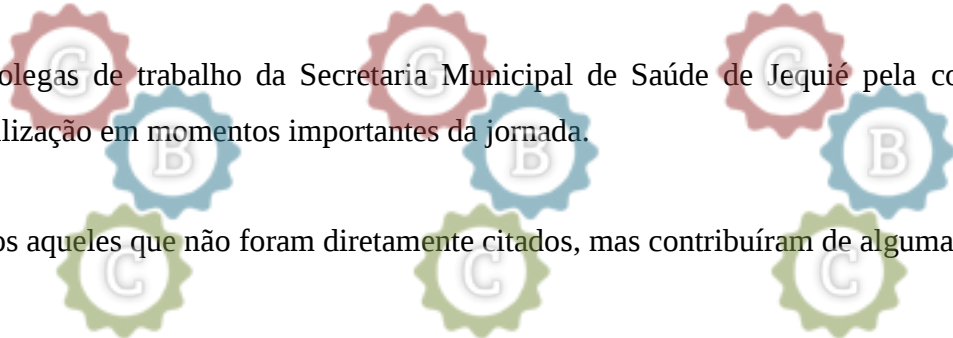
Aos meus pais, Marcos e Elaine, e ao meu irmão Marcus Vítor, que me deram suporte e apoio de maneira incondicional, de todas as formas possíveis, vocês sempre foram meus exemplos de vida e perseverança. Serei eternamente grata.

Ao meu companheiro, Pietro, por todo carinho e incentivo, sempre acreditando na minha capacidade. Obrigada.

Aos membros da família e amigos que me incentivaram e apoiaram no decorrer desta caminhada.

Aos colegas de trabalho da Secretaria Municipal de Saúde de Jequié pela compreensão e flexibilização em momentos importantes da jornada.

A todos aqueles que não foram diretamente citados, mas contribuíram de alguma forma.





BIOGRAFIA

Jéssica Souza Cardoso, filha de Elaine Souza Cardoso e Marcos Antônio Guimarães Cardoso, irmã mais velha de Marcus Vítor Souza Cardoso, nasceu em Jequié – BA, no dia 02 de maio de 1993. Concluiu o Ensino Médio, em 2010, no Colégio Antonio Pinheiro (CAP), Jequié – BA. No ano de 2013 iniciou o Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em genética na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus de Jequié, onde desenvolveu o trabalho “Diversidade genética em populações de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) do nordeste do Brasil”, sob orientação do Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior, formando-se em julho de 2017. Em 2018 iniciou o mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação da UESB, sob orientação do Prof. Dr. Juvenal Cordeiro Silva Junior e coorientação da Prof^a Dr^a Lorena Andrade Nunes, no qual desenvolveu pesquisa na área de Morfometria Geométrica em *Polybia*.



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



RESUMO

O grupo *Polybia* ainda apresenta alguns problemas quanto à discriminação de espécies, decorrente de uma grande variação morfológica dentro de alguns grupos, sendo necessário o uso de ferramentas adicionais, como a morfometria geométrica (MG), além da taxonomia tradicional, para resolução dessas incertezas taxonômicas. Assim, este estudo objetivou diferenciar espécies de vespas do gênero *Polybia*, por meio da morfometria geométrica, e realizar uma análise comparativa entre caracteres da asa e cabeça. Os organismos amostrados são oriundos de diversas localidades do Brasil. Para obtenção das amostras, foram realizadas coletas por meio de busca ativa de ninhos e doação de pesquisadores de outras instituições. Obteve-se um total de 498 indivíduos, oriundos de nove estados brasileiros, pertencentes a vinte grupos distintos, considerando-se espécies e morfoespécies. Utilizaram-se as asas direita anteriores e cabeças dos organismos para as análises de MG. Foram definidos 21 marcos anatômicos por asa, enquanto para a cabeça, 10 marcos anatômicos e 9 semimarcos anatômicos por indivíduo. Nas análises de asa, para o formato, a MANOVA demonstrou diferenças significativas entre as espécies. A Análise de Componentes Principais (ACP) indicou diferença na forma das asas das espécies analisadas, com os três primeiros componentes principais explicando aproximadamente 70% da variação. Observa-se que as regiões que apresentaram as maiores variações foram do estigma, nervuras submarginal, marginal e medial. A validação cruzada classificou corretamente, aproximadamente, 91,70% das espécies. A ANOVA aplicada ao tamanho do centróide foi significativa, contudo as médias comparadas no Teste de Tukey não demonstraram diferenças de tamanho. Para as análises de cabeça, a MANOVA também revelou diferenças significativas entre as espécies. A ACP apontou diferença na forma das cabeças das espécies analisadas, com os dois primeiros componentes principais explicando, aproximadamente, 70% da variação. Verifica-se que as maiores variações ocorreram nas regiões do clipeo, soquete antenal, ocelos e região externa inferior dos olhos compostos. A validação cruzada classificou corretamente, aproximadamente, 92,04% das espécies. A ANOVA aplicada ao tamanho do centróide foi significativa, porém as médias comparadas no Teste de Tukey não demonstram diferenças de tamanho. Os resultados indicam que a morfometria geométrica aplicada à asa e cabeça pode ser eficiente para identificação de espécies no gênero *Polybia*.

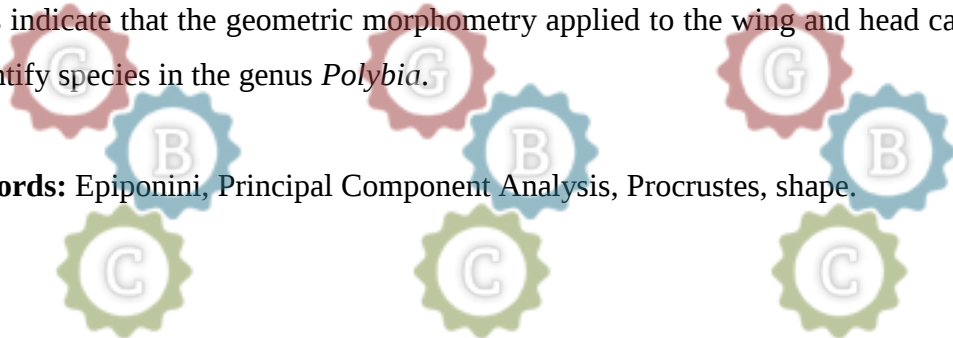
Palavras-chave: Análise de Componentes Principais, Epiponini, forma, Procrustes.



ABSTRACT

The *Polybia* group still presents some problems regarding species discrimination, due to a large morphological variation in the group, requiring the use of additional tools, such as geometric morphometrics (GM), in addition to the traditional taxonomy, to resolve these taxonomic uncertainties. Thus, this study aimed to differentiate wasp species of the *Polybia* genus, through geometric morphometrics, and to perform a comparative analysis between wing and head characters. The sampled organisms come from different locations in Brazil. To obtain the samples, collections were made through active search for nests and donation from researchers from other institutions. A total of 498 individuals were obtained, from nine Brazilian states, belonging to twenty different groups, considering species and morpho-species. The right forewing and heads of the organisms were used for the GM analysis. 21 anatomical landmarks per wing were defined, while for the heads, 10 anatomical landmarks and 9 anatomical semilandmarks per individual. In the wing analysis, for the format, MANOVA showed significant differences between species. The Principal Component Analysis (PCA) indicated a difference in the shape of the wings of the analyzed species, with the first three main components explaining approximately 70% of the variation. It is observed that the regions that presented the greatest variations were submarginal, marginal, medial and stigma. Cross-validation correctly classified approximately 91.70% of the species. The ANOVA applied to the size of the centroid was significant, however the means compared in the Tukey Test did not show differences in size. For head analyzes, MANOVA also revealed significant differences between species. The PCA showed a difference in the shape of the heads of the species analyzed, with the first two main components explaining approximately 70% of the variation. It appears that the greatest variations occurred in the regions of the clypeus, base of antennae, ocelli and lower external region of compound eyes. Cross-validation correctly classified approximately 92.04% of the species. The ANOVA applied to the size of the centroid was significant, but the means compared in the Tukey test do not show differences in size. The results indicate that the geometric morphometry applied to the wing and head can be efficient to identify species in the genus *Polybia*.

Keywords: Epiponini, Principal Component Analysis, Procrustes, shape.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Asa anterior direita de um espécime de *Polybia (Myrapetra) catillifex*, evidenciando os 21 marcos anatômicos utilizados.

Figura 2. Cabeça de adulto de *Polybia (Myrapetra) catillifex*, evidenciando os 10 marcos anatômicos (1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 16, 17 e 18) e 9 semimarcos anatômicos (2, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 19) utilizados.

Figura 3. Gráfico de dispersão baseado em Análise de Componentes Principais (ACP) para a forma da asa, a partir da média por colônia das espécies do gênero *Polybia*. No gráfico, cada espécie é representada por um símbolo.

Figura 4. Grades de deformação com a tendência da forma da asa explicada pelo primeiro componente (PC1), sendo (a) o escore negativo e (b) positivo. Os vetores indicam a direção e o sentido da variação de cada marco anatômico.

Figura 5. Dendrograma de *Neighbor-Joining* baseada na distância de Mahalanobis médias entre a forma da asa das espécies de *Polybia*, relacionadas com valores de *bootstrap* mostrados abaixo de cada ramo.

Figura 6. *Box-plot* referente ao tamanho das asas de *Polybia* baseado no tamanho do centróide, onde: (a) *P. (Myrapetra) bicyttarella*, (b) *P. (Myrapetra) bistrata*, (c) *P. (Myrapetra) catillifex*, (d) *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, (e) *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, (f) *P. (Trichinothorax) ignobilis*, (g) *P. (Apopolybia) jurinei*, (h) *P. (Polybia) liliacea*, (i) *P. (Myrapetra) occidentalis*, (j) *P. (Myrapetra) paulista*, (k) *P. (Myrapetra) platycephala*, (l) *P. (Formicicola) rejecta*, (m) *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, (n) *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, (o) *P. (Trichinothorax) sericea*, (p) *Polybia (Myrapetra) sp.1*, (q) *P. (Trichinothorax) sp.2*, (r) *P. (Myrapetra) sp.3*, (s) *P. (Myrapetra) sp.4*, (t) *P. (Myrapetra) sp.5* e y - Tamanho do centróide. As barras mostram os valores médios $\pm$ desvio padrão. Letras distintas representam médias significativamente diferentes pelo Teste de Tukey.

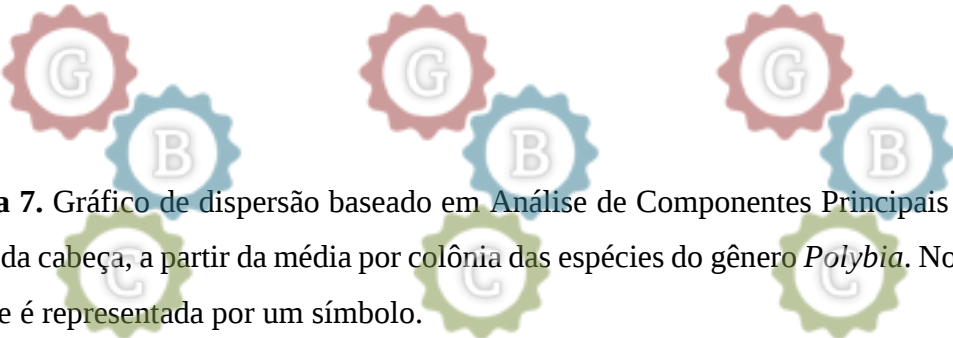


Figura 7. Gráfico de dispersão baseado em Análise de Componentes Principais (ACP) para a forma da cabeça, a partir da média por colônia das espécies do gênero *Polybia*. No gráfico, cada espécie é representada por um símbolo.

Figura 8. Grades de deformação com a tendência da forma da cabeça explicada pelo primeiro componente (PC1), sendo (a) o escore negativo e (b) positivo. Os vetores indicam a direção e o sentido da variação de cada marco anatômico.

Figura 9. Dendrograma de *Neighbor-Joining* baseada na distância de Mahalanobis médias entre a forma da cabeça das espécies de *Polybia*, relacionadas com valores de *bootstrap* mostrados abaixo de cada ramo.

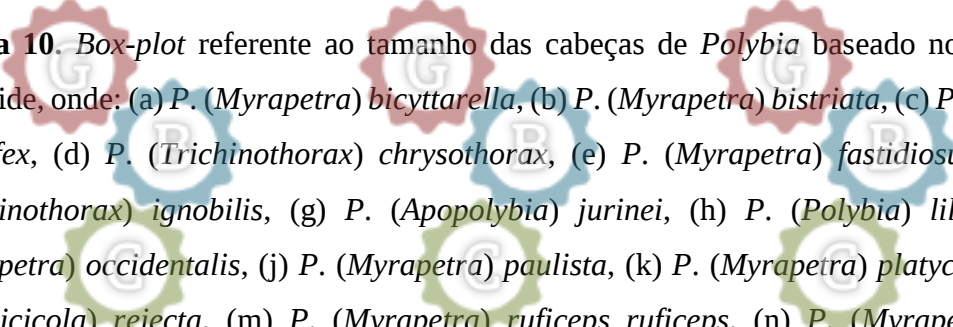


Figura 10. *Box-plot* referente ao tamanho das cabeças de *Polybia* baseado no tamanho do centróide, onde: (a) *P. (Myrapetra) bicyttarella*, (b) *P. (Myrapetra) bistrata*, (c) *P. (Myrapetra) catillifex*, (d) *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, (e) *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, (f) *P. (Trichinothorax) ignobilis*, (g) *P. (Apopolybia) jurinei*, (h) *P. (Polybia) liliacea*, (i) *P. (Myrapetra) occidentalis*, (j) *P. (Myrapetra) paulista*, (k) *P. (Myrapetra) platycephala*, (l) *P. (Formicicola) rejecta*, (m) *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, (n) *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, (o) *P. (Trichinothorax) sericea*, (p) *Polybia (Myrapetra) sp.1*, (q) *P. (Trichinothorax) sp.2*, (r) *P. (Myrapetra) sp.3*, (s) *P. (Myrapetra) sp.4*, (t) *P. (Myrapetra) sp.5* e y - Tamanho do centróide. As barras mostram os valores médios $\pm$ desvio padrão. Letras distintas representam médias significativamente diferentes pelo Teste de Tukey.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das amostras obtidas por meio de coletas ou doações.

Tabela 2. Percentual da validação cruzada entre as espécies ($p < 0,0001$) a partir da morfometria geométrica da asa, onde: 1 - *P. (Myrapetra) bicyttarella*, 2 - *P. (Myrapetra) bistriata*, 3 - *P. (Myrapetra) catillifex*, 4 - *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, 5 - *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, 6 - *P. (Trichinothorax) ignobilis*, 7 - *P. (Apopolybia) jurinei*, 8 - *P. (Polybia) liliacea*, 9 - *P. (Myrapetra) occidentalis*, 10 - *P. (Myrapetra) paulista*, 11 - *P. (Myrapetra) platycephala*, 12 - *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, 13 - *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, 14 - *P. (Trichinothorax) sericea*, 15 - *P. (Formicicola) rejecta*, 16 - *Polybia (Myrapetra) sp.1*, 17 - *Polybia (Trichinothorax) sp.2*, 18 - *Polybia (Myrapetra) sp.3*, 19 - *Polybia (Myrapetra) sp.4* e 20 - *Polybia (Myrapetra) sp.5*.

Tabela 3. Percentual da validação cruzada entre as espécies ($p < 0,0001$) a partir da morfometria geométrica da cabeça, onde: 1 - *P. (Myrapetra) bicyttarella*, 2 - *P. (Myrapetra) bistriata*, 3 - *P. (Myrapetra) catillifex*, 4 - *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, 5 - *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, 6 - *P. (Trichinothorax) ignobilis*, 7 - *P. (Apopolybia) jurinei*, 8 - *P. (Polybia) liliacea*, 9 - *P. (Myrapetra) occidentalis*, 10 - *P. (Myrapetra) paulista*, 11 - *P. (Myrapetra) platycephala*, 12 - *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, 13 - *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, 14 - *P. (Trichinothorax) sericea*, 15 - *P. (Formicicola) rejecta*, 16 - *Polybia (Myrapetra) sp.1*, 17 - *Polybia (Trichinothorax) sp.2*, 18 - *Polybia (Myrapetra) sp.3*, 19 - *Polybia (Myrapetra) sp.4* e 20 - *Polybia (Myrapetra) sp.5*.



LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP – Análise de Componentes Principais

ANOVA - Análise de variância

MANOVA - Análise de variância multivariada

MG – Morfometria Geométrica

CP – Componente Principal

NJ – *Neighbor-Joining*



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Vespas sociais.....	15
2.2. Morfometria geométrica.....	16
2.3. Morfometria geométrica e suas aplicações em Hymenoptera.....	18
3. OBJETIVOS.....	21
3.1. Objetivo geral.....	21
3.2. Objetivos específicos.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. Delineamento amostral.....	22
4.2. Metodologia.....	22
4.3. Análises morfométricas.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Morfometria geométrica da asa.....	26
5.2. Morfometria geométrica da cabeça.....	32
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
APÊNDICES.....	48
ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

Hymenoptera é formada por vespas, formigas e abelhas, que apresentam grande diversidade na região Neotropical. Nesta ordem está incluída a família Vespidae, da qual fazem parte as vespas sociais, destacando-se pelo elevado grau de sociabilidade dos seus organismos. Possuem capacidade de forragear um grande número de presas, controlando populações de insetos herbívoros, além de atuarem na polinização.

As vespas do gênero *Polybia*, apresentam ampla variação morfológica dentro de alguns grupos. Esta variação acarreta muitos problemas quanto à taxonomia deste gênero. Existem alguns subgêneros com problemas taxonômicos, devido a alguns critérios empregados para diferenciação morfológica, tais como a coloração e a alta quantidade de polimorfismos nas estruturas corpóreas, que dificulta a identificação de caracteres distintivos. Em razão da sua importância nos processos ecológicos, este é um grupo de interesse para estudos envolvendo estratégias de conservação, portanto, é necessário um melhor entendimento sobre a taxonomia do mesmo.

Em virtude das dificuldades de identificação encontradas no grupo, a partir da utilização da taxonomia tradicional, necessita-se de ferramentas adicionais, visando reduzir essas incertezas taxonômicas. Dentre essas ferramentas, está a morfometria geométrica (MG), que permite fazer uma análise detalhada da variação da forma de determinadas estruturas corpóreas no organismo, podendo então, distinguir entre espécies. Além disso, é considerada uma técnica de baixo custo, ao se comparar com técnicas moleculares, por exemplo, e permite uma identificação taxonômica mais rápida. Portanto, estudos que utilizem estes marcadores morfológicos podem ser importantes no avanço da taxonomia tradicional, permitindo maior acesso a biodiversidade deste amplo grupo de vespas sociais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Vespas sociais

Hymenoptera é uma das quatro grandes ordens de insetos, com mais de 153.000 espécies descritas e uma distribuição cosmopolita (SHARKEY, 2007; AGUIAR et al., 2013). Nela estão incluídos os insetos popularmente conhecidos como abelhas, formigas e vespas, que apresentam uma grande diversidade ecológica, comportamental e morfológica (TRIPLEHORN & JOHNSON, 2011).

Historicamente, esta ordem está dividida em dois agrupamentos: Symphyta e Apocrita. Os Symphyta constituem um grupo de organismos que não possuem a "cintura de vespa", que caracteriza os demais himenópteros, e os Apocrita constituem um grupo no qual encontra-se mais de 90% das espécies de Hymenoptera, do qual fazem parte os Aculeata (indivíduos apresentam o ovipositor modificado em um ferrão) e os Parasítica (constituído, predominantemente, pelas vespas parasitoides). Os Aculeata estão agrupados em três superfamílias, Chrysidoidea, Apoidea e Vespoidea, à qual pertencem as vespas sociais, especialmente da família Vespidae (MASON & HUBER, 1993; SHARKEY, 2007, PETERS et al., 2017).

Os Vespidae incluem mais de 5.000 espécies válidas (PIEKARSKI et al., 2018), possuem tamanho variando entre 5,5 até 25,0 mm de comprimento e cor geralmente amarela com marcas negras ou inteiramente negras (CARPENTER, 1982; CARPENTER & MARQUES, 2001). Eles formam um grupo de vespas com elevado grau de sociabilidade e encontram-se distribuídos em seis subfamílias (CARPENTER, 1982; SOMAVILLA et al., 2014), dentre estas, destaca-se a Polistinae, que se caracteriza pela grande variedade comportamental e morfológica (CARPENTER, 1991).

Os Polistinae têm distribuição cosmopolita, mas a região Neotropical concentra a maior diversidade de espécies. Taxonomicamente, compreende 25 gêneros e aproximadamente 1000 espécies (PIEKARSKI et al., 2018) e no Brasil estas vespas estão distribuídas em 22 gêneros e 319 espécies (CARPENTER & MARQUES, 2001; SOMAVILLA et al., 2014). Eles estão divididos em quatro tribos: Mischocyttarini, Polistini, Epiponini e Ropalidiini, mas no Brasil há representantes apenas das três primeiras. Os Ropalidiini ocorrem na África, região Indomalaia e Australásia (CARPENTER, 2004).

A tribo Epiponini compreende 19 gêneros, com 242 espécies descritas (PIEKARSKI et al., 2018), das quais 147 tem registro no Brasil (CARPENTER & MARQUES, 2001). Destes,

destaca-se *Polybia* Lepeletier, que apresenta 58 espécies válidas, sendo 49 destas já encontradas no Brasil (RICHARDS, 1978; CARPENTER & MARQUES, 2001; HERMES et al., 2015).

Polybia é um gênero tipicamente Neotropical, com distribuição estendendo-se do sul dos Estados Unidos até o norte da Argentina (RICHARDS, 1978; CARPENTER & MARQUES, 2001; GELIN, 2009). Devido à grande variação morfológica dentro de alguns grupos, o gênero ainda apresenta vários problemas taxonômicos. Segundo Richards (1978) e Gelin (2009), as espécies que não se enquadram em nenhum outro gênero são colocadas em *Polybia*, acarretando em dificuldades de identificar sinapomorfias. Essas espécies estão distribuídas de maneira arbitrária em 11 subgêneros, alguns problemáticos quanto à classificação, por exemplo, *Polybia* (*Trichinothorax*), que apresenta grande quantidade de polimorfismos, que dificulta a identificação de caracteres distintivos (RICHARDS, 1978; GELIN, 2009). Em *P.* (*Alpha*) ocorre uma variação na coloração dentro da mesma espécie e até na mesma colônia, não havendo relação com as castas, então, muitos espécimes podem estar identificados de maneira incorreta como outras morfoespécies (RICHARDS, 1978; GELIN, 2009). Em *P.* (*Myrapetra*), muitas espécies se diferenciam pela variedade da coloração, o que muitas vezes pode não justificar a separação, por exemplo, as espécies e subespécies do grupo *P. occidentalis*, que apresentam diferenças morfológicas sutis nas estruturas corpóreas e coloração variável, principalmente no padrão de marcações amarelas no corpo (RICHARDS, 1978; CARPENTER et al., 2000; GELIN, 2009). Em levantamentos de espécies, *Polybia* geralmente apresenta uma elevada frequência e abundância, portanto é importante o entendimento sobre a taxonomia deste grupo. Há muito tempo este gênero não passa por uma revisão taxonômica, com o último trabalho de taxonomia sendo proposto por Richards (1978), que apresenta poucas informações das espécies e uma chave de identificação, desta forma, *Polybia* ainda não tem uma filogenia proposta para a relação das espécies.

2.2. Morfometria geométrica

Atualmente, diversas abordagens podem ser empregadas para identificação taxonômica, dentre elas, está a morfometria geométrica, a qual vem sendo aplicada em diversas áreas da biologia animal, incluindo a Entomologia. Esta técnica permite uma análise detalhada da variação da forma de uma determinada estrutura, em organismos de diferentes tamanhos, principalmente, utilizando métodos estatísticos multivariados (KLINGENBERG, 2002; ADAMS, et al., 2004; DUJARDIN, et al., 2014; TATSUTA, et al., 2018).

Tradicionalmente, a diversidade de organismos e suas classificações baseavam-se em descrições morfológicas. No início do século XX, houve uma transição do campo descritivo para o campo quantitativo na biologia, então, os estudos morfológicos passaram a incluir dados quantitativos, que eram resumidos em valores médios e comparados entre grupos (BUMPUS, 1898; BOOKSTEIN, 1998; FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012; ADAMS et al., 2013). O termo morfometria foi usado, durante um tempo, para definir qualquer estudo que analisava, quantitativamente, a variação da morfologia encontrada nos organismos (MONTEIRO & REIS, 1999; TATSUTA, et al., 2018). Ainda neste século, houve uma combinação da descrição quantitativa da morfologia com as análises estatísticas, objetivando identificar e descrever padrões de variação da forma dentro e entre grupos, dando início ao moderno campo da morfometria (ADAMS et al., 2004; FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012; ADAMS et al., 2013; TATSUTA, et al., 2018).

Com o desenvolvimento de computadores e pacotes estatísticos, houve o surgimento da morfometria geométrica, que possui destaque em relação à tradicional, uma vez que, minimiza a subestimação da forma original do organismo. Inicialmente, os estudos eram feitos por meio de comparações de várias medidas, contudo, essas medidas que descreviam determinada estrutura não eram suficientes para descrever a forma como um todo, pois os organismos são multidimensionais. Já a morfometria geométrica, inclui informação sobre as posições relativas ao invés de medidas lineares, possibilitando uma representação gráfica da forma (ROHLF & MARCUS, 1993; MONTEIRO E REIS, 1999; MORAES, 2003; ADAMS et al., 2013; COOKE & TERHUNE, 2015).

A morfometria geométrica consiste no estabelecimento de marcos anatômicos ou *landmarks* nos diversos caracteres morfológicos presentes, caracterizando-se como pontos correspondentes, cujas comparações são aplicadas às regras da homologia. Esta homologia entre os marcos possui grande importância, pois assegura uma interpretação biológica dos resultados (BOOKSTEIN et al., 1985; KLINGENBERG, 2002; DUJARDIN, et al., 2014; TATSUTA, et al., 2018). Os marcos anatômicos podem ser classificados em três tipos de acordo com grau de confiabilidade em função da homologia dos pontos: tipo I (homologia altamente confiável), tipo II (homologia medianamente confiável) e tipo III (homologia de baixa confiabilidade) também conhecidos como semimarcos anatômicos. Estes marcos indicam as localizações das características anatômicas, de maneira que as diferenças em suas posições relativas demonstram divergências de forma entre os espécimes. Estas diferenças podem ser visualizadas graficamente (BOOKSTEIN, 1991; ADAMS et al., 2004; VALENTIN et al., 2008; ADAMS et al., 2013). Os dados primários gerados, então, consistem em coordenadas

cartesianas, que devem ser registradas de modo que não sejam afetadas pela variação na posição, orientação e escala do espécime (MONTEIRO & REIS, 1999; KLINGENBERG, 2002; SLICE, 2007; FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012).

Para remoção dos fatores de escala, posição e orientação utiliza-se a sobreposição de Procrustes, que é realizada via método de quadrados mínimos para os parâmetros de translação, rotação e proporcionalização. Para isto, é usado o tamanho do centróide como variável de tamanho padrão, que corresponde ao ponto médio ou centro de massa. Posteriormente, as coordenadas cartesianas resultantes desta sobreposição podem ser sujeitas a diversas análises estatísticas (MONTEIRO & REIS, 1999; KLINGENBERG, 2002; ADAMS et al., 2004; ADAMS et al., 2013; TATSUTA, et al., 2018).

Dentre as diversas vantagens da utilização desta técnica, destaca-se o seu baixo custo comparado a outras metodologias como a molecular, rapidez, pela sua eficácia e proporciona uma identificação taxonômica mais rápida (LYRA et al., 2010).

Considerando este contexto, o uso de ferramentas adicionais além da taxonomia tradicional, tais como a morfometria geométrica, podem contribuir para a resolução de incertezas taxonômicas em *Polybia*. Devido a sua participação em atividade de polinização, controle de populações de insetos herbívoros, ciclagem de nutrientes e sensibilidade às mudanças ambientais, Hymenoptera constitui um grupo de interesse para estudos que envolvam estratégia de conservação (LASELLE & GAULD, 1993; RESENDE et al., 2001).

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

2.3. Morfometria geométrica e suas aplicações em Hymenoptera

Há muitas questões evolutivas e taxonômicas relativas aos Hymenoptera que podem ser respondidas usando aplicações da morfometria (OWEN, 2012). A morfometria geométrica é uma ferramenta útil para detectar variações morfológicas mínimas, que muitas vezes são indetectáveis por estudos morfológicos tradicionais (VILLEMANT et al., 2007).

Várias partes do corpo dos insetos podem ser utilizadas em estudos que envolvam esta técnica, porém, as asas são as principais estruturas utilizadas, por serem predominantemente bidimensionais, planas e devido às venações é possível inserir grande número de marcos anatômicos confiáveis (BOOKSTEIN, 1991; MONTEIRO & REIS, 1999; PERRARD et al., 2014). Além das asas, recentemente alguns pesquisadores iniciaram trabalhos utilizando a cabeça dos insetos para análise de morfometria geométrica, obtendo resultados consistentes (DE SOUZA et al., 2015; BARACCHI, 2016). Souza et al. (2018) analisaram a variação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

populacional e efeito de ilha em *Melipona subnitida*, utilizando a morfometria geométrica da cabeça, revelando diferenças significativas entre as populações do continente e de ilha.

A morfometria geométrica tem demonstrado muitas vantagens na avaliação da biodiversidade e para fins taxonômicos (FRANCOY et al., 2011). Através dela é possível diferenciar espécies crípticas, assim como distinguir indivíduos da mesma espécie em diferentes populações (CHESTERS et al., 2012; VIDAL et al., 2012). Estudos envolvendo grupos de Hymenoptera têm indicado efetividade no uso desta técnica para diferenciar espécies. Quezada-Euán et al. (2015) mostraram que espécies crípticas e morfotipos de *Euglossa* podem ser identificados por morfometria geométrica, apoiando sua utilização associada a outros métodos na taxonomia infragenérica em abelhas. Nogueira et al. (2019) utilizaram a morfometria geométrica em um estudo com asas de *Scaura Schwarz*, objetivando diferenciar populações que poderiam compor espécies crípticas, e indicou que as abelhas oriundas da Mata Atlântica poderiam formar uma espécie nova. Dos Santos et al. (2019) indicaram que o tamanho e a forma das asas anteriores possuem diferenças significativas entre espécies de *Plebeia*, podendo ser usada para discriminação destas, sinalizando as asas dos insetos como uma das melhores estruturas para análises de MG. Falamarzi et al. (2016) apontaram a significativa capacidade de distinção de cinco espécies de *Megachile*, pertencentes a três subgêneros, com o uso da morfometria geométrica, acusando esta, como uma grande ferramenta para enfrentar a insuficiência de especialistas taxonômicos. Barour e Baylac (2016) utilizaram a morfometria geométrica num estudo de discriminação de três subespécies de abelhas africanas, no qual observaram que esta técnica pode ser uma ferramenta poderosa para caracterizar as abelhas argelinas. Zhou et al. (2016) concluíram que as análises morfométricas geométricas podem ser eficientes em trabalhos envolvendo microtaxonomia de *Apis cerana*, além de ser um método potencial para resolver problemas com a classificação de subespécies neste grupo.

Na literatura, podem-se encontrar registros de trabalhos aplicando a morfometria geométrica na diferenciação de espécies e castas de vespas. Baracchi et al. (2011) demonstraram eficiência desta técnica para diferenciação de espécies na subfamília Stenogastrinae, pertencente à Vespidae, mesma família do presente estudo. Dapporto et al. (2011) num estudo de casta em *Polistes gallicus*, mostraram eficácia da morfometria geométrica na diferenciação de operárias e rainhas. Perrard et al. (2014) verificaram efetividade desta técnica em estudos taxonômicos na subfamília Vespinae, e os resultados obtidos apontaram de forma confiável a localização dos seus gêneros, espécies e populações.

No entanto, ainda não foram realizados estudos voltados para a discriminação de espécies de vespas sociais utilizando morfometria geométrica, especificamente do gênero *Polybia*.

Tendo em vista que esta técnica é válida para a diferenciação de espécies em diferentes grupos de Hymenoptera, incluindo as vespas, ela pode ser útil na resolução de incertezas taxonômicas deste gênero.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

- Discriminar espécies de vespas sociais do gênero *Polybia*, por meio da morfometria geométrica.

3.2. Objetivos específicos

- Averiguar a capacidade da morfometria geométrica na discriminação de espécies no gênero *Polybia*.
- Realizar uma análise comparativa entre caracteres da asa e da cabeça quanto à capacidade de discriminar espécies de vespas sociais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Delineamento amostral

Foram realizadas coletas de vespas sociais por meio de busca ativa de ninhos, nas áreas urbanas e rurais da microrregião de Jequié (BA). Os ninhos foram transportados ao Laboratório de Biologia de Insetos (LABI) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, onde os adultos foram fixados em frascos contendo Etanol. Foram amostradas dez fêmeas adultas de cada colônia para o presente estudo. Também obtivemos amostras de outras localidades do Brasil, por meio de doação de pesquisadores de outras instituições: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e USP (Universidade de São Paulo), aceitando-se espécimes de colônias que tiveram uma amostragem menor que dez indivíduos, totalizando 498 espécimes de *Polybia*, pertencentes a 100 colônias, oriundas de nove estados brasileiros (Tabela 1 – ver apêndice).

4.2. Metodologia

Foi realizada a identificação taxonômica com o auxílio das chaves dicotômicas de Richards (1978), Goulet e Huber (1993) e Carpenter e Marques (2001) e em alguns casos de dificuldade em identificar o espécime, o mesmo foi enviado para identificação pelo especialista Dr. Orlando Tobias Silveira do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) ou Dr. Alexandre Somavilla do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Em alguns grupos, não foi possível chegar ao nível hierárquico de espécie, seguindo a classificação até nível de subgênero. Sendo assim, separaram-se os organismos em vinte grupos distintos, considerando-se quinze espécies: *Polybia* (*Myrapetra*) *bicyttarella*, *Polybia* (*Myrapetra*) *bistriata*, *Polybia* (*Myrapetra*) *catillifex*, *Polybia* (*Myrapetra*) *fastidiosuscula*, *Polybia* (*Myrapetra*) *occidentalis*, *Polybia* (*Myrapetra*) *paulista*, *Polybia* (*Myrapetra*) *platycephala*, *Polybia* (*Myrapetra*) *ruficeps*, *Polybia* (*Myrapetra*) *ruficeps xanthops*, *Polybia* (*Trichinothorax*) *chrysothorax*, *Polybia* (*Trichinothorax*) *ignobilis*, *Polybia* (*Trichinothorax*) *sericea*, *Polybia* (*Apopolybia*) *jurinei*, *Polybia* (*Polybia*) *liliacea* e *Polybia* (*Formicicola*) *rejecta* e cinco morfoespécies: *Polybia* (*Myrapetra*) sp.1, *Polybia* (*Trichinothorax*) sp.2, *Polybia* (*Myrapetra*) sp.3, *Polybia* (*Myrapetra*) sp.4 e *Polybia* (*Myrapetra*) sp.5 (Tabela 1 – ver apêndice).

Lâminas de microscopia foram montadas e fotografadas para as análises de morfometria geométrica. Assim, as asas direitas anteriores dos espécimes foram removidas com auxílio de uma pinça de ponta fina e fixadas em lâminas de microscopia, previamente identificadas, com ajuda de um pincel fino e cola branca diluída em água destilada, em seguida, coberta por outra

lâmina de vidro fixada com o uso de esmalte transparente. Utilizaram-se microtubos tipo *eppendorf*, com etiquetas de identificação, para armazenamento individual dos espécimes, possibilitando usá-los em outras análises. As cabeças foram retiradas dos indivíduos com ajuda de uma pinça e inseridas sobre uma base de massa de modelar em lâminas de microscopia, para que pudessem ser fotografadas e, em seguida, devolvidas para os microtubos tipo *eppendorf*, conforme identificação.

As imagens das lâminas foram capturadas usando uma câmera acoplada a um estereomicroscópio (Leica Application Suite 3.4.1, Wetzlar, Alemanha). Em seguida, a partir das imagens, foram gerados arquivos com extensão TPS utilizando o tpsUtil versão 1.78 (ROHLF, 2016) para posteriormente realizar a mensuração. Foram inseridos 21 marcos anatômicos por asa, em junções das nervuras (Figura 1), com o auxílio do tpsDig2 versão 2.31 (ROHLF, 2018). Enquanto para as cabeças, foram utilizados 11 marcos anatômicos e oito semimarcos anatômicos por indivíduo (Figura 2). O alinhamento dos semimarcos foi realizado no tpsRelw versão 1.70 (ROHLF, 2017), para isto, deslizaram-se os semimarcos em linhas tangentes ao longo da superfície, essas tangentes são calculadas com base em dois marcos adjacentes e semimarcos, a fim de remover os efeitos do espaçamento arbitrário, tornando a posição dos semimarcos mais precisos em relação à forma média de toda a amostra, de acordo com as coordenadas da forma de Procrustes (GUNZ & MITTEROECKER, 2013).

Um total de 40 amostras, contendo dois indivíduos de cada grupo, foram utilizadas afim de obter uma análise prévia em relação aos marcos selecionados, tanto para as asas quanto cabeças, a fim de minimizar o erro de medida, para tal, a obtenção dos marcos foi realizada três vezes em cada amostra, pelo mesmo pesquisador, em dias distintos, com a ordem de introdução dos marcos anatômicos sendo a mesma para cada exemplar, por ser este um requisito para estabelecer a homologia espacial das estruturas mediante suas coordenadas. A análise de dados das três medições de cada asa e cabeça indicou que a diferença encontrada é maior no efeito a ser analisado (PALMER, 1994).

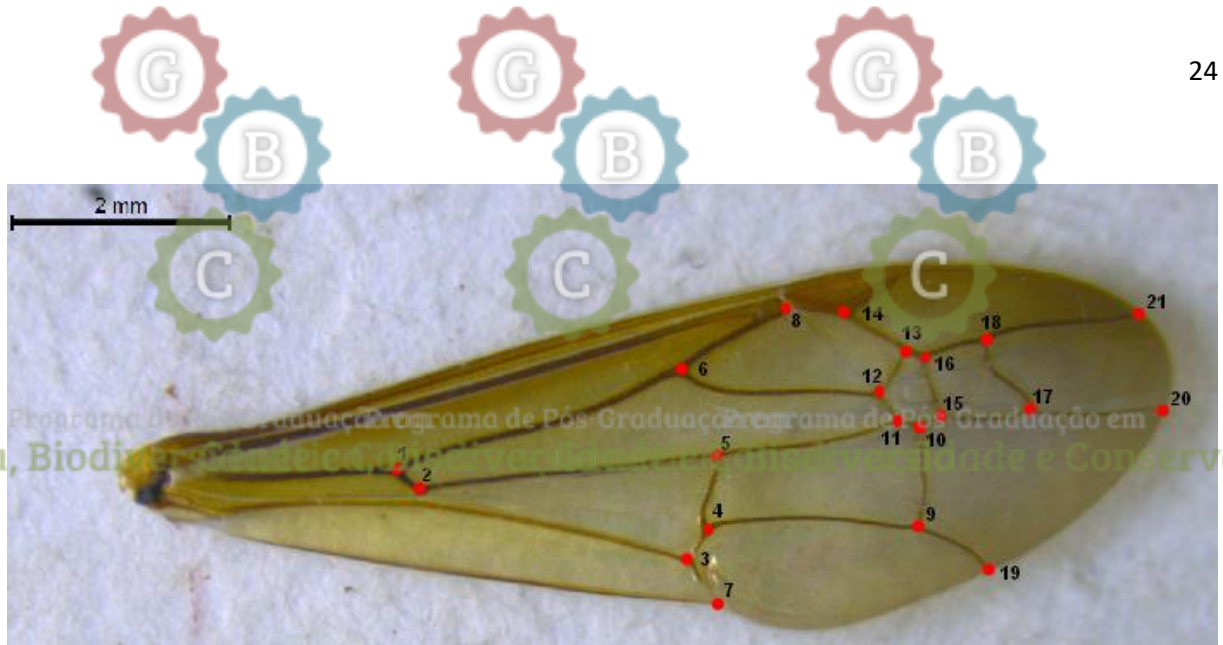


Figura 1. Asa anterior direita de um espécime de *Polybia (Myrapetra) catillifex*, evidenciando os 21 marcos anatômicos utilizados.



Figura 2. Cabeça de adulto de *Polybia (Myrapetra) catillifex*, evidenciando os 11 marcos anatômicos (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 16, 17, 18 e 19) e 8 semimarcos anatômicos (2, 5, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) utilizados.

4.3. Análises morfométricas

As coordenadas cartesianas obtidas após a marcação dos pontos anatômicos, foram submetidas à sobreposição de Procrustes, a fim de remover os efeitos de tamanho, orientação e posição, para que as diferenças de forma pudessem ser analisadas, para isto, utilizou-se o tamanho do centróide, que é o ponto médio ou centro da massa (SLICE, 2007; FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012). Posteriormente, realizou-se uma análise de variância multivariada (MANOVA), com o objetivo de verificar se haviam diferenças de formato entre os grupos. Em seguida, efetuou-se à Análise de Componentes Principais (ACP) a partir das médias por colônias, com o intuito de verificar a ocorrência de tendência na variação da forma, logo após, Função discriminante e Validação cruzada, a fim de discriminar e classificar os grupos (SLICE, 2007; FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012), para tais análises, foi utilizado o MorphoJ (KLINGENBERG, 2011).

Foram realizadas análises de agrupamento, para verificar padrões de similaridade morfológica entre grupos (FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012), sendo gerados dendogramas através dos métodos de *Neighbor-Joining* (NJ), a partir da distância de Mahalanobis, com 1000 réplicas de *bootstrap* (FELSENSTEIN, 1985). Para análise de tamanho, foi realizada a análise de variância (ANOVA) a partir do tamanho do centróide, seguido por um teste de Tukey, a fim de comparar se as médias de tamanho eram significativamente diferentes, conduzidos no programa PAST 2.17c (HAMMER et al., 2001).

É importante ressaltar que no presente estudo, para algumas espécies, foi possível obter amostras de diferentes localidades e distâncias geográficas, consequentemente, distintas condições ambientais, permitindo executar algumas análises com os grupos a partir da média das colônias por espécie, possibilitando fazer atribuição das análises de forma e tamanho aos determinados grupos taxonômicos pelas características gerais encontradas em cada um deles, independentemente das diferentes influências sofridas pelas diversas colônias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Morfometria geométrica da asa

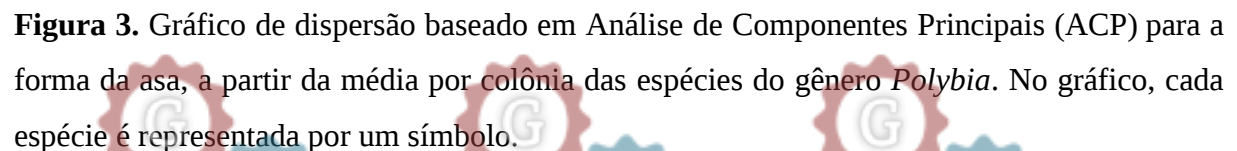
A análise de morfometria geométrica para o formato da asa detectou variações morfológicas entre os grupos. A MANOVA para o formato das asas demonstrou que houveram diferenças significativas entre as espécies ($p < 0,001$). A ACP indicou diferença na forma das asas das espécies analisadas, sendo que os três primeiros componentes principais explicaram aproximadamente 70% da variação total dos dados. O primeiro explicou 46,81%, o segundo 13,50% e o terceiro 9,46%. Ao observar o gráfico de dispersão (Figura 3), nota-se que houve uma grande separação das espécies *P. (Polybia) liliacea* e *P. (Trichinothorax) ignobilis*, além disso, percebe-se que apesar de *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Trichinothorax) sericea* apresentarem uma pequena aproximação, podem ser diferenciadas. O primeiro componente separa no eixo negativo *P. (Polybia) liliacea*, *P. (Trichinothorax) sericea*, *P. (Trichinothorax) sp.2*, *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Trichinothorax) ignobilis*, enquanto no eixo positivo separam-se *P. (Myrapetra) occidentalis*, *P. (Myrapetra) bistrata*, *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) platycephala*, *P. (Myrapetra) sp.3*, *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, *P. (Myrapetra) paulista*, *P. (Myrapetra) catillifex*, *P. (Myrapetra) sp.1*, *P. (Myrapetra) sp.4*, *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, *P. (Myrapetra) sp.5* e *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*. O segundo componente separa no eixo negativo *P. (Trichinothorax) sericea*, *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, *P. (Trichinothorax) ignobilis*, *P. (Trichinothorax) sp.2*, *P. (Myrapetra) sp.1*, *P. (Myrapetra) sp.4*, *P. (Myrapetra) sp.5*, *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, *P. (Myrapetra) paulista* e *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, enquanto no eixo positivo separam-se *P. (Polybia) liliacea*, *P. (Apopolybia) jurinei*, *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) sp.3* e *P. (Myrapetra) platycephala* (Figura 3). De acordo com o primeiro componente principal (CP), observa-se na grade de deformação que as maiores variações nos marcos e suas respectivas localizações no escore negativo foram: contração nas regiões submarginal (marcos 13, 15, 16 e 17), marginal (marcos 19, 20 e 21) e medial (marco 6), assim como expansão na região do estigma (marco 14); enquanto o oposto foi observado no escore positivo (Figura 4) (Anexo1).

Segundo Richards (1978), *Polybia (Myrapetra)*, representado no presente trabalho pelas espécies *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) bistrata*, *P. (Myrapetra) catillifex*, *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, *P. (Myrapetra) occidentalis*, *P. (Myrapetra) paulista*, *P. (Myrapetra) platycephala*, *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*,

P. (Myrapetra) sp.1, *P. (Myrapetra) sp.3*, *P. (Myrapetra) sp.4* e *P. (Myrapetra) sp.5* é o mais problemático quanto à classificação, com muitas espécies se diferenciando pela variedade de coloração, o que pode justificar a distribuição e proximidade de algumas espécies deste subgênero ao longo do gráfico gerado pela ACP quando comparadas às demais espécies pertencentes a *P. (Trichinothorax)*, neste caso, *P. (Trichinothorax) sericea*, *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, *P. (Trichinothorax) ignobilis* e *P. (Trichinothorax) sp.2*, que estão estritamente separados pelo primeiro e segundo componente no eixo negativo em relação as outras espécies e *P. (Polybia) liliacea*, que diferenciou-se com maior precisão. Não existe uma revisão taxonômica mais atual deste gênero a nível de espécie e a chave dicotômica de Richards (1978), atualmente usada, é insuficiente para resolver alguns problemas de identidade. Então, a partir dos resultados da ACP, observa-se que algumas espécies separaram de maneira mais precisa do que outras, umas dividindo melhor em nível de subgênero, possibilitando indicar que a MG da asa é também uma ferramenta eficaz para classificação de subgêneros de vespas sociais. Aytekin et al. (2007) constataram que a morfometria geométrica da asa também é efetiva na separação de subgêneros em *Bombus*.

Considerando que em *Polybia (Myrapetra)* existe um grupo chamado *P. (gr. occidentalis)*, que engloba 12 espécies, aqui representadas por *P. (Myrapetra) occidentalis*, *P. (Myrapetra) paulista*, *P. (Myrapetra) platycephala*, *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps* e *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, o problema de classificação agrava-se, pois as espécies desse grupo têm diferenças estruturais muito pequenas e a coloração do corpo muito variável, o que muitas vezes pode não justificar a separação entre elas através da taxonomia tradicional, além disso, possuem uma ampla distribuição geográfica, tornando maior o intervalo de variação de cada espécie, trazendo ainda mais dificuldades na classificação (RICHARDS, 1978; CARPENTER et al. 2000). Contudo, observa-se que também houve separação a nível de subespécie neste subgênero, considerando-se *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps* e *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, em relação ao segundo componente principal. Barour e Baylac (2016) utilizaram a morfometria geométrica de asa e também obtiveram resultados positivos quanto a discriminação de subespécies em *Apis mellifera*.

Sugere-se a utilização de outras ferramentas para confirmar ou refutar se os táxons representam espécies biológicas. Marchioro (2019) em um estudo citogenético de diferenciação de espécies em *Polybia (gr. occidentalis)*, indica que os indivíduos analisados, previamente classificados como *P. (gr. occidentalis)* através de chaves de identificação taxonômica, podem pertencer a duas espécies distintas, mas que ainda fazem parte do mesmo grupo, ressaltando a necessidade de uma revisão taxonômica.



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

A validação cruzada classificou corretamente, aproximadamente, 91,70% ($p < 0,0001$) das espécies em seus respectivos grupos. A maior média de precisão de classificação foi observada para as espécies *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Formicicola) rejecta*, em relação às demais, com uma média de classificação correta de aproximadamente 99,95% e 99,05%, respectivamente, e a menor taxa de média de discriminação foi da espécie *P. (Trichinothorax) sericea* (aproximadamente 74,78%). Contudo, nota-se que a menor precisão de classificação foi entre *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps* e *Polybia (Myrapetra) sp.5* (58,93%) (Tabela 2 – ver apêndice).

Portanto, a validação cruzada demonstrou que a forma da asa tem um grande potencial de separação de espécies em *Polybia*. Assim como, a validação cruzada tem demonstrado um alto potencial de diferenciação taxonômica em diferentes grupos de Hymenoptera (BARACCHI et al., 2011; BAROUR & BAYLAC, 2016; FALAMARZI et al., 2016).

Observa-se que apesar da distribuição de *P. (Formicicola) rejecta* na ACP está separada apenas através do segundo componente principal, é uma espécie que diferencia-se bem ao considerar a média por espécies na validação cruzada, demonstrado pelo alto índice de atribuição correta. Da mesma forma, apesar de *P. (Trichinothorax) chrysothorax* ter uma distribuição próxima de *P. (Trichinothorax) sericea* na ACP, na validação cruzada a precisão de classificação correta entre as espécies foi de 100%. Deve-se considerar que a ACP, diferentemente da validação cruzada, que considera a média por espécie, é baseada na forma média por colônia, então, dependendo das condições ambientais em que encontravam-se, já que ambas tiveram amostras de diferentes regiões, pode ter levado a pequenas variações de forma, influenciando na distribuição das espécies no gráfico. Além disso, *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Trichinothorax) sericea* são morfologicamente muito parecidas, com poucas características separando ambas através da taxonomia tradicional. Perrard et al. (2014) indicaram que a variação de parâmetros climáticos em diferentes faixas geográficas, pode influenciar na variação da forma das asas de vespas, desta forma, visto que, no presente estudo, para algumas espécies, houveram distintos locais de coleta das colônias, pode ter influenciado diretamente na distribuição das mesmas na ACP.

O dendrograma gerado pelo método *Neighbor-Joining* a partir da distância de Mahalanobis com média por espécies, indicou que *P. (Trichinothorax) sericea*, *Polybia (Trichinothorax) sp.2*, *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Polybia) liliacea* diferenciaram com 100% de suporte das demais espécies (Figura 5), corroborando os resultados encontrados na ACP, além de refletir a baixa precisão de classificação na validação cruzada entre *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps* e *Polybia (Myrapetra) sp.5*. Além disso, nota-se que *P.*

(*Myrapetra*) demonstrou proximidade entre as espécies do grupo, corroborando o cladograma obtido por Carpenter et al. (2000) que propõem monofiletismo para o subgênero.

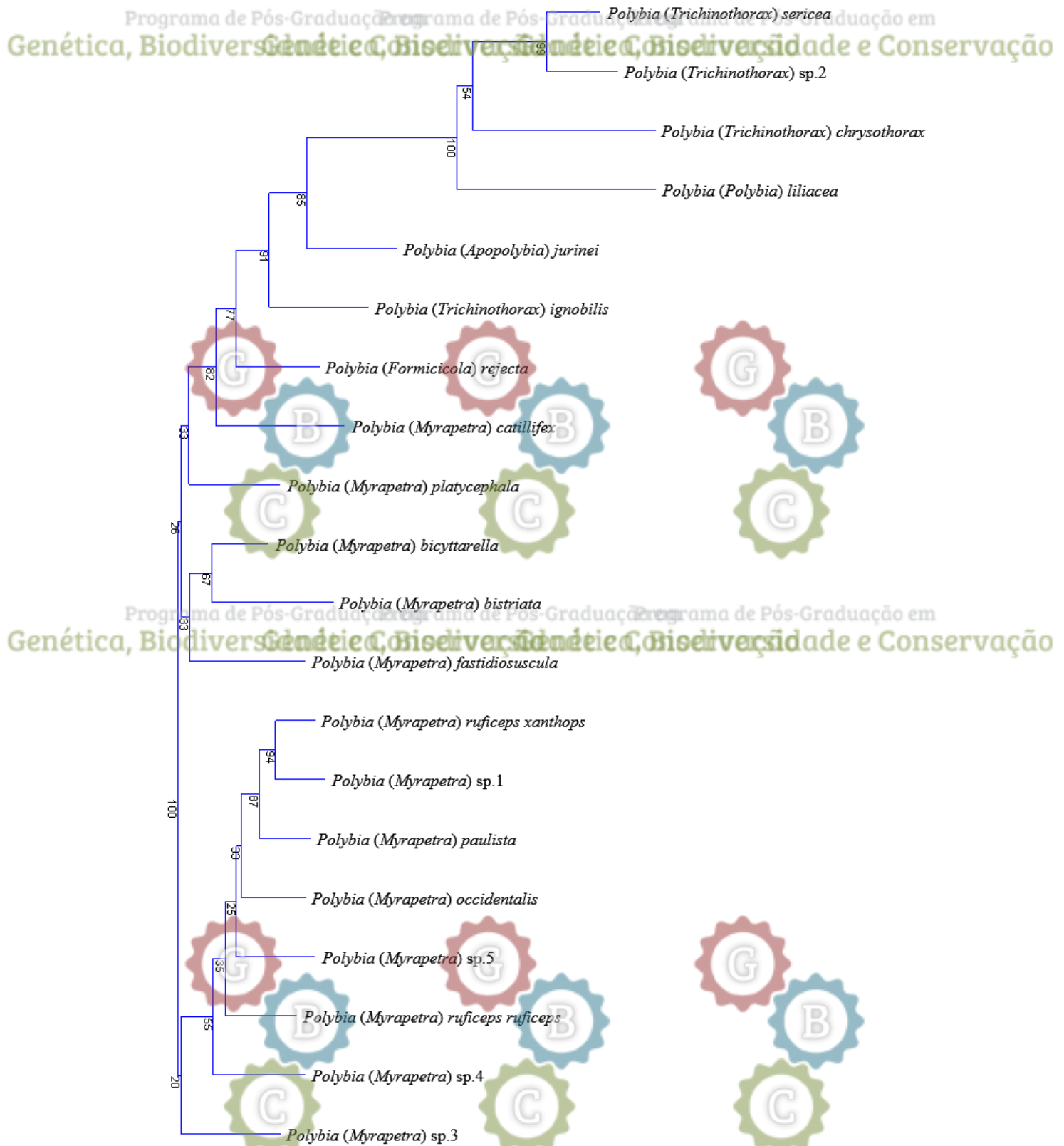


Figura 5. Dendrograma de *Neighbor-Joining* baseada na distância de Mahalanobis médias entre a forma da asa das espécies de *Polybia*, relacionadas com valores de *bootstrap* mostrados abaixo de cada ramo.

Na análise de tamanho da asa, a ANOVA aplicada ao tamanho do centróide foi significativa ($p < 0.01$) e as médias comparadas no Teste de Tukey demonstram estas diferenças, indicando que os grupos *P. (Myrapetra) bistriata* e *Polybia (Myrapetra) sp.3* apresentaram as asas menores em relação às demais, contudo, não mostraram diferença de tamanho entre elas, enquanto *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, *P. (Polybia) liliacea*, *P. (Trichinothorax) sericea* e *P. (Trichinothorax) sp.2* exibiram as maiores asas quando comparadas aos outros grupos, no entanto, *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Trichinothorax) sp.2* não diferenciam-se entre si, assim como *P. (Polybia) liliacea* comparada à *P. (Trichinothorax) sericea* (Figura 6). Portanto, embora o tamanho do centróide da asa possa revelar diferenças entre os grupos analisados, ele não tem utilidade como ferramenta de diagnóstico para discriminar efetivamente as espécies de *Polybia*.

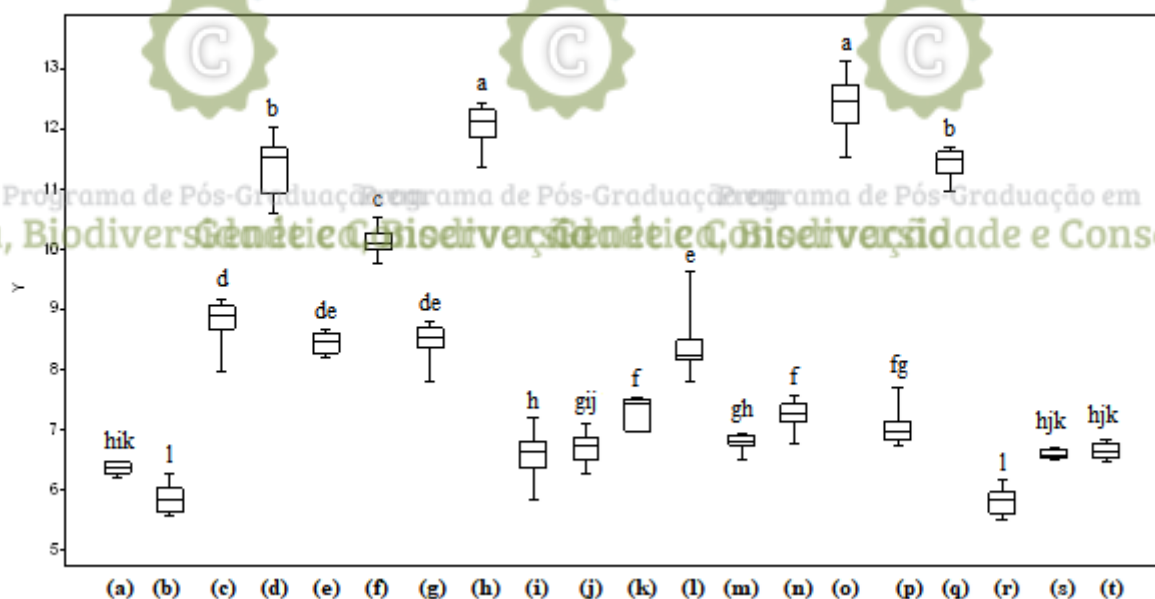


Figura 6. Box-plot referente ao tamanho das asas de *Polybia* baseado no tamanho do centróide, onde: (a) *P. (Myrapetra) bicyttarella*, (b) *P. (Myrapetra) bistriata*, (c) *P. (Myrapetra) catillifex*, (d) *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, (e) *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, (f) *P. (Trichinothorax) ignobilis*, (g) *P. (Apopolybia) jurinei*, (h) *P. (Polybia) liliacea*, (i) *P. (Myrapetra) occidentalis*, (j) *P. (Myrapetra) paulista*, (k) *P. (Myrapetra) platycephala*, (l) *P. (Formicicola) rejecta*, (m) *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, (n) *P. (Myrapetra) ruficeps*

xanthops, (o) *P. (Trichinothorax) sericea*, (p) *Polybia (Myrapetra) sp.1*, (q) *P. (Trichinothorax) sp.2*, (r) *P. (Myrapetra) sp.3*, (s) *P. (Myrapetra) sp.4*, (t) *P. (Myrapetra) sp.5* e y - Tamanho do centróide. As barras mostram os valores médios $\pm$ desvio padrão. Letras distintas representam médias significativamente diferentes pelo Teste de Tukey.

Ressaltamos que os marcos anatômicos utilizados para as análises de asa são do tipo I, que é caracterizado com homologia altamente confiável segundo Bookstein (1991) e ao contrário dos dados de tamanho da asa, observa-se que os dados de forma da asa, foram os que melhor discriminaram as espécies, com os resultados indicando, de maneira geral, que as junções das veias das asas podem ser eficientes para identificação de espécies no gênero *Polybia*, principalmente ao considerar o teste de validação cruzada. Schutze et al. (2011) em um trabalho utilizando morfometria geométrica de asa em *Bactrocera dorsalis* relataram uma melhor discriminação da forma em comparação ao tamanho.

5.2. Morfometria geométrica da cabeça

A análise de morfometria geométrica da cabeça também identificou variações morfológicas entre os grupos. A MANOVA para o formato das cabeças revelou que houveram diferenças significativas entre as espécies ($p < 0.001$). A ACP apontou diferença na forma das cabeças das espécies analisadas, sendo que os dois primeiros componentes principais explicaram aproximadamente 70% da variação total dos dados. O primeiro explicou 46,12%, o segundo 23,16 % e o terceiro 8,43%. Ao observar o gráfico de dispersão (Figura 7), nota-se que as espécies *P. (Trichinothorax) ignobilis* e *P. (Trichinothorax) sericea*, assim como para asa, apresentaram diferenciação morfológica. O primeiro componente separa no eixo negativo *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, *P. (Myrapetra) occidentalis*, *P. (Myrapetra) bistrata*, *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) platycephala*, *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, *P. (Myrapetra) paulista*, *P. (Myrapetra) sp.1*, *P. (Myrapetra) sp.3*, *P. (Myrapetra) sp.4* e *P. (Myrapetra) sp.5*, enquanto no eixo positivo separam-se *P. (Trichinothorax) ignobilis*, *P. (Polybia) liliacea*, *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, *P. (Apopolybia) jurinei*, *P. (Trichinothorax) sericea* e *P. (Trichinothorax) sp.2*. O segundo componente separa no eixo negativo *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, *P. (Myrapetra) sp.1*, *P. (Trichinothorax) sp.2*, *P. (Myrapetra) sp.4*, *P. (Myrapetra) sp.5*, *P. (Myrapetra) paulista*, *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) platycephala* e *P. (Trichinothorax) sericea*, enquanto no eixo positivo separam-se *P. (Myrapetra) catillifex*, *P. (Formicicola) rejecta*, *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, *P.*

(*Trichinothorax*) *ignobilis* e *P. (Myrapetra)* *fastidiosuscula* (Figura 7). De acordo com o primeiro componente, observa-se na grade de deformação que maiores variações nos marcos e suas respectivas localizações no escore negativo foram: contração nas regiões do clipeo (marcos 1, 3, 4, 6, 7 e 19), soquete antenal (8 e 9) e região externa inferior dos olhos compostos (marcos 2 e 5), assim como expansão na região dos ocelos (marcos 16, 17 e 18); enquanto o oposto foi observado no escore positivo (Figura 8) (Anexo 2).

Pode-se observar que assim como para análise de asa, apesar dos grupos apresentarem diferenças morfológicas significativas, na ACP de cabeça, algumas espécies não estavam bem separadas, ocorrendo sobreposição de alguns grupos. Nota-se também, que os subgêneros não apresentaram separações tão expressivas, por exemplo, *P. (Trichinothorax)* representado por *P. (Trichinothorax)* *sericea*, *P. (Trichinothorax)* *chrysothorax*, *P. (Trichinothorax)* *ignobilis* e *P. (Trichinothorax)* sp.2, que mostrou-se bem estabelecido na análise de asa, considerando-se os dois componentes principais.

Apesar de *P. (Polybia)* *liliacea* apresentar-se como uma espécie bem definida na ACP da asa, para análise de cabeça só separou no CP 1, enquanto observa-se que *P. (Trichinothorax)* *ignobilis* separou-se bem na ACP ao considerar ambos componentes. Quezada-Euán et al. (2015) num estudo utilizando diferentes caracteres, no qual compararam os resultados da MG da asa e posteriormente apenas a célula radial, também encontraram diferenças na distribuição dos grupos na ACP de acordo com o caractere utilizado. Além disso, assim como diferentes condições ambientais podem influenciar na variação da forma das asas, Souza et al. (2008) aplicaram a morfometria geométrica em *Melipona subnitida* e demonstraram que diferentes condições ambientais e geográficas acarretam mudanças na morfologia da cabeça. Portanto, de acordo com o caractere escolhido para à análise, é possível obter uma variação nos resultados.

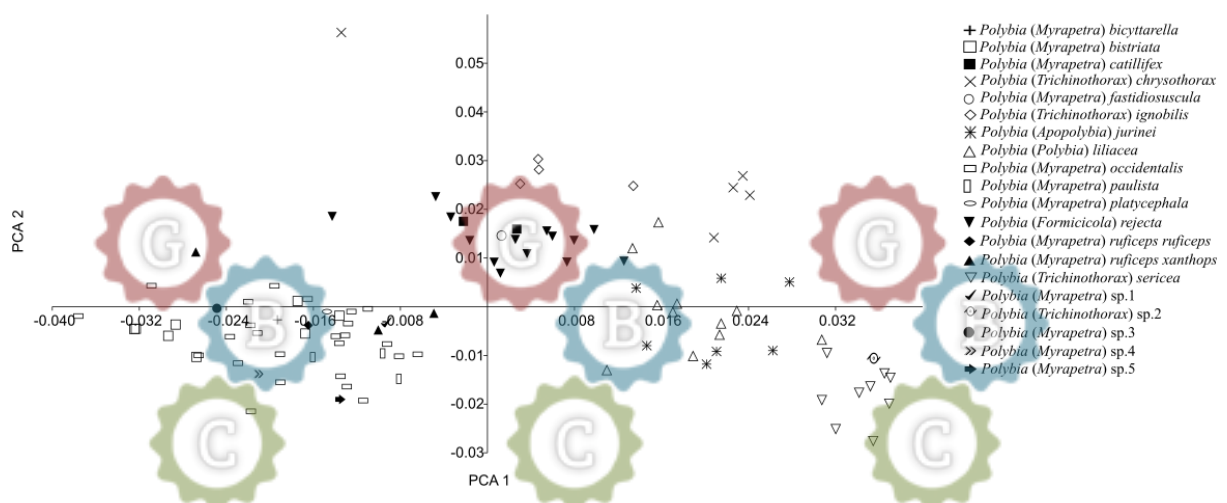


Figura 7. Gráfico de dispersão baseado em Análise de Componentes Principais (ACP) para a forma da cabeça, a partir da média por colônia das espécies do gênero *Polybia*. No gráfico, cada espécie é representada por um símbolo.

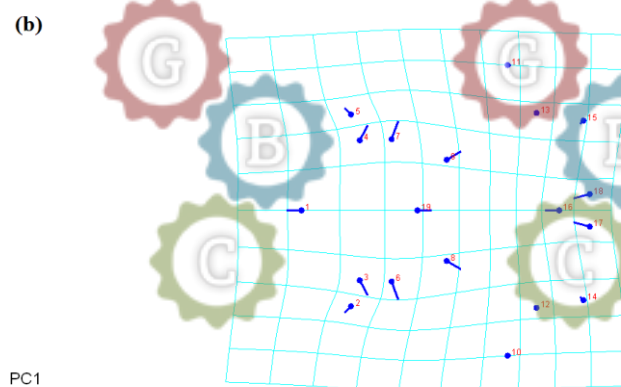


Figura 8. Grades de deformação com a tendência da forma da cabeça explicada pelo primeiro componente (PC1), sendo (a) o escore negativo e (b) positivo. Os vetores indicam a direção e o sentido da variação de cada marco anatômico.

A validação cruzada classificou corretamente, aproximadamente, 92,04% ($p < 0,0001$) das espécies em seus respectivos grupos. Da mesma maneira que para a análise de asa, a maior média de precisão de classificação foi observada para as espécies *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Formicicola) rejecta*, quando comparadas às demais, com uma média de classificação correta de aproximadamente 99,95% e 99,67%, respectivamente, e a menor média de taxa de discriminação foi da espécie *P. (Myrapetra) bistrata* (aproximadamente 78,72%). Observa-se que a menor precisão de classificação foi entre *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops* e *Polybia (Myrapetra) sp.1* (56,67%) (Tabela 3 – ver apêndice). Portanto, a forma da cabeça também tem um grande potencial para separar espécies no subgênero *Polybia*.

Comparando-se a forma da asa e cabeça, observa-se que a maior precisão de classificação na validação cruzada foi para as espécies *P. (Trichinothorax) chrysothorax* e *P. (Formicicola) rejecta* para ambas partes do corpo, com as taxas de distribuição correta acima de 99%. Considerando-se o menor nível de precisão, percebe-se que para asa foi *P. (Trichinothorax) sericea* (74,78%), contudo, a média desta espécie na análise de cabeça foi de 99,62%. Já o menor índice para a cabeça, foi o da espécie *P. (Myrapetra) bistriata* (78,72%), que apresentou 91,09% em relação a asa. Então, de acordo com a parte do corpo utilizada, verifica-se uma variação nas taxas de distribuição correta, sugerindo que possam ser utilizados diferentes caracteres em estudos afim de obter análises de dados mais robustos.

O dendrograma gerado pelo método *Neighbor-Joining* a partir da distância de Mahalanobis com média por espécies, indicou que *P. (Trichinothorax) sericea* e *Polybia (Trichinothorax) sp.2* diferenciaram com 100% de suporte das demais espécies (Figura 9), corroborando os resultados encontrados na ACP. Percebe-se que assim como na ACP e validação cruzada, em relação a *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops* e *Polybia (Myrapetra) sp.1*, o dendrograma demonstra uma proximidade entre os grupos.

Também pode-se observar, que o posicionamento das espécies de *P. (Trichinothorax)* corroborou os resultados de análises filogenéticas propostos por Carpenter et al. (2000) e Gelin (2009), que consideram este subgênero monofilético. Além disso, assim como para asa, a proximidade das espécies de *P. (Myrapetra)* corroborou o cladograma obtido por Carpenter et al. (2000) que apontam monofiletismo no grupo. A adjacência de *P. (Formicicola)* e *P. (Apopolybia)* no dendrograma, corroborou os resultados proposto por Carpenter et al. (2000), que os consideram grupos irmãos, contrariando os achados de Gelin (2009).

A história evolutiva do grupo não foi precisamente descrita no presente estudo, quando comparada as revisões taxonômicas mais atuais de Carpenter et al. (2000) e Gelin (2009), deve-se considerar que não houveram representantes de todos os subgêneros, podendo ter influenciado diretamente na conformação do dendrograma. Segundo Gelin (2009) as relações entre os subgêneros de *Polybia* ainda mostram-se pouco compreendidas, indicando a necessidade da inclusão de outros tipos de caracteres em análises futuras.

Diante do exposto, reforça-se a necessidade de compreender as relações entre os subgêneros de *Polybia*, sugerindo-se um estudo taxonômico com diferentes abordagens (molecular, citogenética e comportamental) para solucionar os problemas de classificação deste importante grupo de vespas sociais.

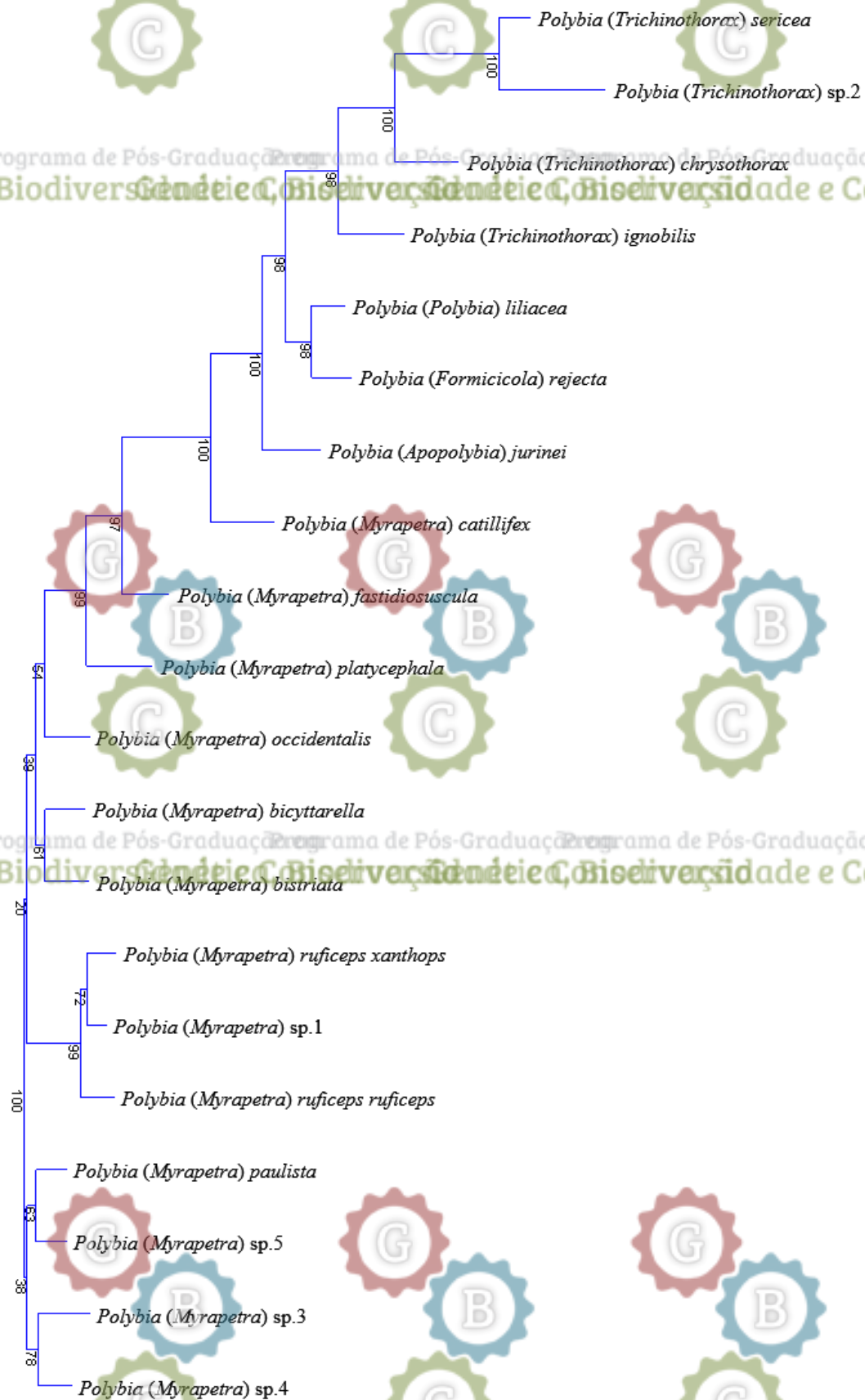


Figura 9. Dendograma de *Neighbor-Joining* baseada na distância de Mahalanobis médias entre a forma da cabeça das espécies de *Polybia*, relacionadas com valores de *bootstrap* mostrados abaixo de cada ramo.

Na análise de tamanho, a ANOVA aplicada ao tamanho do centróide foi significativa ($p < 0.01$) e as médias comparadas no Teste de Tukey demonstram estas diferenças, indicando que os grupos *P. (Myrapetra) bicyttarella*, *P. (Myrapetra) bistrata* e *Polybia (Myrapetra) sp.3* apresentaram as cabeças menores em relação às demais, contudo, não mostraram diferença de tamanho entre elas. Enquanto, *P. (Polybia) liliacea*, *P. (Trichinothorax) sericea* e *P. (Trichinothorax) sp.2* exibiram as maiores cabeças quando comparadas aos outros grupos, porém, *P. (Trichinothorax) sericea* e *P. (Trichinothorax) sp.2* não diferenciaram-se entre si (Figura 10). Desse modo, os dados de tamanho da cabeça apresentam utilidade limitada na separação das espécies em *Polybia*.

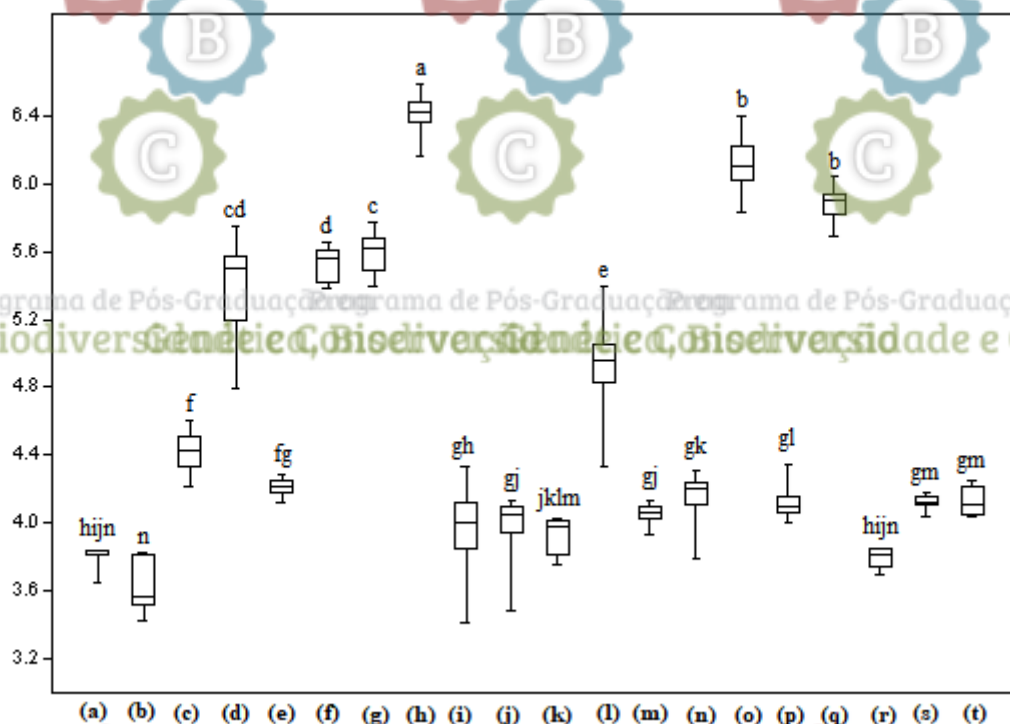


Figura 10. Box-plot referente ao tamanho das cabeças de *Polybia* baseado no tamanho do centróide, onde: (a) *P. (Myrapetra) bicyttarella*, (b) *P. (Myrapetra) bistrata*, (c) *P. (Myrapetra) catillifex*, (d) *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, (e) *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, (f) *P. (Trichinothorax) ignobilis*, (g) *P. (Apopolybia) jurinei*, (h) *P. (Polybia) liliacea*, (i) *P. (Myrapetra) occidentalis*, (j) *P. (Myrapetra) paulista*, (k) *P. (Myrapetra) platycephala*, (l) *P. (Formicicola) rejecta*, (m) *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, (n) *P. (Myrapetra) ruficeps*

xanthops, (o) *P. (Trichinothorax) sericea*, (p) *Polybia (Myrapetra)* sp.1, (q) *P. (Trichinothorax)* sp.2, (r) *P. (Myrapetra)* sp.3, (s) *P. (Myrapetra)* sp.4, (t) *P. (Myrapetra)* sp.5 e y - Tamanho do centróide. As barras mostram os valores médios $\pm$ desvio padrão. Letras distintas representam médias significativamente diferentes pelo Teste de Tukey.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Embora os dados de tamanho da cabeça possam ter utilidade limitada na separação das espécies, os dados de forma da cabeça parecem ter potencial para discriminar, ao observar alta taxa de sucesso para a correta atribuição de indivíduos às suas espécies.



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

6. CONCLUSÕES

As análises de morfometria geométrica, tanto para asa quanto para cabeça, demonstraram que a forma possui elevada capacidade na distinção dos grupos taxonômicos, permitindo identificar espécies de forma rápida, eficiente e com baixo custo. Portanto, o uso da informação relacionada a estas partes do corpo é uma linha de evidência a ser usada com outros conjuntos de dados, como estudos moleculares, por exemplo, na resolução de incertezas taxonômicas de *Polybia*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, DC.; SLICE, DE. & ROLF, FJ. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology, 71, 5-16.

ADAMS, DC.; ROHLF, FJ. & SLICE, DE. 2013. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. Hystrix, 24(1), 7.

AGUIAR, AP.; DEANS, AR.; ENGEL, MS.; FORSHAGE, M.; HUBER, JT.; JENNINGS, JT. & MIKO, I. 2013. Order Hymenoptera. Zootaxa, 3703(1), 51-62.

ANDENA, SR.; ARAGÃO, M. & WENZEL, JW. 2016. As vespas sociais encontradas no Semiárido brasileiro. In: BRAVO, F. & CALOR, AR. Conhecendo os artrópodes do semiárido. São Paulo: Métis Produção Editorial. p. 126-138.

AYTEKIN, MA.; TERZO, M.; RASMONT, P. & ÇAĞATAY, N. 2007. Landmark based geometric morphometric analysis of wing shape in *Sibiricobombus* Vogt (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latreille). In Annales de la Société entomologique de France (Vol. 43, No. 1, pp. 95-102). Taylor & Francis Group.

BAROUR, C. & BAYLAC, M. 2016. Geometric morphometric discrimination of the three African honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa*, *A. m. sahariensis* and *A. m. capensis* (Hymenoptera, Apidae): Fore wing and hind wing landmark configurations. Journal of Hymenoptera Research, 52(52).

BARACCHI, D.; TURILLAZZI, S. & CHITTKA, L. 2016. Facial patterns in a tropical social wasp correlate with colony membership. The Science of Nature, 103(9-10), 80.

BARACCHI, D.; DAPPORTO, L. & TURILLAZZI, S. 2011. Relevance of wing morphology in distinguishing and classifying genera and species of Stenogastrinae wasps. Contributions to Zoology, v. 80, n. 3.

BOOKSTEIN, FL. 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge University Press, Cambridge. 455 p.

BOOKSTEIN, FL. 1998. A hundred years of morphometrics. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, vol. 44, p. 7-59.

BOOKSTEIN, FL.; CHERNOFF, B.; ELDER, RL.; HUMPHRIES JR., JM.; SMITH, GR. & STRAUSS, RE. 1985. Morphometrics in evolutionary biology. Special publication 15. Penn: Academy of Natural Sciences.

BUCK, M., MARSHALL, SA., & CHEUNG, DK. 2008. Identification Atlas of the Vespidae (Hymenoptera, Aculeata) of the northeastern Nearctic region. *Canadian journal of arthropod identification*, 5(1), 1-492.

BUMPUS, HC. 1898. The elimination of the unfit as illustrated by the introduced sparrow *Passer domesticus*. *Biological Lectures Delivered at the Marine Biological Laboratory of Wood's Holl*, vol. 11, p. 209-226.

CARPENTER, JM. 1982. The phylogenetic relationships and natural classification of the Vespoidea (Hymenoptera). *Systematic Entomology*. 7: 11-38.

CARPENTER, JM. 1991. Phylogenetic relationships and the origin of social behavior in the Vespidae. In: ROSS, KG. & MATTHEWS, RW. *The Social Biology of Wasps*. Ithaca: Cornell University. p. 7-32.

CARPENTER, JM.; KOJIMA, J. & WENZEL, JW. 2000. *Polybia*, paraphyly and Polistinae phylogeny. *American Museum Novitates*, n. 3298, p. 1-24, 2000.

CARPENTER, JM. & MARQUES, OM. 2001. Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil (Insecta, Hymenoptera, Vespoidea, Vespidae). Cruz das Almas – BA, Brasil. Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia, Departamento de Fitotecnia / Mestrado em Ciências Agrárias. Série Publicações Digitais, 2.

CARPENTER, JM. 2004. Synonymy of the genus *Marimbonda* Richards, 1978, with *Leipomeles* Mobius, 1856 (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae), and a new key to the genera of paper wasps of the new world. *American Museum Novitates*. 3456: 1-16.

CHESTERS, D.; WANG Y.; YU F.; BAI M.; ZHANG TX.; HU HY.; ZHU CD.; LI CD. & ZHANG YZ. The integrative taxonomic approach reveals host specific species in an encyrtid parasitoid species complex. PLoS One, 7(5), e37655.

COOKE, SB. & TERHUNE, CE. 2015. Form, function, and geometric morphometrics. The Anatomical Record, 298(1), 5-28.

DAPPORTO, L.; PETROCELLI, I. & TURILLAZZI, S. 2011. Incipient morphological castes in *Polistes gallicus* (Vespidae, Hymenoptera). Zoomorphology, 130(3), 197-201.

DE SOUZA, DA.; WANG, Y.; KAFTANOGLU, O.; DE JONG, D.; AMDAM, GV.; GONÇALVES, LS.; & FRANCOY, TM. 2015. Morphometric identification of queens, workers and intermediates in in vitro reared honey bees (*Apis mellifera*). PloS one, 10(4), e0123663.

DOS SANTOS, CF.; SOUZA DOS SANTOS, PD., MARQUES, DM.; DA-COSTA, T. & BLOCHTEIN, B. 2019. Geometric morphometrics of the forewing shape and size discriminate *Plebeia* species (Hymenoptera: Apidae) nesting in different substrates. Systematic Entomology.

DUJARDIN, JP.; KABA, D.; SOLANO, P.; DUPRAZ, M.; MCCOY, K.D. & JARAMILLO-O, N. 2014. Outlinebased morphometrics, an overlooked method in arthropod studies? Infect. Genet. Evol. 28, 704 – 714.

FALAMARZI, S.; HABIBPOUR, B.; MOSSADEGH, MS. & MONFARED, A. 2016. Differentiation of five species of *Megachile* (Hymenoptera: Megachilidae), based on wing shape. Journal of Apicultural Science, 60(2), 41-50.

FELSENSTEIN, JF. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. Evolution 39:783-791.

FORNEL, R. & CORDEIRO-ESTRELA, P. 2012. Morfometria geométrica e a quantificação da forma dos organismos. Temas em Biologia: Edição comemorativa aos, 20, 101-120.

FRANCOY, TM.; GRASSI, ML.; IMPERATRIZ-FONSECA, VL.; MAY-ITZÁ, W. & QUEZADA-EUÁN, JJG. 2011. Geometric morphometrics of the wing as a tool for assigning genetic lineages and geographic origin to *Melipona beecheii* (Hymenoptera: Meliponini). *Apidologie* 42(4): 499–507.

GELIN, LFF. 2009. Análise filogenética de *Polybia* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae). São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado em Biologia animal. 111 p.

GOULET, H. & HUBER, JT. 1993. Hymenoptera of the world: an identification guide to families. Ontario: Agriculture Canada Publication. 668p.

GUNZ, P. & MITTEROECKER, P. 2013. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian journal of mammalogy*, 24(1), 103-109.

HAMMER, Ø; HARPER, DAT. & PAUL, DR. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):9pp.

HERMES MG.; SOMAVILLA A. & ANDENA SR. 2015. Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. Vespidae. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/listaBrasil>>. Acesso em 05 outubro de 2020.

KLINGENBERG, CP. 2002. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. *Gene*, vol. 287, p. 3–10.

KLINGENBERG, CP. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, vol. 11, p. 353–357.

LASALLE, J. & GAULD, ID. 1993. Hymenoptera and biodiversity. CAB International: Wallingford. 348p.

LYRA, ML.; HATADANI, LM.; DE AZEREDO-ESPIN, AML & KLACZKO, LB. 2010. Wing morphometry as a tool for correct identification of primary and secondary New World screwworm fly. *Bulletin of Entomological Research* 100: 19-26.

MARCHIORO, P. (2019). Análises citogenéticas em vespas do gênero *Polybia* (*Myrapetra*) Lepeletier, 1836 (Vespidae). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Dissertação de Mestrado em Biologia Celular e Estrutural. 56 p.

MASON, WRM. & HUBER, JT. 1993. Order Hymenoptera. pp. 4-12. In: Goulet, H. and Huber, J.T. 1993. Hymenoptera of the world: an identification guide to families. Ontario: Agriculture Canada Publication.

MORAES, DA. 2003. A morfometria geométrica e a “revolução na morfometria”: localizando e visualizando mudanças na forma dos organismos. Boletim do Instituto de Biociências da da Universidade de São Paulo, ano III, no. 3, p. 1-5.

MONTEIRO, LR. & REIS S.F. 1999. Princípios de morfometria geométrica. Holos Editora, Ribeirão Preto. 189 p.

NOGUEIRA, DS.; MAHLMANN, T.; TEIXEIRA, JSG.; DE OLIVEIRA, ML. & ROUBIK, DW. 2019. Geometric morphometrics of wing venation to differentiates new species of *Scaura* Schwarz populations (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). Scientia Plena, 15(1).

OWEN, RE. 2012. Applications of morphometrics to the Hymenoptera, particularly bumble bees (*Bombus*, Apidae). In Morphometrics. IntechOpen, London, 1-30.

PALMER, AR. 1994. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 335-364.

PERRARD, A.; BAYLAC, M.; CARPENTER, J. M. & VILLEMANT, C. 2014. Evolution of wing shape in hornets: why is the wing venation efficient for species identification?. Journal of evolutionary biology, 27(12), 2665-2675.

PERRARD, A.; VILLEMANT, C.; CARPENTER, J. M. & BAYLAC, M. 2012. Differences in caste dimorphism among three hornet species (Hymenoptera: Vespidae): forewing size, shape and allometry. Journal of evolutionary biology, 25(7), 1389-1398.

PETERS, RS.; KROGMANN, L.; MAYER, C.; DONATH, A.; GUNKEL, S.; MEUSEMANN, K.; KOZLOV, A.; PODSIADLOWSKI, L.; PETERSEN, M.; LANFEAR, R.; DIEZ, PA.; HERATY, J.; KJER, KM.; KLOPFSTEIN, S.; MEIER, R.; POLIDORI, C.; SCHMITT, T.; LIU, S.; ZHOU, X.; WAPPLER, T.; RUST, J.; MISOF, B. & NIEHUIS, O. 2017. Evolutionary history of the Hymenoptera. *Current Biology*, 27(7), 1013-1018.

PIEKARSKI, PK., CARPENTER, JM., LEMMON, AR., MORIARTY LEMMON, E. & SHARANOWSKI, BJ. 2018. Phylogenomic evidence overturns current conceptions of social evolution in wasps (Vespidae). *Molecular biology and evolution*, 35(9), 2097-2109.

QUEZADA-EUÁN, JJG.; SHEETS, HD.; DE LUNA, E. & ELTZ, T. 2015. Identification of cryptic species and morphotypes in male *Euglossa*: morphometric analysis of forewings (Hymenoptera: Euglossini). *Apidologie*, 46(6), 787-795.

RESENDE, JJ.; SANTOS, GMM.; BICHARA FILHO, CC. & GIMENES, M. 2001. Atividade diária de busca de recursos pela vespa social *Polybia occidentalis occidentalis* (Olivier, 1791) (Hymenoptera, Vespidae). *Revista Brasileira de Zoociências*, 3: 105-115.

RICHARDS, OW. 1978. The social wasps of the Americas (excluding the Vespinae). London, British Museum (Natural History), 580p.

ROHLF, FJ. & MARCUS, LF. 1993. A revolution in morphometrics. *Tree*, vol. 8, no. 4, p. 129-132.

ROHLF, FJ. 2016. tpsUtil, file utility program. version 1.78. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.

ROHLF, FJ. 2017. TpsRelw32. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York, NY.

ROHLF, FJ. 2018. TpsDig2, digitize landmarks and outlines, version 2.31. Dept. Ecol. & Evol., St. Univ. New York, Stony Brook, New York.

SCHUTZE, MK., JESSUP, A. & CLARKE, AR. 2012. Wing shape as a potential discriminator of morphologically similar pest taxa within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological research*, 102(1), 103.

SHARKEY, MJ. 2007. Phylogeny and classification of Hymenoptera. *Zootaxa*, 1668: 521-548.

SLICE, DE. 2007. Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36.

SOMAVILLA, A.; MARQUES, DWA.; BARBOSA, EAS.; JUNIOR, JDSP. & DE OLIVEIRA, M.L. 2014. Vespas Sociais (Vespidae: Polistinae) em uma Área de Floresta Ombrófila Densa Amazônica no Estado do Maranhão, Brasil. *EntomoBrasilis*, 7(3), 183-187.

SOUZA, FSD.; NUNES, LA.; OLIVEIRA, EJFD.; COSTA, MAPDC. & CARVALHO, CALD. 2018. Population variation and island effect in *Melipona subnitida* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Apicultural Research*, 58(1), 67-74.

TATSUTA, H.; TAKAHASHI, K.H. & SAKAMAKI, Y. 2018. Geometric morphometrics in entomology: basics and applications. *Entomological Science*, 21, 164–184.

TRIPLEHORN, CA. & JOHNSON, NF. 2011. *Estudo dos Insetos*. São Paulo: Cengage Learning, 809p.

VALENTIN, AE.; PENIN, X.; CHANUT, JP.; SÉVIGNY, JM. & ROHLF, FJ. 2008. Arching effect on fish body shape in geometric morphometric studies. *Journal of Fish Biology*, vol. 73, no. 3, p. 623-638.

VIDAL, PO.; CARVALHO, E. & SUESDEK, L. 2012. Temporal variation of wing geometry in *Aedes albopictus*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 107, n. 8, p. 1030-1034.

VILLEMANT, C.; SIMBOLOTTI, G. & KENIS, M. 2007. Discrimination of *Eubazus* (Hymenoptera, Braconidae) sibling species using geometric morphometrics analysis of wing venation. *Systematic Entomology*, 32(4), 625-634.

ZHOU, S., ZHU, X.; XU, X.; ZHENG, X. & ZHOU, B. 2016. Assessing of Geometric Morphometrics Analyses in Microtaxonomy of the *Apis cerana* Fabricius (Hymenoptera: Apidae) within China. Journal of the Kansas Entomological Society, 89(4), 297-305.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

APÊNDICES

Tabela 1. Descrição das amostras obtidas por meio de coletas ou doações.

Colônias	Espécies	Locais de Coleta	Número de Indivíduos
1	<i>Polybia (Myrapetra) bicyttarella</i> Richards, 1951	Maranhão	10
2	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Campina - AM	1
3	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Manaus - AM	1
4	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Parque Nacional Jaú - AM	1
5	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Parque Nacional Jaú - AM	1
6	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Reserva do PDBFF - AM	1
7	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Reserva Ducke - AM	1
8	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Reserva Ducke - AM	1
9	<i>Polybia (Myrapetra) bistrata</i> (Fabricius, 1804)	Rio Preto - AM	1
10	<i>Polybia (Myrapetra) catillifex</i> Möbius, 1856	Ibirataia - BA	10
11	<i>Polybia (Myrapetra) catillifex</i> Möbius, 1856	Itagi - BA	10
12	<i>Polybia (Myrapetra) fastidiosuscula</i> Saussure, 1854	Ribeirão Preto - SP	10
13	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Boa Nova - BA	10
14	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Bonfim - RR	1
15	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Brejões - BA	10
16	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Caracaraí - RR	1
17	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Careiro Castanho - AM	1
18	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Ibirataia - BA	10
19	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Ilha de Maraca - RR	1
20	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Itagi - BA	10
21	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
22	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
23	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
24	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10

25	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
26	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
27	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
28	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
29	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jequié - BA	10
30	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Jitaúna - BA	10
31	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Manaus - AM	1
32	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Piracuruca - PI	1
33	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Poções - BA	10
34	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Reserva Ducke - AM	1
35	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Ribeirão Preto - SP	10
36	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	São Carlos - SP	1
37	<i>Polybia (Myrapetra) occidentalis</i> (Olivier, 1791)	Tefé - AM	1
38	<i>Polybia (Myrapetra) paulista</i> Ihering, 1896	Ribeirão Preto - SP	10
39	<i>Polybia (Myrapetra) paulista</i> Ihering, 1896	Ribeirão Preto - SP	10
40	<i>Polybia (Myrapetra) paulista</i> Ihering, 1896	Ribeirão Preto - SP	10
41	<i>Polybia (Myrapetra) platycephala</i> Richards, 1951	Itagi - BA	8
42	<i>Polybia (Myrapetra) ruficeps ruficeps</i> Schrottky, 1902	Maranhão	10
43	<i>Polybia (Myrapetra) ruficeps xanthops</i> Richards, 1978	Brejões - BA	10
44	<i>Polybia (Myrapetra) ruficeps xanthops</i> Richards, 1978	Brejões - BA	10
45	<i>Polybia (Myrapetra) ruficeps xanthops</i> Richards, 1978	Brejões - BA	10
46	<i>Polybia (Myrapetra) sp.1</i>	Brejões - BA	10
47	<i>Polybia (Myrapetra) sp.3</i>	Maranhão	7
48	<i>Polybia (Myrapetra) sp.4</i>	Maranhão	5
49	<i>Polybia (Myrapetra) sp.5</i>	Maranhão	7
50	<i>Polybia (Trichinothorax) chrysothorax</i> (Lichtenstein, 1796)	Brejões - BA	10
51	<i>Polybia (Trichinothorax) chrysothorax</i> (Lichtenstein, 1796)	Brejões - BA	10
52	<i>Polybia (Trichinothorax) chrysothorax</i> (Lichtenstein, 1796)	Ibirataia - BA	10
53	<i>Polybia (Trichinothorax) chrysothorax</i> (Lichtenstein, 1796)	Itagi - BA	10
54	<i>Polybia (Trichinothorax) chrysothorax</i> (Lichtenstein, 1796)	Maranhão	10

55	<i>Polybia (Trichinothorax) ignobilis</i> (Haliday, 1836)	Brejões - BA	10
56	<i>Polybia (Trichinothorax) ignobilis</i> (Haliday, 1836)	Maués - AM	1
57	<i>Polybia (Trichinothorax) ignobilis</i> (Haliday, 1836)	Piracuruca - PI	1
58	<i>Polybia (Trichinothorax) ignobilis</i> (Haliday, 1836)	Ubajara - CE	1
59	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Brejões - BA	3
60	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Brejões - BA	10
61	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Irاندوبا - AM	1
62	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Irاندوبا - AM	1
63	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Jequié - BA	7
64	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Jequié - BA	10
65	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Manaus - AM	1
66	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Manaus - PA	1
67	<i>Polybia (Trichinothorax) sericea</i> (Olivier, 1792)	Maranhão	10
68	<i>Polybia (Trichinothorax) sp.2</i>	Ribeirão Preto - SP	10
69	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Careiro Castanho - AM	1
70	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Ilha Maracá - RR	1
71	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Itagi - BA	8
72	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Manaus - AM	1
73	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Maués - AM	1
74	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Reserva Ducke - AM	1
75	<i>Polybia (Apopolybia) jurinei</i> Saussure, 1854	Tefé - AM	1
76	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	BR-319 - AM	1
77	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Canutama - AM	1
78	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Careiro Castanho - AM	1
79	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Manaus - AM	1
80	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Maués - AM	1
81	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Parque Nacional Jaú - AM	1
82	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Presidente Figueiredo - AM	1
83	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Presidente Figueiredo - AM	1
84	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Rio Nhamundá - AM	1

85	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Senador Guimard - AC	1
86	<i>Polybia (Polybia) liliacea</i> (Fabricius, 1804)	Tefé - AM	1
87	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	BR-319 - AM	1
88	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Caracaraí - RR	1
89	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Careiro Castanho - AM	1
90	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Careiro Castanho - AM	1
91	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Ibirataia - BA	10
92	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Ilha de Maraca - RR	1
93	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Jequié - BA	10
94	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Manaus - AM	1
95	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Manaus - AM	1
96	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Manaus - AM	1
97	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Maués - AM	1
98	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Piracuruca - PI	1
99	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Reserva Ducke - AM	1
100	<i>Polybia (Formicicola) rejecta</i> (Fabricius, 1798)	Ubajara - CE	1
Total	-	-	498

Tabela 2. Percentual da validação cruzada entre as espécies ($p < 0,0001$) a partir da morfometria geométrica da asa, onde: 1 - *P. (Myrapetra) biccittarella*, 2 - *P. (Myrapetra) bistriata*, 3 - *P. (Myrapetra) catillifex*, 4 - *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, 5 - *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, 6 - *P. (Trichinothorax) ignobilis*, 7 - *P. (Apopolybia) jurinei*, 8 - *P. (Polybia) liliacea*, 9 - *P. (Myrapetra) occidentalis*, 10 - *P. (Myrapetra) paulista*, 11 - *P. (Myrapetra) platycephala*, 12 - *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, 13 - *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, 14 - *P. (Trichinothorax) sericea*, 15 - *P. (Formicicola) rejecta*, 16 - *Polybia (Myrapetra) sp.1*, 17 - *Polybia (Trichinothorax) sp.2*, 18 - *Polybia (Myrapetra) sp.3*, 19 - *Polybia (Myrapetra) sp.4* e 20 - *Polybia (Myrapetra) sp.5*.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

																			52	
1		76.25	100	100	100	100	100	100	98.52	98.33	100	89.06	100	8.3 (ns)	100	85	100	78.57	100	100
2	76.25		100	100	100	93.75	100	100	93.75	100	100	6.25 (ns)	93.75	93.75	100	100	100	92.86	93.75	92.86
3	100	100		100	100	100	100	100	100	96.67	93.75	94.37	100	98.33	100	95	100	100	100	100
4	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100
5	100	100	100	100		100	100	100	100	58.33 (ns)	100	64.06	100	50 (ns)	100	100	100	92.86	100	100
6	100	93.75	100	100	100		96.43	100	100	75.13	100	75.24	100	88.33	100	100	100	100	82.31	100
7	100	100	100	100	100	96.43		100	100	98.33	100	82.59	100	90	100	100	100	100	90	100
8	100	100	100	100	100	100	100		100	90.45	100	100	100	63.48	100	100	100	100	100	100
9	98.52	93.75	100	100	100	100	100	100	100	92.93	93.83	98.14	93.22	93.22	100	94.11	100	91.97	68.22 (ns)	83.94
10	98.33	100	96.67	100	58.33 (ns)	75.13	98.33	90.45	92.93		96.67	100	93.33	98.33	100	63.33	100	93.33	88.33	67.38
11	100	100	93.75	100	100	100	100	100	93.83	96.67		84.37	95	98.33	100	100	100	78.46	100	100
12	89.06	6.25 (ns)	94.37	100	64.06	75.24	82.59	100	98.14	100	84.37		72.5	98.44	100	74.37	93.75	67.63	90	58.93
13	100	93.75	100	100	100	100	100	100	93.22	93.33	95	72.5		60	100	90	100	92.86	90	95
14	8.3 (ns)	93.75	98.33	100	50 (ns)	88.33	90	63.48	93.22	98.33	98.33	98.44	60		100	11.67 (ns)	100	98.33	80	60.24
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	83.18	100	98.86	100

16	85	100	95	100	100	100	100	100	94.11	63.33	100	74.37	90	11.67 (ns)	100	100	92.86	90	82.86	
17	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	93.75	100	100	83.18	100	100	100	100	
18	78.57	92.86	100	100	92.86	100	100	100	91.97	93.33	78.46	67.63	92.86	98.33	100	92.86	100	100	100	
19	100	93.75	100	100	100	82.31	90	100	68.22 (ns)	88.33	100	90	90	80	98.86	90	100	100	85.71	
20	100	92.86	100	100	100	100	100	100	83.94	67.38	100	58.93	95	60.24	100	82.86	100	100	85.71	
Média	90.83	91.09	98.85	99.95	86.21	95.32	97.75	97.57	91.24	86.97	96.86	81.23	93.45	74.78	99.05	87.76	98.73	93.67	88.89	90.89

(ns) Não significativo.

Tabela 3. Percentual da validação cruzada entre as espécies ($p < 0,0001$) a partir da morfometria geométrica da cabeça, onde: 1 - *P. (Myrapetra) bicyttarella*, 2 - *P. (Myrapetra) bistrata*, 3 - *P. (Myrapetra) catillifex*, 4 - *P. (Trichinothorax) chrysothorax*, 5 - *P. (Myrapetra) fastidiosuscula*, 6 - *P. (Trichinothorax) ignobilis*, 7 - *P. (Apopolybia) jurinei*, 8 - *P. (Polybia) liliacea*, 9 - *P. (Myrapetra) occidentalis*, 10 - *P. (Myrapetra) paulista*, 11 - *P. (Myrapetra) platycephala*, 12 - *P. (Myrapetra) ruficeps ruficeps*, 13 - *P. (Myrapetra) ruficeps xanthops*, 14 - *P. (Trichinothorax) sericea*, 15 - *P. (Formicicola) rejecta*, 16 - *Polybia (Myrapetra) sp.1*, 17 - *Polybia (Trichinothorax) sp.2*, 18 - *Polybia (Myrapetra) sp.3*, 19 - *Polybia (Myrapetra) sp.4* e 20 - *Polybia (Myrapetra) sp.5*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		61.25 (ns)	100	100	60	100	96.43	95.45	93.82	93.33	100	100	100	100	100	80	100	82.86	90	63.57
2	61.25 (ns)		100	100	93.75	100	100	35.23 (ns)	86.32	90.42	93.75	83.75	100	100	100	100	95	54.46 (ns)	93.75	58.93

																			54
3	100	100	100	95	100	100	100	100	100	93.75	100	98.33	100	100	97.5	100	100	100	
4	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	60	93.75	95	100	100	100	100	100	100	60	100	95	100	100	60	95	75.71	90	85.71
6	100	100	100	99	100	100	87.06	100	100	93.75	100	100	100	98.44	100	100	100	100	96.15
7	96.43	100	100	100	100	100	87.34	100	100	93.75	100	100	100	96.87	100	100	96.43	90	89.28
8	95.45	35.23 (ns)	100	100	100	87.06	87.34	100	100	89.2	100	100	100	98.44	100	100	100	90	92.86
9	93.82	86.32	100	100	100	100	100	100	91.93	92.86	89.11	99.7	100	100	99.11	100	99.41	98.52	91.38
10	93.33	90.42	100	100	100	100	100	100	91.93	98.33	98.33	98.33	100	100	98.33	100	96.67	75	77.38
11	100	93.75	93.75	100	60	93.75	93.75	89.2	92.86	98.33	77.5	93.75	100	100	38.75 (ns)	100	87.5	100	100
12	100	83.75	100	100	100	100	100	100	89.11	98.33	77.5	75	100	100	65	95	63.57	50 (ns)	100
13	100	100	98.33	100	95	100	100	100	99.7	98.33	93.75	75	100	100	56.67	100	92.86	100	85.71
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92.73	100	100	100
15	100	100	100	100	100	98.44	96.87	98.44	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	80	100	97.5	100	60	100	100	100	99.11	98.33	38.75 (ns)	65	56.67	100	100	100	75.71	95	58.57
17	100	95	100	100	95	100	100	100	100	100	100	95	100	92.73	100	100	95	100	100

																			55	
18	82.86	 54.46 (ns)	100	100	75.71	100	96.43	100	 99.41	96.67	87.5	63.57	92.86	100	100	75.71	 95	78.57	100	
19	90	93.75	100	100	90	100	90	90	 98.52	75	100	50 (ns)	100	100	100	95	100	78.57	48.57 (ns)	
20	63.57	 58.93	100	100	85.71	96.15	89.28	92.86	 91.38	77.38	100	100	85.71	100	100	58.57	100	100	48.57 (ns)	
Média	87.13	78.72	99.19	99.95	90.01	98.65	97.37	91.6	96.95	95.69	88.11	86.7	94.49	99.62	99.67	83.47	98.56	86.54	84.25	84.19

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



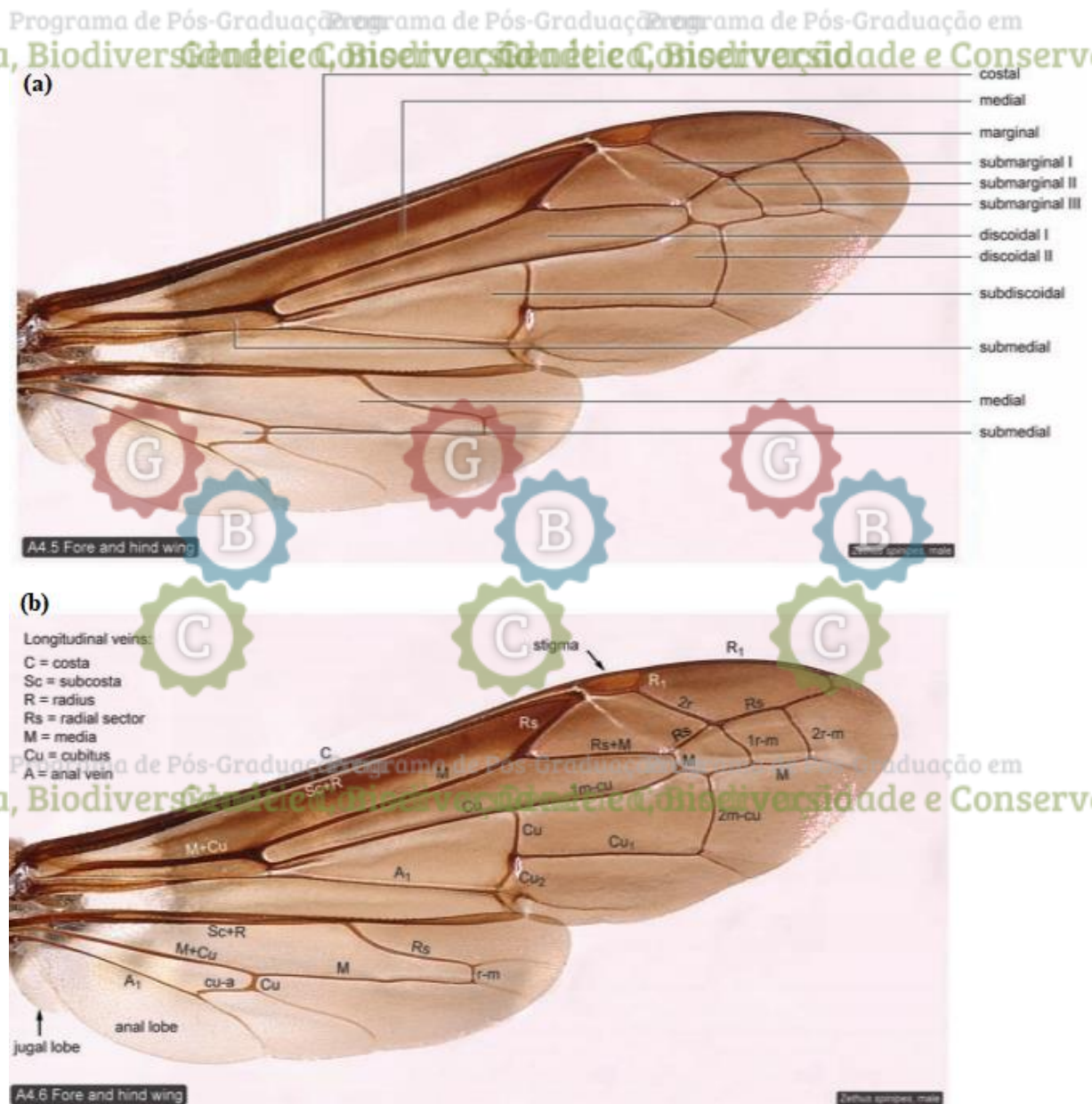
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

ANEXOS

Anexo 1. Nomenclatura das células (a) e venação das asas (b) de Vespidae conforme Buck et al. (2008).



Anexo 2. Morfologia generalizada da cabeça de uma vespa social conforme Andena et al. (2016).

