



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ANIMAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

FRANCIMÁRIA RODRIGUES

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Melipona mandacaia* Smith,
1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) EM TRÊS LOCALIDADES**

MOSSORÓ-RN

2018

FRANCIMÁRIA RODRIGUES

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Melipona mandacaia* Smith,
1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) EM TRÊS LOCALIDADES**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), *Campus* de Mossoró-RN, como exigência final para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Dra. Vera Lúcia Imperatriz Fonseca
Co-orientador: Dra. Márcia de Fátima Ribeiro

MOSSORÓ-RN

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

R696m Rodrigues, Francimária .
MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Melipona mandacaia*
Smith, 1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) EM
TRÊS LOCALIDADES / Francimária Rodrigues. - 2018.
91 f. : il.

Orientador: Vera Lúcia Imperatriz-Fonseca.
Coorientador: Márcia de Fátima Ribeiro.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal, 2018.

1. Abelhas-sem-ferrão. 2. Variação
populacional. 3. Variação da forma da asa. I.
Imperatriz-Fonseca, Vera Lúcia, orient. II.
Ribeiro, Márcia de Fátima, co-orient. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

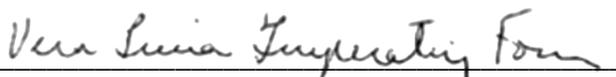
FRANCIMÁRIA RODRIGUES

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Melipona mandacaia* Smith,
1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) EM TRÊS LOCALIDADES**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), *Campus* de Mossoró-RN, como exigência final para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Defendida em: 23/02/2018

BANCA EXAMINADORA



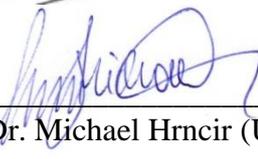
Profa. Dra. Vera Lúcia Imperatriz Fonseca (USP/ITVDS)



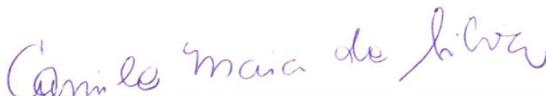
Dra. Márcia de Fátima Ribeiro (EMBRAPA Semiárido)



Prof. Dr. Tiago Maurício Franco (EACH-USP)



Prof. Dr. Michael Hrcir (UFERSA)



Prof. Dra. Camila Maia Silva (UFERSA)

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FRANCIMÁRIA RODRIGUES nasceu dia 24 de dezembro de 1981 na cidade de Picos, localizada no estado do Piauí. Em 2001, ingressou no curso de Letras com Habilitação em Português. Em 2002, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica, ambos pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI), *campus* de Picos-PI. Concluiu o curso de Letras no ano de 2004. A partir de 2005, retomou o curso de Engenharia Agrônômica, pela qual mantinha paixão e dedicou-se com exclusividade. Durante a graduação, teve a oportunidade de ser Bolsista de Iniciação Científica na UESPI, pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC). Durante o período em que foi bolsista atuou na área de Extensão Rural voltada à agricultura familiar em Assentamentos e Comunidades Quilombolas. Após término da bolsa, realizou estágios extracurriculares na área de Manejo Integrado de pragas (Entomologia) na Embrapa Semiárido em Petrolina-PE, iniciando assim sua experiência com estudos voltados a insetos benéficos. Após concluir o curso de Agronomia em 2008, foi bolsista de Apoio Técnico fomentada pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) no laboratório de Entomologia da Embrapa Semiárido, atuando com pesquisas em abelhas. Em 2010 ingressou no Mestrado em Ciência Animal pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), na área de Produção Animal no Semiárido, como bolsista de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Seu projeto de Mestrado teve como título “Aspectos do voo de *Melipona mandacaia* (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) na região do Vale do Submédio São Francisco”. Em 2013 ingressou no Doutorado em Ciência Animal, pela Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), na área Ecologia e Conservação do Semiárido, como bolsista pelo Pró-Integração, fomentado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Seu projeto de Doutorado teve como título “Morfometria Geométrica de *Melipona mandacaia* smith, 1863 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) em três localidades”. Durante o período de pós-graduação participou de estágios na UNIVASF em Petrolina, fez cursos na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) na área de Entomologia voltado a estudos morfométricos e desenvolveu seus trabalhos na Embrapa Semiárido em Petrolina-PE.

*Ao meu eterno Tio Chico (In memória)
pela sua trajetória aqui neste plano,
pelos ensinamentos e pelo amor fraterno
que sempre demonstrou ter e me fez senti-lo.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde, força e coragem para enfrentar mais essa caminhada e pela maior graça alcançada neste período: o meu filho!

À Professora Dra. Vera Lúcia Imperatriz-Fonseca, pela orientação, pelos sábios conselhos e principalmente, pela minha vivência em Mossoró-RN. Foram dias difíceis, mas ela foi um apoio incontestável à minha estadia naquela cidade.

À Dra. Márcia de Fátima Ribeiro, pela orientação, amizade e conselhos, foram muitos os anos de vivência e experiências que renderão para a vida!

À Dra. Niède Guidòn, por autorizar a entrada no parque Nacional da Serra da Capivara, bem como a instalação do meliponário experimental e a toda sua equipe, especialmente à Dra. Rute Maria (Pesquisadora), Alberto (Guia do Parque) e seu Chico (Motorista da Fundação).

À Dra. Juliana Stephanie Galaschi Teixeira, pela orientação, disponibilidade e significativa contribuição nas análises e escrita.

À Dra. Cândida Beatriz de Lima e Silva, pela disponibilidade, amizade de longa data e contribuição com as análises.

À Dra. Flávia Rabelo Barbosa, pelos ensinamentos, conselhos e por ter me apresentado lá no princípio de tudo, o encantador mundo dos insetos!

À Universidade Federal Rural do Semiárido, pela oportunidade de realização do curso no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e a todos os funcionários.

À todos do Grupo de Abelhas do Semiárido (ASA/UFERSA), especialmente aos professores Michael Hrcir e Camila Maia-Silva; aos queridos Amanda e Ulysses que mesmo hoje distantes, a amizade permanece.

A CAPES, pela concessão da bolsa através do Pró-Integração.

À Embrapa Semiárido, pela parceria e por toda a infra-estrutura oferecida. Aos funcionários envolvidos durante a realização deste trabalho, especialmente ao querido Francisco Pereira Nonato, que me acompanhou incansavelmente durante as aventureiras viagens e realização das coletas e à estagiária Aline, pela ajuda na obtenção das imagens.

Ao Dr. José Eudes de Moraes Oliveira, pela amizade e por disponibilizar o microscópio estereoscópico com câmera acoplada para obtenção das imagens.

À MSc. Tatiana Ayako Taura, pelo auxílio com as imagens de satélite.

À Dra. Magna Soelma, pelas sugestões sobre as coletas dos dados climáticos.

À Dra. Lorena Nunes e Dr. Tiago Franco, pelas sugestões dadas para o desenvolvimento da metodologia.

Ao Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho, pelo direcionamento ao curso de Morfometria.

Aos meliponicultores, pela parceria na realização das coletas em seus meliponários, e disponibilidade de suas colônias para o experimento de transferência de local, especialmente Seu Chagas e Dona Selma (Moreilândia-PE), Heliomar e sua família (Coronel José Dias-PI) e os queridos seu Camilo, seu Deusdete e seu Anselmo (Petrolina-PE).

Ao meu esposo Luciano, pelo companheirismo, amizade e incansável compreensão durante essa jornada.

À minha família, primeiramente ao meu pai, Francisco Martinho Rodrigues, pela rigidez na sua criação, pelos conselhos duros, pelo amor incondicional, e mesmo com o seu pouco grau de instrução e sua pouca condição financeira, estes nunca foram empecilhos para que ele deixasse de me incentivar e de me proporcionar, dentro de suas condições, a mais rica herança que um pai pode deixar para um filho, A EDUCAÇÃO!

À minha amada mãe, Maria Deuseni Rodrigues, não só pelo amor sem medida, mas pela amizade, cumplicidade, carinho e presença diária mesmo distante

Aos meus irmãos, Aurino e Fernando, meus amores, minha vida, minha alegria de viver. Eles são parte de mim, amo-os incondicionalmente!

Aos meus familiares, dos quais são muitos, gostaria de mencionar cada um, mas deixo aqui registrado especialmente o meu tio **Francisco Raimundo de Moura (in memória)**, o meu eterno “Ti Chico”, sei que você se foi, mas permanece presente torcendo por mim aí de onde está, Hoje sei que é meu anjo da guarda. À minha tia Maria Valdeci Rodrigues (Tia Didi) pela presença constante, apesar da distância. Finalmente, ao meu avô Raimundo, pelo carinho, pelas leituras bíblicas e pelo simples fato de existir em minha vida.

OBRIGADA!

MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) EM TRÊS LOCALIDADES

RODRIGUES, Francimária. **Morfometria Geométrica de *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) em três localidades**. 2018. 91f. Tese (Doutorado em Ciência Animal: Ecologia e Conservação do Semiárido). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2018.

RESUMO: Conhecer a estrutura das populações de abelhas ajuda no entendimento da sua distribuição, bem como de suas respostas às variações ambientais. Com o objetivo de entender os efeitos dos fatores ambientais sobre a variação morfológica, avaliou-se as respostas morfométricas de *Melipona mandacaia* em três locais de ocorrência natural. No primeiro momento verificou-se quando a diversidade morfométrica entre os locais e sua variação ao longo de dois anos (setembro de 2014 a março de 2016). A cada 60 dias foram coletados dez indivíduos de cada uma das dez colônias em Petrolina (PE), Moreilândia (PE) e São Raimundo Nonato (PI). Em um segundo momento, avaliou-se a resposta morfométrica à mudança de ambiente. Para isto, colônias de cada meliponário (dos três locais mencionados) foram simultaneamente transferidas para o Parque Nacional de Serra da Capivara, em São Raimundo Nonato-PI (colônias experimentais), enquanto outras permaneceram em seu local de origem (colônias testemunhas). Neste experimento, que durou de maio a agosto de 2016, foram coletados dez indivíduos no primeiro dia experimental e dez indivíduos 90 dias após a transferência. As análises foram feitas a partir de técnicas de morfometria geométrica em asas direitas anteriores das abelhas. Os resultados mostraram divergência dentro das populações de *M. mandacaia* ao longo do período estudado. A maior divergência morfológica foi observada entre as populações de São Raimundo Nonato (PI) e Moreilândia (PE), e a menor divergência ocorreu entre as populações de São Raimundo Nonato (PI) e Petrolina (PE). O teste de Mantel não mostrou correlação significativa entre as matrizes de forma, tamanho, altitude e distância geográfica ($P > 0.05$) em todas as localidades avaliadas. No agrupamento de UPGMA foi observado o isolamento da população de Moreilândia (PE), atribuída pela variação paisagística e climática da região inerentes às características do seu entorno. Quando as populações foram avaliadas individualmente, em relação aos períodos de coleta, houve variação estatisticamente significativa entre as localidades e entre os períodos seco e chuvoso, numa mesma localidade, sugerindo que há influência do componente ambiental sobre a morfologia das asas. Em relação a resposta morfométrica à mudança de ambiente pelas três populações estudadas, houve uma divergência morfológica significativa quando se considerou as distâncias de Mahalanobis e Procrustes ($P < 0.0001$). Isto confirmou que as abelhas deslocadas para o Parque Nacional da Serra da Capivara (PI), no fim do experimento, tiveram maior variação morfológica que aquelas que permaneceram no seu local de origem. Os resultados sugerem que a origem da colônia foi o principal responsável pela variação na forma da asa, mas sofreu influência dos fatores ambientais e climáticos.

Palavras-chave: Abelhas-sem-ferrão. Variação populacional. Variação da forma da asa.

GEOMETRIC MORPHOMETRY OF *Melipona mandacaia* SMITH, 1863 (HYMENOPTERA, APIDAE, MELIPONINI) IN THREE LOCALITIES

RODRIGUES, Francimária. **Geometric morphometry of of *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) in three localities.** 2018. 91f. Thesis (Doctorate in Animal Science: Ecology and Conservation of the Semi-Arid). Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró, RN, 2018.

ABSTRACT: Knowing the structure of bees' populations helps to understand its distribution as well their responses to the environmental variations. With the objective of understanding the effects of the environment factors on the morphological variation, the morphometric answers of *Melipona mandacaia* in three sites of natural occurrence. In the first moment, the morphological diversity between the sites was verified, as well as the variation during two years (September 2014 to March 2016). Ten individuals from each of the ten colonies in Petrolina (PE), ten in Moreilândia (PE) and ten in São Raimundo Nonato (PI) were collected every 60 days. In the second moment, the morphological response to the change of environment was evaluated. For this, colonies of each meliponary (of the three sites mentioned) were simultaneously transferred to the Serra da Capivara National Park in São Raimundo Nonato-PI (experimental colonies), while others remained in their place of origin (witnessing colonies). In this experiment, that lasted from May to August 2016, ten individuals were collected on the first experimental day and ten individuals 90 days after the transference. The analyses were made using techniques of geometric morphometry on the right anterior wings of the bees. The results suggested divergence within the populations of *M. mandacaia* during the studied period. The greatest morphological divergence was observed among the populations of São Raimundo Nonato (PI) and Moreilândia (PE), and the smaller divergence occurred between São Raimundo Nonato (PI) and Petrolina (PE). The Mantel test did not show significant correlation between the matrices of shape, size, altitude and geographic distance ($P > 0.05$) in all evaluated locations. In the grouping of UPGMA the isolation of the population of Moreilândia (PE) was observed, attributed by the landscape and climatic variation of the region inherent to the characteristics of its surroundings. When the populations were evaluated individually, concerning the collection periods, there was a statistically significant variation between the localities and between the dry and rainy periods, in the same locality, suggesting that there is an influence of the environmental component on the wings' morphology. In relation to the morphometric response to the change of environment of the three populations studied, there was a significant morphological divergence when considering the distances of Mahalanobis and Procrustes ($P < 0.0001$). This confirmed that the bees displaced to Serra da Capivara National Park (PI), at the end of the experiment, had greater morphological variation than those that remained at their place of origin. The results suggest that the origin of the colony was mainly responsible for the variation in wing shape, but it was influenced by environmental and climatic factors.

Keywords: Stingless bees. Population variation. Variation on the wings' shape.

SUMÁRIO

Resumo	i
Abstract	ii
1. Introdução	11
2. Revisão de literatura	13
2.1. As abelhas e sua importância econômica e ambiental	13
2.2. As abelhas-sem-ferrão e o bioma caatinga	15
2.3. <i>Melipona mandacaia</i> SMITH, 1863	18
2.4. Estudos populacionais e morfometria geométrica	20
3. Objetivos	24
3.1 Geral	24
3.2 Específicos	24
4. Materiais e Métodos	25
5. Resultados	34
6. Discussão	69
7. Considerações finais	80
8. Referências	81

1. INTRODUÇÃO

As abelhas compõem um dos grupos de insetos mais abundantes com cerca de mais de 20.000 espécies distribuídas no mundo (MICHENER, 2007). Dentre elas, as abelhas-sem-ferrão (Apidae, Meliponini) estão distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. Neste grupo, o gênero *Melipona* é o mais diverso, com aproximadamente 69 espécies descritas (MICHENER, 2007, CAMARGO & PEDRO, 2013).

As abelhas-sem-ferrão têm papel imprescindível para os serviços de polinização, considerados muito importantes para a produção de alimentos e também para a manutenção da biodiversidade em áreas naturais (IMPERATRIZ-FONSECA & NUNES-SILVA, 2010) a exemplo das abelhas sem ferrão, que são responsáveis por até 90% da polinização das árvores nativas (KEER et al., 1996). No entanto, é imprescindível mencionar que alguns fatores como a imprevisibilidade climática e características biogeográficas das populações de abelhas podem ser alteradas por ações antrópicas (GIANNINI *et al.* 2012).

Devido à diversidade de abelhas-sem-ferrão, seu papel frente aos serviços de polinização e as alterações antrópicas que colocam em risco suas populações, torna-se necessário conhecê-las quanto a sua relação com o local de origem. Deste modo, estudos que avaliem abelhas em determinados locais, além de apontarem os efeitos dos riscos sobre estas espécies podem auxiliar no estudo de caracterização destas populações. Um exemplo são os estudos morfométricos, que evidenciam fatores ambientais nos processos de divergências morfológicas (NUNES et al. 2013; LIMA et al. 2014; BONATTI et al. 2014; SOUZA et al., 2016).

Recentemente Prado-Silva et al. (2016) avaliaram populações da abelha-sem-ferrão *Melipona mandacaia* Smith 1863 em regiões semiáridas do estado da Bahia utilizando a técnica de morfometria geométrica e observaram variação morfométrica na forma das asas entre as populações estudadas. No entanto, os estudos populacionais geralmente são realizados mediante uma coleta por local, como amostra representativa da população. Estudos que avaliem a variação morfométrica de populações ao longo dos anos, relacionando as características ambientais locais, bem como o processo de adaptação morfométrica dos indivíduos ao longo dos períodos ambientais ainda não foram realizados. Tais estudos são importantes para o entendimento do comportamento das populações de abelhas em relação ao ambiente.

Deste modo, foi levantada a hipótese de que existe variação na morfologia da asa de diferentes populações de *M. mandacaia* e que esta divergência pode estar atrelada às condições ambientais dos locais de ocorrência natural. Da mesma forma, supõe-se ainda que estas diferenças morfométricas podem ocorrer também se o ambiente mudar.

É importante ressaltar que embora já exista registro de caracterização de populações desta espécie, os estudos feitos anteriormente apresentam somente dados relativos às amostras do estado da Bahia (PRADO et al., 2016). Populações dos estados de Pernambuco e Piauí ainda não foram investigadas, o que reforça a necessidade de estudar as demais populações em seus respectivos locais de ocorrência.

Outro ponto importante deste estudo é a originalidade no que concerne às avaliações das variações morfométricas em diferentes períodos do ano (por exemplo, seco e chuvoso).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AS ABELHAS E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL

De acordo com a FAO (2014) 5% a 8% da produção de culturas possuem ligação direta com a polinização animal, alcançando valores anuais de mercado entre US\$ 235 milhões a US\$ 577 milhões. Entre as culturas agrícolas, 87 das principais culturas alimentares do mundo são dependentes deste tipo de polinização, o que quantifica 35% da produção mundial de alimentos (KLEIN et al., 2007). Neste mesmo quadro, Ollerton et al. (2011) mencionaram que 87,5% das angiospermas dependem dos serviços de polinização realizados por polinizadores bióticos.

No Brasil, um levantamento recente realizado por Gianinni et al. (2015) através de uma revisão de 57 trabalhos publicados na literatura científica sobre dependência de culturas por polinizadores de importância agrícola, listou-se que abelhas pertencentes aos gêneros *Melipona*, *Trigona*, *Xylocopa*, *Centris*, *Bombus* e *Apis* foram apontadas como polinizadores efetivos, potenciais ou ocasionais de diversas culturas agrícolas e silvestres. Os trabalhos consultados citaram 85 culturas que apresentaram algum grau de dependência por polinização.

As informações mostram as abelhas como eficientes polinizadores de várias das culturas agrícolas e silvestres (FREITAS et al., 2009). A valoração dos processos ambientais e valor financeiro destes “serviços ecológicos” prestados por estes insetos, coloca a polinização como indispensável aos ecossistemas e também à produção de bens de consumo (IMPERATRIZ-FONSECA et al. 2012), entre os quais, a produção de alimentos e manutenção da biodiversidade em áreas naturais (IMPERATRIZ-FONSECA & NUNES-SILVA, 2010).

Tomando-se por base de que o valor das abelhas e demais polinizadores para a manutenção da biodiversidade é incalculável, os registros mostram que das espécies silvestres responsáveis por serviços de polinização agrícola, apenas 2% são responsáveis por 80% dos serviços de polinização (KLEIJN et al., 2015), enfatizando a importância de estudos voltados ao conhecimento destas populações.

Deste modo, sob o aspecto da sustentabilidade futura dos polinizadores e o serviço que eles fornecem, conforme já mencionado, estudos apontam que estes insetos enfrentam riscos

constantes, ocasionados por diversos fatores, entre os mais citados estão às perdas de habitat, homogeneização, uso de pesticidas, surgimento de parasitas e patógenos, espécies invasoras e as mudanças climáticas (POTTS et al., 2010; BROWN et al. 2016).

Entre os riscos mencionados, em estudo realizado na Patagônia (Argentina) por Quintero et al. (2010) mostrou que a diversidade de polinizadores, especialmente abelhas, foi relativamente menor em áreas perturbadas quando comparado a áreas pouco perturbadas, evidenciado que as ações antrópicas, podem de fato, causarem efeito negativo sobre a diversidade de abelhas num determinado local.

Além disso, vários patógenos também vêm sendo apontados como responsáveis pela redução de populações de abelhas, como por exemplo, o ácaro *Varroa destructor* Anderson & Trueman, 2000 (Acari: Varroidae), que foi apresentado numa avaliação do quadro de declínio de abelhas como causa primária da redução de populações de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera: Apidae) na Alemanha (GENERSCH et al., 2010), além de ocorrência de diversos vírus (FREIBERG et al., 2012).

As mudanças climáticas também foram apontadas como responsáveis pelo declínio dos polinizadores (POTTS et al., 2010; BROWN et al. 2016). Um dos efeitos ocasionados por estas mudanças pode-se mencionar o aquecimento global, que está relacionado ao aumento das temperaturas e têm causado efeito na biologia floral de diferentes espécies de plantas em floração em estudo feito no Reino Unido, onde se verificou que ao longo de 25 anos, a floração de 405 espécies foi iniciada entre 2 a 12 dias de antecedência (AMANO et al. 2010). A alteração na fenologia provocada por tais mudanças pode causar efeitos negativos sobre os polinizadores, como por exemplo, a variedade de genes, espécies e ecossistemas com seus serviços essenciais a vida na Terra (RANDS et al., 2010).

Em relação ao aquecimento global, há evidências de modificação na distribuição geográfica de espécies do gênero *Bombus* na Europa e Estados Unidos, por exemplo, que têm se deslocado para regiões relativamente mais frias e com maior altitude (Kerr et al., 2015). Outro exemplo em alterações no padrão de distribuição em detrimento do aumento de temperatura, pode-se citar um trabalho com projeções para cenários futuros relativos à distribuição geográfica, no Brasil, de espécies do gênero *Centris* e *Melipona*, que indicam a tendência para uma redução das áreas de abrangência destas espécies até 2080, quando comparados às projeções atuais (Giannini et al., 2015).

Os padrões de distribuição das espécies, especialmente *Melipona*, associadas às projeções futuras mencionadas, somados a importância dos serviços de polinização destas abelhas ao ecossistema, sugerem a necessidade de estudos que busquem o entendimento do

processo de respostas destes insetos quando são deslocados do seu local de origem. Uma alternativa seria verificar a resposta morfológica de abelhas-sem-ferrão quando elas são deslocadas do seu local de origem em comparação as populações de mesma espécie que o permaneceram.

2.2 AS ABELHAS-SEM-FERRÃO E O BIOMA CAATINGA

As abelhas-sem-ferrão são um grupo abundante, com 417 espécies descritas e presentes nos Neotrópicos. As espécies do gênero *Melipona* apresentam o maior número de espécies em relação aos demais gêneros e ocorrem em toda a região neotropical desde a Argentina, na América do Sul, até o México, na América Central (CAMARGO E PEDRO, 2013).

A presença de abelhas está relacionada às condições climáticas e florísticas de suas respectivas regiões de ocorrência. No bioma Caatinga, por exemplo, a diversidade de abelhas-sem-ferrão é relativamente baixa (entre 1 a 11 espécies), entretanto, há uma fauna própria de abelhas, bem como, de plantas e de outros invertebrados, formada por várias espécies endêmicas, o que ressalta o valor de sua preservação (ZANELLA & MARTINS, 2003). A abelha *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (Hymenoptera: Apidae) objeto de pesquisa deste estudo, é endêmica da Caatinga (ZANELLA, 2000).

O bioma Caatinga é encontrado no Nordeste brasileiro, região caracterizada por um clima semiárido e vegetação hiperxerófila (ANDRADE-LIMA, 1981), e dependendo de sua abrangência, ela pode ser caracterizada por uma variação que vai desde florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas (PRADO, 2003).

A região Nordeste é a região brasileira com o maior risco de desertificação, visto suas características climáticas e constantes degradação ambiental (SANTANA, 2007), elevando os cenários futuros a previsões de aumento da temperatura e diminuição da precipitação na região que podem ser danosas aos ecossistemas (MARENGO et al., 2011) conforme pode ser observado na figura 1 (A e B).

O período chuvoso nesta região varia conforme a dinâmica atmosférica, e, na maior parte do semiárido nordestino dura entre três ou quatro meses (geralmente dezembro a março), e período seco nos outros oito ou nove meses (geralmente abril a novembro). A

precipitação nesta região apresenta-se entre 280 a 800 mm de médias anuais (ARAÚJO, 2011).

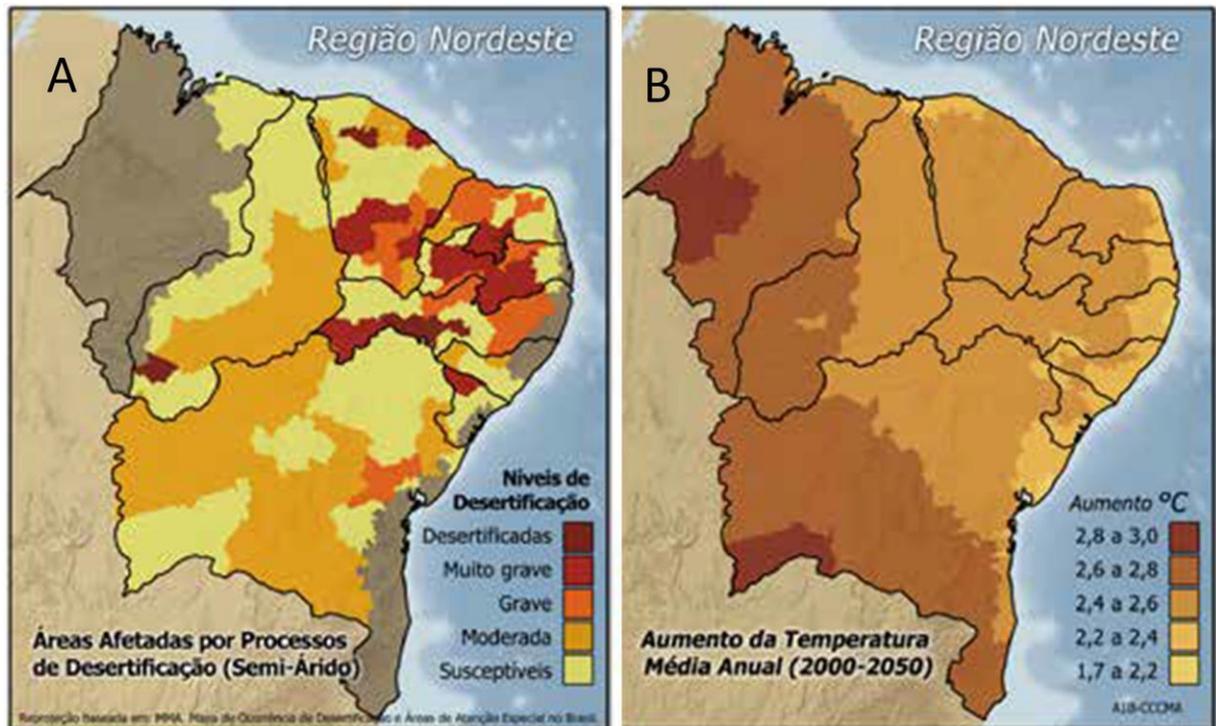


Figura 1. Níveis de Desertificação em áreas do nordeste do Brasil (A); Aumento da temperatura projetada para o ano 2050 (B). (Fonte: MARENGO et al., 2011.)

Entre outras características desta região, pode-se mencionar a fortíssima incidência de energia solar, com temperaturas que apresentam mínimas acima de 15° C e as máximas podendo atingir os 40° C. Estas temperaturas variam com as épocas de início e fim da estação chuvosa (SAMPAIO & ARAÚJO, 2005; ARAÚJO, 2011).

No tocante às temperaturas que ocorrem nesta região, é importante mencionar que este fator abiótico pode interferir diretamente no desenvolvimento populacional dos insetos (RODRIGUES, 2004) já que possui um importante efeito em todos os processos fisiológicos dos animais (MOYES & SCHUTLE, 2010), como por exemplo, produção de calor metabólico (KLEINHENZ et al.; 2003; JONES & OLDROYD, 2007) e oviposição (VOLLET-NETO et al., 2011).

Estudos mostram que o isolamento e características comportamentais das abelhas podem estar atrelados às peculiaridades de seu comportamento, como por exemplo, o de encontrar um novo local para se estabelecerem (KERR et al., 1996; SIQUEIRA et al., 2007).

Os últimos autores relataram que o local de nidificação pode ser limitante para modificar a densidade de ninhos de espécies de abelhas em um determinado local.

Fatores como locais de nidificação resultam na dispersão destes insetos. Segundo Silveira et al. (2002) a capacidade de dispersão e de transposição de diferentes barreiras geográficas varia conforme a espécie. Estes autores ressaltaram a ideia de que, na medida em que as florestas são derrubadas e substituídas por plantios ou áreas urbanas, espécies de abelhas (e de outros organismos) que possuem relações com estes ambientes são localmente extintas ou confinadas a pequenos fragmentos.

Várias espécies de *Melipona* têm mostrado sua relação com locais de origem, não sendo encontradas em ambientes abertos (nativos ou antropogênicos), a não ser nas margens de matas (SILVEIRA et al, 2002). Esta restrição de ocorrência e relação com o ambiente de origem pode ser confirmada em alguns estudos, como por exemplo, Zanella (2000) que estudou as abelhas endêmicas da caatinga.

Martins et al. (2004) fizeram levantamento de ninhos de abelhas sem ferrão em duas áreas de caatinga, na região do Seridó, PB e na região de João Câmara, RN. Estes autores verificaram que das sete espécies de abelhas encontradas em 12 espécies de árvores observadas, 75.0% dos ninhos foram encontrados em troncos de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Leguminosae: Caesalpinioideae) (Catingueira), inclusive espécies do gênero *Melipona*, como *Melipona subnitida* Ducke, 1910 (Hymenoptera: Apidae) (N = 130) (22,3% dos ninhos) e *Melipona asilvai* Moure, 1971 (Hymenoptera: Apidae) que nidificou principalmente em *C. pyramidalis* (92,3% dos ninhos, N = 39).

Alves et al. (2007) estudaram *M. mandacaia* quanto aos substratos utilizados para a nidificação na região de São Gabriel, BA. Estes autores constataram que das 15 colônias observadas, todas estavam alojadas em *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J. B. Gillett., 1980, (Sapindales: Burseraceae) (umburana-de-cambão).

Ribeiro et al. (2012) realizaram um levantamento de ninhos na região do Pólo Petrolina-PE e Juazeiro-BA, de um total de 1130 árvores, 259 (23%) possuíam ninhos. Destas, 172 possuíam ninhos de *M. mandacaia*, ou seja, 67% dos ninhos. Apesar de terem sido encontrados ninhos em sete espécies vegetais, a maioria deles também estavam na umburana-de-cambão o que representa 73% dos ninhos e substratos nidificados pela espécie.

Estes dados podem indicar uma preferência das abelhas por certas espécies vegetais e sugerem que a relação entre sua presença e local de ocorrência podem estar atrelados as características do ambiente, assim como mencionado por Martins *et al.* (2004).

Os estudos apresentados neste item reiteram a ideia de que as abelhas possuem uma relação com o local de sua ocorrência. Esta relação pode ser atribuída aos diversos fatores ambientais envolvidos no processo de desenvolvimento e manutenção da vida destes insetos. Tais relações embasam a necessidade de estudos que possibilitem entender as abelhas no seu ambiente de origem, a exemplo do acompanhamento da sua morfometria em períodos distintos, conforme sugerido nas hipóteses levantadas.

2.3. *Melipona mandacaia*

A espécie *M. mandacaia* apresenta arquitetura de ninho semelhante à de outras espécies do gênero *Melipona*, o que a torna passível de manejo e possibilita a sua criação em escala comercial, com consequente conservação da espécie. As rainhas fisiogástricas medem aproximadamente 16,0 mm de comprimento e peso de 0,18 g; operárias (fig. 1) com comprimento médio de $10,70 \pm 0,09$ mm e peso de 0,052 g (n=5) (ALVES et al., 2007). Machos desta espécie foram observados parados próximos aos ninhos, com antenas eretas à espera da saída da rainha virgem para realização do voo nupcial (Fig. 2).



Figura 2. Operária de *M. mandacaia* depositando carga de pólen (A); Macho de *M. mandacaia* (B). Foto: Francimária Rodrigues

Em estudo sobre o gênero *Melipona*, Kerr (1948) observou que a espécie *M. mandacaia* características descritivas similares à *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera: Apidae). As duas espécies são conhecidas popularmente por mandaçaia, no entanto, a primeira distingue-se da segunda, principalmente em função dos pêlos esbranquiçados na região entre antena e ocelo, clípeo fortemente pontuado e abdômem uniformemente brilhante (ALVES et al., 2016).

Em relação à sua distribuição, Camargo & Pedro (2013) observaram nos registros existentes, que *M. mandacaia* é uma espécie endêmica do bioma Caatinga com ocorrência nos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Outro estudo feito com base em modelagem de nicho ecológico, Batalha-Filho et al., (2011) sugeriram que a distribuição de *M. mandacaia* encontra-se restrita ao bioma Caatinga associada ao Rio São Francisco e seus tributários, nos Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Piauí. Neste estudo, a modelagem não registrou os estados de Alagoas, Sergipe, Rio Grande do Norte.

A espécie *M. mandacaia* ainda é uma espécie pouco estudada, no entanto, vem sendo alvo de pesquisas conforme segue, possivelmente por haver pouco ou insuficiente acervo de informações sobre as características bioecológicas, frente ao crescente uso da mesma em criação racional.

É importante lembrar que, para que a atividade de meliponicultura seja bem sucedida, é imprescindível o conhecimento bioecológico da espécie a ser criada, possibilitando determinar técnicas de manejo necessárias à sua produção e reprodução (SOUZA et al., 2009).

Sobre os hábitos de nidificação, *M. mandacaia* foi encontrada principalmente em umburana-de-cambão (ALVES et al., 2007; RIBEIRO et al., 2012). Os estudos mostraram que esta preferência pode ser ocasionada pela presença de partes ocas na planta adequadas à sua nidificação, além da abundância da espécie vegetal, embora nos dois trabalhos citados, os autores destacaram sobre a utilização demasiada desta espécie vegetal pelo homem.

Além disso, *M. mandacaia* já foi abundante em seu ambiente natural, e hoje se apresenta num cenário de raridade em algumas localidades, segundo o levantamento de informações sobre esta espécie, realizado por Neves & Castro (2006) no semiárido baiano.

Quanto ao voo, *M. mandacaia*, teve distância máxima registrada a 2.100m para abelhas forrageiras com tamanho corporal maior e 1.560m, 1.840m para colônias com forrageiras de tamanho corporal menor (KUHN-NETO et al. 2009). Em outro trabalho,

Rodrigues & Ribeiro (2014) observaram que abelhas da mesma espécie conseguiram retornar ao ninho quando foram liberadas a uma distância de 2700 m.

Segundo Greenleaf et al. (2007) a abordagem prática para estimar distâncias de forrageamento de abelhas é de grande valia, pois auxilia na compreensão da escala em que as populações de abelhas podem responder à paisagem. A morfometria, por exemplo, é uma técnica que permite verificar respostas morfológicas destes insetos e sua relação como o ambiente, bem como, as possíveis implicações ecológicas destas interações.

2.4. ESTUDOS POPULACIONAIS E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA

Moraes (2003) resgata sobre a nova abordagem morfométrica, que surgiu a partir do início dos anos 90, chamada por Rohlf e Marcus (1993) de "morfometria geométrica", considerada uma revolução no campo da morfometria.

A morfometria geométrica é a descrição quantitativa que analisa e interpreta a forma biológica e sua variação. É uma área fundamental da pesquisa, que se utiliza de técnicas de descrição e comparação da forma das estruturas analisadas (ROHLF, 1990).

Existe uma infinidade de estruturas biológicas que podem ser analisadas com técnicas de morfometria geométrica, das quais podem ser mencionadas nervuras de asas e carapaças de insetos, estruturas ósseas, conchas, escamas, e inclusive, pegadas fósseis de dinossauros (FORNEL & CORDEIRO-ESTRELA, 2012).

A morfometria geométrica permite uma análise rigorosa da variação morfométrica de estruturas de diversos organismos através de métodos de análises multivariadas que permitem a identificação das variações encontradas nas formas analisadas, bem como inferir sobre as possíveis causas destas variações dentro e entre os indivíduos (KLINGENBERG, 2002).

As estruturas são avaliadas a partir dos marcos anatômicos, de onde são geradas as coordenadas cartesianas X e Y, o tamanho do centróide e as deformações parciais e relativas que compõem a matriz de dados utilizados nas análises multivariadas (ROHLF, 2008b). De acordo com Rohlf & Marcus (1993) o uso das coordenadas cartesianas dos marcos anatômicos em relação a medidas lineares oferecem vantagens por conterem informação sobre as posições relativas permitindo a reconstrução da forma estudada.

Adams et al. (2004) lembram que entre os métodos que avaliam as extensões para tipos de dados específicos, com vários padrões morfométricos baseados em marcos e

semimarcos, tem resultado nas análises que utilizam a morfometria geométrica, incorporando-os inclusive, à corrente principal da pesquisa biológica.

A técnica tem utilizado as formas para avaliar as medidas, assim a informação excedente de tamanho, orientação e posição são retiradas, tomando-se por base um ponto comum (centroide) padronizando todas as configurações para uma mesma medida geral de tamanho, atribuindo às variações observadas à forma da estrutura analisada (KLINGENBERG, 2011).

De acordo com Klingenberg & Graham (2015) o uso da morfometria geométrica desencadeou o desenvolvimento de diversos softwares que são gratuitamente disponibilizados, e vem tornando seu uso mais prático e seguro em relação às informações geradas pelos mesmos.

Em abelhas, as análises morfométricas são feitas a partir das asas, isso porque elas são estruturas planas e possibilitam a identificação de informações da sua forma e tamanho (NUNES et al., 2007). Estas estruturas, avaliadas a partir da morfometria geométrica, tem sido muito importante na avaliação da biodiversidade destes insetos, e vem sendo utilizada há muito tempo, visto o seu baixo custo, associado à eficiência nos resultados apresentados (FRANCOY et. al., 2008).

Os trabalhos pioneiros que utilizaram morfometria geométrica e os padrões de venação de asas anteriores para apresentar divergências entre os grupos de abelhas analisados foram realizados com as abelhas africanizadas e subespécies parentais, que mostraram 85% de classificações corretas nas análises subespecíficas de *A. mellifera* e taxas menores de acerto em subespécie pertencentes a uma mesma linhagem evolutiva (FRANCOY et al. 2006, 2008).

Já nas abelhas-sem-ferrão, um dos primeiros trabalhos utilizando a técnica da morfometria geométrica e os padrões de venação de asas anteriores foi realizado com duas populações de *Plebeia remota* Holmberg 1903 (Hymenoptera: Apidae), as quais apresentaram significativas divergências morfológicas (FRANCISCO et al. 2008). Outro estudo realizado por Mendes et al. (2007) com populações de *Nanotrigona testaceicornis* Lepeletier 1836 (Hymenoptera: Apidae) mostrou eficiência na discriminação das populações estudadas a partir da técnica já mencionada.

A morfometria geométrica vem sendo utilizada para avaliar o efeito do ambiente sobre a morfologia das abelhas, principalmente em espécies do gênero *Melipona*, ao qual pertence à espécie em estudo. Os estudos vem mostrando a relevância de se considerar os fatores ambientais nos processos de divergência morfológica destas populações (NUNES et al. 2013; LIMA et al. 2014; BONATTI et al. 2014; LIMA et al., 2016; PRADO-SILVA et al., 2016).

Sousa et al. (2016) em seus resultados, levantaram a possibilidade de divergências entre populações de abelhas africanizadas *A. mellifera* em diferentes apiários e ecorregiões do Estado de Sergipe, destacando os fatores ambientais como influentes na morfologia e no comportamento destes grupos.

Lima et al. (2014) mostraram que as análises morfométricas de *M. subnitida* apontaram variabilidade morfológica da forma da asa entre populações desta espécie ao longo da sua distribuição geográfica. Os autores atribuíram tal variação à distância geográfica entre os locais de amostragem e provavelmente à variabilidade ambiental existente nestas localidades, entre os quais, clima (semiárido: quente no verão e frio no inverno; tropical semiárido: chuvas de verão) e altitude (de 300 até 1000m).

Bonatti et al. (2014) avaliaram populações de *M. subnitida* quanto a variabilidade genética e morfométrica. Eles constataram em ambas as metodologias a variabilidade entre as populações amostradas e sugeriram a relação entre este resultado e o ambiente em que as amostras foram coletadas, e entre a distância geográfica dos locais amostrados. Os autores sugeriram a conservação de todas as linhagens evolutivas, pois estas podem apresentar resistência diferencial às mudanças ambientais, como resistência à seca e doenças.

Prado-Silva et al. (2016) avaliaram populações de *M. mandacaiá* em regiões semiáridas do estado da Bahia através de análises morfométricas nos três grupos identificados. Os autores verificaram que houve variação de tamanho e forma da asa dianteira em relação as distâncias geográficas entre as populações, atribuindo à limitação de faixas de voo relativamente curtas, realizadas pela espécie (cerca de 2.000 m, ARAÚJO et al., 2004; 2700m RODRIGUES & RIBEIRO, 2014), causando fluxo de genes restritos entre as populações.

O quadro atual de declínio dos polinizadores (BROWN e PAXTON, 2009), as mudanças climáticas (BROWN et al. 2016) e as respostas morfológicas das abelhas as alterações ambientais (SOUSA et al., 2016) remetem a necessidade de estudos que ajudem no entendimento e manutenção destas populações, e a morfometria geométrica, pode auxiliar na busca pela caracterização destas populações, bem como mostrar sua relação com o local onde elas ocorrem.

Uma das técnicas utilizadas para este propósito é a morfometria geométrica, que vem sendo utilizada a partir da marcação de pontos anatômicos homólogos em estruturas analisadas, como por exemplo em asas de abelhas, ajudando na discriminação das regiões que melhor contribuem para a identificação e discriminação de grupos (TOLFILSKY, 2008). Por ser uma técnica eficaz e precisa (FRANCOY et al., 2008) permite explorar causas das

variações dentro e entre indivíduos de uma população (KLINGENBERG, 2010), o que pode gerar indícios de processos micro-evolutivos.

3. OBJETIVOS

Para verificar se as hipóteses levantadas estão corretas, foram realizados dois estudos, conforme já mencionado, que são descritos abaixo.

No primeiro estudo foi avaliada **A Morfometria geométrica de populações ao longo dos períodos de coleta** (item 5.1), visando responder as seguintes perguntas: Qual a caracterização morfométrica das populações de *M. mandacaia* oriundas dos três locais distintos? Existem divergências morfométricas nas populações ao longo de dois anos de estudo no seu local de origem?

No segundo estudo, **Exames submetidos à mudança de ambiente** (item 5.2), buscou-se avaliar a resposta morfométrica de *M. mandacaia* após a transferência de colônias para um local com condições ambientais diferentes dos originais. Este estudo foi realizado com a finalidade de responder a seguinte pergunta: *M. mandacaia* apresenta variação morfométrica em decorrência da mudança de ambiente, que é diferente do seu local de origem?

3.1 GERAL

Avaliar as respostas morfométricas de *M. mandacaia* em três locais de ocorrência.

3.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar a forma da asa de populações de *M. mandacaia* em três locais de ocorrência natural;
- Acompanhar a variação morfométrica de *M. mandacaia* em diferentes períodos durante dois anos;
- Avaliar a resposta morfométrica de *M. mandacaia* após a transferência de colônias para local com condições ambientais diferentes dos originais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAIS DE COLETA DE DADOS

As coletas de dados foram realizadas nos municípios de Petrolina (PE), Moreilândia (PE), São Raimundo Nonato (PI) e Coronel José Dias (PI) (Fig. 3). Ao longo dos períodos em que as coletas de dados foram realizadas, obteve-se dados meteorológicos referente a Temperatura (°C), Umidade Relativa do ar (UR%) e Precipitação (mm). As informações foram prestadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Pernambucana de Águas e Climas mediante solicitação do autor da Tese.

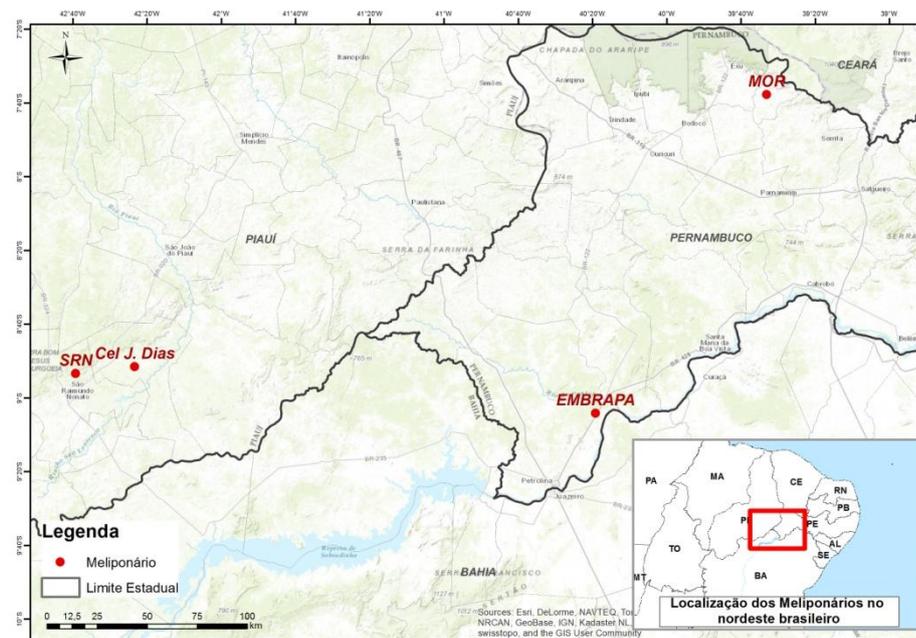


Figura 3: Localização dos municípios onde foram realizados os experimentos com a *M. manducaia*. Legenda: São Raimundo Nonato (SRN); Coronel José Dias (Cel. J. Dias); Moreilândia (MOR); Petrolina (EMBRAPA). Imagem: Tatiana Ayako Taura

4.1.1. Petrolina-PE

O município de Petrolina está localizado na Mesorregião do São Francisco, Estado de Pernambuco. Segundo a classificação climática de Köppen, apresenta clima tropical semi-

árido, tipo BshW, seco e quente na parte norte e semiárido quente estépico na parte sul, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das altas temperaturas.

A unidade de pesquisa, Embrapa Semiárido (Fig. 4A), fica localizada a 42 km do município de Petrolina e possui extensão territorial de 2.100ha , onde a vegetação é típica de caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia (FERREIRA et al., 2012).

O meliponário nesta unidade, fica localizado a S9° 04' 12.6" W40° 19' 06.1", 387 m. O mesmo abriga 28 colônias de *M. mandacaiá* (Fig. 4B) adquiridas com meliponicultores da região, das quais 20 foram utilizadas para os testes de morfometria.



Figura 4: Localização da Embrapa Semiárido em Petrolina (A) Imagem: Tatiana Ayako Taura; Meliponário da Embrapa Semiárido (B), foto: Francimária Rodrigues.

4.1.2. Moreilândia-PE

O meliponário do Município de Moreilândia, localizado na Chapada do Araripe, estado do Pernambuco, possui coordenadas geográficas $S7^{\circ} 35' 48.7''$ $W39^{\circ} 32' 38.8''$, 530m (Fig. 5A). A vegetação natural é composta basicamente pela Caatinga (Savana Estépica: vegetação lenhosa caducifólia espinhosa) e áreas de contato entre tipos de vegetação de Caatinga e Savana (Cerrado: vegetação arbustiva densa caducifólia não espinhosa) (CPRM, 2005). O local possui 40 colmeias (Fig. 5B), das quais, 10 foram destinadas para o experimento de morfometria.

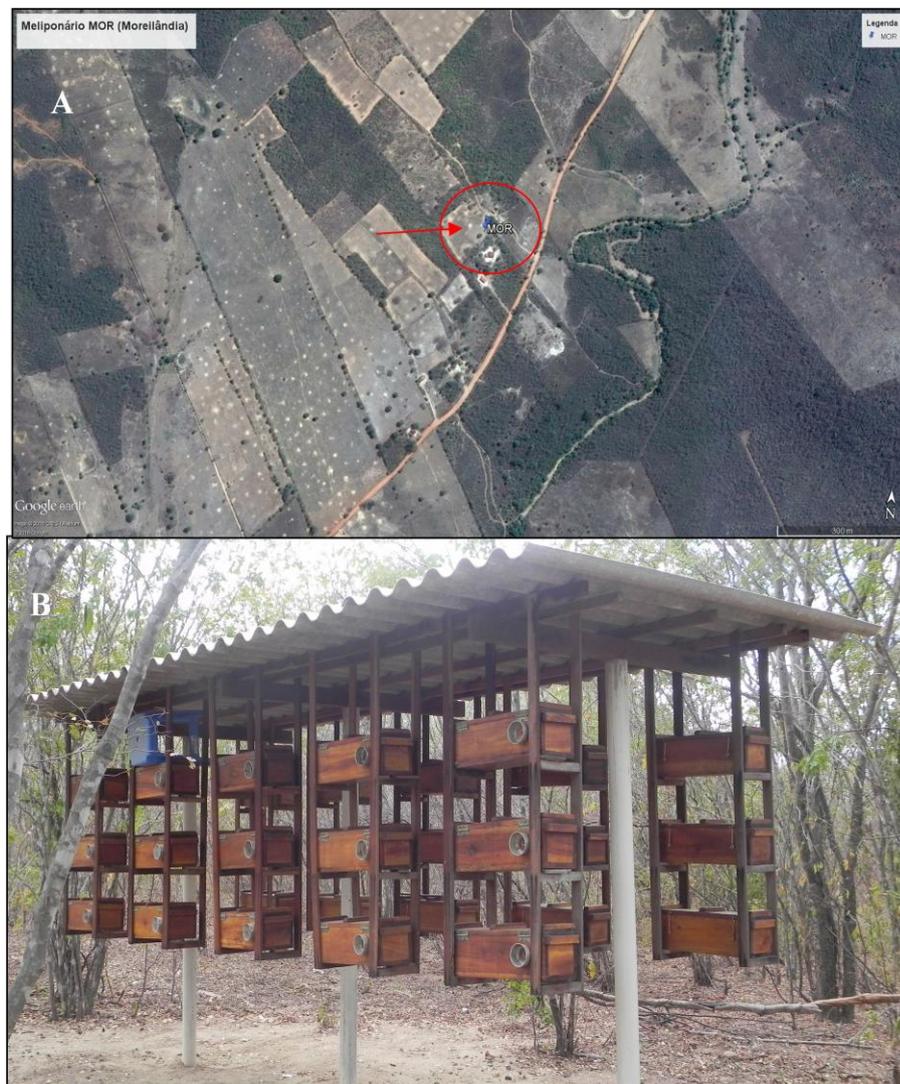


Figura 5: Localização do Meliponário em Moreilândia (A), Imagem: Tatiana Ayako Taura; Meliponário em Moreilândia, PE (Chapada do Araripe) (B), foto: Francimária Rodrigues.

4.1.3. São Raimundo Nonato

O meliponário da Toca dos oitenta, situado no Parque Nacional da Serra da Capivara, município de São Raimundo Nonato (PI), possui coordenadas geográficas $S8^{\circ} 53' 24.6''$ $W42^{\circ} 39' 13.6''$ 448 m (Fig. 6A). A vegetação é caducifólia, apresentando fisionomia arbustiva, onde sobressaem alguns elementos arbóreos. O estrato herbáceo, abundante no período chuvoso, desaparece totalmente na época da estiagem (LEMOS & RODAL, 2002).

Em São Raimundo Nonato-PI, foram alojadas 11 colmeias (Fig. 6B) das quais definharam ao longo das coletas.

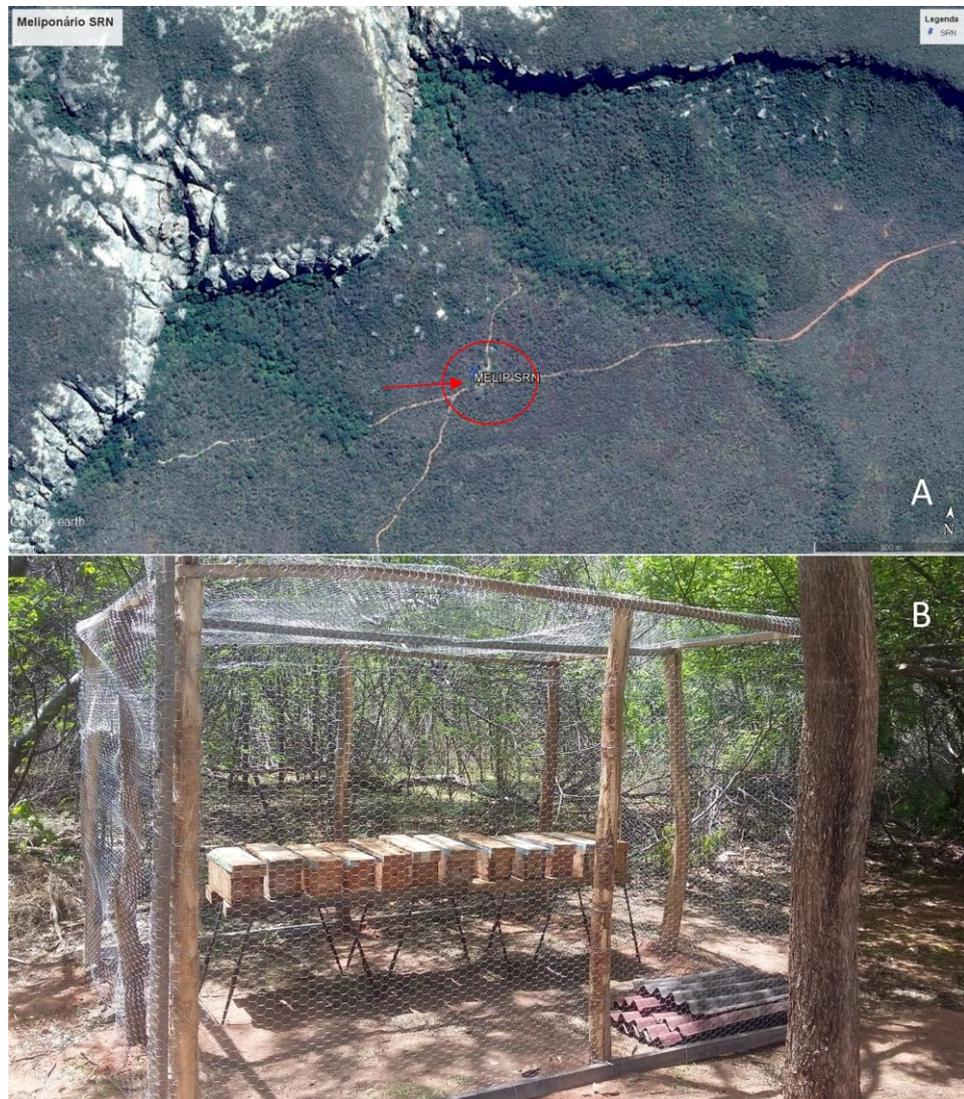


Figura 6: Localização do Meliponário no Parque Nacional da Serra da Capivara, São Raimundo Nonato, PI (A). Imagem: Tatiana Ayako Taura. Meliponário instalado em São Raimundo Nonato, PI (Toca dos oitenta, Parque Nacional Serra da Capivara) (B). Foto: Francimária Rodrigues.

4.1.4 Coronel José Dias (PI)

O meliponário da cidade de Coronel José dias possui coordenadas geográficas $S8^{\circ} 5' 18.5'' W42^{\circ} 21' 16.4''$ 350 m (Fig. 7 A). Possui vegetação similar a do município de São Raimundo Nonato, com predominância de vegetação caducifólia, arbustiva e herbáceo escasso no período estiagem (LEMOS & RODAL, 2002). Foram instaladas 5 colmeias experimentais (Fig. 7B) alojadas por um prazo de 90 dias, durante a realização do trabalho experimental de mudança de ambiente.

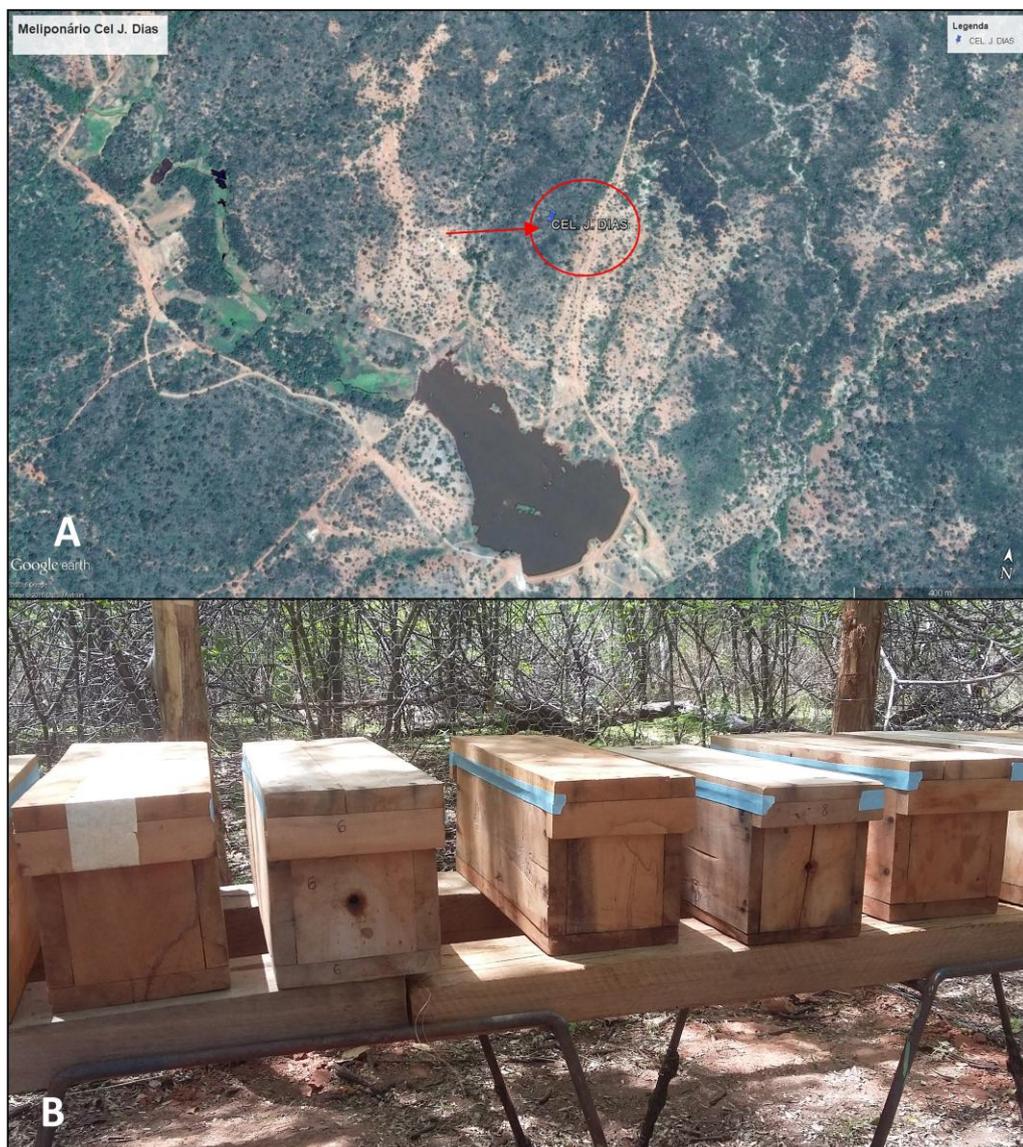


Figura 7: Localização do Meliponário instalado em Coronel José Dias, PI (A) Imagem: Tatiana Ayako Taura. Meliponário instalado em Coronel José Dias, PI (B) Foto: Francimária Rodrigues.

4.2 VARIAÇÕES MORFOMÉTRICAS

Para condução dos estudos das respostas morfométricas das populações de *M. mandacaia* acompanhadas durante dois anos de realização das coletas de dados. Os estudos foram divididos em dois experimentos e segue descrito:

4.2.1 EXPERIMENTO 1: *Morfometria geométrica de populações ao longo dos períodos de coleta*

Os trabalhos foram realizados no período de setembro de 2014 a março de 2016, totalizando 26 coletas efetuadas a cada dois meses. Foram coletados dez indivíduos em dez colônias das localidades descritas anteriormente. Ao final das coletas obteve-se um total de 2600 indivíduos oriundos das três localidades, sendo 1000 indivíduos coletados em Petrolina-PE, 1000 indivíduos em Moreilândia-PE e 600 indivíduos em São Raimundo Nonato-PI.

No meliponário instalado no Parque Nacional da Serra da Capivara, município de São Raimundo Nonato-PI, foi realizado menor número de coletas em relação aos outros locais devido à morte das colônias antes do término do experimento, possivelmente pela não adaptação ao ambiente ao qual foram transferidas. As colônias foram coletadas entre os municípios de Coronel José Dias-PI (município de origem das colônias) e entornos de São Raimundo Nonato e colocadas na cidade vizinha a São Raimundo Nonato-PI, dentro do Parque.

Os indivíduos coletados foram colocados em tubos tipo *falcon* contendo álcool P.A. devidamente identificados e levados para o Laboratório de Abelhas Nativas da Embrapa Semiárido para a montagem das lâminas. Os espécimes tiveram a asa direita anterior retirada com auxílio de uma pinça de ponta fina, e colocadas em lâmina e fixadas com cola comum diluída em água destilada.

Após a disposição das asas sobre a lâmina, foi sobreposta outra lâmina sobre a primeira e as laterais de ambas fixadas com esmalte incolor. Posteriormente, as lâminas foram fotografadas com uma câmera digital (AxionCam ERc 5S) acoplada a um microscópio estereoscópico (modelo Leica), configurações S8APO, e iluminador (CLS 150x) no laboratório de Entomologia da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE.

As imagens obtidas foram transformadas pelo software tpsUtil 1.40 (ROHLF, 2008a). Em seguida, foram marcados dez pontos de referência (marcos anatômicos) nas interseções de cada asa dianteira usando o software tpsDig versão 2.17 (ROHLF, 2008b) para leitura das medidas (Fig. 8).

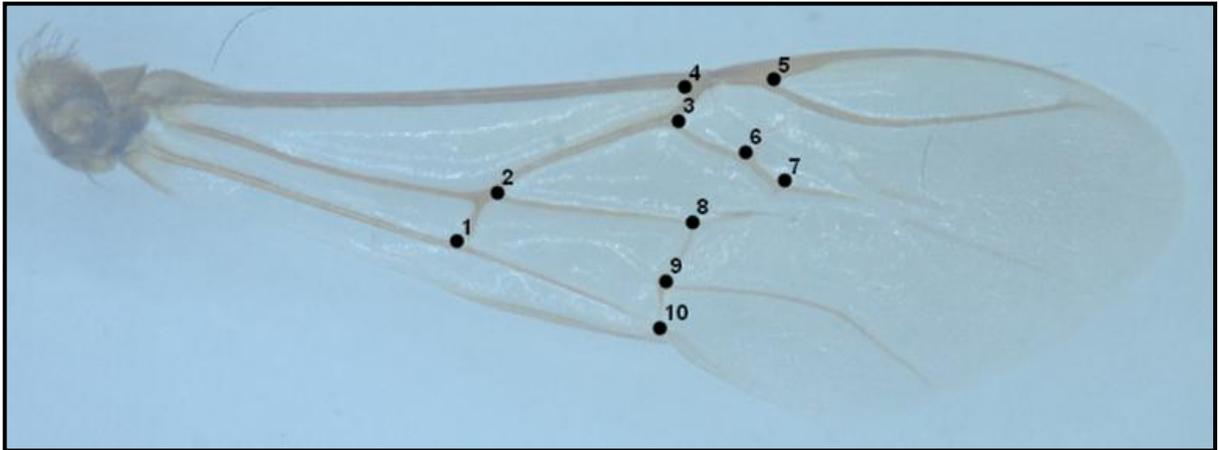


Figura 8. Asa anterior direita de *Melipona mandacaia* com os 10 marcos anatômicos localizados na junção das venações, utilizada nas análises morfométricas. Foto: Francimária Rodrigues.

4.2.2. EXPERIMENTO 2: *Resposta morfométrica das abelhas à mudança de ambiente*

Os trabalhos foram realizados do período de maio a agosto de 2016, quando colônias de cada meliponário dos três locais estudados foram simultaneamente transferidas para o Parque Nacional de Serra da Capivara em São Raimundo Nonato-PI. Assim, este trabalho dividiu-se em duas situações experimentais:

SITUAÇÃO 1: TESTEMUNHAS

Para comparar a resposta morfométrica dos indivíduos submetidos à mudança de ambiente em relação aos do ambiente de origem, foram realizadas novas coletas de indivíduos

nas colônias dos meliponários onde as coletas para análises morfométricas referentes ao período, já tinham sido realizadas.

As colônias do experimento anterior, com exceção daquelas que definham durante o primeiro estudo, continuaram sendo estudadas quanto aos seus aspectos morfométricos. No entanto, neste experimento foram realizadas apenas duas coletas, uma na data de início do experimento, no mês de maio (TESTEMUNHA 1) e outra no final do mês de agosto (TESTEMUNHA 2).

Ao final das coletas nas colônias testemunhas, obteve-se um número de 500 indivíduos coletados para análises, oriundos das três localidades, sendo: 200 indivíduos coletados em Petrolina-PE (n= 10 colônias), 200 indivíduos em Moreilândia-PE (n= 10 colônias) e 100 indivíduos em Coronel José Dias-PI (n= 5 colônias).

SITUAÇÃO 2: COLONIAS EXPERIMENTAIS

Em relação aos indivíduos transferidos durante o período experimental, também foram realizadas duas coletas, uma no início do experimento (EXPERIMENTO 1), onde as abelhas ainda eram aquelas oriundas do seu ambiente de origem, e outra coleta após 90 dias (EXPERIMENTO 2), quando já haviam indivíduos oriundos do local de transferência (São Raimundo Nonato-PI).

As coletas foram realizadas da seguinte forma: 10 colônias de Petrolina-PE, 5 colônias de Moreilândia-PE e 5 colônias de Coronel José Dias-PI foram levadas ao Parque Nacional da Serra da Capivara, em São Raimundo Nonato-PI.

Tanto na situação 1, quanto na 2, foram coletados 10 indivíduos por colônia. A metodologia utilizada para a coleta, montagem de lâminas, obtenção das imagens das asas e análises estatística foi a mesma utilizada no experimento de morfometria geométrica 1.

Ao finalizar as coletas nas colônias testemunhas e experimentais, obteve-se um número de 500 indivíduos coletados oriundos das três localidades.

4.3 ANÁLISES

Nas análises feitas para verificar a morfometria geométrica de populações ao longo dos períodos de coleta, foram comparadas primeiro, as três localidades em conjunto a partir dos dados obtidos de todas as coletas realizadas ao longo dos dois anos de estudo e em seguida as três localidades foram analisadas separadamente quanto ao período (seco ou chuvoso) e quanto às datas das coletas (meses).

Já nas análises para verificar a resposta morfométrica das abelhas à mudança de ambiente comparou-se os resultados obtidos das coletas iniciais (TEST 1 e EXP 1) com os resultados das coletas finais (TEST 2 e EXP 2).

Para avaliar os dados, foram realizadas análises multivariadas: Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de Variáveis Canônicas (CVA), Distância de Mahalanobis (D^2) e Distância de Procrustes com auxílio do software MorphoJ 2.0 (KLINGENBERG, 2011) a partir dos valores obtidos durante os períodos de coleta e da avaliação referente a mudança das abelhas em relação ao ambiente.

Foi realizada a análise de Procrustes, que removeu os efeitos de tamanho e posição para a análise da variação na forma da asa estudada através dos resíduos de Procrustes obtidos.

Realizou-se ainda uma análise de Cluster com base em UPGMA, com a obtenção do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC). Além disso, foram feitas comparações aos pares das seguintes matrizes: forma, tamanho, altitude e distância geográfica através de teste de Mantel, com auxílio do software PAST versão 2.17 (HAMMER et al., 2001).

Os pareamentos para as matrizes citadas foram: Forma x altitude, forma x distância geográfica, tamanho x forma, tamanho x altitude, tamanho x distância geográfica e temperatura x precipitação. As comparações foram feitas para verificar os dados referentes a todas as coletas realizadas nas três populações avaliadas durante os períodos seco e chuvoso.

5. RESULTADOS

5.1 MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE POPULAÇÕES AO LONGO DOS PERÍODOS DE COLETA

Ao observar os municípios tomando-se por base as médias entre as colônias de cada um deles, as análises de variáveis canônicas mostraram que a primeira variável foi responsável por 77,41% pela variação total da forma da asa : CV1= (Fig. 9), evidenciando a distinção morfométrica entre as populações estudadas

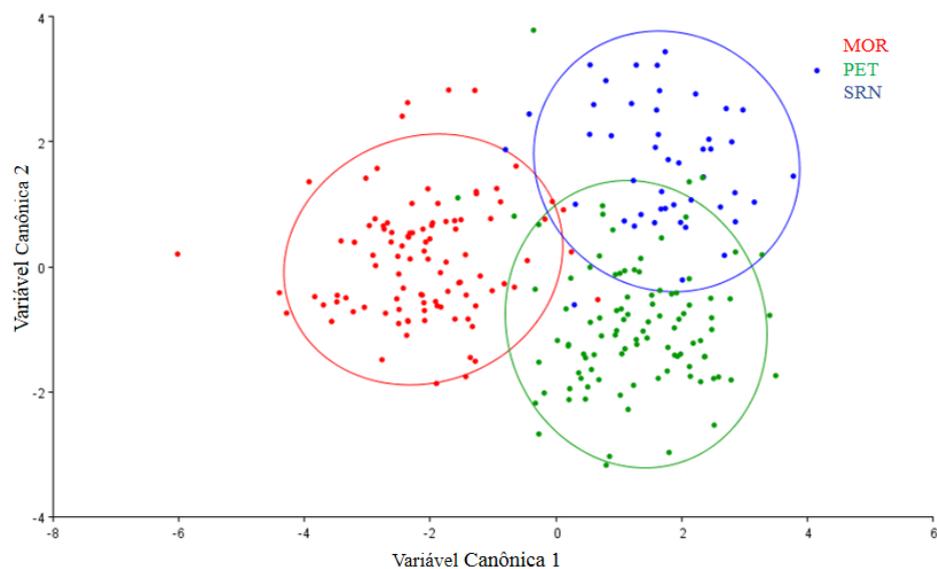


Figura 9. Representação gráfica da disposição relativa entre as três populações de *M. mandacaiá* obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1 e CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas. Legenda: MOR (Moreilândia-PE) – cor vermelho, PET (Petrolina-PE) – cor verde, e SRN (São Raimundo Nonato-PI) – cor azul.

As distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 1), calculadas a partir da Análise de Variáveis Canônicas, observou-se maior distância entre as populações dos municípios de São Raimundo Nonato (PI) e Moreilândia (PE) enquanto que a maior proximidade morfológica ocorreu entre as populações de São Raimundo Nonato e Petrolina (PE), com um valor de dissimilaridade de 2,647 ($P < 0.0001$) para as duas distâncias apresentadas.

Tabela 1. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) entre as populações de *Melipona mandacaia* obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir de médias por colônias.

	MOR	PET	SRN
MOR		0,012	0,014
PET	3,536		0,008
SRN	4,177	2,647	

Legenda: PET: Petrolina (PE) ; MOR: Moereilândia (PE) SRN: São Raimundo Nonato (PI)

Na análise feita em Dendrograma UPGMA (Fig. 13) de relação morfológica das asas anteriores com base na distância de Mahalanobis entre as colônias de *Melipona mandacaia*, com valores de bootstrap (com repetição de 10000 vezes), mostrou a formação de dois grupos, onde, a população de Moreilândia (PE) ficou agrupada num ramo mais isolado representado por 100%.

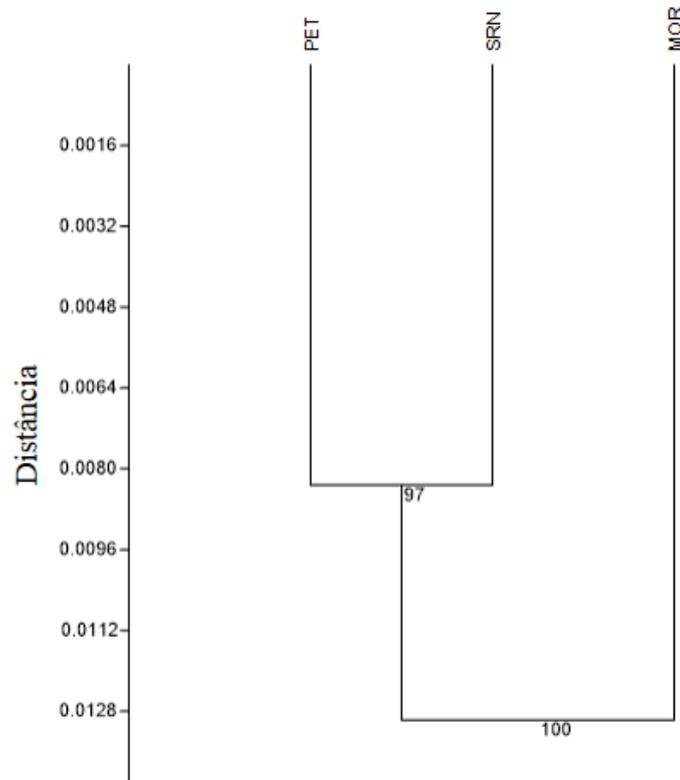


Figura 10. Dendrograma gerado pelo UPGMA com as distâncias morfométricas geradas a partir das médias das colônias de *Melipona mandacaia* nos três locais de coleta (CC 96%). Legenda: PET: Petrolina(PE) ; MOR: Moreilândia (PE); SRN: São Raimundo Nonato (PI); CC: Correlação Cofenética.

O dendrograma gerado corrobora com a distribuição das formas das asas, apresentado no gráfico de Variável Canônica apresentando um índice de correlação cofenética alta 96%, o que demonstra uma boa confiabilidade e qualidade no agrupamento.

Ao comparar as matrizes de forma, tamanho, altitude e distância geográfica através de teste de Mantel (Tab. 2), os resultados mostraram ausência de correlação entre as variáveis comparadas para as médias das colônias das três populações ao longo do período avaliado ($P < 0,05$).

Tabela 2. Comparação da correlação entre as matrizes de forma, tamanho, altitude, e distância geográfica através de Teste de Mantel, realizadas a partir de medidas das asas direitas de *Melipona mandacai* com 5000 permutações.

MATRIZES COMPARADAS	CORRELAÇÃO (R ²)	VALORES DE P
Forma x Altitude	0,988	0,158ns
Forma x Distância Geográfica	0,784	0,322ns
Tamanho x Forma	0,990	0,163ns
Tamanho x Altitude	0,980	0,167ns
Tamanho x Distância Geográfica	0,688	0,340ns
Temperatura x Precipitação	0,973	0,163ns

Legenda: ns não significativo;

5.1.1 Comparação entre Municípios e períodos de coleta

Comparações entre períodos de coleta em Moreilândia-PE e Petrolina-PE

Nas análises realizadas entre as populações de *M. mandacai* dos municípios de Petrolina-PE e Moreilândia-PE, para avaliação de possíveis diferenças morfológicas durante os períodos seco e chuvoso, foram necessários cinco componentes para explicar 63,43% da variação total entre as populações destes municípios: CP1= 18,23%, CP2=15,22%, CP3= 12,26%, CP4=10,10%, CP5=7,62% (Fig. 11).

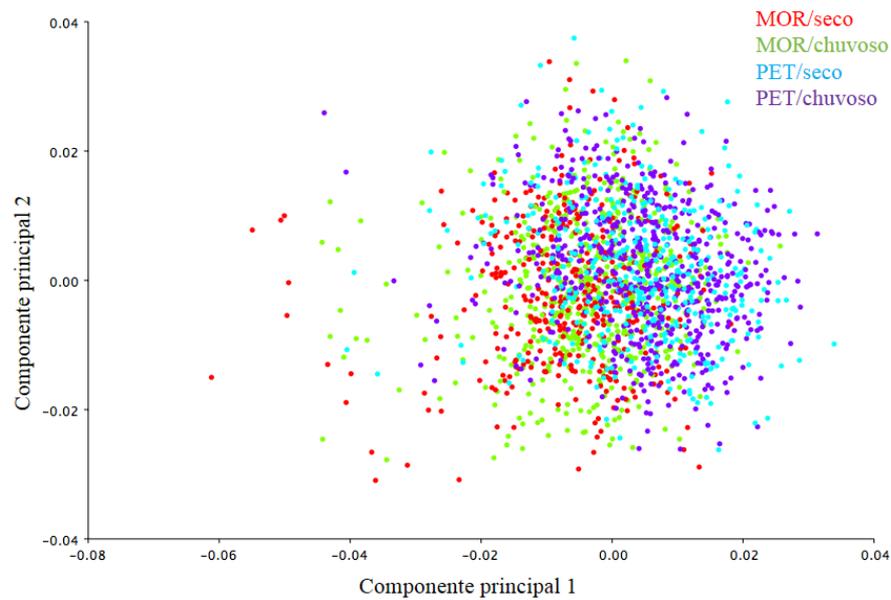


Figura 11. Dispersão das populações de *Melipona mandacaiá* oriundas de Petrolina-PE e Moreilândia-PE durante os períodos seco e chuvoso em relação aos eixos cartesianos estabelecidos por Componentes Principais (CP1, CP2) obtidas a partir da forma da asa. Legenda: MOR (Moreilândia), PET (Petrolina).

Quando as datas de coleta foram observadas, as análises de variáveis canônicas, as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 68,45% da variação total da forma da asa os grupos comparados (Petrolina-PE e Moreilândia-PE): CV1= 58,12%, CV2= 10, 33%.

Nas distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 3) calculadas a partir da Análise de Variáveis Canônicas, observou-se maior distância entre as amostras coletadas no município de Moreilândia-PE (setembro de 2014 – período seco) e Petrolina-PE (novembro de 2014 - período seco), enquanto que a maior proximidade morfológica ocorreu entre as populações de Moreilândia-PE coletadas entre os períodos seco (Novembro-2014) e chuvoso, (janeiro de 2015) com um valor de dissimilaridade de 0,590.

Ao analisar os resultados a partir dos períodos de coleta através de análises de variáveis canônicas, a primeira variável foi responsável por 92,80% da variação total da forma da asa nos grupos comparados (Petrolina-PE e Moreilândia-PE): CV1= 92,80% (Fig. 12).

Tabela 3. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) entre as populações de *Melipona mandacaiá* de Moreilândia-PE e Petrolina-PE durante os períodos seco e chuvoso obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir de amostragem total por colônias (Datas de coletas).

	Mor/01-15	Mor/JAN-16	Mor/MAR-15	Mor/MAR-16	Mor/MAI-15	Mor/ JUL-15	Mor/SET-14	Mor/SET-15	Mor/NOV-14	Mor/NOV-15	Pet/JAN-15	Pet/JAN-16	Pet/MAR-15	Pet/MAR-16	Pet/MAI-15	Pet/JUL-15	Pet/SET-14	Pet/SET-15	Pet/NOV-14	Pet/NOV-15
Mor/01-15		0,006	0,005	0,007	0,006	0,008	0,011	0,009	0,003	0,008	0,014	0,012	0,010	0,017	0,014	0,015	0,011	0,015	0,015	0,013
Mor/JAN-16	1,192		0,007	0,005	0,008	0,007	0,011	0,008	0,006	0,009	0,017	0,013	0,013	0,018	0,016	0,017	0,014	0,017	0,018	0,014
Mor/MAR-15	0,791	1,072		0,008	0,006	0,007	0,009	0,008	0,005	0,007	0,013	0,012	0,008	0,014	0,012	0,014	0,011	0,014	0,014	0,012
Mor/MAR-16	1,345	0,896	1,245		0,008	0,007	0,010	0,009	0,007	0,010	0,017	0,014	0,014	0,018	0,017	0,019	0,016	0,018	0,018	0,015
Mor/MAI-15	1,027	1,272	0,917	1,305		0,009	0,011	0,010	0,007	0,008	0,014	0,011	0,009	0,016	0,013	0,014	0,012	0,015	0,014	0,012
Mor/ JUL-15	1,182	0,977	1,202	1,036	1,373		0,007	0,005	0,009	0,005	0,013	0,012	0,011	0,014	0,014	0,015	0,012	0,014	0,015	0,011
Mor/SET-14	1,466	1,410	1,405	1,291	1,566	0,879		0,009	0,011	0,010	0,016	0,017	0,013	0,017	0,018	0,018	0,016	0,019	0,018	0,015
Mor/SET-15	1,214	1,157	1,175	1,218	1,521	0,784	1,255		0,009	0,006	0,014	0,013	0,011	0,014	0,015	0,015	0,012	0,015	0,015	0,012
Mor/NOV-14	0,590	1,168	0,831	1,252	1,188	1,247	1,463	1,129		0,010	0,016	0,014	0,011	0,018	0,015	0,017	0,013	0,017	0,017	0,014
Mor/NOV-15	1,239	1,378	1,195	1,503	1,177	1,033	1,500	0,914	1,274		0,012	0,010	0,009	0,012	0,012	0,012	0,010	0,012	0,012	0,010
Pet/JAN-15	1,943	2,218	1,731	2,502	2,187	2,084	2,449	2,044	2,014	2,053		0,010	0,007	0,010	0,009	0,008	0,006	0,008	0,008	0,007
Pet/JAN-16	1,823	1,763	1,689	2,161	1,818	1,930	2,567	1,891	1,953	1,669	1,434		0,008	0,011	0,007	0,009	0,007	0,007	0,008	0,006
Pet/MAR-15	1,258	1,578	1,083	1,890	1,393	1,544	1,967	1,497	1,340	1,380	1,214	1,221		0,009	0,007	0,007	0,005	0,008	0,009	0,007
Pet/MAR-16	2,299	2,249	1,931	2,427	2,310	2,103	2,613	1,899	2,245	1,836	1,695	1,494	1,412		0,008	0,007	0,009	0,009	0,008	0,008
Pet/MAI-15	1,870	2,075	1,634	2,401	1,881	2,089	2,639	2,077	2,015	1,807	1,367	0,967	0,992	1,185		0,005	0,006	0,006	0,006	0,007
Pet/JUL-15	2,189	2,356	1,957	2,678	2,232	2,220	2,780	2,086	2,217	1,817	1,401	1,214	1,238	1,045	0,859		0,007	0,005	0,006	0,006
Pet/SET-14	1,551	1,907	1,544	2,267	1,926	1,842	2,355	1,801	1,708	1,777	1,044	1,222	0,739	1,521	1,002	1,249		0,006	0,008	0,006
Pet/SET-15	2,174	2,182	1,919	2,496	2,231	2,055	2,657	2,061	2,260	1,891	1,346	1,132	1,332	1,272	0,932	0,776	1,271		0,007	0,006
Pet/NOV-14	2,213	2,475	2,064	2,750	2,307	2,303	2,851	2,325	2,335	2,082	1,158	1,295	1,494	1,539	1,091	1,053	1,334	1,267		0,007
Pet/NOV-15	1,997	1,912	1,769	2,240	2,061	1,896	2,451	1,816	2,011	1,695	1,289	0,802	1,195	1,109	1,101	0,963	1,168	0,980	1,289	

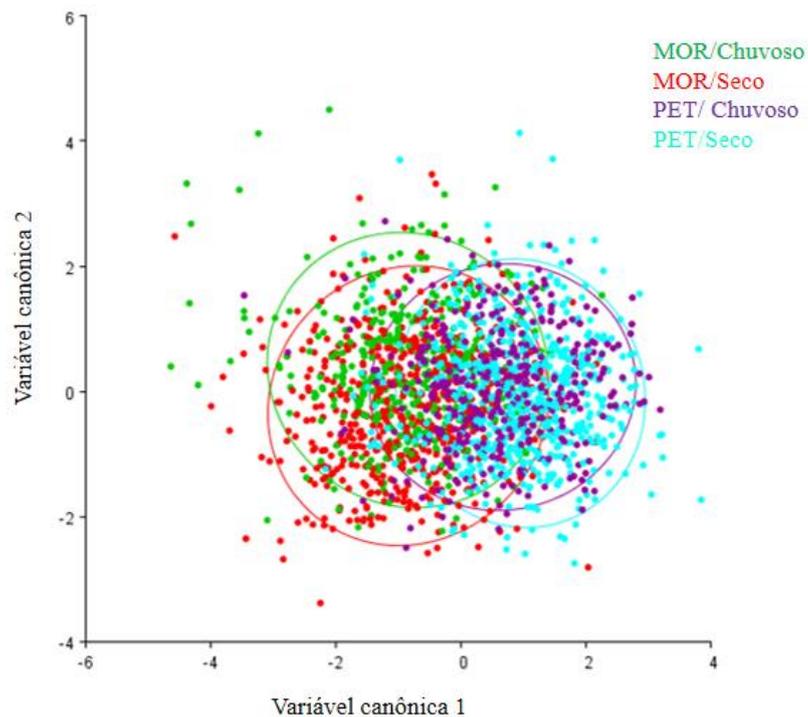


Figura 12: Representação gráfica da disposição relativa dos períodos de coleta de *M. mandacaiia* realizadas em Moreilândia e Petrolina (PE) obtidas a partir das análises de Variáveis Canônicas (CV1,CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Nas distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 4), calculadas a partir da Análise de Variáveis Canônicas, observou-se maior distância entre as populações de Petrolina-PE (período seco) e Moreilândia-PE (período chuvoso) , enquanto que a maior proximidade morfológica ocorreu entre as populações de Petrolina (PE) coletadas entre os períodos seco e chuvoso, com um valor de dissimilaridade de 0,468.

Tabela 4. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) entre as populações de *Melipona mandacaiia* de Moreilândia-PE e Petrolina-PE durante os períodos seco e chuvoso obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir de amostragem total por colônias.

	MOR/CHUVA	MOR/SECO	PET/CHUVA	PET/SECO
MOR/CHUVA		0,004	0,012	0,014
MOR/SECO	0,574		0,011	0,012
PET/CHUVA	1,564	1,553		0,002
PET/SECO	1,844	1,815	0,468	

Legenda: PET: Petrolina(PE) ; MOR: Moreilândia (PE)

5.1.2 Período de coleta em Moreilândia-PE

De acordo com informações pessoais prestadas pela Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), responsáveis pelas coletas e divulgações de dados meteorológicos no estado do PE e demais regiões do Brasil, respectivamente, não possuem estações meteorológicas com coletas de dados referentes à temperatura e umidade relativa para este município.

Os locais mais próximos de coletas para os dados mencionados são os municípios de Ouricuri-PE e Salgueiro-PE, que ficam, respectivamente, a 81Km e 69Km em linha reta do município Moreilândia-PE. Assim, as coletas referentes a informações climatológicas desta região, foram realizadas apenas para Precipitação, que é o único dado meteorológico coletado neste município (Fig. 13).

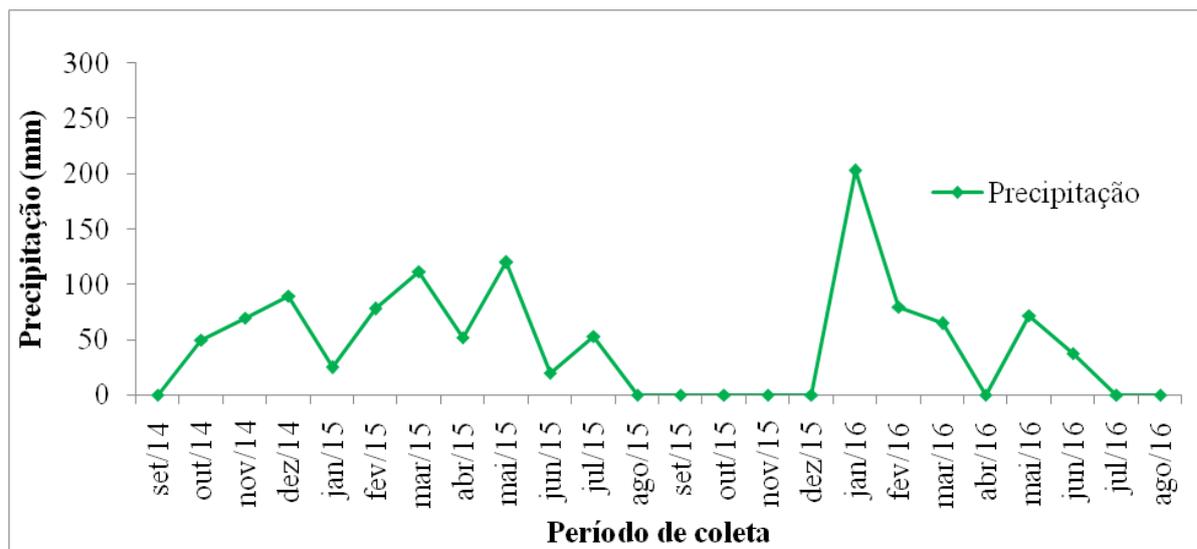


Figura 13: Precipitação acumulada mensal (mm) coletada no município de Moreilândia-PE ao longo do período de realização das coletas dos indivíduos.

Período Seco

Ao observar os indivíduos coletados em Moreilândia-PE durante o período seco, tomando-se por base datas das coletas, as análises de variáveis canônicas mostraram que as

duas primeiras variáveis foram responsáveis por 70,63% pela variação total da forma da asa, onde: CV1 = 45,10%, CV2 = 25,53% (Fig. 14).

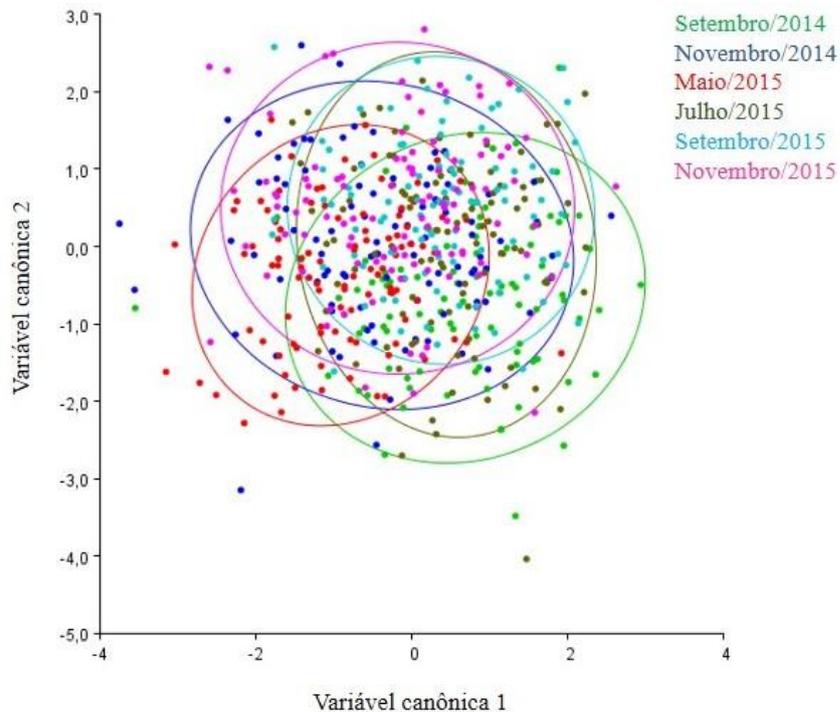


Figura 14. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaia* realizadas em Moreilândia-PE durante o período seco, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

As distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 5), mostraram maior distância entre as coletas realizadas nos meses de setembro do ano de 2014 e maio de 2015, enquanto que a menor proximidade morfológica ocorreu entre os meses de julho e setembro de 2015. O valor de dissimilaridade foi de 0,730.

Tabela 5. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Moreilândia-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir dos valores totais de indivíduos coletados durante o período seco.

	SET/14	NOV/14	MAI/15	JUL/15	SET/15	NOV/15
SET/14		0,011	0,011	0,007	0,009	0,010
NOV/14	1,504		0,007	0,009	0,009	0,010
MAI/15	1,671	1,232		0,009	0,010	0,008
JUL/15	0,911	1,271	1,467		0,005	0,006
SET/15	1,238	1,126	1,604	0,730		0,006
NOV/15	1,501	1,288	1,223	1,004	0,934	

Período chuvoso

Ao observar os indivíduos tomando-se por base datas em que foram coletados ao longo do período chuvoso no município de Moreilândia-PE, as análises de variáveis canônicas mostraram que apenas a primeira variável foi responsável por 60,89% pela variação total da forma da asa $CV1 = 60,89\%$ (Fig. 15).

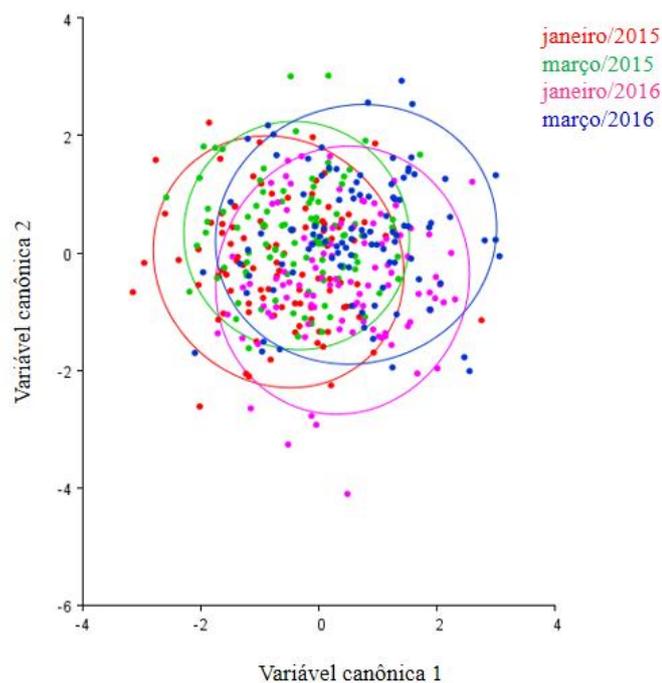


Figura 15. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaia* realizadas em Moreilândia-PE durante o período chuvoso, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

A partir das distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 6) foi possível observar maior distância morfológica entre as coletas realizadas no período chuvoso entre os meses de janeiro de 2015 e março de 2016, e maior proximidade morfológica entre os meses de janeiro e março de 2015 com dissimilaridade de 0,872.

Tabela 6. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Moreilândia-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir do número total de indivíduos coletados durante o período chuvoso.

	JAN/15	MAR/15	JAN/16	MAR/16
JAN/15		0,005	0,006	0,007
MAR/15	0,872		0,007	0,008
JAN/16	1,233	1,106		0,005
MAR/16	1,398	1,170	0,910	

Períodos Seco e Chuvoso

Em relação aos anos de coleta, ao observar os períodos seco e chuvoso, considerou-se o período seco sob dois aspectos: o primeiro, considerado seco (frio), por ligeiramente apresentar temperaturas mais baixas à noite, correspondente a coleta do mês de maio, e o segundo considerado seco (quente), correspondente as coletas do mês de julho, setembro e novembro, considerados período quente. Com isso, as análises de variáveis canônicas mostraram que a primeira variável foi responsável por 72,18% da variação total da forma da asa, CV1 = 72,18% (Fig 16).

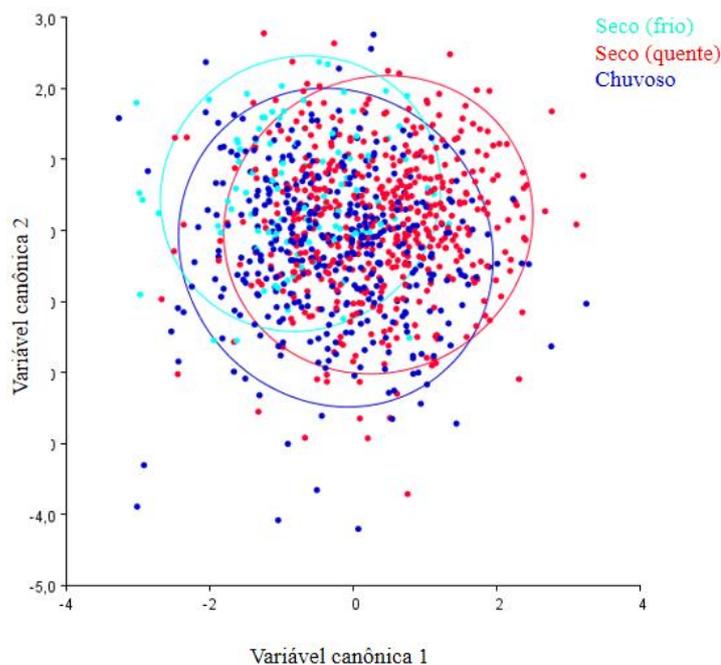


Figura 16. Representação gráfica da disposição relativa dos períodos de coleta de *M. mandacaia* realizadas em Moreilândia (PE) obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1 e CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Ao observar os anos de coleta, tomando-se por base os períodos seco e chuvoso, as análises de variáveis canônicas, mostraram que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 72,32% da variação total da forma da asa : CV1= 41, 23%, CV2= 31,09 (Fig. 17).

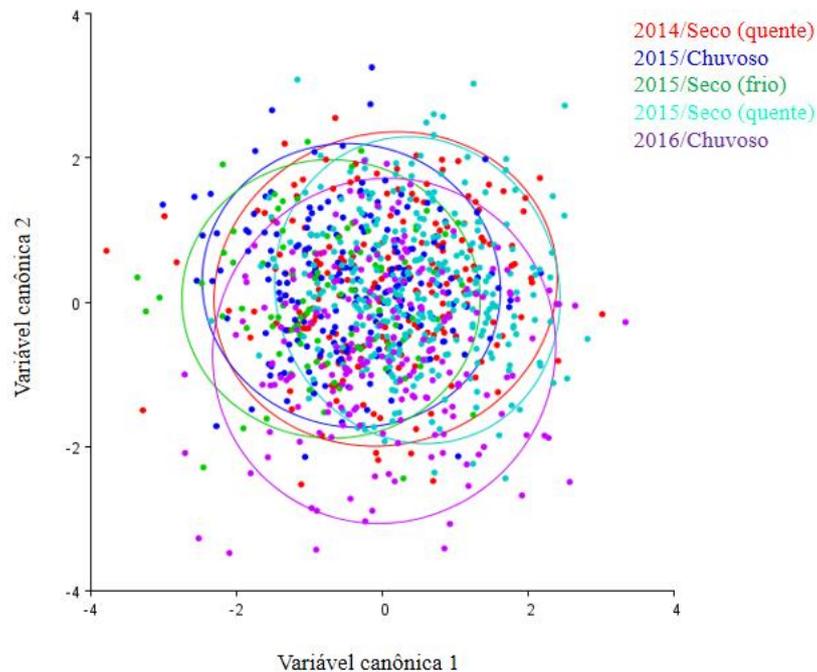


Figura 17: Representação gráfica da disposição relativa dos períodos de coleta de *M. mandacaiá* realizadas em Moreilândia (PE) obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1 e CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Ao avaliar as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 7) a partir das coletas realizadas em todos os meses em que as coletas foram realizadas, foi possível constatar que a maior distância ocorreu entre os meses de setembro de 2014 e maio de 2015 durante o período seco, ao passo que a menor distância morfológica ocorreu entre os meses de novembro de 2014 (período seco) e janeiro de 2015 (período chuvoso), com dissimilaridade de 0,633.

Tabela 7. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Moreilândia-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre meses por ano).

	SET/14	NOV/14	JAN/15	MAR/15	MAI/15	JUL/15	SET/15	NOV/15	JAN/16	MAR/16
SET/14		0,011	0,011	0,010	0,011	0,007	0,009	0,010	0,011	0,010
NOV/14	1,500		0,003	0,005	0,007	0,009	0,009	0,010	0,006	0,007
JAN/15	1,502	0,633		0,005	0,006	0,008	0,008	0,008	0,006	0,007
MAR/15	1,410	0,787	0,795		0,006	0,008	0,009	0,007	0,007	0,008
MAI/15	1,626	1,172	1,012	0,898		0,009	0,010	0,008	0,008	0,008
JUL/15	0,891	1,252	1,214	1,178	1,391		0,005	0,006	0,007	0,007
SET/15	1,229	1,096	1,191	1,145	1,521	0,751		0,006	0,008	0,009
NOV/15	1,494	1,255	1,249	1,154	1,175	1,019	0,909		0,009	0,010
JAN/16	1,488	1,164	1,184	1,078	1,267	0,995	1,153	1,369		0,005
MAR/16	1,304	1,236	1,368	1,181	1,308	0,997	1,183	1,471	0,897	

Ao avaliar as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 8), comparando os períodos (seco e chuvoso) dos anos em que as coletas foram realizadas, foi possível observar que a maior distância morfológica ocorreu durante período chuvoso entre os anos de 2015 e 2016. A menor distância morfológica ocorreu entre os períodos seco de 2014 e chuvoso de 2015. O valor de dissimilaridade foi de 0,771.

Tabela 8. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Moreilândia-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os período por ano).

	2014/SECO	2015/ CHUVOSO	2015/SECO	2016/ CHUVOSO
2014/SECO		0,005	0,006	0,007
2015/ CHUVOSO	0,731		0,005	0,006
2015/SECO	0,732	0,771		0,007
2016/ CHUVOSO	0,964	1,032	0,888	

Numa terceira análise, ao avaliar as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 9), comparando os períodos seco sob os dois aspectos já mencionados, foi possível observar que a maior distância morfológica ocorreu entre os períodos seco frio e seco quente. A menor distância morfológica ocorreu entre os períodos seco quente e chuvoso. O valor de dissimilaridade foi de 0,674.

Tabela 9. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Moreilândia-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os períodos).

	SECO (FRIO)	SECO (QUENTE)	CHUVOSO
SECO (FRIO)		0,007	0,006
SECO (QUENTE)	1,162		0,005
CHUVOSO	0,898	0,674	

Na análise de função discriminante foi possível observar a classificação correta da porcentagem dos indivíduos quanto ao período de coleta para o município (Fig. 16). As classificações que apresentaram menor êxito foram entre os indivíduos coletados nos períodos: chuvoso (37,53%), quando comparados aos indivíduos coletados no período seco (quente) (38,46%); Período seco (frio) (33,00%) quando comparado aos indivíduos coletados no período chuvoso (33,25%) e por último, período seco (frio) (22%) quando comparado aos indivíduos coletados no período seco (quente) (37,3%).

Quando foi realizada a validação cruzada os valores de acertos foram: 39,55% e 40,16% para os períodos chuvoso e seco (quente); 35,26% e 39% para os períodos chuvoso seco (frio); 30,83% e 31% para os períodos seco (quente) e seco (frio), para as comparações apresentadas, respectivamente.

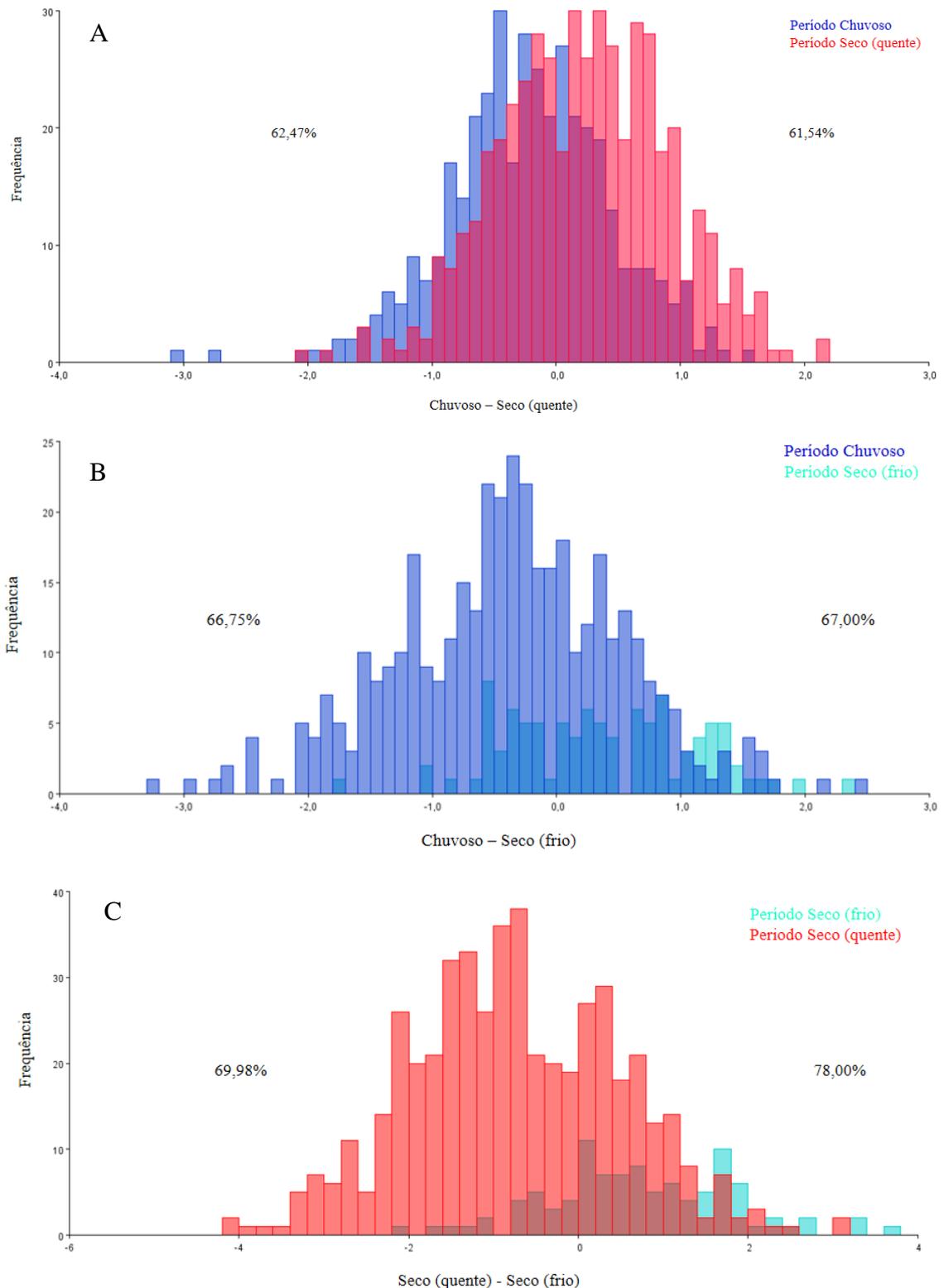


Figura 16: Discriminação par a par dos indivíduos coletados nos períodos seco e chuvoso estudados pela Análise de Função Discriminante (DFA) no município de Moreilândia-PE. Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (quente) à direita do gráfico (A). Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (B). Os valores de maior êxito para o período seco (quente) estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (C).

5.1.3 Período de coleta em Petrolina-PE

Abaixo seguem os dados climáticos de Temperatura, Umidade relativa e Precipitação obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Fig. 17).

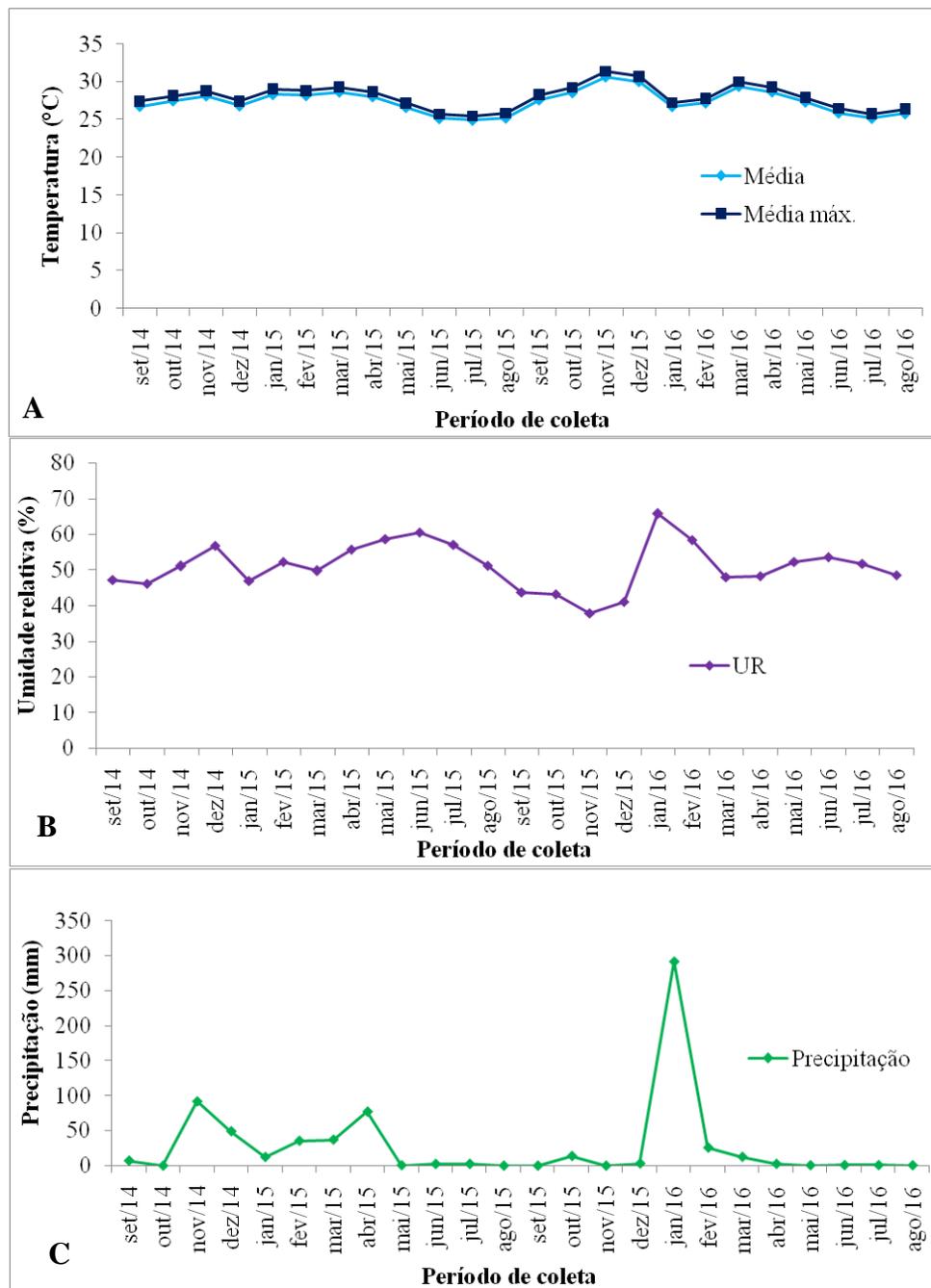


Figura 17: Dados climáticos do município de Petrolina-PE ao longo do período de realização das coletas dos indivíduos: Temperatura média e média máxima (°C) (A); Umidade relativa do ar (UR) (B); Precipitação acumulada mensal (mm) (C).

Período seco

A variação morfométrica entre os indivíduos de *M. mandacaia* do município de Petrolina-PE durante o período seco, foi observada a partir das coletas realizadas durante os meses que representam este período. Assim, as análises de variáveis canônicas, mostraram que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 63,29% da variação observada: CV1 = 33,76 e CV2 = 29,53(Fig. 18).

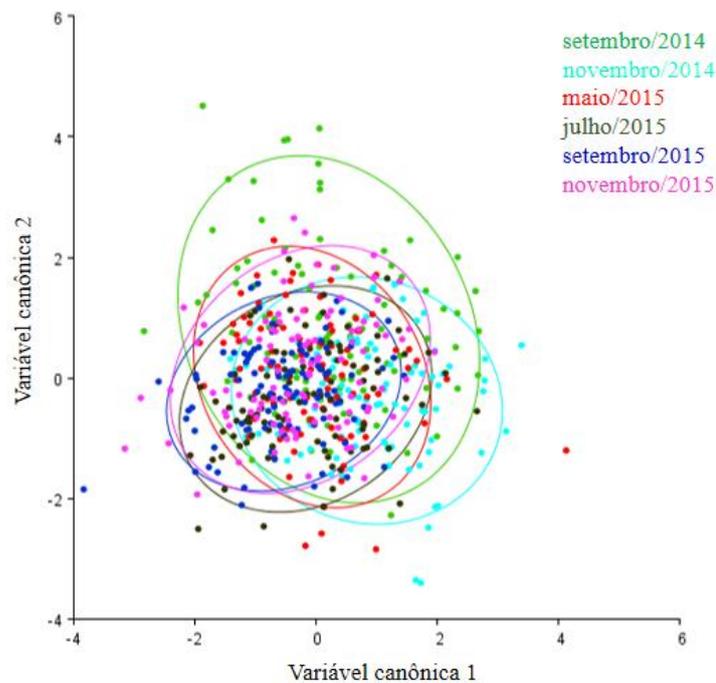


Figura 18. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaia* realizadas em Petrolina-PE durante o período seco, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Com base nas distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 9), observou-se maior distância nas coletas realizadas entre os meses de novembro de 2014 e setembro de 2015, e a menor proximidade morfológica ocorreu entre os meses de julho e setembro de 2015 com valor de dissimilaridade de 0,788.

Tabela 10. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica a partir do número total de indivíduos coletados durante o período seco.

	SET/14	NOV/14	MAI/15	JUL/15	SET/15	NOV/15
SET/14		0,008	0,006	0,007	0,006	0,006
NOV/14	1,371		0,006	0,006	0,007	0,007
MAI/15	1,064	1,209		0,005	0,006	0,006
JUL/15	1,266	1,137	0,863		0,005	0,006
SET/15	1,309	1,425	0,915	0,788		0,006
NOV/15	1,178	1,358	1,156	0,987	1,052	

Período chuvoso

As análises de variáveis canônicas, mostraram que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 78,88% da variação observada nos indivíduos coletados durante o período chuvoso: CV1 = 50,54 e CV2 = 28,34 (Fig. 19).

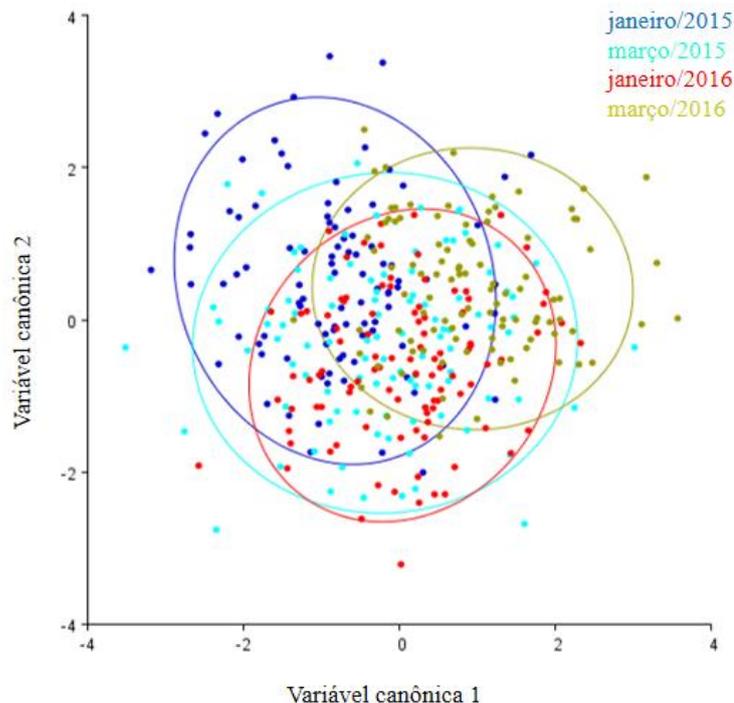


Figura 19. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaia* realizadas em Petrolina-PE durante o período chuvoso, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Quanto às distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 11), houve maior distância morfológica nas coletas realizadas no período chuvoso entre os meses de janeiro de 2015 e março de 2016, e maior proximidade morfológica entre os meses janeiro e março de 2015, com dissimilaridade de 1,321.

Tabela 11. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir do número total de indivíduos coletados durante o período chuvoso.

	JAN/15	MAR/15	JAN/16	MAR/16
JAN/15		0,007	0,010	0,010
MAR/15	1,321		0,008	0,010
JAN/16	1,443	1,164		0,011
MAR/16	1,771	1,469	1,425	

Períodos Seco e Chuvoso

Observando os períodos seco e chuvoso, as análises de variáveis canônicas, mostraram que a primeira variável foi responsável por 58,92% da variação total da forma da asa, CV1 = 58,92% (Fig. 20).

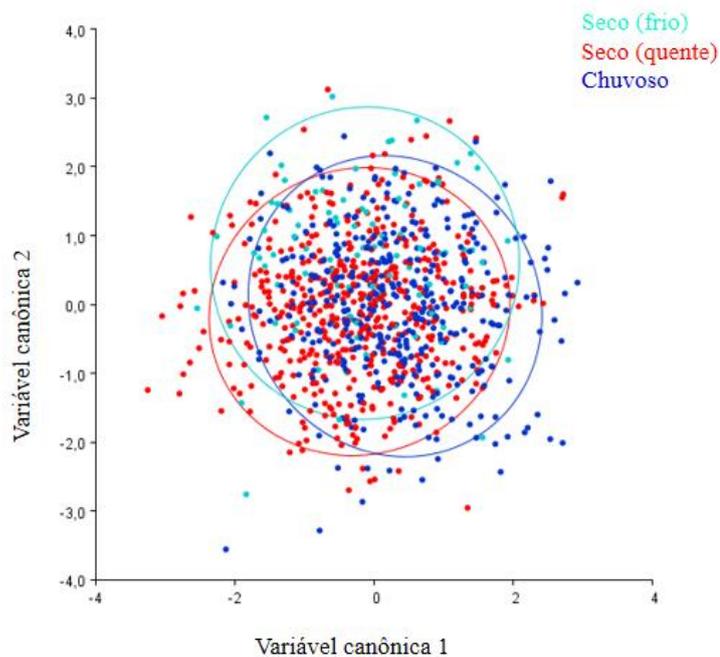


Figura 20. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaia* realizadas em Petrolina-PE durante o período seco e chuvoso, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

Observando os anos de coleta, tomando por base os períodos seco e chuvoso, as análises de variáveis canônicas, mostraram que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 86,64% da variação total da forma da asa : CV1= 65,45%, CV2= 21,19%. (Fig. 21).

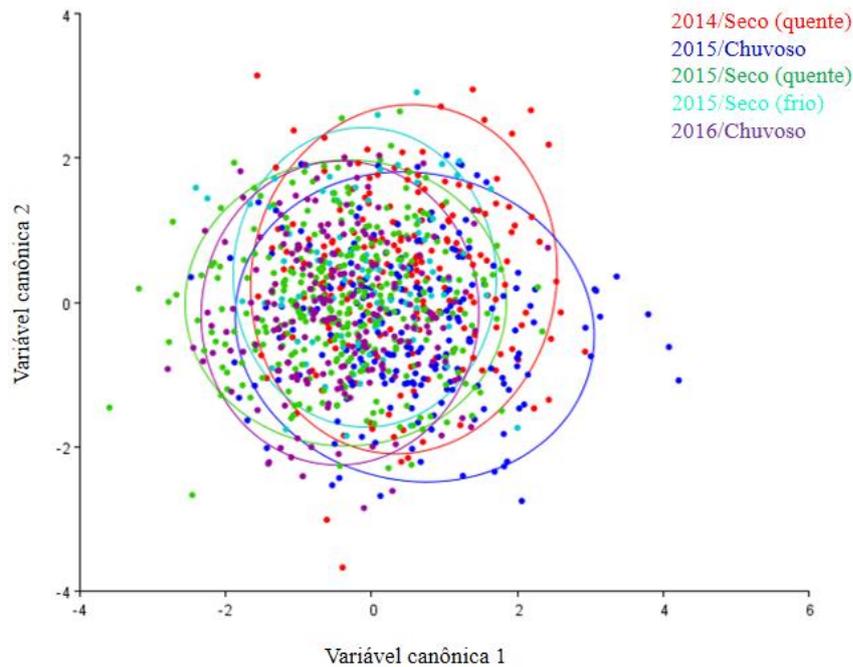


Figura 21: Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaiia* realizadas em Petrolina-PE durante o período seco e chuvoso, obtidas a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

A partir das distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 12), ao observar os meses de coleta ao longo dos dois anos, foi possível verificar que a maior distância morfológica ocorreu entre janeiro de 2015 e março de 2016. Distância de um ano, com meses que marcam início e fim do período chuvoso. A maior proximidade morfológica ocorreu entre os meses de novembro de 2015 e janeiro de 2016, marcando fim de período seco e início de período chuvoso. O valor de dissimilaridade de 0,774.

Tabela 12. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada a partir do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre meses por ano).

	SET/14	NOV/14	JAN/15	MAR/15	MAI/15	JUL/15	SET/15	NOV/15	JAN/16	MAR/16
SET/14		0,008	0,006	0,005	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007	0,009
NOV/14	1,361		0,007	0,009	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008
JAN/15	1,110	1,198		0,007	0,009	0,008	0,008	0,006	0,010	0,010
MAR/15	0,794	1,564	1,289		0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,009
MAI/15	1,041	1,175	1,448	1,031		0,005	0,006	0,007	0,007	0,008
JUL/15	1,281	1,143	1,482	1,269	0,887		0,005	0,006	0,009	0,008
SET/15	1,294	1,371	1,442	1,344	0,934	0,780		0,006	0,007	0,010
NOV/15	1,187	1,371	1,343	1,215	1,142	0,998	1,016		0,006	0,008
JAN/16	1,215	1,342	1,459	1,196	0,970	1,215	1,166	0,774		0,011
MAR/16	1,585	1,635	1,763	1,473	1,204	1,064	1,256	1,134	1,439	

Ao avaliar as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 12), comparando os períodos (seco e chuvoso) ao longo do período de coleta, observou-se que a maior distância morfológica ocorreu durante período chuvoso entre os anos de 2015 e 2016. A maior proximidade morfológica ocorreu entre os períodos seco de 2015 e chuvoso do ano de 2016. O valor de dissimilaridade foi de 0,594.

Tabela 12. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os períodos por ano).

	2014/SECO	2015/ CHUVOSO	2015/SECO	2016/ CHUVOSO
2014/SECO		0,005	0,004	0,005
2015/CHUVOSO	0,737		0,006	0,007
2015/SECO	0,840	0,990		0,004
2016/CHUVOSO	1,054	1,118	0,594	

Ao avaliar as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 13), comparando os períodos chuvoso e seco (frio e quente). Foi possível observar que a maior distância morfológica ocorreu entre os períodos seco frio e chuvoso. A menor distância morfológica ocorreu entre os períodos seco quente e chuvoso. O valor de dissimilaridade foi de 0,517.

Tabela 13. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os períodos).

	SECO (FRIO)	SECO (QUENTE)	CHUVOSO
SECO (FRIO)		0,004	0,005
SECO (QUENTE)	0,710		0,003
CHUVOSO	0,761	0,517	

Na análise de função discriminante foi possível observar a classificação correta da porcentagem dos indivíduos quanto ao período de coleta para o município (Fig. 22). O menor êxito foi entre os indivíduos coletados nos períodos: chuvoso (40,40%) quando comparados aos indivíduos coletados no período seco (quente) (39,36%); chuvoso (36,87%) quando comparado aos indivíduos coletados no período seco (frio) (34,34%) e por último, período seco (quente) (35,14%) quando comparado aos indivíduos coletados no período seco (frio) (35,35%).

A validação cruzada mostrou que os valores de acertos foram: 43,18% e 41,57% para os períodos chuvoso e seco (quente); 38,89% e 40,40% para os períodos chuvoso e seco (frio), finalmente, 37,35% e 45,45% durante os períodos seco (quente) e seco (frio), nas comparações apresentadas, respectivamente.

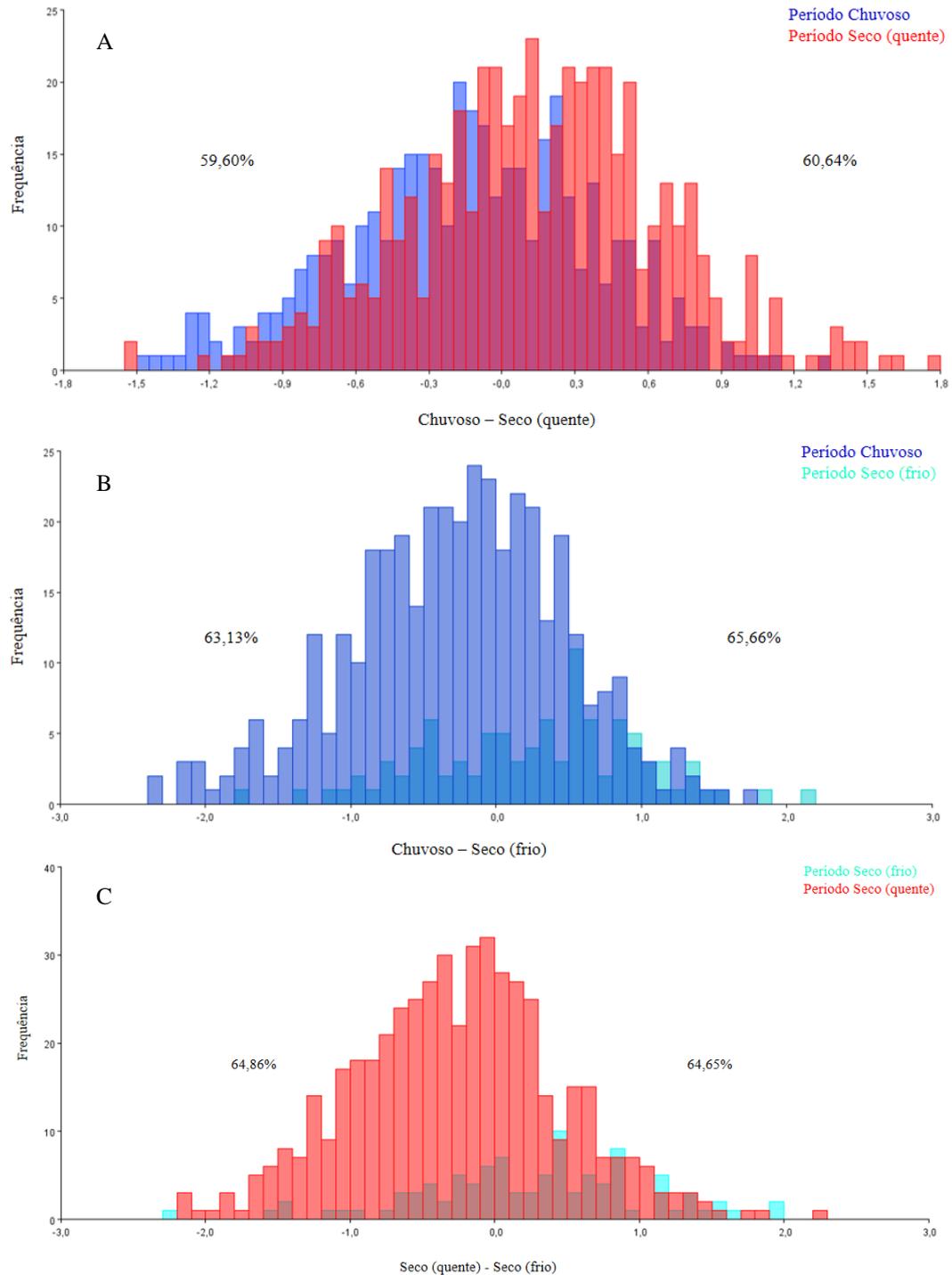


Figura 22: Discriminação par a par dos indivíduos coletados nos períodos seco e chuvoso estudados pela Análise de Função Discriminante (DFA) no município de Petrolina-PE. Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (quente) à direita do gráfico (A). Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (B). Os valores de maior êxito para o período seco (quente) estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (C).

5.1.4 Período de coleta em São Raimundo Nonato

De acordo com os dados obtidos as médias de Temperatura obtidas no município alcançou os 32°C nos meses considerados chuvosos. Neste período, os registros de umidade relativa chegou a 80%.

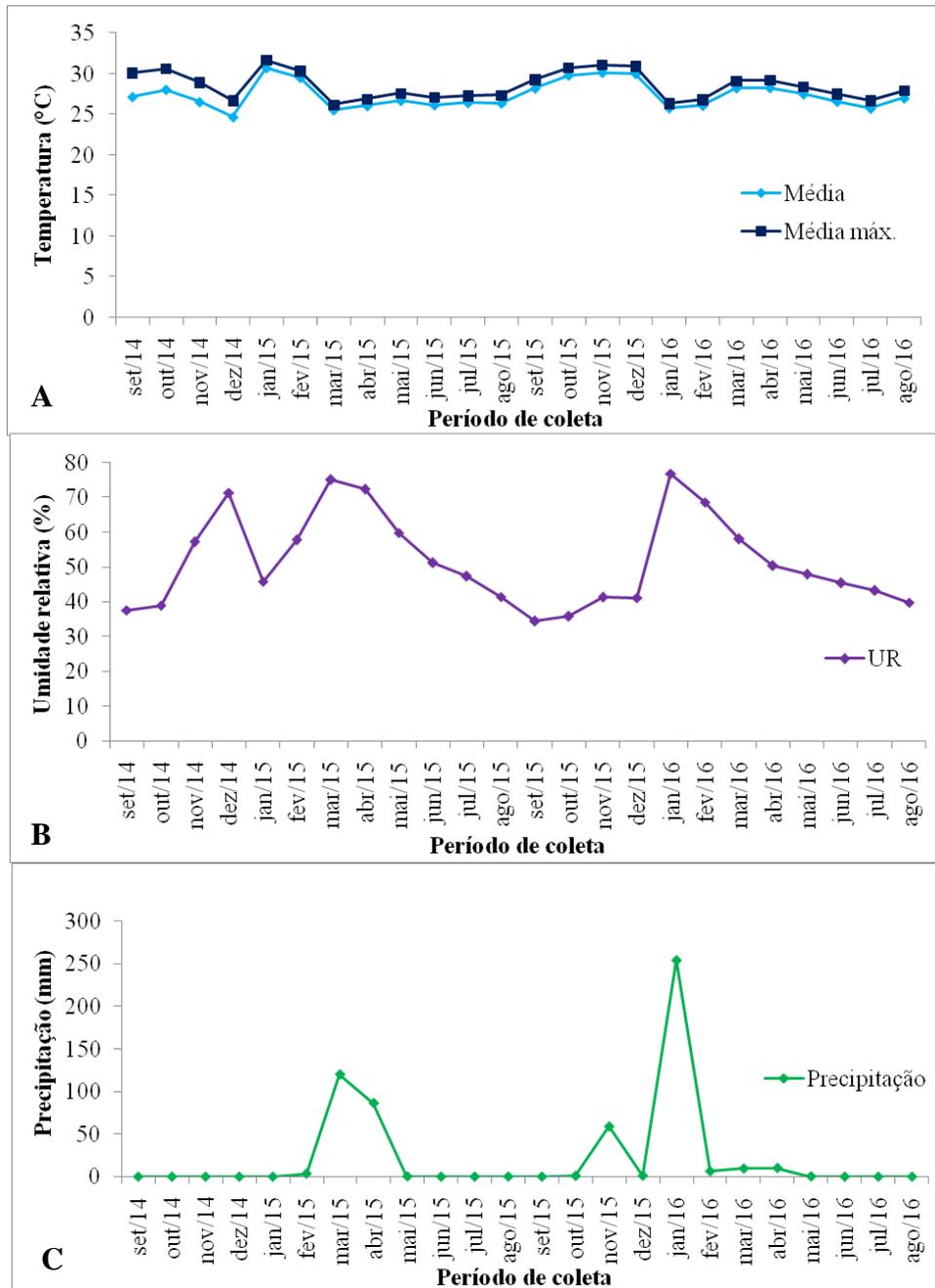


Figura 23: Dados climáticos do município de São Raimundo Nonato-PI ao longo do período de realização das coletas dos indivíduos: Temperatura média e média máxima (°C) (A); Umidade relativa do ar (UR) (B); Precipitação acumulada mensal (mm) (C).

Período seco

Ao observar os anos de coleta, levando em consideração os meses de períodos seco, as análises de variáveis canônicas mostraram que a primeira variável do eixo canônico 1 foi responsável sozinho por 80,00% da variação total da forma da asa, $CV1= 80,00\%$ (Fig. 24).

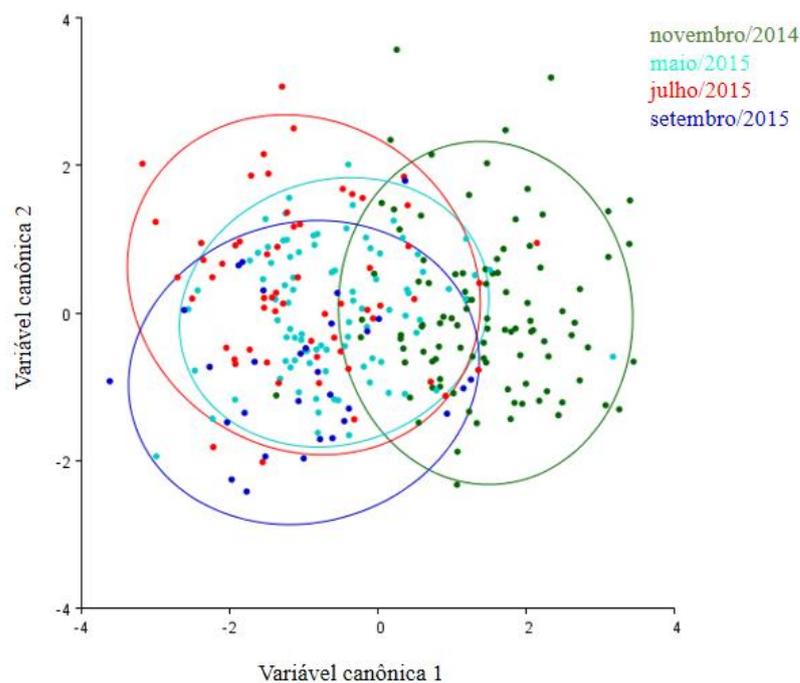


Figura 24. Representação gráfica da disposição relativa das coletas *M. mandacaiá* realizadas em São Raimundo Nonato-PI durante o período seco, obtida a partir das Análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

A partir das distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 14) observou-se maior diferença entre as coletas feitas nos meses de novembro de 2014 e setembro de 2015. A maior proximidade morfológica ocorreu entre os meses de maio e julho de 2015, com dissimilaridade de 0,825.

Tabela 14. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de São Raimundo Nonato-PI obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco.

	NOV/14	MAI/15	JUL/15	SET/15
NOV/14		0,014	0,016	0,015
MAI/15	2,076		0,004	0,005
JUL/15	2,489	0,825		0,006
SET/15	2,577	1,080	1,183	

Período chuvoso

Foram necessários quatro componentes para explicar 61,27% da variação total entre os indivíduos coletados nas colônias de *M. mandacaia* no município de São Raimundo Nonato-PI para o período chuvoso: CP1= 21,11%, CP2=16,86%, CP3= 12,87%, CP4= 10,43% (Fig. 25).

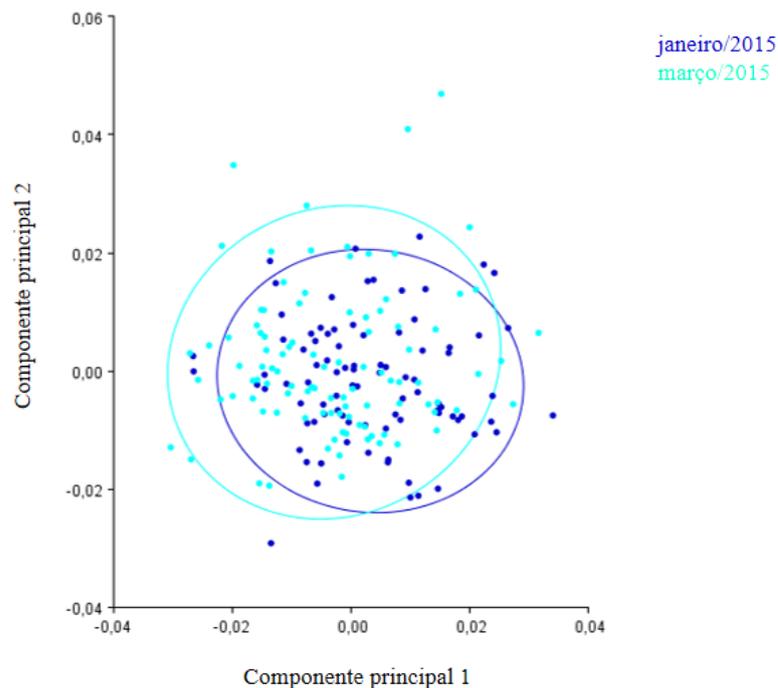


Figura 25. Dispersão das populações de *Melipona mandacaia* do município de São Raimundo Nonato-PI durante o período chuvoso em relação aos eixos cartesianos estabelecidos por Componentes Principais (CP1, CP2) obtidas a partir da forma da asa.

Períodos seco e chuvoso

Ao observar os anos de coleta, levando em consideração os períodos seco e chuvoso, as análises de variáveis canônicas mostraram que a primeira variável do eixo canônico 1 foi responsável sozinho por 78,32% da variação total da forma da asa : $CV1 = 78,32\%$ (Fig. 26).

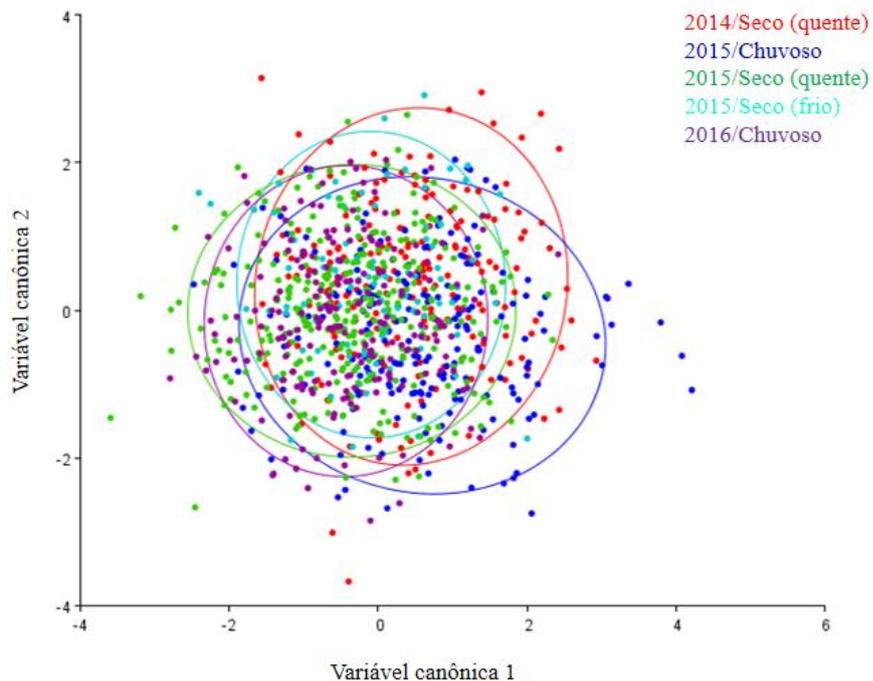


Figura 26: Representação gráfica da disposição relativa dos períodos de coleta de *M. mandacaiá* realizadas em São Raimundo Nonato-PI obtidas a partir das análises de Variáveis Canônicas (CV1, CV2) dos 10 pontos anatômicos marcados nas junções de nervuras das asas.

A partir das distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 15) observou-se maior diferença entre as coletas feitas nos meses de novembro de 2014 e setembro de 2015. A maior proximidade morfológica ocorreu entre os meses de maio e julho de 2015, com dissimilaridade de 0,802.

Tabela 15. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de São Raimundo Nonato-PI, obtidas pela Análise de Variável Canônica a partir do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre meses por ano).

	NOV/14	JAN/15	MAR/15	MAI/15	JUL/15	SET/15
NOV/14		0,007	0,012	0,014	0,016	0,015
JAN/15	1,003		0,009	0,012	0,014	0,014
MAR/15	1,627	1,219		0,006	0,008	0,010
MAI/15	1,987	1,735	1,084		0,004	0,005
JUL/15	2,377	2,070	1,375	0,802		0,006
SET/15	2,464	2,247	1,880	1,042	1,192	

De fato as distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 16) mostraram maior distância morfológica entre as coletas feitas no período seco entre os anos de 2014 e 2015. A maior proximidade morfológica também foi observada no período seco de 2015, com dissimilaridade de 1,411.

Tabela 16. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de São Raimundo Nonato-PI obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os períodos por ano).

	2014/SECO	2015/CHUVOSO	2015/SECO
2014/SECO		0,008	0,015
2015/CHUVOSO	1,199		0,009
2015/SECO	2,070	1,411	

As análises das distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 17), mostraram que ao comparar os períodos chuvoso e seco (frio e quente) a maior distância morfológica ocorreu entre os períodos seco frio e chuvoso. A menor distância morfológica ocorreu entre os períodos seco quente e chuvoso. O valor de dissimilaridade foi de 0,517.

Tabela 17. Distâncias de Mahalanobis (metade inferior da matriz) e de Procrustes (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* do município de Petrolina-PE obtidas pela Análise de Variável Canônica calculada do número total de indivíduos coletados durante os períodos seco e chuvoso (Distâncias entre os períodos).

	SECO (FRIO)	SECO (QUENTE)	CHUVOSO
SECO (FRIO)		0,0072	0,0085
SECO (QUENTE)	0,8182		0,0054
CHUVOSO	1,1291	0,8428	

A partir da Análise de função discriminante foi possível verificar a classificação correta da porcentagem dos indivíduos quanto ao período de coleta para o município de São Raimundo Nonato-PI (Fig. 26). O menor êxito foi observado entre os indivíduos coletados nos períodos seco (37,41%) quando comparados aos indivíduos coletados no período chuvoso (33,33%). Estes valores aumentaram, respectivamente, 38,85% e 38,10% para os períodos mencionados de acordo com o teste de validação cruzada.

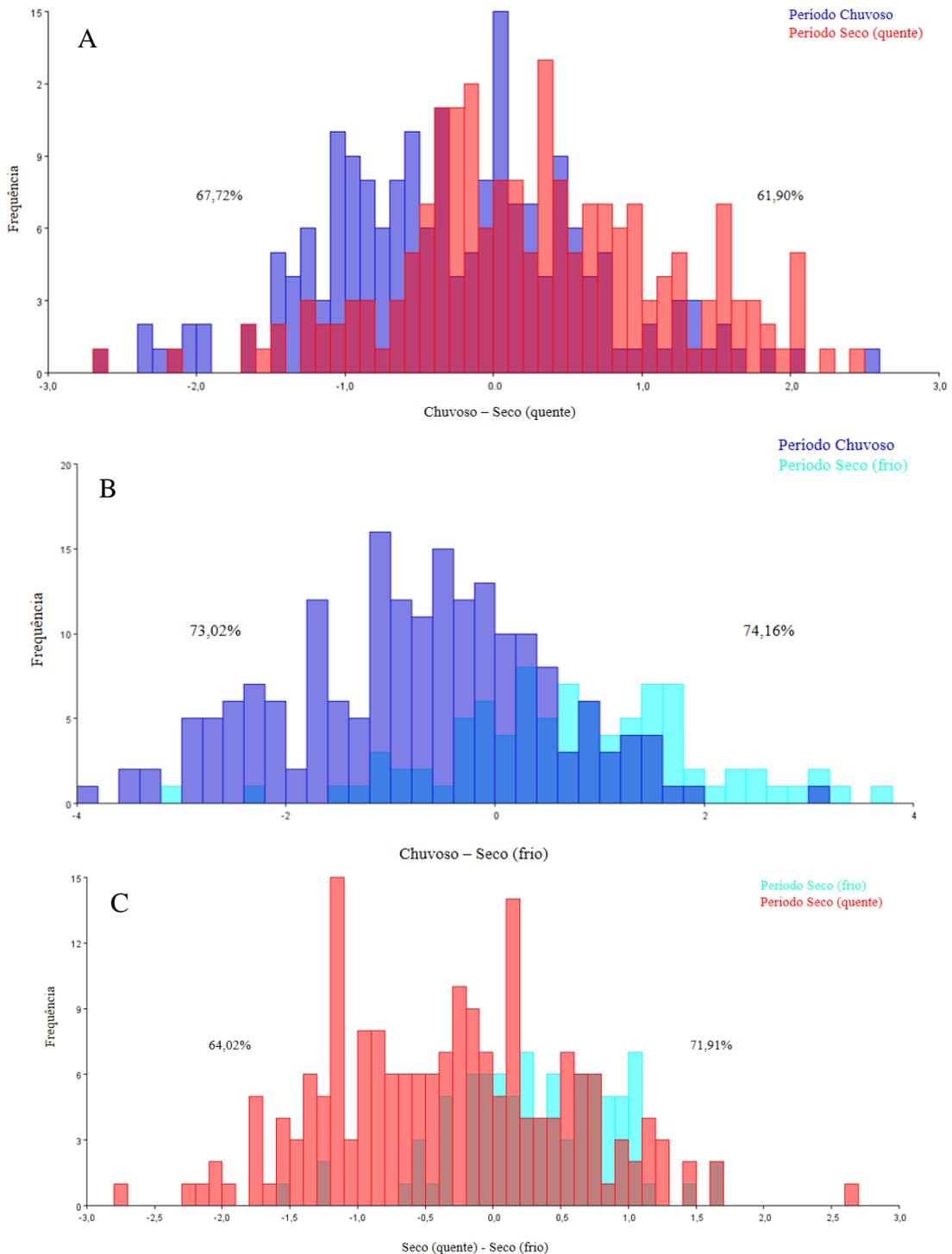


Figura 27: Discriminação par a par dos indivíduos coletados nos períodos seco e chuvoso estudados pela Análise de Função Discriminante (DFA) no município de São Raimundo Nonato-PI. Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (quente) à direita do gráfico (A). Os valores de maior êxito para o período chuvoso estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (B). Os valores de maior êxito para o período seco (quente) estão à esquerda e período seco (frio) à direita do gráfico (C).

5.2. ENXAMES SUBMETIDOS À MUDANÇA DE AMBIENTE

Moreilândia-PE

Os seis primeiros componentes principais explicaram 64,94% da variação total da população de Moreilândia-PE: CP1= 21, 47%, CP2= 14,84%, CP3= 10,82%, CP4= 9,91%, CP5= 7,90%, (Fig. 28).

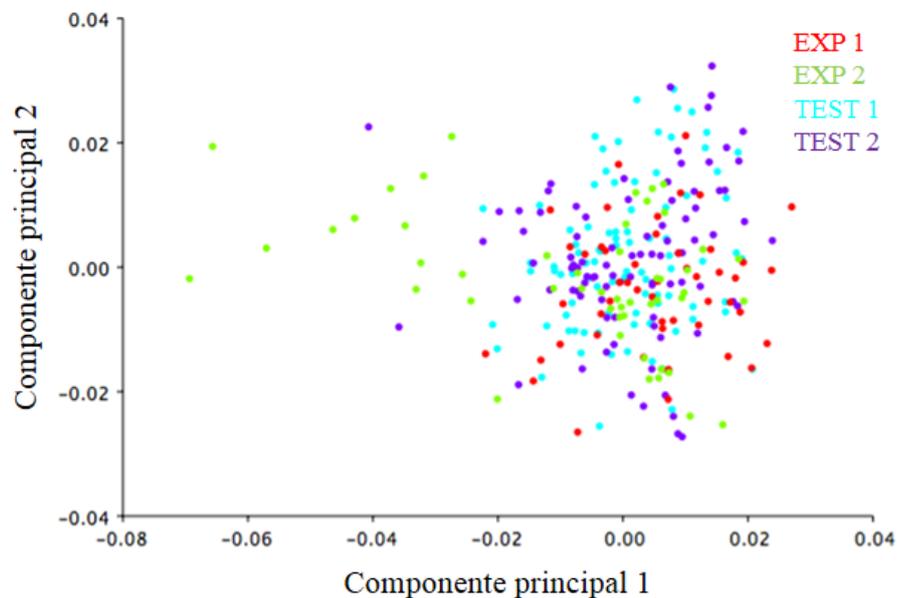


Figura 28. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacaiá* oriunda de Moreilândia-PE submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por Componentes Principais (CP1, CP2) obtidas a partir da forma da asa.

Ao observar as análises de variáveis canônicas, as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 83,61% da variação total da forma da asa na população de Moreilândia-PE: CV1= 59,88%, CV2= 23, 73% (Fig. 29).

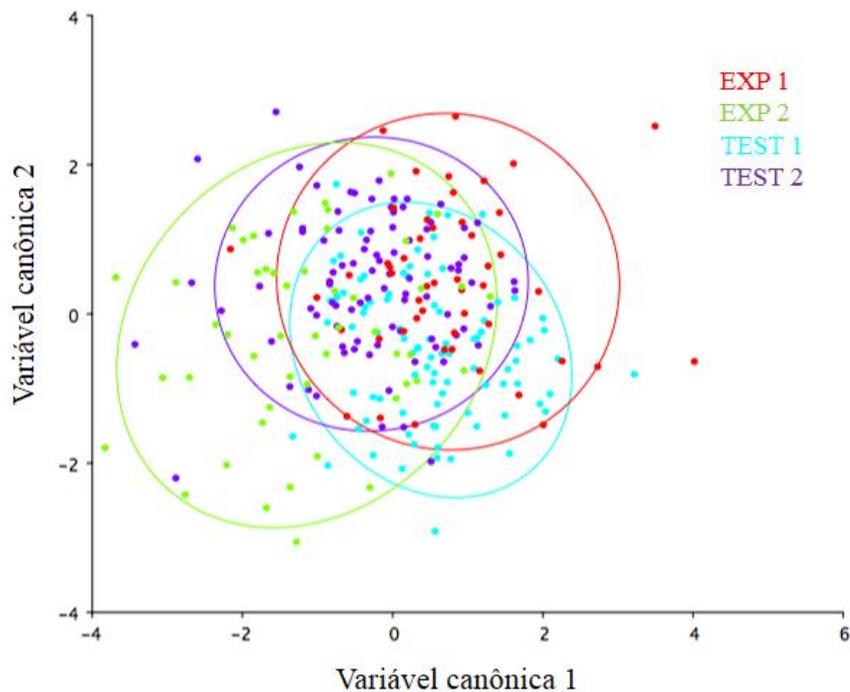


Figura 29. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacaia* oriunda de Moreilândia-PE submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por análise de Variável Canônica (CV 1, CV2).

Com base na distância de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 18), foi possível observar diferença significativa ($P < 0,0001$) onde a maior distância ocorreu entre o Experimento 1 (coleta realizada no primeiro dia de transferência de ambiente) e Experimento 2 (coleta feita após 90 dias da transferência). A menor distância morfológica ocorreu entre as Testemunhas 1 e 2, que permaneceram no local de origem durante o período experimental. A dissimilaridade foi de 1,200.

Tabela 18. Distâncias de Mahalanobis e Procrustes (metade inferior da matriz) com os respectivos valores de P (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* oriunda de Moreilândia-PE submetida a mudança de ambiente calculadas a partir da análise de variável canônica.

	Distancias de Mahalanobis e valores de P				Distancias de Procrustes e valores de P			
	EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2	EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2
EXP 1		<0,0001	0,0002	<0,0001	EXP 1	<0,0001	0,0006	0,0003
EXP 2	2,018		<0,0001	<0,0001	EXP 2	0,016	<0,0001	0,0002
TEST 1	1,159	1,743		<0,0001	TEST 1	0,009	0,012	0,0122
TEST 2	1,342	1,315	1,200		TEST 2	0,010	0,011	0,007

Petrolina-PE

Os cinco primeiros componentes principais explicaram 62,62% da variação total da população de Petrolina-PE: CP1= 17,48%, CP2= 14,50%, CP3= 12,28%, CP4= 10,75%, CP5= 7,61%, (Fig. 30).

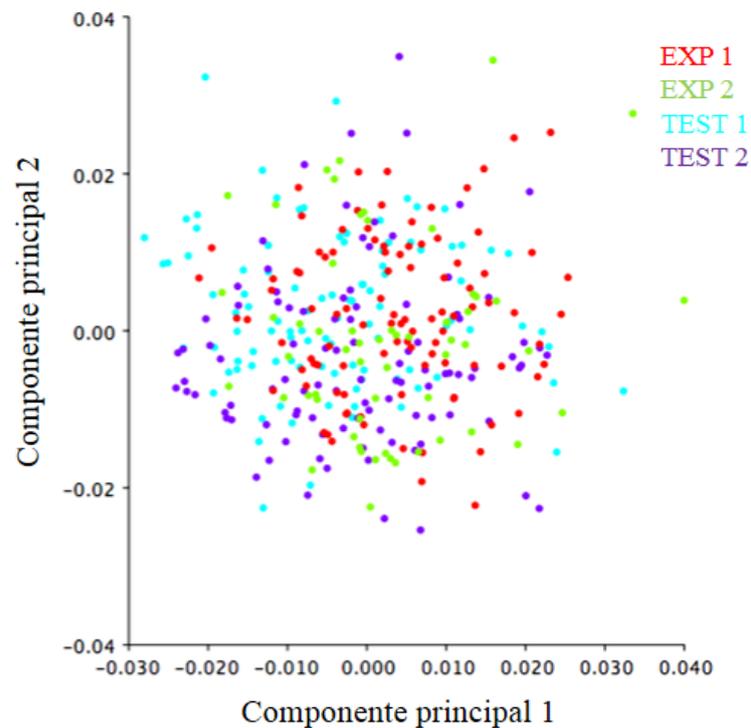


Figura 30. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacaiá* oriunda de Petrolina-PE submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por Componentes Principais (CP1, CP2) obtidas a partir da forma da asa.

Através das análises de variáveis canônicas, observou-se que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 86,68% da variação total da forma da asa na população de Petrolina-PE: CV1= 51,61%, CV2= 35,07% (Fig. 31).

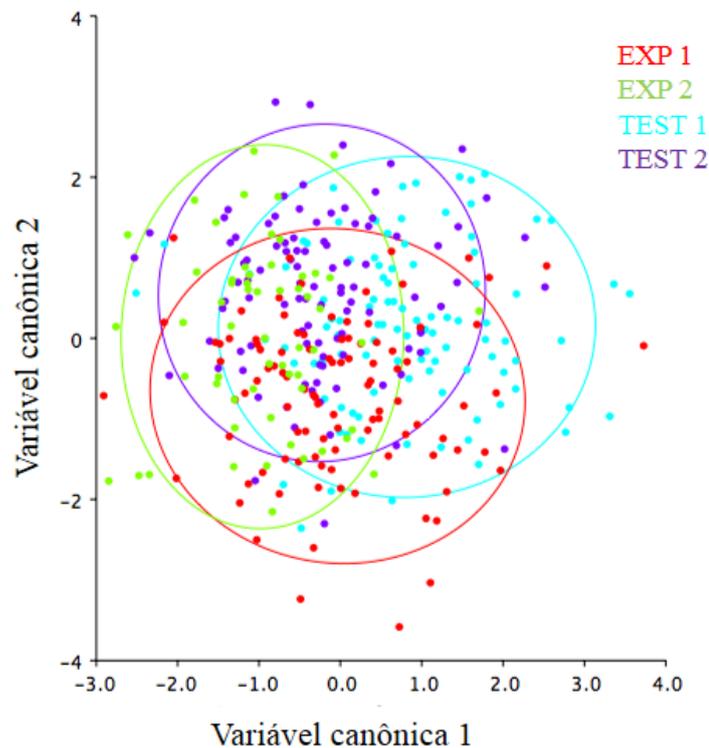


Figura 31. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacai* oriunda de Petrolina-PE submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por análise de Variável Canônica (CV 1, CV2).

Com base nas distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 19), observou-se que a maior distância ocorreu entre a Testemunha 1 (coleta realizada no primeiro dia de experimento no local de origem) e Experimento 2 (coleta feita após 90 dias da transferência de ambiente) ($P < 0,0001$). A menor distância morfológica ocorreu entre as Testemunhas 1 e 2, que permaneceram no local de origem durante o período experimental com dissimilaridade de 1,252.

Tabela 19. Distâncias de Mahalanobis e Procrustes (metade inferior da matriz) com os respectivos valores de P (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacai* oriunda de Petrolina-PE submetida a mudança de ambiente calculadas a partir da análise de variável canônica.

Distancias de Mahalanobis e valores de P				Distancias de Procrustes e valores de P					
	EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2		EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2
EXP 1		<0,0001	<0,0001	<0,0001	EXP 1		0,0023	<0,0001	<0,0001
EXP 2	1,360		<0,0001	<0,0001	EXP 2	0,008		<0,0001	0,0009
TEST 1	1,281	1,797		<0,0001	TEST 1	0,010	0,012		<0,0001
TEST 2	1,301	1,209	1,252		TEST 2	0,009	0,008	0,010	

Coronel José Dias-PI

Os cinco primeiros componentes principais explicaram 65,68% da variação total da população de Coronel José Dias-PI: CP1= 18,52%, CP2= 16,44%, CP3= 13,23%, CP4= 10,01%, CP5= 7,48%, (Fig. 32).

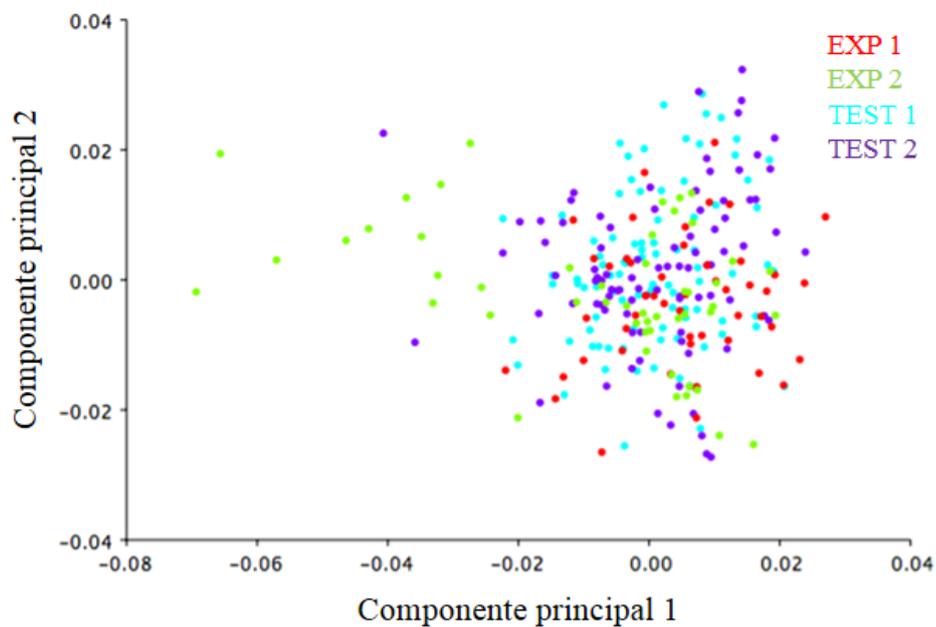


Figura 32. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacaiá* oriunda de Coronel José Dias-PI submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por Componentes Principais (CP1, CP2) obtidas a partir da forma da asa.

Ao observar as análises de variáveis canônicas, observou-se que as duas primeiras variáveis foram responsáveis por 83,08% da variação total da forma da asa na população de Coronel José Dias-PI: CV1= 62, 82%, CV2= 20,26% (Fig. 33).

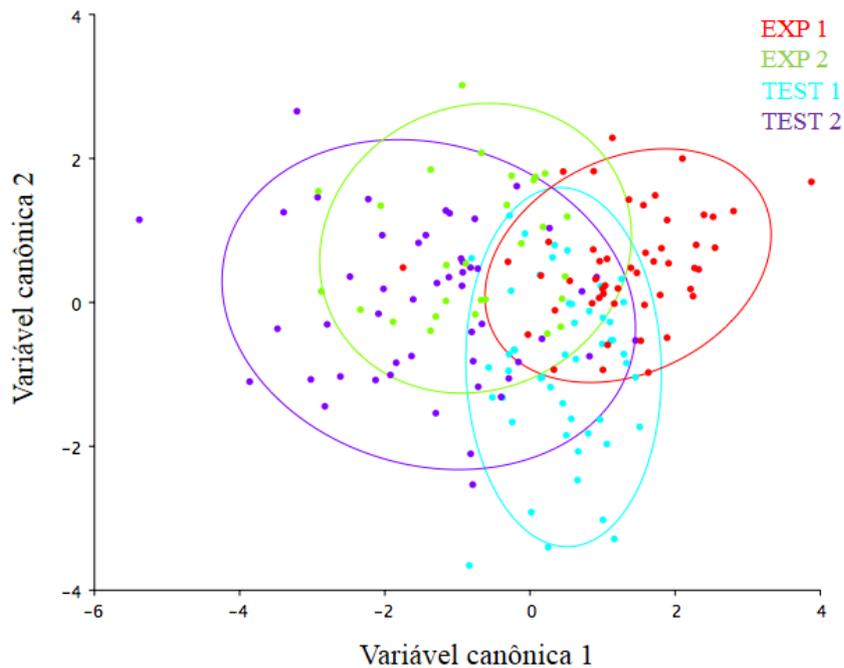


Figura 33. Dispersão gráfica da população de *Melipona mandacaia* oriunda de Coronel José Dias-PI submetida a mudança de ambiente em relação a eixos cartesianos estabelecidos por análise de Variável Canônica (CV 1, CV2).

As distâncias de Mahalanobis e Procrustes (Tab. 20), mostraram que a maior distância ocorreu entre o Testemunhas 2 (coleta feita após 90 dias de experimento no local de origem) e Experimento 1 (coleta realizada no primeiro dia de experimento no local transferido) ($P < 0,0001$). A menor distância morfológica ocorreu entre a Testemunha 1 (coletas feitas no local de origem) e Experimento 1 (coleta realizada no primeiro dia de experimento no local transferido). A dissimilaridade foi de 1,795.

Tabela 20. Distâncias de Mahalanobis e Procrustes (metade inferior da matriz) com os respectivos valores de P (metade superior da matriz) da população de *Melipona mandacaia* oriunda de Coronel José Dias-PI submetida a mudança de ambiente calculadas a partir da análise de variável canônica.

Distancias de Mahalanobis e valores de P				Distancias de Procrustes e valores de P					
	EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2		EXP 1	EXP 2	TEST 1	TEST 2
EXP 1		<0,0001	<0,0001	<0,0001	EXP 1		<0,0001	<0,0001	<0,0001
EXP 2	2,542		<0,0001	<0,0001	EXP 2	0,015		<0,0001	0,0030
TEST 1	1,795	2,180		<0,0001	TEST 1	0,013	0,014		<0,0001
TEST 2	2,806	1,905	2,227		TEST 2	0,020	0,013	0,019	

6. DISCUSSÃO

6.1 MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE POPULAÇÕES ENTRE PERÍODOS DE COLETA

A morfometria geométrica das asas anteriores mostrou-se uma técnica eficiente na detecção de existência ou não da variabilidade entre as populações. Quando as populações foram analisadas ao longo de dois anos, as variações morfométricas foram detectadas entre períodos em cada um dos seus locais de origem. As respostas confirmam a hipótese de que existem divergências morfométricas entre as três populações e entre períodos em seus locais de origem conforme discussões nos itens a seguir.

6.1.1 Comparação entre Localidades

A divergência morfológica (Tab. 1) encontrada entre as populações de São Raimundo Nonato (PI) e Moreilândia (PE) pode estar atrelada às condições ambientais associadas às características climáticas destes municípios.

Nesse contexto o município de São Raimundo Nonato (PI), no que tange o parque Nacional da Serra da Capivara (Toca dos Oitenta) é geomorfologicamente representado por duas maiores formações geológicas do Nordeste brasileiro: a depressão do Médio São Francisco (Pré-Cambriano) e a bacia sedimentar do Piauí-Maranhão (Siluriano-Devoniano) (500-620m) Nesta região a vegetação predominante é caducifólia, com fisionomia arbustiva (LEMOS & RODAL, 2002). O clima predominante é o semi-árido quente e chuvas de verão com temperatura média anual alta de 28°C (INPE). As precipitações são irregulares, com médias anuais de 650 mm entre os meses de outubro e final de abril.

Já o município de Moreilândia, está inserido no meio geoambiental dos Maciços e Serras Baixas, (300 a 800m), mas também o seu entorno estão as Chapadas Altas o que a torna uma região com distinção climática (clima mais ameno nas encostas mais altas e mais quentes nos sopés e encostas das serras e maciços). O período chuvoso em toda região abrange precipitação média anual de 700 a 900mm, geralmente de janeiro a maio. A

vegetação é predominantemente de Floresta Caducifólia e Caatinga Hipoxerófila (CPRM, 2005).

As populações com menor divergência foram às oriundas de São Raimundo Nonato (PI) e Petrolina (PE), regiões que estão mais próximas ao Rio São Francisco, e os padrões de distribuição que já foram levantados para a espécie notificam principalmente as margens do rio como um limitante para a distribuição da mesma (BATALHA-FILHO et al, 2011).

Por outro lado, Petrolina (PE) está inserido na depressão sertaneja, unidade geoambiental marcada por um relevo suave-ondulado e clima semiárido, com chuvas de verão que vai de novembro a abril. A temperatura média anual é de 26°C, baixo índice pluviométrico (431,8 mm/ano). A vegetação predominante na área é do tipo caatinga arbustivo-arbórea, hiperxerófila, com trechos de floresta caducifólia (FERREIRA, 2012). As características gerais relativos à vegetação, período chuvoso e principalmente altitude entre os dois municípios são similares, e podem estar relacionados à menor divergência entre as populações aqui discutidas.

Uma vez que o teste de Mantel (Tab. 2) não mostrou correlação entre as matrizes de forma, tamanho, altitude e distância geográfica, temperatura e precipitação ($P < 0,05$), as sutis diferenças ambientais mencionadas sobre os municípios de São Raimundo Nonato (PI) e Moreilândia (PE), associados aos condicionantes climáticos, que embora caracteristicamente próximos, podem ter conferido a maior distância morfológica entre as populações destes dois municípios ao longo do período.

Por outro lado, as formações montanhosas (geomorfologia) que ficam no entorno destes municípios, podem ser características influentes nas divergências climáticas citadas inerentes aos locais, e estes, conseqüentemente, podem ter refletido na morfologia da asa das populações.

Estudo similar mencionando características ambientais e diversidade morfológica também foram observados por Lima-Junior et al. (2012), que estudaram populações de *M. scutellaris* oriundas de dois fragmentos florestais, um de Floresta Semidecidual marcada por entorno de caatinga e outro de Mata Atlântica mas sem isolamento. Os autores destacaram que as características locais podem ter sido influentes na diversidade morfológica e na limitação de troca de material genético, indicando a variabilidade morfométrica inter e intrapopulação das populações provenientes dos dois locais de origem.

Em relação à menor divergência entre as populações de São Raimundo Nonato (PI) e Petrolina (PE), pode ser atribuída ao fato de que os locais estão mais próximos do entorno do Rio São Francisco, possuem clima e vegetação mais próximos, ou ainda por serem

populações geneticamente relacionadas. Prado-Silva et al. (2016) ao estudarem populações de *M. mandacaia* no estado da Bahia, destacaram em seus resultados, a importância do Rio São Francisco para a distribuição desta espécie, que é objeto de estudo da presente pesquisa.

Os resultados apontam uma provável relação entre divergência morfológica e características ambientais associadas às condições climáticas entre os locais amostrados. Resultados que mencionam divergência morfológica em *Melipona* foram observadas em outros estudos para *M. subnitida* (LIMA et al. 2014), que atribuíram inclusive, as diferenças morfológicas encontrados entre as populações e locais amostrados, às diferenças entre clima e relevo.

Ao observar o agrupamento de UPGMA (Fig. 10), percebe-se que o isolamento formado pelo grupo de Moreilândia-PE pode ser uma consequência da variação paisagística e climática da região ao longo do período de coleta ocasionadas pelas características do seu entorno. Isso nos permite sugerir que este fator poderia colocar esta população sob o processo de evolução genética se levado em conta os mecanismos de isolamento ocasionados pelos processos morfoclimáticos da referida região.

Diante do exposto, tomando por base o processo de dispersão natural dessas abelhas, que é considerado lento, já que as novas colônias são fundadas em distâncias curtas da colônia mãe (MICHENER, 2007), associadas às características locais do entorno deste município, pode surtir influência direta na composição genética, uma vez que pode haver menor circulação de fluxo gênico entre colônias distintas de locais distantes, reduzindo sua contribuição genética (NOGUEIRA-NETO, 1997).

Observação similar, foi feita por Bonatti et al., (2014) ao verificarem que a variabilidade populacional de *M. subnitida* constatada através da morfometria geométrica e sequenciamento genético, também foi relacionada as características do ambiente, e sugeriram que este processo de adaptação pode oferecer resistência diferencial a estas espécies aos efeitos das mudanças ambientais, como por exemplo, resistência à seca e doenças.

Deste modo, tanto o local de origem onde as abelhas foram coletadas, bem como suas características ambientais locais, associados a fatores genéticos, podem ter sido influentes no processo de diferenciação da forma das asas destes insetos.

6.1.2 Comparação entre municípios e períodos de coleta

Quando as populações estudadas foram comparadas quanto aos períodos em que as coletas foram realizadas, houve variação estatisticamente significativa entre as localidades e entre os períodos numa mesma localidade (Tabelas 3 e 4), sugerindo que há ação do componente ambiental sobre a morfologia das asas. Estes dados são reforçados pelos resultados observados nos gráficos de Componentes Principais e Variáveis Canônicas (Fig. 11 e 12).

A soma destes resultados permite inferir que a principal fonte de variação entre os dois agrupamentos de amostras observados é sua localidade: um agrupamento de pontos corresponde às amostras de período seco e chuvoso de Petrolina e o outro às amostras de período seco e chuvoso de Moreilândia. Tais observações, só reforçaram a importância de avaliar a variação da forma das asas por localidade. A variação morfológica destas populações pode ser influenciada pelas características climáticas e ambientais de seus locais de origem.

Por exemplo, quando as comparações entre períodos foram feitas para os dois municípios, onde a maior distância morfológica foi encontrada entre o período seco (Petrolina-PE) e chuvoso (Moreilândia-PE). Em relação à maior proximidade morfológica por período, que ocorreu entre a população de Petrolina (PE) ao analisar indivíduos coletados nos dois períodos (seco e chuvoso). Assim a mudança da localidade (mudança da fonte do material genético) é um fator mais atuante para diferenciar as formas das asas (MONTEIRO et al., 2002).

Com base nas análises a partir das datas de coleta, os valores de Mahalanobis e Procrustes indicam distância morfológica significativa entre Moreilândia (PE) (mês de setembro de 2014) e Petrolina (PE) (novembro de 2014) (Tab. 3). Estes meses referidos para as duas localidades são consideradas períodos secos, no entanto, nos registros climáticos para estas localidades, o período seco de Moreilândia (PE) inicia-se final de maio e vai até dezembro enquanto que o mesmo período em Petrolina (PE) inicia-se em maio e vai até novembro.

Conforme previamente observado nas comparações dos períodos seco e chuvoso, a maior fonte da variação encontrada deve ser a localidade da coleta. Já em relação à maior proximidade morfológica, como os dois grupos estavam sendo analisados (Petrolina-PE e Moreilândia-PE) quanto as datas de coletas, a comparação entre indivíduos do mesmo

município e período próximo de coleta (Moreilândia-PE: novembro de 2014 e janeiro de 2015), também seria a possível explicação para a menor variação encontrada

Desta forma, foi possível observar que a origem da colônia foi o principal responsável pela variação na forma da asa encontrada, mas sofrendo relativa influência dos fatores ambientais.

6.1.3 Período de coleta em Moreilândia-PE

Analisando-se isoladamente o município de Moreilândia (PE), durante o período seco, a maior distância morfológica ocorreu entre o período seco de um ano para o outro (setembro de 2014 e maio de 2015) (Tab. 5). Esta variação morfológica ao longo de um ano pode ser consequência de uma variação ambiental ou de uma possível substituição de rainha, alterando assim a matriz genética da colônia.

Já a maior proximidade foi concentrada entre julho e setembro de 2015 (Tab. 5), que pode ser explicada pelo tempo entre uma coleta e outra (60 dias), o que pode ter envolvido indivíduos de uma mesma geração, ou seja, mesmo ambiente em um mesmo período ontogenético. As mesmas explicações podem ser utilizadas para o período chuvoso tanto para a maior divergência, quanto para a maior proximidade morfológica.

Vista a abordagem genética, e sob este aspecto, a menor distância morfológica encontrada para os dois períodos pode ser explicada pelo fato de que os indivíduos coletados entre o período mencionado, podem ter agrupando-se em níveis relativamente baixos, o que pode ter conferido maior grau de semelhança morfológica corroborando com o encontrado por Malaspina et al., (1989).

Comparando-se em conjunto os períodos seco e chuvoso de Moreilândia (PE) (Tab. 7), considerando-se todos os meses de coleta, confirma-se a maior variação ao longo de um ano, com maior divergência morfológica entre os meses de setembro de 2014 e maio de 2015, período seco. A maior proximidade foi entre o fim do período seco (novembro de 2014) e início de período chuvoso (janeiro de 2015). Este último também apresentou datas próximas de coletas, podendo ter sido coletado indivíduos da mesma geração.

Na análise em que se considerou o período seco sob duas óticas, a maior distância aconteceu entre o Período seco quente e seco frio (Tabela 9). Uma das explicações pode ser pelo padrão climático em que as abelhas oriundas das coletas se desenvolveram. Os

indivíduos coletados em maio, desenvolveram-se em meados de fevereiro quando ainda havia chuvas, em seguida a queda de temperatura pode ter desencadeado deformações nas asas, o que poderia ter ocasionado a diferença em função daqueles indivíduos que se desenvolveram num período de já adaptação aquela mudança (coleta de julho).

Embora os indivíduos tenham sido coletados em períodos diferentes, e terem apresentado sutis diferenças entre um ano e outro, os grupos mostraram sobreposição com grande índice percentual conforme pode ser observado na análise de Função discriminante (Fig.16).

Inferese que causas possíveis explicações para as variações na forma da asa encontradas para este município, podem estar relativamente ligadas a fatores ambientais associados a fatores genéticos inerentes à população. Por exemplo, por ocasião de alteração de matriz genética para maior distância morfológica, ou ainda, ontogenia para menor variação.

6.1.4 Período de coleta em Petrolina-PE

Para o município de Petrolina, durante o período seco, a análise de Variável Canônica mostrou grande sobreposição das datas amostradas, refletindo sua similaridade morfológica (Fig. 18). A maior distância ocorreu nas coletas entre os meses de novembro de 2014 e setembro de 2015 (Tab. 10), sugerindo a variação morfométrica ao longo de um ano e menor variação em coletas de mesma população e período próximo (julho e setembro de 2015) (Tab. 10). Resultados semelhantes puderam ser observados para o período chuvoso.

A sobreposição entre as datas amostradas e análise obtida pelos Componentes Principais (Fig. 19) entre os meses de janeiro de 2015 e março de 2016, reforça o padrão de variação morfométrica ao longo de um ano e menor variação em coletas realizadas com distância de 60 dias (janeiro e março de 2015). Estes dados corroboram os encontrados para Moreilândia (ver tópico anterior).

Quando analisamos em conjunto os dois períodos, a Análise de Variável Canônica mostrou sobreposição do grupo nos dois períodos amostrados (Figura 20). Notou-se uma diferenciação entre as amostras, principalmente pelo eixo canônico 1, responsável por 58,92% (Fig. 20). As amostras de um mesmo ano ficaram sobrepostas, sendo a maior variação observada de um ano para outro, e não entre coletas do período seco para o chuvoso como ocorreu na localidade do tópico anterior.

Mais uma vez quando se considerou o período seco em duas possibilidades (frio e quente), mais uma vez foi possível observar uma tendência para que os indivíduos coletados no mês de maio (quente frio) (Tab. 13) tenham apresentado maior variação em relação aos demais, o que corrobora com o resultado obtido para o município de Moreilândia-PE.

Embora os indivíduos coletados em períodos diferentes sejam de uma mesma população e tenha sido constatada diferenças na forma da venação da asa dentro da mesma estação entre dois anos subsequentes de amostragem, as análises de Função Discriminante mostra uma grande sobreposição de valores nos histogramas (Fig.22).

6.1.5 Período de coleta em São Raimundo Nonato

Assim como os demais municípios, é perceptível disposição relativa dos grupos observados nas datas amostradas pela análise de Variáveis Canônicas (CVA) ao longo do período seco, refletindo similaridade morfológica (Fig. 24). Mais uma vez, observou-se maior variação ao longo de um ano (novembro de 2014 e setembro de 2015) e menor variação entre os meses de maio e julho de 2015 (Tab. 14), que pode ter sido ocasionada pela proximidade entre as coletas.

Da mesma forma, houve sobreposição pela análise de Componentes Principais (Fig. 25) entre os meses de janeiro e março de 2015 durante o período chuvoso. Estes últimos, pelo número pequeno de amostragem, não foi realizada análise de variáveis canônicas, mas os resultados sugeriram um padrão similar aos encontrados nos demais municípios amostrados para este período.

Ao observar os resultados comparando os períodos seco e chuvoso a partir das datas em que as coletas ocorreram, a maior divergência seguiu o padrão de aproximadamente um ano, entre novembro de 2014 e setembro de 2015 (período seco) e menor divergência em coletas de mesma população e período próximo (julho e setembro de 2015) (Tab. 15). Foi possível observar diferenciação entre as amostras, principalmente pelo eixo canônico 1, responsável sozinho por 78,32% % da variação total da forma da asa (Fig. 26).

Confirmando os resultados anteriores, ao considerar o período seco em duas possibilidades (frio e quente), mais uma vez foi possível observar uma tendência para que os indivíduos coletados no mês de maio (quente frio) (Tab. 13) tenham apresentado maior

variação em relação aos demais, o que corrobora com os resultados obtidos para os municípios anteriores.

A análise de Função Discriminante apresenta grande percentual de sobreposição entre os grupos (Fig. 27), reforçando que os padrões morfológicos encontrados mais uma vez corroboram com os dados dos municípios de Petrolina e Moreilândia.

Em trabalho recente, ao avaliar a estrutura interpopulacional de indivíduos de *M. mandacaia*, Prado-Silva et al. (2016) verificaram, através de estudos morfométricos, a presença de três grupos populacionais desta espécie e sua relação com o local de ocorrência.

Sob outra visão, e que pode explicar o quadro similar de comportamento das populações dos três municípios em relação à maior divergência morfológica ter apresentado-se de um ano para o outro tanto no período seco, como no chuvoso, abarca a informação de que a temperatura pode ter sido influente nesta divergência.

De acordo com relatório apresentado pelo INMET para o ano de 2015, este foi um ano marcado pela sensação de calor maior que em anos recentes, também muito quentes. Segundo a Agência Espacial Americana (NASA), o ano de 2015 foi o mais quente já registrado no planeta desde 1880, com 0,90°C acima da média do século XX e 0,16°C acima do recorde anterior, registrado em 2014.

Especialmente na Região Nordeste (região dos locais de coleta) a temperatura média registrada no período entre 1981-2010 foi de 24,98 °C, no ano de 2015 a média foi de 25,84 ($\pm 0,86$). Esse aumento pode ter sido influente no comportamento e no processo de desenvolvimento das abelhas, desencadeando em divergências morfológicas nas populações coletadas em 2015 quando comparadas as coletadas em 2014.

6.2. MUDANÇA DE AMBIENTE

Mais uma vez os resultados levaram a confirmação da hipótese de que *M. mandacaia* apresentaram variações morfométricas ao serem transferidas para um local com condições ambientais diferentes dos originais.

As análises realizadas a partir da morfometria geométrica mostraram importantes e inéditos resultados de respostas de populações de *M. mandacaia* oriundas dos municípios de Moreilândia (PE), Petrolina (PE) e Coronel José Dias (PI) quando foram submetidas à mudança de ambiente e transferidas para o Parque Nacional da Serra da Capivara, localizado

em São Raimundo Nonato (PI). A ferramenta de análise mostrou-se eficiente para verificar a variação na forma da asa direita, quando a espécie foi transferida do seu local de origem para uma região de não ocorrência da mesma.

Ao avaliar de forma individual a resposta à mudança de ambiente pelas três populações estudadas, Moreilândia (PI), Petrolina (PE) e São Raimundo Nonato (PI) todas mostraram uma divergência morfológica significativa quando se considerou as distâncias (Mahalanobis e Procrustes, $P < 0,0001$) (Tabelas 18, 19 e 20) confirmando que as abelhas deslocadas para o Parque Nacional da Serra da Capivara (PI) ao final do experimento (EXP 2), tiveram maior variação morfológica que aquelas que foram coletadas inicialmente (EXP 1) após deslocadas, e principalmente, em relação aquelas que permaneceram no seu local de origem (TEST 1 e TEST 2) durante o período experimental.

Em relação à divergência encontrada em indivíduos oriundos do município de Moreilândia (PE) quando transferidos ao Parque, o município de origem desta população possui entorno marcado pelas Chapadas Altas que refletem diretamente na variação climática existente (CPRM, 2005). Por outro lado, o Parque Nacional da Serra da Capivara, possui formações geomorfológicas típicas (LEMOS & RODAL, 2002) que também refletem nas suas características climáticas e ambientais, o que pode explicar a variabilidade morfológica encontrada para a população aqui mencionada.

No município de Moreilândia-PE, não houve coleta de dados para temperatura e umidade relativa do ar, em virtude de ausência de estação meteorológica que coletasse estes dados. No entanto obteve-se dados de precipitação, e nos meses de maio e Junho de 2016, a precipitação acumulada para este município foi, respectivamente 72 e 38 mm. Já no município de São Raimundo Nonato, a precipitação registrada foi 0,0mm para o mesmo período.

Bonatti et al. (2014) ao estudarem *M. subnitida*, verificaram variabilidade morfométrica e genética nos diferentes locais amostrados. Os autores atribuíram a divergência encontrada a elementos entres os quais, destacaram os fatores ambientais. O resultado obtido para a população do município de Moreilândia (PE) sugere que as diferenças nas características ambientais entre os locais de origem e de transferência, podem ter sido efetivos responsáveis nas variações encontradas para a população deste município.

Comparativamente, Petrolina (PE) e a região do Parque Nacional da Serra da Capivara possuem características ambientais similares, quando observamos a vegetação (caatinga) e o clima semiárido. No entanto, as características geomorfológicas inerentes ao Parque Nacional da Serra da Capivara (LEMOS & RODAL, 2002) podem refletir sobre as características ambientais deste local e conseqüentemente estes terem afetado a variação desta população.

Outro fator que pode ter sido influente na variação morfológica detectada na população de Petrolina-PE após a transferência para o Parque Nacional de Serra da Capivara, foram os diferentes registros climáticos para os dois municípios. Os registros de temperatura para o período experimental foram de 18,5°C até 34 °C em Petrolina-PE, enquanto que, neste mesmo período os registros de temperatura para São Raimundo Nonato variaram entre 13,9°C até 40°C (Figuras 13, 17 e 23). Esta variação pode ter sido influente no processo de aclimação das colônias de Petrolina-PE quando deslocadas para o Parque em São Raimundo Nonato-PI, afetando o desenvolvimento das crias que foram originadas após a transferência naquele novo ambiente sob condições extremas, resultando em possíveis alterações morfológicas dos novos indivíduos posteriormente coletados.

Estas informações podem andar em mesma linha de que temperaturas extremas podem interferir no desenvolvimento populacional dos insetos (RODRIGUES, 2004) como, por exemplo, na oviposição e desenvolvimento de crias (VOLLET-NETO et al., 2011). Alterações morfológicas podem ter ocorrido após a mudança de ambiente nos novos indivíduos gerados naquele ambiente e coletados após o período experimental.

Francoy et al., (2015), ao estudarem populações de *Tetragonula iridipennis* Smith 1854 (Hymenoptera: Apidae) oriundas de locais com diferenças ambientais, verificaram que estes fatores foram influentes na variação morfológica daquelas populações. Com isto, é possível sugerir que o deslocamento a um ambiente diferente daquele em que a espécie vive também podem ter influenciado na variabilidade morfológica verificada ao final do experimento para este município.

O município de Coronel José Dias (PI) também faz parte da área onde o Parque Nacional da Serra da Capivara está inserido, e a distância do meliponário local para o meliponário experimental é de aproximadamente 20km. No entanto, em levantamento feito por Lorezon et al. (2003) sobre a diversidade de abelhas existentes no Parque, entre as espécies do gênero *Melipona* encontradas, só foi constatada a presença de *M. asilvae* e *Melipona quinquefasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera: Apidae). A espécie em estudo, *M. mandacaia*, mesmo que com ocorrência registrada em local tão próximo, não fez parte da diversidade de abelhas daquela área de conservação. Estas informações sugerem que os resultados de variação morfológica encontrados podem estar relacionados às condições climáticas inerentes ao Parque.

Vijayakumar & Jayaraj (2013), avaliando diferentes espécies de abelhas sem ferrão na Índia, observaram a eficiência da morfometria geométrica na detecção de variabilidade entre as populações estudadas. Os autores sugeriram que vários fatores biológicos em interação

com os climáticos, entre os quais, temperatura, umidade relativa, tamanho corporal e faixa de vôo, podem ter afetado a diversidade morfológica encontrada.

No trabalho mencionado, os autores investigaram indivíduos coletados em seu local de origem. Já no presente estudo, a espécie em estudo foi submetida à mudança de ambiente. No entanto, o deslocamento das três populações até outro local com características climáticas diferentes daquelas em que elas viviam, associado ao processo de adaptação ao novo ambiente, também pode ter resultado na variabilidade morfométrica dos indivíduos de uma mesma população ao longo dos 90 dias experimentais.

A abordagem aqui realizada nos leva a sugerir que, as abelhas podem ter sido levadas a níveis de estresse causados por fatores ambientais e/ou climáticos, entre os quais, variações de temperatura, incidência solar, escassez, de recursos alimentares associados ao processo de adaptação. Tais fatores podem ter refletido de forma efetiva na variabilidade morfométrica encontrada após a mudança de ambiente a que *M. mandacaia* foi submetida, corroborando com informações sugeridas por Ricklefs (2009). Os resultados apontam que o deslocamento de uma espécie do seu local de origem, pode causar impactos sobre a variação morfológica de populações de abelhas *M. mandacaia*.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram estudados alguns aspectos relacionados à diversidade morfológica da espécie de abelha sem ferrão *M. mandacaia* quanto à caracterização de suas populações, quanto à variação ao longo dos períodos do ano e quanto à mudança de colônias de seu local de origem. As informações obtidas mostraram de uma forma geral que as diferenças encontradas, possivelmente estão atreladas às características ambientais locais, atendendo as hipóteses que foram levantadas ao início deste estudo.

As informações obtidas evidenciam a necessidade de que mais estudos sejam realizados nesta linha devam ser realizados. Além disso, programas de conservação que visem os efeitos das mudanças e alterações ambientais sobre estes polinizadores são imprescindíveis para a manutenção destas populações.

Outro fator a ser levado em consideração a partir dos resultados, é que como prática da meliponicultura, é comum os produtores deslocarem colônias de uma mesma espécie de uma região para outra, ignorando o fato de que esta alteração de local pode surtir efeito na população deslocada, e conforme visto, as populações estudadas mostraram-se sensíveis as condições ambientais do seu local de origem e principalmente quando foram transferidas.

Além disso, chamamos atenção para os cenários futuros, que propõem o aumento da temperatura e consequentes modificações ambientais. Estes por sua vez, vêm sendo apontados como um dos responsáveis pelo declínio dos polinizadores, ocasionado principalmente pela ação antrópica. As variações encontradas confirmam que a espécie é sensível a alteração ambiental.

Neste âmbito, lembramos que *M. mandacaia* é importante espécie nativa do Bioma Caatinga, sua extinção pela alteração do seu *habitat*, bem como pelas pressões causadas em decorrência das mudanças climáticas podem causar impacto negativo sobre este bioma. Ressalta-se a importância de programas voltados à conservação destas populações locais para evitar os impactos que podem ser causados ao ambiente em consequência de desaparecimento desta espécie.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, D. C.; ROHLF, F.J.; SLICE, D.E. Geometric morphometric: ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian Journal of Zoology**, v. 71, p. 5-16. 2004.
- ALVES, R. M. de O.; SOUZA, B. de A.; CARVALHO, C. A. L. de. Notas sobre a bionomia de *Melipona mandacaia* (APIDAE: MELIPONINA). **Magistra**. v. 19, n. 3, p. 204-212, 2007.
- ALVES, R. M. de O.; CARVALHO, C. A. L. de.; WALDSCHMIDT, A. M.; PAIXÃO, J. F. da; SOUZA, B. de A.; SANTOS, L.O.F.dos.; SODRÉ, J. da S.; SOUSA, I.C.; SILVA, E.P. da.; OLIVEIRA, M.P.de. **Melipona mandacaia Smith, 1863: a abelha da caatinga do Velho Chico**. Série Meliponicultura 09, Curitiba: CRV, 2016, 248p.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v.4, p. 149-153, 1981.
- ARAÚJO, E.D.; COSTA, M.; CHAUD-NETTO, J. FOWLER, H. G. Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): Inference of flight range and possible ecological implications, **Brazilian Journal of Biology**. n. 64, p. 563–568, 2004.
- ARAÚJO, S.M.S. de. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE**, ano 5 n. 5, 2011.
- AMANO, T.; SMITHERS, R. J.; SPARKS, T. H.; SUTHERLAND, W. J. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. **Proceedings of the Royal Society B**. v. 277, p. 2.451–2.457, 2010.
- BATALHA-FILHO, H.; WALDSCHMIDT, A. M.; ALVES, R. M. de O. Distribuição potencial da abelha sem ferrão endêmica da caatinga, (Hymenoptera, Apidae) *Melipona mandacaia*. **Magistra**. v. 23, n. 3, p. 129-133, 2011.
- BONATTI, V., SIMÕES, Z.L.P., FRANCO, F.F. & FRANCOY, T.M. Evidence of at least two evolutionary lineages in *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) suggested by mtDNA variability and geometric morphometrics of forewings. **Naturwissenschaften**, n. 101, p. 17-24. 2014.
- BROWN, M.J.F.; DICKS, L.V.; PAXTON, R.J.; BALDOCK, K.C.R.; BARRON, A.B.; CHAUZAT, M.; FREITAS, B.M.; GOULSON, D.; JEPSEN, S.; KREMEN, C.; LI, J.; NEUMANN, P.; PATTEMORE, D.E.; POTTS, S.G.; SCHWEIGER, O.; SEYMOUR, C.L.;

STOUT, J.C. (2016) A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. **PeerJ** n. 4. P.2249. 2016. <http://doi.org.secure.sci-hub.ac/10.7717/peerj.2249>

BROWN, M. J. F.; PAXTON, R. J. The conservation of bees: a global perspective. **Apidologie**, v. 40, n. 3, p. 410-416, 2009.

CAMARGO, J. M. F. PEDRO, S. R. M. 2013. Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G. A. R. (Orgs). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version**. Disponível em: <<http://www.moure.cria.org.br/catalogue>> Acesso em mar. 2017.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Moreilândia, estado de Pernambuco** / Org: MASCARENHAS, J.C.; BELTRÃO, A.; SOUZA-JUNIOR, L.C.; GALVÃO, M.J.T.G.; PEREIRA, S.N.; MIRANDA, J.L.F. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

FAO. Potential effects of climate change on crop pollination. (Org.) Kjølhl, M.; NIELSEN, A. & Stenseth, N.C. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, ROME, 2011, 37p.

FAO. Faostat- Statistics Database. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/> Acessado em 10 maio de 2017.

FERREIRA, J.M.S.; FERREIRA, H.S.; SILVA, H.A.S.; SANTOS, A.M.; GALVINCIO, J. D. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. n.04, p.904-922, 2012.

FORNEL, R.; CORDEIRO-ESTRELA, P. Morfometria Geométrica e a quantificação da forma dos organismos. 2012. DOI: 10.13140/2.1.1793.1844. Acesso em 15 fev. 2018.

FRANCISCO, F.O.; NUNES-SILVA, P.; FRANCOY, T.M.; WITTMANN, D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; ARIAS, M.C.; MORGAN, E.D. Morphometrical, biochemical and molecular tools for assessing biodiversity. An example in *Plebeia remota* (Holmberg, 1903)(Apidae, Meliponini). **Insectes Sociaux**. n.55, p.231-237. 2008.

FRANCOY, T. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. A Morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 317-321, 2010.

FRANCOY, T. M.; WITTMANN, D.; DRAUSCHKE, M.; MÜLLER, S.; STEINHAGE, V.; BEZERRA-LAURE, M. A. F., JONG, D. de; GONÇALVES, L. S. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: two fast and efficient procedures. **Apidologie**, v.39, n.5, p.488-494, 2008.

FRANCOY, T.M.; BONATTI, V.; VIRAKTAMATH, S.; RAJANKAR, B.R. Wing morphometrics indicates the existence of two distinct phenotypic clusters within population of *Tetragonula iridipennis* (Apidae: Meliponini) from India. **Insect Socioux**.v. 63, 2015.

FRANCOY, T.M.; GONÇALVES, L.S. & WITTMANN, D. Changes in the patterns of wing venation of Africanized honey bees over time. p. 173-177. 2006. *In: Anais do VII Encontro sobre Abelhas*.

FREIBERG, M.; DE JONG, D.; MESSAGE, D.; COS-FOSTER, D. First report of sacbrood virus in honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 11, n. 3, p. 3310-3314, 2012.

FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MEDINA, L. M.; KLEINERT, A. D. M. P.; GALETTO, L.; NATES-PARRA, G.; QUEZADA-EUÁN, J. J. G. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, v. 40, n. 3, p. 332-346, 2009.

GENERSCH, E.; OHE, W. von der; KAATZ, H.; SCHROEDER, A.; OTTEN, C.; BÜCHLER, R.; BERG, S.; RITTER, W.; MÜLHEN, W.; GISDER, S.; MEIXNER, M.; LIEBIG, G.; ROSENKRANZ, P. The German Bee Monitoring Project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. **Apidologie**, v. 41, p. 332–352, 2010.

GIANNINI, T.C.; SIQUEIRA, M.F.; ACOSTA, A.L.; BARRETO, F.C.C.; SARAIVA, A.M.; SANTOS, I.A. dos. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.

GIANNINI, T.C.; BOFF, S. CORDEIRO, G.D. CARTOLANO JR, E.A.; VEIGA, A.K.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; SARAIVA, A.M. **Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions**. *Apidologie*. v. 46, n. 2, p 209–223. 2015.

GIANNINI, T.C.; TAMBOSI, L.R.; ACOSTA, A.L.; JAFFÉ, R.; SARAIVA, A.M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; METZGER, J.P. Safeguarding ecosystem services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. **PLoS ONE**, v.10, e0129225, 2015b. DOI: 10.1371/ journal.pone.0129225.

GREENLEAF, S.S.; WILLIAMS, N.M.; WINFREE, R. et al. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, n. 153, p. 589–596, 2007.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. 2001. Disponível em http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/main.htm#

HICKLING, R.; ROY, D.B.; HILL, J.K.; FOX, R.; THOMAS, C.D. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*. v.12. n. 3, p. 450–455. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Análise das anomalias das temperaturas no ano de 2015**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/nota_tecnica_temperaturas_2015.pdf
Acesso em 10 fev/2017.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; NUNES-SILVA, P. As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o Código Florestal Brasileiro. **Biota Neotropical**, v. 10, n. 4, p. 59-62, 2010.

IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; SARAIVA, A.M.; CANHOS, D.A.L.; ALVES, D.A. **Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo: EDUSP. 2012. 488p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (ed.) **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp, 2007.

JONES, J.C.; OLDROYD, B.P. Nest thermoregulation in social insects. **Advances in Insect Physiology**. v.33, p.153-191, 2007.

KERR, W.E.; CARVALHO, G. A.; NASCIMENTO, V. A. **Abelha Uruçu: Biologia, Manejo e Conservação**. Fundação Acangaú. Belo Horizonte, v. 12, 1996.143 p.

KERR, W. E. **Estudos sobre o gênero *Melipona***. In: An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz. v. 5, n. 88, p. 181-276, 1948.

KERR, J.T.; PINDAR, A.; GALPERN, P.; PACKER, L.; POTTS, S.G.; ROBERTS, S.M.; RASMONT, P.; SCHWEIGER, O.; COLLA, S.R.; RICHARDSON, L.L.; WAGNER, D.L.; GALL, L.F.; SIKES, D.S.; PANTOJA, A. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. **Science**, v.349, p.177-180, 2015. DOI: 10.1126/science.aaa7031

KLEIN, A. M.; VAISSIERE, B. E.; CANE, J. H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, **Royal Society: Biological Science**, v. 274, n. 1608, p. 303-313, 2007.

LEINHENZ, M.; BUJOK, B.; FUCHS, S.; TAUTZ, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **Journal Experimental Biology**. n. 206. p 4217-4231. 2003.

KLEIJN, D. et al. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. **Nature Communications**, n. 6, p. 7414. 2015

KLINGENBERG, C.P. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. **Elsevier Science**. n. 287, p. 3-10, 2002.

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

KLINGENBERG, C. P.; GRAHAM, J. H. Analyzing Fluctuating Asymmetry with Geometric Morphometrics: Concepts, Methods, and Applications. **Symmetry**, v. 7, p. 843-934, 2015.

KUHN-NETO, B.; CONTRERA, F.A.L.; CASTRO, M.S. et al. Long distance foraging and recruitment by a stingless bee, *Melipona mandacaia*. **Apidologie**. v. 40, p. 472–480, 2009.

LEMONS, J.R.; RODAL, M.J.N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**. v. 16, n. 1, p.23-42, 2002.

LIMA, C.B.S.; NUNES, L.A.; CARVALHO, C.A.L. de.; RIBEIRO, M.F.; SOUZA, B.A.; SILVA, C.S.B. Morphometric differences and fluctuating asymmetry in *Melipona subnitida* Ducke 1910 (Hymenoptera: Apidae) in different types of housing. **Brazilian Journal of Biology**. v. 76, n.4, p. 1519-6984, 2016.

- LIMA, C.B.S.; NUNES, L.N.; RIBEIRO, M.F.; CARVALHO, C.A.L. de. Population Structure of *Melipona subnitida* Ducke (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) at the Southern Limit of its Distribution Based on Geometric Morphometrics of Forewings. **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 478-482, 2014.
- LIMA-JUNIOR, C. A., CARVALHO, C. A. L., NUNES, L. A., FRANCOY, T. M. Population Divergence of *Melipona scutellaris* (Hymenoptera: Meliponina) in Two Restricted Areas in Bahia, Brazil. **Sociobiology**. v. 59, n.1 , 107-122, 2012.
- LORENZON, M. C. A.; MATRANGOLO, C. A. R.; SCHOEREDER, J. H. Flora visitada pelas abelhas eussociais (Hymenoptera, Apidae) na Serra da Capivara, em Caatinga do Sul do Piauí. , v. 32, n. 1, p. 27-36, 2003.
- MALASPINA, O.; STORT, A.C.; BUENO, O.C. Análise de caracteres morfológicos e comportamentais em abelhas africanizadas, caucasianas e em descendentes dos seus cruzamentos. **Revista Brasileira de Zoologia**. v.6, n.1, 1989.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; CHOU, S.C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L.; OBREGÓN, G.; SOARES, W.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. 55 p.
- MARTINS, C. F.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; KOEDAM, D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Espécies arbóreas utilizadas para nidificação por abelhas sem ferrão na caatinga (Seridó, PB; João Câmara, RN). **Biota Neotropica**. v. 4, n. 2, p. 1-8, 2004.
- MICHENER, C.D. **The Bees of The World**. 2ª ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. 2007.
- MONTEIRO, L. R.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; REIS, S. F. Dos; ARAÚJO, E. D. Geometric estimates of heritability in biological shape. **Evolution**, v. 56, n. 3, p. 563-572, 2002.
- MORAES, D.A. A morfometria geométrica e a “revolução na morfometria” Localizando e visualizando mudanças na forma dos organismos. **BIOLETIM** - Ano III, n. 3, 2003
- MOYES, C.D.; SCHULTE, P.M. **Princípios de Fisiologia Animal**. Porto Alegre, RS: Artmed. 2010.

NEVES, E. L. das; CASTRO, M. S. de . Mandaçaia: uma abelha-chave para a conservação da caatinga. **Candombá**, v. 2, n. 1, 2006.

NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Nogueirapis, 1997. 446 p.

NUNES, L.A.; PASSOS, G.B.; CARVALHO, C.A.L.; ARAUJO, E.D. Size and shape in *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera; Meliponini). **Brazilian Journal of Biology** . v. 73, n. 4, p. 887-893. 2013.

NUNES,L.A.;PINTO,M.F.FC.;CARNEIRO,P.;PEREIRA,D.G.;WALDSCHMIDT, A.M. Divergência genética em *Melipona scutellaris* LATREILLE (Hymenoptera: Apidae) com base em caracteres morfológicos. **Bioscience**. n. 23, p.1-7. 2007.

OLLERTON, J.; Winfree, R.; Tarrant, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**. n. 120, p. 321-326. 2011.

PEREIRA, F. de M.; LOPES, M. T. do R.; CAMARGO, R. C. R. de C.; VILELA, S. L. de O. V. **Produção de mel**. Embrapa Meio Norte, Sistema de Produção, v. 3. 2003.

POOTS, S.G.; BIESMEIJER, J.C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W.E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology e Evolution**. v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010.

PRADO, D.E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M. ; SILVA, J.M.C. da (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife : Universitária da UFPE, 2003. cap. 2, p.3-74

PRADO-SILVA, A., NUNES, L.A., ALVES, R. M. O de ., CARNEIRO, P.L.S., WALDSCHMIDT, A.M. Variation of fore wing shape in *Melipona mandacaia* Smith, 1863 (Hymenoptera, Meliponini) along its geographic range. **Journal of Hymenoptera Research** n.48, p.85–94, 2016.

QUINTERO, C.; MORALES, C.L.; ADRIAN AIZEN, A. Effects of anthropogenic habitat disturbance on local pollinator diversity and species turnover across a precipitation gradient. **Biodiversity Conservation** , n. 19, p. 257–274, 2010.

RANDS, M. R.; ADAMS, W. M.; BENNUN, L.; BUTCHART, S. H. M.; CLEMENTS, A.; COOMES, D.; ENTWISTLE, A.; HODGE, I.; KAPPOS, V.; SCHARLEMANN, J. P. W.;

SUTHERLAND, W. J.; VIRA, B. Biodiversity conservation: challenges beyond 2010. **Science**. v. 329, p. 1.298-1.303, 2010.

RIBEIRO, M. de F.; RODRIGUES, F.; FERNANDES, N. de S.. A mandaçaia (*Melipona mandacaia*) e seus hábitos de nidificação na região do polo Petrolina(PE)- Juazeiro(BA). **Mensagem Doce**, n 115, p. 6-10, 2012.

RIBEIRO, M. F. ; RODRIGUES, F. . **Variações microclimáticas de um ninho de mandaçaia (*Melipona Mandacaia*) mantido em caixa racional**. In: 10º Congresso Ibero-latinoamericano de Apicultura, Natal-RN. 2010.

RICKLEFS, R.E. **A Economia da Natureza**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2009, 504P.

RODRIGUES, W. C. Fatores que Influenciam o Desenvolvimento nos Insetos. **Informativo dos Entomologistas do Brasil**, ano 01, n.4, p.01-04, 2004.

RODRIGUES, F.; RIBEIRO, M.F. Influence of experience on homing ability of foragers of *Melipona mandacaia* Smith (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). **Sociobiology** . v. 61, n. 4, p.523-528, 2014.

ROHLF, F.J. (2008a) **tpsUtil. For windows version 1.40**. Department of Ecology and Evolution. State University of New York. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/index.html>. Acessado em 15 de janeiro de 2017

ROHLF, F.J. (2008b) **tpsDig. For windows version 2.17**. Departament of Ecology and Evolution. State University of New York. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/index.html>. Acessado em 15 de janeiro de 2017

ROHLF, F.J. Morphometrics. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. n. 2, p. 299-316, 1990.

ROHLF, F.J.; MARCUS, L.F. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology e Evolution.**, n.8, p.129-132, 1993.

SANTANA, M. O. (Ed.). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 134 p.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M.S.B. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005. Recife. Palestra... Recife: UFPE/SBCS, 2005. CD-ROM.

SETTELE, J.; BISHOP, J.; POTTS, S.G. Climate change impacts on pollination. **Nature Plants**. v. 2, p. 1-3, 2016.

SHEPERD, M.; BUCHMANN, S. L.; VAUGHAN, M.; BLACK, S. H. **Pollinator conservation handbook**. Portland: The Xerces Society, 2003. 145 p

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas brasileiras: sistemática e identificação**. Belo Horizonte: Fundação Araucária, Editora Composição e Arte, Minas Gerais, 2002. 1ª edição, 253p.

SIQUEIRA, E. L. S.; MARTINES, R. B.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Ninhos de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Meliponina) em uma região do rio Araguari, Araguari-MG. **Bioscience Journal**. v. 23, n.1, p 38-44, 2007.

SOUSA, A.R.S.; ARAÚJO, E.D.; GRAMACHO, K.P.; NUNES, L.A. Bee's morphometrics and behavior in response to seasonal effects from ecoregions. **Genetics and Molecular Research**. n. 15, v. 2. 2016.

SOUZA, B. de A.; CARVALHO, C.A.L. de.; ALVES, C. de S. D.; DIAS, C. de S.; CLARTON, L. **Munduri (*Melipona asilvai*): a abelha sestrosa**. Série Meliponicultura 7. Cruz das Almas: 2009. 46 p.

TERBLANCHE, J.S. ; HOFFMANN, A. A.; MITCHELL, K.A.; RAKO, L.; LE ROUX, P.C.; CHOWN, S.L. Ecologically relevant measures of tolerance to potentially lethal temperatures. **Journal of Experimental Biology**. n. 214, p. 3713–3725

TOFILSKI, A. Using geometric morphometrics and standard morphometry to discriminate three honeybee subspecies. **Apidologie**. n. 39, p. 558-563. 2008.

VIJAYAKUMAR, K.; JAYARAJ, R. Geometric morphometry analysis of three species of stingless bees in India. **International Journal for Life Sciences and Educational Research** v. 1, n. 2, p.91-95, 2013.

VOLLET-NETO, A., MENEZES, C.; IMPERATRIZ FONSECA, V. L. Brood production increases when artificial heating is provided to colonies of stingless bees. **Journal of Apicultural Research**., v. 50 n. 3, p. 242-247. 2011.

WILLIAMS, P.H.; COLLA, S.R.; XIE, Z. Bumblebee vulnerability: common correlates of winners and losers across three continents, **Conservation Biology**. v. 23, n. 4, p. 931-940. 2009.

ZANELLA, F.C.V. The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): A species list and comparative notes regarding their distribution. **Apidologie**. v. 31, p. 579-592, 2000.

ZANELLA, F.C.V.; MARTINS, C.F.; Abelhas da caatinga: Biogeografia, ecologia e Conservação. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M. ; SILVA, J.M.C. da (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife : Universitária da UFPE, 2003. Cap. 2, p.75-134