

Universidade Federal do Piauí

**Distribuição e dinâmica populacional de abelhas africanizadas nas
áreas de influência da bacia do rio Parnaíba**

Jesuino da Silva Costa Martins

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento para obtenção do título de “Mestre”.

**Teresina
2016**

Jesuino da Silva Costa Martins
Licenciado em Ciências Biológicas

**Distribuição e dinâmica populacional de abelhas africanizadas nas
áreas de influência da bacia do rio Parnaíba**

Orientador: Dr. Fábio Barros Britto

Coorientador: Dr. Darcet Costa Souza

**Dissertação apresentada à Universidade
Federal do Piauí como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Genética e
Melhoramento para obtenção do título de
“Mestre”.**

Teresina

2016

**Distribuição e dinâmica populacional de abelhas africanizadas nas
áreas de influência da bacia do rio Parnaíba**

Jesuino da Silva Costa Martins

Aprovada em: ____/____/____

Comissão julgadora:

**Prof. Dr. Bruno de Almeida Souza – EMBRAPA / MEIO NORTE
(Membro Titular)**

**Prof^a. Dr. Melissa Oda Souza – UESPI /CCA
(Membro Titular)**

**Prof. Dr. Darcet Costa Souza – CCA/UFPI
(Coorientador)**

**Prof. Dr. Fábio Barros Britto – CCN/UFPI
(Orientador)**

Aos meus pais Jorge e Conceição (in memoriam),

por tanto amor.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo seu amor, por sempre estar cuidando de mim em todos os momentos da minha vida;

À Universidade Federal do Piauí, por proporcionar minha formação desde a preparação para o vestibular até o término do mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Instituto Federal do Maranhão (IF- MA) pela colaboração e liberação para o término do trabalho, em especial ao Chefe do Departamento de Ensino Profissional: Professor Danilo Leonardo Vieira da Rocha;

Ao Dr. Fabio Barros Britto, por quem tive o grande privilégio de ter sido orientado. Por sempre ter confiado muito em mim, pela paciência, ensinamentos e amizade;

Ao Dr. Darcet Costa Souza pela grande contribuição na realização deste trabalho e disponibilização do setor de apicultura da Universidade Federal do Piauí para o desenvolvimento das atividades;

À Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes e Dra. Ângela Cêlis de Almeida Lopes, pelos ensinamentos, amizade e dedicação;

Ao Dr. Leonardo Castelo Branco Carvalho, pelos ensinamentos e contribuição ao trabalho, após a qualificação;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, em especial ao Dr. Sérgio Emílio dos Santos Valente e Dr. José Evandro Aguiar Beserra Júnior, pelos conhecimentos e experiências transmitidas;

À Umeko Soeiro Takeshita pela ajuda e companheirismo durante as etapas de coleta e montagem das lâminas;

Ao servidor Abmael Muniz do setor de apicultura da Universidade Federal Do Piauí, pela colaboração e incentivo;

A todos os proprietários dos apiários onde as coletas foram realizadas: Sr. Antônio João Matos, Sr. Oreliano Matos (Nova Olinda – CE); Sr. Samuel Ribeiro (Fronteiras – PI); Sr. José Francisco Santos, Sr. Walter da Cunha (São Francisco do Piauí); Sr. Marcílio de José, Sr. Pedro de Oliveira (Colônia do Piauí); Sr. Virgílio de Paula (Floriano – PI). Grato pela ajuda e compreensão.

Aos meus pais Jorge Martins e Conceição de Maria (*in memoriam*), por tanto amor, dedicação e entrega. Por acreditarem na força dos estudos como forma de vencer na vida;

Aos meus irmãos Jéssica e Josiel pelo companheirismo, paciência e carinho. Vocês fazem parte de todas as minhas conquistas;

À minha melhor amiga e meu amor, *Artemisa Borges*, pela paciência, companheirismo, apoio e por ser sempre presente na minha vida. Seu amor me faz tão bem;

A minha família pelo carinho, motivação, apoio e confiança em especial: Rafael da Silva Costa, Natália Nazaré Costa Borges, Antônio Coelho Borges, Maria Evanilde Crispim Costa, Miralice Coelho Borges, Edna da Costa Macedo, Rosendo da Costa Macedo, Fernanda Valéria da Costa Macedo e Lia Raquel da Costa Macedo;

Aos meus amigos de vida e de sala de aula: Rafael Soares, Francisco Deilsom, Erickson Diniz, Salvino Coimbra, Rhuigo Mendes, Mário Henrique, Marcones Costa e Layse Mauriz;

Aos meus amigos de turma, Ubirajara, Laise e Gizele pelo companheirismo e aprendizagens,

Enfim, obrigado a todos que fizeram parte desta caminhada e que direta ou indiretamente contribuíram para a realização e conclusão desse trabalho.

Em tudo somos atribulados, mas não angustiados; Perplexos, mas não desanimados. Perseguidos, mas não desamparados; abatidos, mas não destruídos.

2 Coríntios 4:8,9

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 <i>Apis mellifera</i> : Aspectos Gerais	16
2.2 O processo de Africanização	18
2.3 Importância econômica e ecológica.....	20
2.4 Aspectos Geomorfológicos da Bacia do rio Parnaíba.....	23
2.5 Morfometria geométrica e o estudo em populações de <i>Apis mellifera</i>	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Regiões/Municípios amostradas	29
3.2 Material biológico.....	31
3.3 Estrutura analisada	31
3.4 Preparação das asas	31
3.5 Análises morfológicas e estatísticas	33
4 RESULTADOS.....	36
5 DISCUSSÃO	44
CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

RESUMO

MARTINS, J.S.C. **Distribuição e dinâmica populacional de abelhas africanizadas nas áreas de influência da bacia do rio Parnaíba.** Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento.), UFPI, Teresina, 2016.

As abelhas *Apis mellifera* apresentam distribuição em diferentes regiões, com características comportamentais, morfológicas e ecológicas acarretando em grande diversidade de subespécies adaptadas a cada ambiente. São fundamentais no papel de polinizadoras e no fornecimento de produtos de importância econômica. No Brasil após a introdução das abelhas de linhagens africanas *Apis mellifera scutellata*, em 1956, surgiram populações poliíbridas chamadas de africanizadas devido ao predomínio de caracteres de origem africana. A bacia do rio Parnaíba é composta de 278 municípios e abrange uma área de grande diversidade geomorfológica. Apesar de a apicultura ser uma atividade praticada há anos na região, poucas informações técnicas a respeito da estrutura populacional das abelhas africanizadas são conhecidas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da bacia hidrográfica do rio Parnaíba na distribuição populacional e fluxo gênico nas populações distribuídas dentro e fora de seus domínios. Foram coletadas operárias adultas de seis municípios piauienses e dois municípios do Ceará. Foram amostradas 10 operárias por colônia de cada localidade/apiário. Nesse estudo foram realizadas análises de morfometria geométrica com a marcação de 19 marcos anatômicos homólogos na asa anterior direita, utilizando o software TPSDig. As análises morfométricas foram realizadas através de técnicas multivariadas, com o auxílio dos programas MorphoJ e PAST. A MANOVA mostrou que existem diferenças significativas ($P < 0,0001$) entre as formas das asas nos municípios e localidades amostrados. Os resultados demonstram que existe um fluxo migratório intenso e mais expressivo nas localidades que compartilham uma mesma bacia hidrográfica. Apesar de não existir estruturação populacional, foi verificada a tendência de variação morfológica com relação ao relevo ($r = 0,46$; $p = 0,033$) entre os vales dos rios. Esses resultados indicam que existe uma grande variabilidade genética entre as populações, o que pode ser explorado em futuros programas de conservação e manejo.

Palavras-chave: Morfometria geométrica, *Apis mellifera*, poliíbrido, variabilidade, fluxo migratório, adaptação

ABSTRACT

MARTINS, J.S.C. **Distribution and population dynamics of Africanized bees in the areas of influence of the Parnaíba river basin.** Dissertation (Master's degree in Genetics and Breeding.), UFPI, Teresina, 2016.

Apis mellifera have distribution in different regions, with behavioral, morphological and ecological characteristics resulting in great diversity of subspecies adapted to each environment. They play a major role in pollination process and also in the supply of products of economical importance. In Brazil after the introduction of the African lineage *Apis mellifera scutellata*, in 1956, polyhybrid populations called Africanized bees arose presenting the predominance of African phenotypic characters. The watershed of Parnaíba River covers up of 278 municipalities and an area of great geomorphological diversity. Although beekeeping is an activity practiced from years ago in the region, little technical information about the population structure of Africanized bees are known. In this context, this study aimed to evaluate the influence of the Parnaíba river watershed in population distribution and gene flow in populations distributed inside and outside of their domain. Adult workers were collected from six municipalities from Piauí state and two from Ceará. Ten workers were sampled by colony of each location/apiary. Geometric morphometric analyses were conducted with the marking of 19 anatomical landmarks counterparts on right wing, using TPSDIG software. The morphometric analyzes were performed using multivariate techniques, with the help of PAST and MORPHOJ program. The MANOVA showed significant differences ($P < 0.0001$) between the shapes of the wings in the municipalities and localities sampled. The results show that there is an intense and expressive migration in locations that share the same watershed. Bees from these places showed restricted migration. Although there is no population structure, it was observed the trend of morphological variation in relation to the topography ($r = 0,46$; $p = 0,033$) and the river valleys. These results indicate that there is great genetic variability among populations, which can be explored in future conservation and management programs.

Keywords: Geometric Morphometry, *Apis mellifera*, polyhybrid, variability, gene flow, adaptation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Domínios morfoclimáticos do Brasil. Fonte: (Geodiversidade do Estado do Piauí, 2010).....24
- Figura 2 - Sequência de padronização das asas para o mesmo tamanho e alinhamento dos marcos anatômicos para a análise de morfometria geométrica asas de *Drosophila* (KLINGENBERG, 2011).27
- Figura 3 - Representação ilustrativa dos locais de coleta das amostras. Em destaque os municípios amostrados e as regiões com seus respectivos transectos. Região I: Floriano, sob influência direta do Rio Parnaíba; Região II: São Francisco do Piauí / Colônia do Piauí, sob influência dos afluentes do Rio Parnaíba; Região III: Caldeirão, Fronteiras, Nova Olinda e Santana do Cariri, fora da influência da bacia do Parnaíba;29
- Figura 4 – Gráfico ilustrativo da variação de relevo dos municípios amostrados. Região I: Teresina e Floriano; Região II: São Francisco e Colônia do Piauí; Região III Fronteiras, Caldeirão, Santana do Cariri (CE) e Nova Olinda (CE).30
- Figura 5 – (A) Montagem e selagem das lâminas. (B) Em detalhe lâmina montada e identificada com as asas de 10 operárias por colmeia. Universidade Federal do Piauí. – Departamento de Zootecnia: Setor de Apicultura. Fonte: Jesuino S.C Martins (2016).33
- Figura 6 - Os 19 marcos anatômicos plotados na asa anterior direita (em vermelho) marcados nas intersecções das veias alares (FRANCOY et al., 2008).33
- Figura 7 - Resultado do alinhamento de Procrustes dos 19 marcos anatômicos. Os pontos pretos correspondem ao resíduo de Procrustes. Em azul estão representados à média dos resíduos de Procrustes.36
- Figura 8 - Gráfico de dispersão em relação ao eixo cartesiano estabelecido pelos componentes principais CP1 e CP2. Identificador: Média por município. CALDEIRÃO (Dot.) COLÔNIA DO PIAUÍ (Cross +). FLORIANO (Square). FRONTEIRAS (Filled sq.) NOVA OLINDA (Cross x). SANTANA DO CARIRI (Circle o). SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ (Line -) **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 - Dendrograma obtido pelo programa PAST. Destacando a distribuição dos municípios e a formação de dois grupos. Grupo I: Floriano e São Francisco. Grupo II: Demais municípios. Índice de relação cofenética de 82,52%. Bootstrap = 1000. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 - Grades de Deformação para cada componente principal do gráfico de dispersão. A: Forma para valores positivos do componente principal 1. B: Forma para valores negativos do componente principal 1. C: Forma para valores positivos do componente principal 2. D: Forma para valores negativos do componente principal 2.39

Figura 11 - Gráfico de dispersão em relação ao eixo cartesiano estabelecido pela variáveis canônicas CV1 e CV2. Identificador utilizado: Todas as localidades... **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de mel no Brasil em 2014 (SIDRA, 2014).	21
Tabela 2 - Número de amostras (colmeias) coletadas nos diferentes municípios e suas posições geográficas.	32
Tabela 3 - Componentes Principais, autovalores, porcentagem de variância e porcentagem da variância acumulada obtida com a análise dos municípios amostrados.....	37
Tabela 4 - Variável canônica, porcentagem da variância e da variância acumulada, obtida com a análise das colônias coletas por localidade.....	41
Tabela 5 - Distâncias quadradas de Mahalanobis entre as populações de <i>Apis mellifera</i> obtidas através das variáveis canônicas de todas as localidades amostradas. Significância dos testes: ns = Não significativo; a = significante a 0,05; b = significante a 0,01; c = significante a 0,0001.).....	43

1 INTRODUÇÃO

As abelhas africanizadas são polihíbridos resultante do cruzamento natural existente entre as subespécies de origem europeias, introduzida pelos primeiros colonizadores, e a abelha africana *Apis mellifera scutellata*, introduzida no Brasil em 1956 (GONÇALVES, 1994).

O comportamento enxameatório, tanto reprodutivo, quanto migratório é característica marcante da espécie, exercendo influência direta em sua diversidade e estrutura populacional. Devido ao processo migratório e o intenso fluxo gênico, existe uma grande adaptabilidade a variados ambientes, sendo encontradas em quase toda América do Sul (até o paralelo 33° SUL), América Central e parte sul da América do Norte (CARANTÓN, 2012).

Junto com a importância econômica, conhecida desde os primórdios da civilização (BLOCH, 2010), a função ecológica como agente polinizador é fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas e dispersão das espécies vegetais (CARDINAL 2013).

Na região nordeste do Brasil, a variação climática e florística fazem com que esta região apresente grande potencial para a apicultura (MORETTI, 2014). Porém, apesar da expansão nos últimos anos (GONÇALVES, 2014), as informações técnicas relacionadas à dinâmica populacional das abelhas africanizadas nordestinas continuam escassas.

O comportamento migratório da espécie e seus processos de dispersão, ainda são poucos compreendidos. Algumas hipóteses apontam para vale dos rios, áreas abertas e a não preferência em explorar áreas de alta densidade vegetal (OLIVEIRA, CUNHA, 2005). Neste sentido, a Bacia do Parnaíba apresenta-se como uma potencial rota migratória da espécie. É a segunda mais importante do Nordeste, abrangendo 278 municípios dos Estados do Ceará, do Maranhão e do Piauí (BRASIL, 2006). Sua diversidade de relevo, vegetação e flora permitem a exploração por parte das abelhas em busca de alimento e moradia, influenciando a distribuição das populações dentro e fora dos vales e afluentes.

Dessa forma, conhecer o comportamento de dispersão e o fluxo migratório das abelhas africanizadas contribuirá para compreender a

distribuição das populações e da dinâmica populacional dessa espécie, fornecendo indícios para melhor manejo dos enxames.

A detecção de variações e semelhanças entre populações pode ser utilizada para mensurar o grau de fluxo gênico existente entre diferentes áreas geográficas. Uma das técnicas utilizadas para este propósito é a morfometria geométrica, a qual permite a marcação de pontos anatômicos homólogos, em diferentes estruturas dos organismos, identificando dessa forma regiões que mais contribuem para a discriminação de grupos (TOLFILSKY, 2008). Além de ser uma técnica eficaz e precisa (FRANCOY et al., 2008) permite explorar causas das variações dentro e entre indivíduos de uma população (KLINGENBERG, 2010), fornecendo indícios de processos micro-evolutivos.

Assim objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência da bacia hidrográfica do rio Parnaíba na distribuição e dinâmica populacional das abelhas africanizadas presentes dentro e fora de seus domínios hidrográficos utilizando a morfometria geométrica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Apis mellifera*: Aspectos Gerais

A abelha *Apis mellifera* L. (Hymenoptera), pertence à superfamília Apoidea, que reúne mais de 26 subespécies agrupadas em cinco linhagens evolucionárias com base em sua morfometria e distribuição geográfica natural (FERREIRA et al., 2008).

Cada uma das 26 subespécies apresenta adaptações às suas respectivas regiões de ocorrência. Esse aspecto está associado a grande capacidade de colonização dessas abelhas em diversos habitats. As regiões quentes de clima tropical, como a África ou sudeste da Ásia são apontadas como os prováveis locais de origem do gênero (COLLET, 2006).

Dois atributos são fundamentais para a capacidade colonizadora e a evolução desse grupo: o comportamento de agrupar-se e a habilidade de controlar a temperatura interna da colônia, dessa maneira contribuindo para a expansão em zonas de ambientes tropicais e/ou temperados (COLLET, 2004). Existem aproximadamente vinte mil espécies de abelhas, sendo que desse total, 25% estão abrigadas no Brasil (MORETTI, 2014).

Representante do grupo dos insetos eussociais, as abelhas *Apis mellifera* são insetos holometábolos – com desenvolvimento completo: ovo, larva, pupa e adulto. Apresentam uma divisão de trabalho e dinâmica social complexas, tendo a sociedade dividida em três castas: a rainha (controla o comportamento social e reprodutivo da colônia), as operárias (realizam atividades de nutrição das crias, construção e limpeza dos favos e de defesa) e os zangões (machos com função reprodutiva). Há clara distinção morfofisiológica e de atribuição de atividades (STRAUSS, 2008; LOCKE, 2012).

O comportamento reprodutivo é uma característica peculiar das abelhas melíferas, influenciando diretamente a estrutura genética das colmeias. Nas abelhas o sexo é determinado por partenogênese arrenótoca: ovócitos fertilizados desenvolvem embriões diploides tornando-se fêmeas, os machos são resultados do desenvolvimento de ovócitos não fertilizados (CARANTÓN, 2012). Dessa forma a colônia se constitui em um grupo familiar complexo, com uma rainha/mãe, vários zangões/pais e operárias e zangões filhos desse cruzamento (CARANTÓN, 2012).

A reprodução ocorre no ar, durante o voo nupcial, externamente à colônia em uma área de congregação de zangões (COLLET et al.,2009). Os zangões podem cobrir uma áreas de 157Km² em um de 7 Km em torno da colônia, as rainhas podem acasalar com até 18 machos em áreas de 2 – 5 Km de distância da colônia (CRISTIANO, 2003). Essa característica proporciona maior variabilidade genética, com a mistura de genes de diferentes localidades.

O sucesso a vida social desses organismos está relacionado ao surgimento de uma verdadeira imunidade social, funcionando como uma “barreira” contra parasitas proporcionando sobrevivência e maior tempo de vida para a colônia (TOFILSKI, 2009). Entre as estratégias evolutivas estão o comportamento higiênico e o polietismo temporal: divisão de trabalho de acordo com a faixa etária dos indivíduos (SANTIAGO, 2013).

São conhecidos cinco ramos evolutivos que agrupam as 26 subespécies descritas (RUTNER,1988): no Ramo A estão identificadas as subespécies africanas: *Apis mellifera adansonii*, *Apis mellifera capensis*, *Apis mellifera intermissa*, *Apis mellifera lamarckii*, *Apis mellifera litorea*, *Apis mellifera major*, *Apis mellifera monticola*, *Apis mellifera sahariensis*, *Apis mellifera scutellata*, *Apis mellifera siciliana*, *Apis mellifera unicolor*. No ramo M estão classificadas as abelhas da Europa ocidental: *Apis mellifera iberiensis* e a *Apis mellifera mellifera*. Já no ramo C encontram – se as subespécies do sudeste europeu: *Apis mellifera carnica*, *Apis mellifera cecropia*, *Apis mellifera macedonica*, *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera sicula*. Por fim as subespécies do ramo O são oriundas do oriente médio: *Apis mellifera adami*, *Apis mellifera anatolica*, *Apis mellifera armeniaca*, *Apis mellifera caucasica*, *Apis mellifera cypria*, *Apis mellifera meda*, *Apis mellifera ayriaca*.

Apoiado por estudos baseados na análise do DNA mitocondrial e em estudos de morfometria FRANK et al. (2000) identificou a existência do ramo Y com apenas uma única subespécie pertencente a região da Etiópia: *Apis mellifera yemenitica*.

A distribuição original dessas linhagens foi alterada progressivamente com o desenvolvimento da apicultura. Dessa maneira as abelhas pertencentes a diferentes linhagens são encontradas em diversas partes do planeta bem como os híbridos resultantes de seus cruzamentos (SCHNEIDER et al., 2004).

Nesse sentido estudos de caracterização, diversidade, filogenia, classificação e de composição genética são fundamentais para o conhecimento das diferentes subespécies residentes e introduzidas nas áreas facilitando o entendimento da variabilidade existente.

2.2 O processo de Africanização

Com o decorrer do tempo a deliberada importação de abelhas pelos primeiros colonizadores europeus e seguidamente por criadores de abelhas durante o período de colonização, proporcionou que espécies europeias fossem introduzidas em diferentes partes do mundo (GRASS, 2009).

As linhagens europeias de *Apis mellifera* foram introduzidas no Brasil em 1839, oriundas da Espanha e de Portugal, provavelmente as primeiras espécies introduzidas em nosso país foram a *Apis mellifera mellifera* e *Apis mellifera iberica* (FRANCOY, 2007). Posteriormente com a chegada de novos imigrantes outras linhagens foram introduzidas: *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera carnica* e *Apis mellifera caucasica* (GONÇALVES, 1994).

Em razão do clima tropical e da baixa resistência à doenças as subespécies de origem europeia apresentaram um declínio em sua produtividade. Em 1956, a subespécie africana *Apis mellifera scutellata* oriundas da região da África do Sul foi introduzida no Brasil pelo geneticista professor Dr. Warwick Estevam Kerr. O objetivo dessa introdução era a iniciar um programa de seleção genética para aumento da produtividade e maior resistência a pragas e doenças (KERR, 1967), visto que os dados da literatura internacional apontavam a subespécie *A.mellifera scutellata* como grande produtora (COLLET, 2004).

Em 1957, vinte e seis enxames com suas respectivas rainhas escaparam acidentalmente e iniciaram uma série de cruzamentos com as demais subespécies de origem europeia. Esse processo de expansão das abelhas africanas *A.mellifera scutellata* é conhecido como africanização (KERR, 1967). A série de cruzamentos originou o surgimento de populações poliíbridas denominadas de “Africanizadas” pelo predomínio de características africanas como: maior capacidade reprodutiva, adaptação em ambientes adversos, e o comportamento enxameatório acentuado (GONÇALVES, 1994).

A enxameação reprodutiva permite de forma natural a dispersão da espécie no ambiente. Em condições ideais, há o desenvolvimento marcante da colmeia. Com o crescimento populacional, grandes contingentes de operárias, junto com a rainha velha, ou com uma nova rainha, saem do ninho para encontrar um local adequado para nidificar (ALMEIDA, 2008).

Em abelhas africanizadas o processo de enxameação é mais intensificado (MORETTI, 2014). E torna-se ainda mais frequente em regiões de instabilidade climática e alimento escasso (CORREIA – OLIVEIRA, 2012). No Brasil pode acontecer cerca de três a quatro vezes por ano em locais como a região Nordeste, caracterizando um tipo de enxameação por abandono ou migratório que consiste na saída em massa dos indivíduos da colônia, em resposta ao grande nível de stress generalizado (SOUZA et al., 2009).

No entanto, as condições ambientais similares entre Brasil e África têm facilitado a adaptação das linhagens africanizadas, que transmitem pra a prole genes, os quais acentuam o valor adaptativo (NUNES et al., 2012).

As diferentes variações encontradas podem ser atribuídas não apenas a fatores genéticos, mas também a fatores ecológicos, ambientais e comportamentais (NUNES, 2012). Muitas variações existentes em populações de *Apis mellifera* estão relacionadas à plasticidade fenotípica (GRUBER, 2013). A plasticidade fenotípica é a capacidade de um determinado genótipo produzir diferentes fenótipos dependendo das condições do ambiente (NUNES et al., 2012).

A grande variabilidade ambiental encontrada em diversas condições climáticas de vegetação, de relevo e disponibilidade de alimento associada com a plasticidade fenotípica permite a distribuição das populações de *Apis* em amplas regiões do continente americano (PARKER, et al, 2010).

Os exames africanizados se espalharam por toda América com uma velocidade de 480 km /ano, exceções feitas ao Chile e ao Canadá. Chegando a ocupar os estados do Texas, Califórnia, Arizona, nos EUA com contínua expansão ao norte, entretanto com velocidades de migração mais lenta 350 km /ano (USDA, 2011).

A dispersão pelo continente americano apresenta limitações geográficas e climáticas. De acordo com Diniz et al. (2003) existe uma zona de transição de populações de abelhas geneticamente distintas na parte sul do Brasil e do

Uruguai, com algumas regiões apresentando 100% de origem europeia em regiões do Chile e sul da Argentina.

Além da capacidade enxameação outros fatores relacionados ao sucesso de expansão são: a taxa de crescimento mais acelerada, devido a coleta do pólen e rápida conversão às crias, o que aumenta a densidade do enxame; Invasão das colônias europeias pelas africanas, o que gera a substituição da rainha e causa a perda da linhagem europeia (COLLET, 2004), além da sobreposição das linhagens africanas durante a substituição das rainhas, a vantagem adaptativa da abelha africana em climas neotropicais e seu comportamento higiênico (SANTIAGO, 2013).

Para Francoy et al.(2012) as rápidas mudanças nos perfis morfométricos em áreas recentemente colonizadas pelas abelhas africanizadas está relacionada a presença de genes aparentemente dominantes e epistáticos, acrescentando um explicação genética, para a geração de indivíduos mais semelhantes à abelhas africanas do que italianas.

Essas características permitiram uma rápida expansão e um significativo aumento populacional das colônias com a ocupação de diferentes territórios. O fato de o processo de colonização ocorrer em um período de cinquenta anos gerou, um dos maiores eventos de invasão biológica registrados na literatura (SCHNEIDER, et al., 2004; USDA, 2011; BRANCHICCELA et al., 2014).

2.3 Importância econômica e ecológica

Desde os tempos da pré-história o homem explora os recursos oferecidos pelas abelhas, sendo os registros mais antigos observados em pinturas rupestres de 7.000 a.C(FRANCOY, 2007). Os egípcios criavam abelhas em potes, o que sugere a prática da apicultura há pelo menos 3000 anos (BLOCH, 2010). Em muitas civilizações, como na Grécia Antiga as abelhas assumiram grande importância econômica, sendo considerados símbolo de poder e riqueza (PEREIRA, et al., 2002).

A apicultura fornece a exploração de todos os recursos oferecidos pelas abelhas: mel, geleia real, cera e própolis (GONÇALVES, 2004). As abelhas africanizadas são mais produtivas em comparação as abelhas nativas e contribuem para a produção de inúmeros produtos de importância econômica

com aplicações variadas na indústria de alimentos, farmacológica, terapêutica e cosmética (SANTIGO, 2013).

As características da abelha africanizada se tornaram importantíssimas para inúmeras atividades econômicas e fundamentais para a apicultura no Brasil (SEBRAE, 2014). Acarretando fonte alternativa de emprego e de renda para o homem do campo, além de se constituir como uma prática sustentável (FRANCOY, 2007).

O Brasil foi considerado o oitavo maior produtor mundial e o oitavo maior exportador em 2014 (ABEMEL, 2016). O país produziu cerca de 39 mil toneladas de mel, sendo quase 11 mil toneladas na região nordeste, a qual ocupa a segunda posição de na produção de mel do país, perdendo apenas para a região sul (TABELA1).

Tabela 1 - Produção de mel no Brasil em 2014 (SIDRA, 2014).

REGIÃO	QUANTIDADE DE MEL PRODUZIDO EM 2014 (Kg)
SUL	16.462.708
NORDESTE	10.845.813
SUDESTE	8.428.769
CENTRO – OESTE	1.682.835
NORTE	1.051.946
TOTAL	38.472.071

No Piauí, a apicultura começou a ser praticada com maior destaque a partir de 1975, trazida por produtores paulistas para a região de Picos, porém, a extração do mel, nessa época, era feita por meleiros de forma ilegal. Com a chegada dos Grupos Wenzel e Bende, provenientes do Estado de São Paulo, a produção predatória de pequeno porte foi substituída por uma produção mais promissora, que visava um mercado consumidor mais amplo (VILELA, 2000).

Ao longo dos anos, a atividade apícola no Piauí tornou-se relevante no meio rural, gerando novas dinâmicas econômicas que envolvem milhares de famílias direta e indiretamente no processo produtivo, dinamizando a produção como, por exemplo, através de iniciativas cooperativas como a Casa Apis, fundada em 2005 no município de Picos.

Neste sentido, o Piauí é destaque na produção de mel no Nordeste por possuir condições climáticas e de florada, as quais favorecem a produção,

produzindo dessa forma um produto com razoável aceitação no mercado (VILELA, 2000). Em 2011 o estado foi o maior produtor da região nordeste com a produção de mais de cinco mil toneladas, seguido do Ceará (SIDRA, 2014).

O clima adverso, em 2012 impossibilitou a formação de boas floradas e provocou uma grande perda de enxames por abandono da colmeia em todos os estados da região nordeste. De acordo com a VIDAL (2013), as perdas mais acentuadas foram nos estados do Rio Grande do Norte (82%), Pernambuco (70%), Paraíba (80%), Ceará (75%), Piauí (70%) e na Bahia (60%).

Além da importância econômica, as abelhas apresentam uma função ecológica fundamental para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, pois são consideradas os mais especializados agentes polinizadores (DANFORTH et al., 2006). Esse “serviço” é essencial para a reprodução e dispersão da maioria das espécies de angiospermas, além de contribuir para o aumento da biodiversidade vegetal. Esse processo coevolutivo de benefício mútuo ocorre há milhões de anos (KLEIN et al., 2007; RENNER, 2010; CARDINAL, 2013).

As abelhas são responsáveis por 70 % das polinizações das culturas agrícolas no mundo, em especial nas plantações de amêndoas, onde são responsáveis por 100% da polinização, e as culturas de cebola, cenoura, brócolis em que são responsáveis por cerca de 90 % da polinização. No Brasil as culturas de melão, laranja, maracujá, soja, caju, café e algodão são dependentes da polinização por abelhas (FREITAS, 2007). Esses dados demonstram o valor para a agroindústria e o desenvolvimento de iniciativas que permitam a polinização direcionada em cultivos.

Rizzardo (2012), em estudo envolvendo a polinização associada com cultivo de mamona (*Ricinus communis*) verificou que a introdução das abelhas *Apis mellifera* proporcionou o aumento de 17% na produção de frutos e 30% na produção de sementes, dessa maneira essa prática contribui para o aumento da colheita. Outros estudos demonstraram o valor dessa prática em pomares de acerola (MAGALHÃES, 2013), e em plantações de laranja (TOLEDO et al., 2013). Os números provam a vantagem da polinização direcionada devido ao aumento da produtividade e da renda do produtor, além de ser uma opção ecologicamente recomendável (MORETTI, 2014).

Embora seja notória a importância das abelhas em todos os setores da sociedade tem se verificado mundialmente o declínio no número de espécies de abelhas (FAROOOQUI, 2013). Esse fenômeno conhecido como CCD (Colony Collapse Disorder) “distúrbio do colapso das colônias” é causado por uma combinação de fatores como: alterações nos ecossistemas, doenças causadas por parasitas, stress nutricional e uso de inseticidas (FAROOOQUI, 2013). Dessa maneira estudos sobre dinâmica populacional (COLLET et al., 2006; FRANCOY et al., 2008; GRASS, 2009; NUNES, 2012; SANTIAGO, 2013; MORETTI, 2014) em abelhas africanizadas, tem contribuído para o conhecimento da variabilidade existe entre as abelhas africanizadas e o estabelecimento de medidas de conservação e utilização dos recursos gerados por essas espécies.

2.4 Aspectos Geomorfológicos da Bacia do rio Parnaíba

A Bacia do Parnaíba é a segunda mais importante do Nordeste, sendo formada por 278 municípios dos Estados do Ceará, do Maranhão e do Piauí, da área total do estado, 251.129,5 km² encontram-se inseridos na bacia, o que corresponde a 69, 29% da área total da bacia. No Ceará 20 municípios estão na Bacia do Parnaíba, ocupando uma área de 23.126,92 km², o que representa 6,38% da área total (BRASIL, 2006).

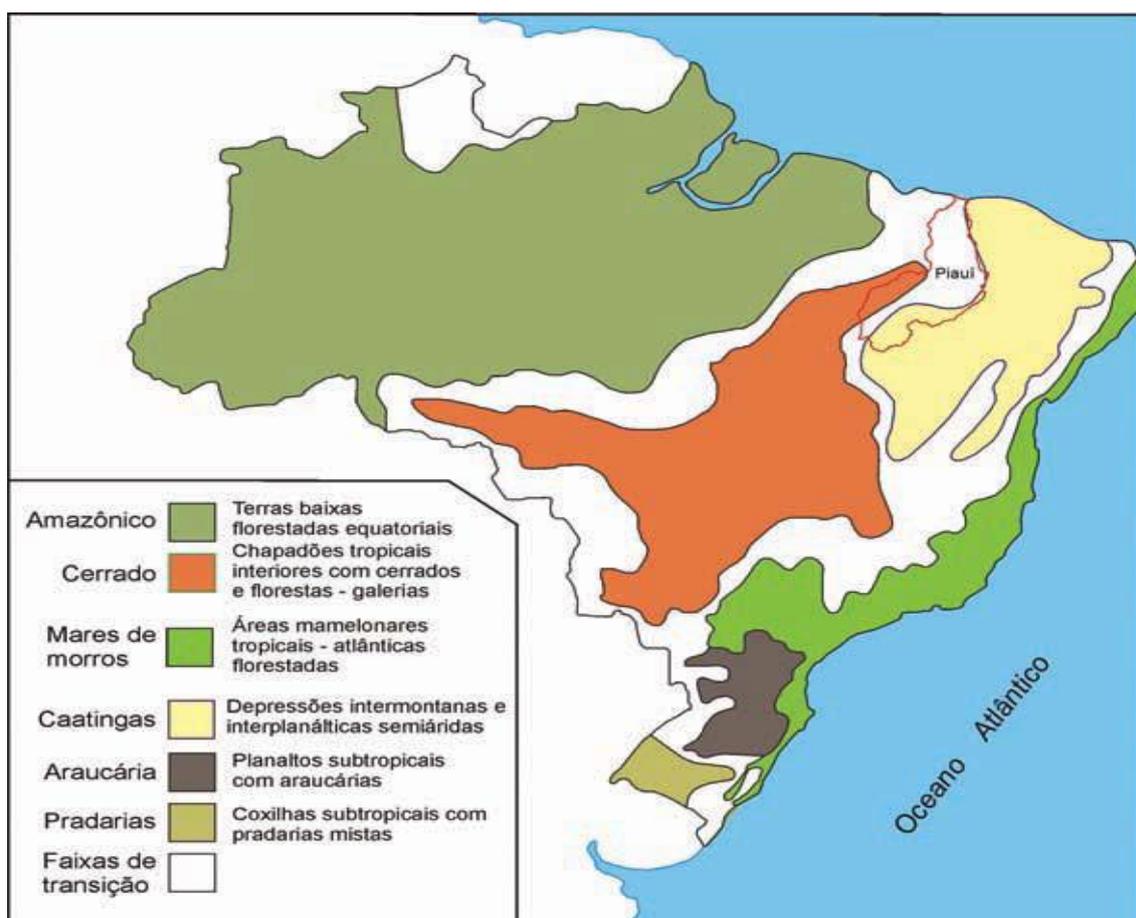
Dentre todas as sub-bacias, destacam-se aquelas constituídas pelo rio Balsas (5% da área total da bacia), no Maranhão, e no Piauí as dos rios Uruçuí–Preto (4,7%), Gurguéia (9,9%), Longá (8,6%), Poti (16,1%) e Canindé (26,2%), ao longo da sua extensão, várias atividades estão relacionadas, gerando renda e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico (NETO, 2006).

De acordo com Pfaltzgraff (2010), a região da bacia é dividida em 4 macrorregiões. A macrorregião do litoral, de planície litorânea com altitudes não superiores a 15 m e chapadões com cobertura vegetal composta por restinga e mangue. A macrorregião do meio – norte, com relevo plano e suave ondulado, com predominância de áreas de matas de cocais, além de áreas de transição floresta/cerrado e cerrado, caatinga arbustiva e arbórea com manchas de cerradão e áreas de transição cerrado/caatinga na parte centro-leste e leste da região. A macrorregião do semiárido com vegetação do tipo

caatinga arbórea e caatinga arbustiva, apresentando regiões com elevações (serras, chapadas), como nas proximidades da chapada do Araripe, da serra da Capivara e da serra das Confusões. E a macrorregião do cerrado de vegetação tipo campo cerrado, além de áreas de transição cerrado/ caatinga, floresta caducifólia/cerrado, floresta subcaducifólia/caatinga, com grande parte da região com relevo formado por chapadões planos.

De forma geral, de acordo com a classificação dos domínios morfoclimáticos do Brasil de Ab' Saber, (1967) dentro da bacia no estado do Piauí, são encontrados dois diferentes domínios de relevo e uma faixa de transição, contribuindo para uma grande diversidade da fauna e flora (FIGURA 1).

Figura 1 - Domínios morfoclimáticos do Brasil. Fonte: (Geodiversidade do Estado do Piauí, 2010).



Diante da grande capacidade dispersiva da abelha africanizada (OLIVEIRA; CUNHA, 2005) e sua adaptação em diferentes regiões (NUNES,

2012), a diversidade de relevo, vegetação e flora apícola ao longo da bacia do rio Parnaíba permite explorar a distribuição das populações dentro e fora da bacia, fornecendo indícios da influência da hidrográfica na dinâmica populacional dessa espécie.

2.5 Morfometria geométrica e o estudo em populações de *Apis mellifera*

Desde o início do processo de africanização as linhagens poliíbridas passaram a ser foco de trabalhos científicos com o objetivo de compreender a sua biologia, dinâmica e estruturação populacional além da sua variabilidade genética.

A utilização dos dados sobre as informações das populações distribuídas pelo território brasileiro proporciona a seleção de matrizes de abelhas com características desejáveis para a apicultura e conseqüentemente para a economia (FRANCOY et al., 2008). Para tal finalidade evidências morfométricas são comumente utilizadas para o estabelecimento de estimativas quanto à composição das populações híbridas de *Apis mellifera* (NUNES, 2012; SANTIAGO, 2013; MORETTI, 2014).

A morfometria de uma forma tradicional é caracterizada pelo estudo da variação e covariação das mediadas lineares, geralmente utilizando medidas relacionadas ao comprimento e largura de estruturas (MORAES, 2003). Nesse contexto a morfometria “tradicional” estuda como e quanto às medidas lineares variam e o quão estão relacionadas entre si (DUJARDIN; GEMI, 2011).

A morfometria geométrica é uma técnica baseada no uso de *landmarks* (marcos anatômico), que permite identificar variações nos padrões das formas nos exemplares de uma mesma espécie (ROHLF, 1998). A vantagem do uso da morfometria geométrica em comparação com a morfometria tradicional se deve ao fato das coordenadas cartesianas dos marcos anatômico incluírem informações sobre as posições relativas, reconstruindo a forma estudada e identificando a região do caráter escolhido para a análise que mais contribuiu para a discriminação (TOFILSKY, 2008).

A morfometria geométrica permite uma análise rigorosa da variação morfométrica de uma determinada estrutura em diversos organismos, indetectáveis pela morfometria tradicional, usando métodos de análise

multivariada, o que permite identificar as diferenças nas formas dos organismos e explorar as causas dessas variações dentro e entre indivíduos (KLINGENBERG, 2002).

A variável forma é qualquer medida em uma configuração de marcos anatômico que não muda seu valor quando todos os comprimentos são multiplicados por um fator escalar. Ao comparar as formas a informação excedente de tamanho, orientação e posição devem ser retiradas, dessa forma as configurações estão centradas em um ponto comum (centroide) proporcionalizadas de forma que tenham o mesmo tamanho (KLINGENBERG, 2011).

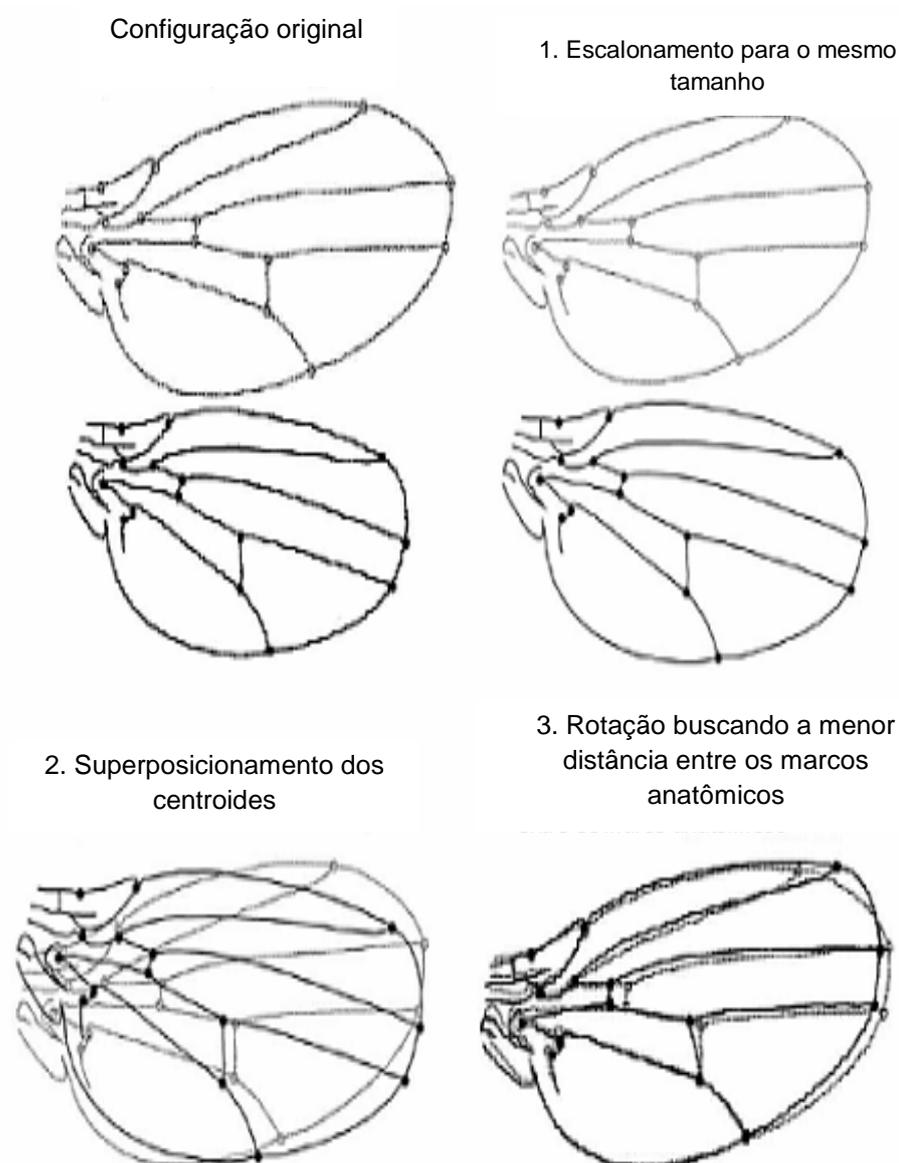
O espaço de forma de Kendall é um espaço matemático, multidimensional, curvo onde cada forma é representada por um ponto (MORAES, 2003). Nesse espaço as distâncias são chamadas de distância de Procrustes, dessa maneira a distância entre dois pontos nesse espaço representa a diferença existente entre essas duas formas (KLINGENBERG, 2010).

O método de Procrustes consiste basicamente em três etapas. Na primeira as configurações das asas são superimpostas, eliminando dessa forma, o efeito da posição. Na segunda etapa o tamanho do centroide de cada configuração é proporcionalizado, eliminando assim o efeito do tamanho. Por último, as configurações superpostas e proporcionalizadas, são rotacionadas de modo que, os marcos anatômicos correspondentes se ajustem pela menor distância quadrada possível, retirando dessa maneira o efeito da orientação (FIGURA 2). O processo generalizado de Procrustes é feito em relação a uma configuração média, denominada configuração consenso (KLINGENBERG, 2010).

Associado as análises da morfometria geométrica estão os métodos de estatística multivariada. A caracterização e quantificação da diversidade genética entre indivíduos, amostras e populações podem ser realizadas por várias técnicas de análise multivariada (VICINI, 2005). A estatística multivariada é definida por Cruz et al.,(2011) como um conjunto de técnicas de síntese da estrutura da variabilidade dos dados permitindo estudar diversas variáveis simultaneamente.

As análises morfométricas utilizam a asas das abelhas, por serem estruturas planas e possibilitarem a identificação de informações da forma e tamanho (NUNES et al., 2007). Diniz – Filho; Bini (1994), afirmam que outra vantagem em utilizar a asa é a grande herdabilidade no sentido restrito (proporção da variância genética aditiva sobre a variância total) desse caráter próxima de 1, permitindo a realização de conclusões sobre as características genéticas por meio de caracteres fenotípicos.

Figura 2 - Sequência de padronização das asas para o mesmo tamanho e alinhamento dos marcos anatômicos para a análise de morfometria geométrica asas de *Drosophila* (KLINGENBERG, 2011).



As análises da morfometria geométrica se constituem em uma importante ferramenta para o estudo populacional. Trabalhos que utilizam a morfometria geométrica podem ser utilizados para descobrir pequenas variações em grupos populacionais, complementando abordagens genéticas e evolutivas (KLINGENBERG, 2002), essa técnica permite estudar as causas e consequências das variações existente entre populações divergentes.

Nesse aspecto inúmeros trabalhos foram realizados utilizando a morfometria geométrica, tanto para a identificação de espécies, quanto na diferenciação de grupos. Francoy et al. (2008) observou a existência de uma proximidade morfológica das abelhas africanizadas com a subespécie africana *A.m. scutellata*. No estudo de Tofilski (2008), a morfometria geométrica foi utilizada para discriminar três subespécies de *A. mellifera*. Grassi (2009), concluiu que a morfometria geométrica obteve um acerto de 99,5% na classe de discriminação e diferenciação das subespécies de *Apis mellifera*. Recentemente Santiago (2013), usando dados morfométricos encontrou divergência nas populações de abelhas africanizadas nos apiário do estado de Sergipe. Moretti (2014) estudando colônia no nordeste brasileiro sugeriu a existência de plasticidade fenotípica destas abelhas em resposta a diferentes climas.

A utilização das análises morfométricas nos programas de melhoramento genético é uma ferramenta para caracterização de materiais genéticos ao passo que caracteriza fenótipos relacionados a adaptações ecológicas, características comportamentais e áreas geográficas (ANDERE et al., 2008)

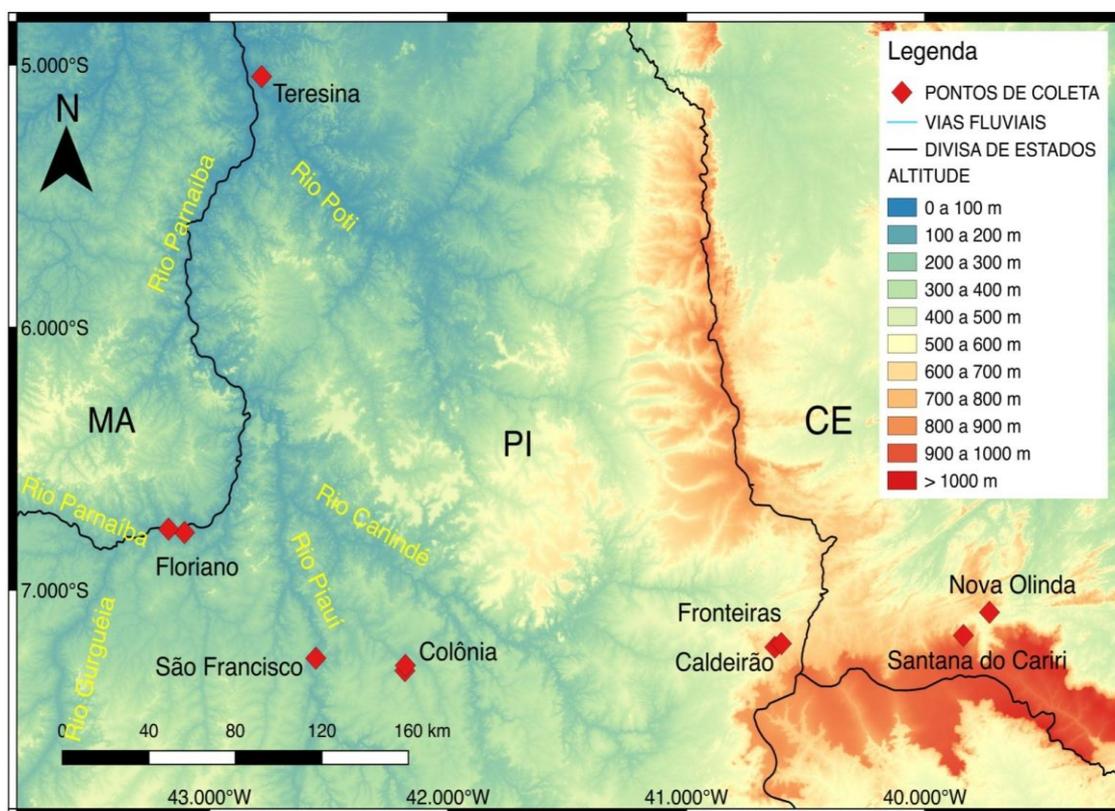
Dessa forma a morfometria geométrica se constitui em uma ferramenta precisa, de baixo custo e rápida em comparação aos métodos moleculares (FRANCOY; FONSECA 2010; TOLFISKY, 2009; MIGUEL et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Regiões/Municípios amostradas

Para avaliar a influência da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba na distribuição das populações de abelhas africanizadas foram definidas três regiões com diferentes níveis de relevo e influência deste rio (FIGURA 3).

Figura 3 - Representação ilustrativa dos locais de coleta das amostras. Em destaque os municípios amostrados e as regiões com seus respectivos transectos. Região I: Floriano, sob influência direta do Rio Parnaíba; Região II: São Francisco do Piauí / Colônia do Piauí, sob influência dos afluentes do Rio Parnaíba; Região III: Caldeirão, Fronteiras, Nova Olinda e Santana do Cariri, fora da influência da bacia do Parnaíba;

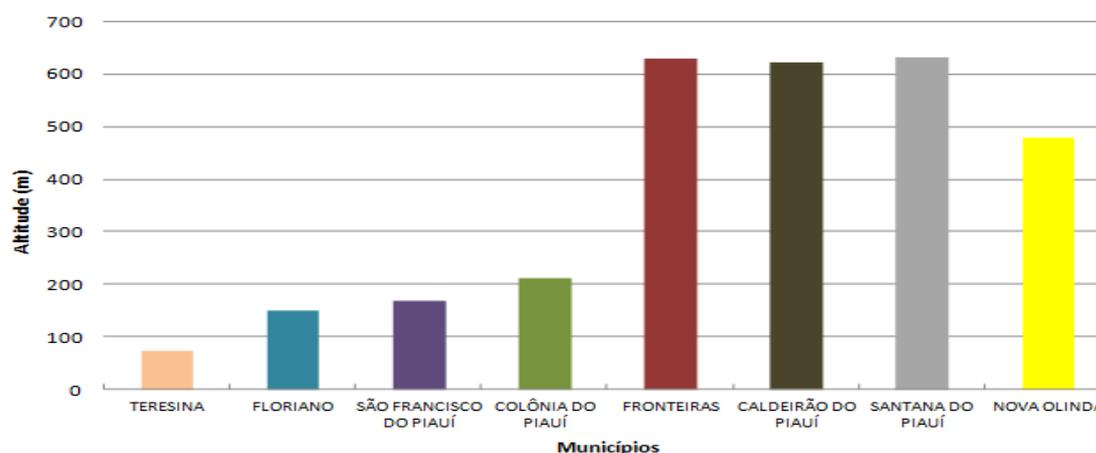


As descrições das características de relevo de cada região utilizada seguem abaixo:

- **Região I:** De planície que acompanha o vale do Rio Parnaíba e compreendendo a sub-região meio – norte. Abrangendo o município de Floriano (PI);
- **Região II:** De transição com maior variação de altitude, compartilhando afluentes e subafluentes do Rio Parnaíba em direção à sub-região do sertão nordestino. Abrangendo os municípios de São Francisco (PI), Colônia do Piauí;
- **Região III:** De chapada e cadeias montanhosas com maior variação de altitude. Abrangendo Caldeirão do Piauí (PI), Fronteiras (PI), Santana do Cariri (CE) e Nova Olinda (CE), sendo os dois últimos localizados na região da Serra do Araripe.

Além da distância em relação aos rios, também foi observada as diferenças relacionadas ao relevo (altitude) das áreas de coleta (FIGURA 4).

Figura 4 – Gráfico ilustrativo da variação de relevo dos municípios amostrados. Região I: Floriano; Região II: São Francisco e Colônia do Piauí; Região III Fronteiras, Caldeirão, Santana do Cariri (CE) e Nova Olinda (CE).



No total foram coletadas amostras em 146 colônias (aproximadamente 30 operárias/colônia) em oito municípios (TABELA 2). As amostras de Teresina, não foram utilizadas nas análises. As abelhas foram coletadas em apiários fixos no período de março de 2015 de enxames estabelecidos, oriundos de capturas na natureza, regiões onde não existe a prática da apicultura migratória.

3.2 Material biológico

Todas as amostras foram coletadas em março de 2015, identificadas e acondicionadas em tubos tipo *Falcon* 50 mL contendo 30 mL de álcool absoluto. Ao chegar no laboratório, as amostras utilizadas nas análises foram individualizadas e armazenadas em freezer a -20°C .

3.3 Estrutura analisada

Para otimizar o processo de análise, foi utilizado de forma única a medida da asa anterior direita, visto que esta estrutura é facilmente mensurada e em abelhas do gênero *Apis*, além disso a herdabilidade, no sentido restrito, para esse caráter é uniforme e alta ($h^2 \approx 1$), sofrendo assim pouca influência do ambiente (DINIZ- FILHO; BINI, 1994).

3.4 Preparação das asas

As asas anteriores direitas de dez operárias adultas de cada colônia foram removidas e montadas entre lâmina e lamínula para microscopia óptica (FIGURA 5). Após a montagem das lâminas, as asas foram fotografadas com câmera digital acoplada a estereomicroscópio, utilizando o programa de captura de imagens *Motic Images Plus 2.0*.

As imagens geradas foram processadas no programa TPSUTIL versão 2.12 (ROHLF, 2005a) para gerar arquivos com os dados biométricos banco de dados, onde as coordenadas dos marcos anatômicos foram armazenadas. Dezenove marcos anatômicos homólogos nas intersecções das nervuras das asas, foram plotados com auxílio do programa TPSDIG versão 2.12 (ROHLF, 2005b). A ordem de introdução foi a mesma para todos os indivíduos como requisito de estabelecer a homologia espacial das estruturas mediante suas coordenadas.

Os marcos anatômicos (*landmarks*), foram inseridos assim como proposto por Franco et al. (2008) (FIGURA 6).

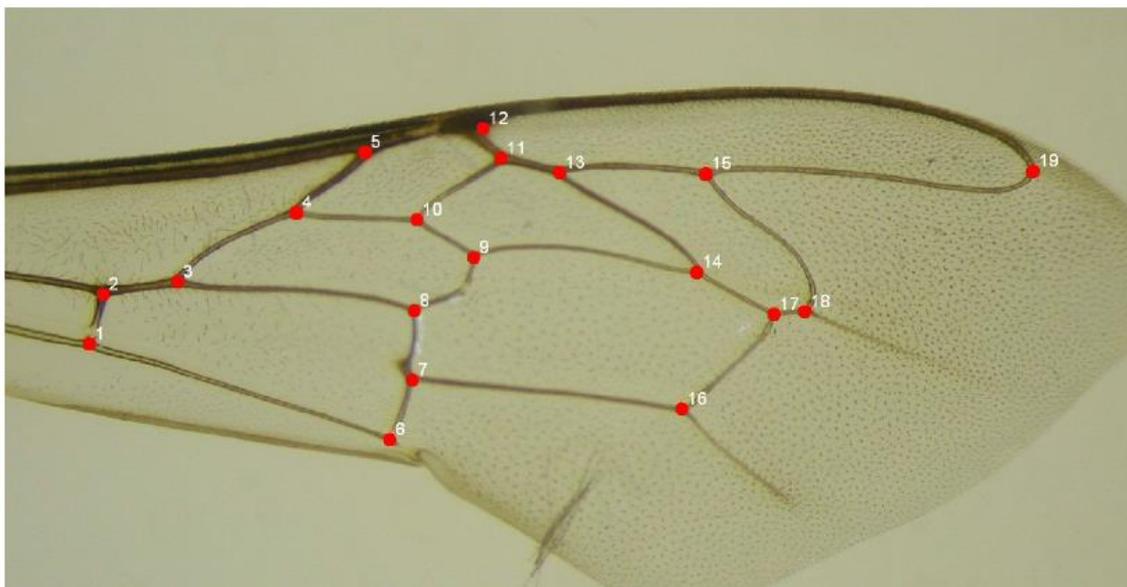
Tabela 2 - Número de amostras (colmeias) coletadas nos diferentes municípios e suas posições geográficas.

MUNICÍPIO	LOCALIDADE / APIÁRIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	Nº DE AMOSTRAS
NOVA OLINDA – CE	TRIUNFO	07° 05' 07"	39° 43' 43"	480	04
NOVA OLINDA- CE	TABULEIRO	07° 10' 25"	39° 50' 17"	430	13
SANTANA DO CARIRI – CE	DESCOBERTA	07° 12' 16"	40° 36' 06"	631	18
CALDEIRÃO DO PIAUÍ	LAGOA DO MEIO	07° 13' 06"	40 ° 37' 44"	622	10
FRONTEIRAS – PI	VIDAL	07° 12 ' 17"	40° 36' 06"	631	20
SÃO FRANCISCO – PI	ITANS	07° 15' 37"	42 ° 33' 15"	169	30
COLÔNIA DO PIAUÍ	FAZENDA DA PAZ	07° 18' 27"	42° 10 ' 50"	212	15
COLÔNIA DO PIAUÍ	CAATINGA DE PORCO	07° 17' 15"	42° 10' 42"	215	15
FLORIANO	BOM SUCESSO	06° 99' 53"	43° 06' 18"	150	6
FLORIANO	FAZENDINHA – UFPI	06° 76' 07"	43° 10' 19"	132	15
TOTAL					146

Figura 5 – (A) Montagem e selagem das lâminas. (B) Em detalhe lâmina montada e identificada com as asas de 10 operárias por colmeia. Universidade Federal do Piauí. – Departamento de Zootecnia: Setor de Apicultura. Fonte: Jesuino S.C Martins (2016).



Figura 6 - Os 19 marcos anatômicos plotados na asa anterior direita (em vermelho) marcados nas intersecções das veias alares (FRANCOY et al., 2008).



3.5 Análises morfológicas e estatísticas

Para gerar as mudanças de forma a partir dos marcos anatômicos, as configurações individuais foram alinhadas pelo Método de Superposição dos Quadrados Mínimos de Procrustes no programa MORPHOJ versão 1.03 ((KLINGENBERG, 2011). A análise é baseada nos componentes uniformes X e Y. A partir dos 19 marcos anatômicos, as imagens das asas são redimensionadas para um tamanho uniforme e sobrepostas com base em seus

centroides (ponto médio ou centro de massa), sendo posteriormente rotacionadas para produzirem um alinhamento ideal. Esse procedimento realizado pelo software elimina os efeitos de tamanho das estruturas, tornando as análises baseadas exclusivamente na forma das mesmas.

Na morfometria geométrica existe uma interdependência entre os pontos, dessa forma para explicar a variação existente se fez necessário a análise das grades de deformação, utilizando o método de deformação de placas finas, o qual consiste em um modelo físico de deformação, utilizado para avaliar mudanças em pontos de referência. A “força” feita para deformar a placa é uma quantificação das diferenças entre as formas, designado energia de deformação (MORAES, 2003). Após as configurações terem sido transladadas, rotacionadas e proporcionalizadas, são geradas matrizes de variáveis da forma.

As grades de deformação foram construídas pelo programa MORPHOJ versão 1.03 (KLINGENBERG, 2011). Após essas análises foi gerada uma matriz de covariância e os dados obtidos foram usados como variáveis para as análises multivariadas.

A análise de componentes principais é utilizada para examinar as características principais de variação na forma de uma amostra, sendo uma técnica exploratória, determinando grupos *a posteriori*, examinando as amostras no espaço sem considerar sua origem. Esses dados foram gerados no programa MORPHOJ versão 1.03 (KLINGENBERG, 2011) e PAST (HAMMER et al., 2001).

A análise de variável canônica é uma função de análise multivariada com a finalidade de discriminar grupos em um conjunto de dados, esses dados foram obtidos no programa MORPHOJ versão 1.03 (KLINGENBERG, 2011), além do gráfico de dispersão o programa permite obter os valores da análise de função discriminante (probabilidade de classificação correta e incorreta entre os grupos) e o teste de validação cruzada (probabilidade de classificação correta entre os grupos).

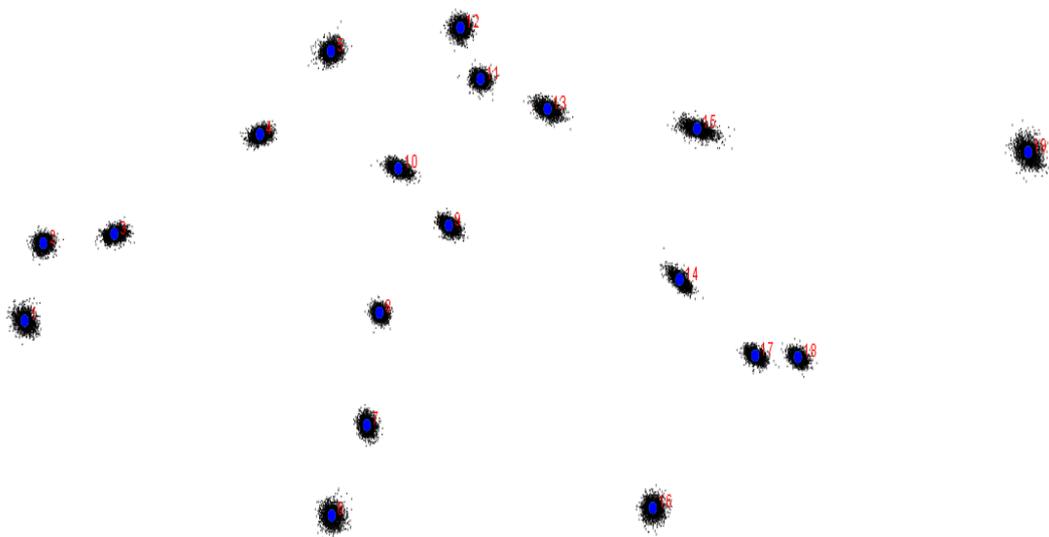
As distâncias de Mahalanobis entre os centroides calculadas foram utilizadas em análises de grupamento para avaliar a proximidade morfológica entre os espécimes utilizando o método de UPGMA através do programa PAST (HAMMER et al., 2001).

O Teste de Mantel foi aplicado, com auxílio do programa *ade4* (DRAY; DUFOUR, 2007), para avaliar as correlações significativas entre as matrizes de altitude vs. distância de Procrustes e altitude vs. distância geográfica.

4 RESULTADOS

Através das marcações dos 19 marcos anatômicos nas junções das nervuras das asas foram obtidos os valores de Procrustes (FIGURA 7) sendo identificado que os pontos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12,16 e 19 variam de modo isotrópico e os pontos 3, 4, 9, 10, 13, 14, 15, 17,18 variam de forma alotrópica.

Figura 7 - Resultado do alinhamento de Procrustes dos 19 marcos anatômicos. Os pontos pretos correspondem ao resíduo de Procrustes. Em azul estão representados à média dos resíduos de Procrustes.



A variação isotrópica representa uma distribuição circular dos resíduos em torno da média, não mostrando dessa maneira nenhuma ou pouca tendência à variação. Em contraste a variação alotrópica pode indicar a associação desses marcos com uma determinada característica ou variação.

Os resíduos de Procrustes das coordenadas cartesianas alinhadas dos 19 landmarks geraram 34 medidas de deformação relativa ($K = 2n - 4$; onde K representa o número de deformações relativas e n o número de marcos). A medida de deformação relativa é uma análise onde os autovetores calculados são chamados de deformações relativas e descrevem o eixo de maior variação da forma.

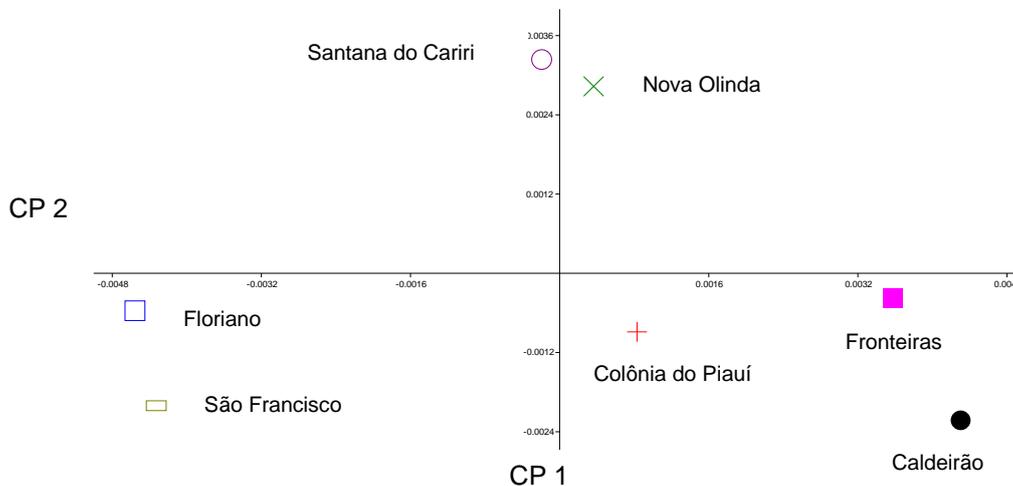
A MANOVA mostrou a existência de diferenças significativas entre as formas das asas existentes nas localidades e apiários amostrados ($P < 0,0001$). As análises de Componentes Principais realizadas tanto pelo programa MORPHOJ E PAST, apresentaram resultados semelhantes, com os dois primeiros componentes explicando mais de 75% da variação total, o classificador utilizado para ambas as análises foi a média por município. (TABELA 3).

TABELA 3 - Componentes Principais, autovalores, porcentagem de variância e porcentagem da variância acumulada obtida com a análise dos municípios amostrados.

COMPONENTE	AUTOVALORES	% DA VARIÂNCIA	% DA VARIÂNCIA ACUMULADA
1	0,00001195	53,911	53,911
2	0,00000479	21,616	75,527
3	0,00000244	11,018	86,545
4	0,00000180	8,142	94,688
5	0,00000062	2,802	97,490
6	0,00000056	2,510	100,000

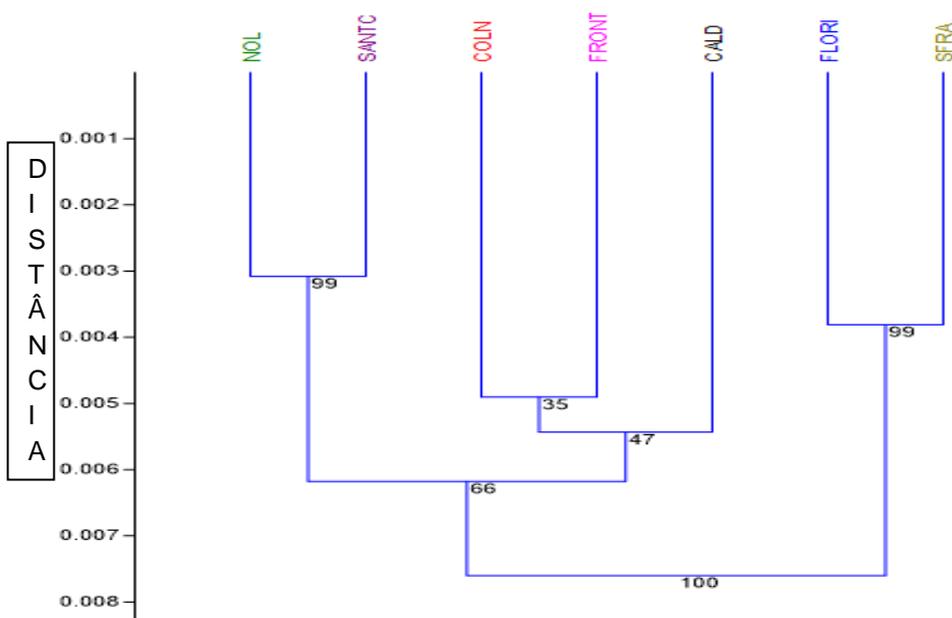
O gráfico de dispersão, com os respectivos eixos que mais contribuíram para a variação dos grupos na PCA, foi obtido com base na média dos municípios. Foi observada a formação de grupos, sendo que esses grupos apresentam distribuição conforme a sua localização em relação à altitude ao longo dos afluentes principais e subafluentes que compõem a bacia do rio Parnaíba (FIGURA 8).

Figura 8- Gráfico de dispersão em relação ao eixo cartesiano estabelecido pelos componentes principais CP1 e CP2. Identificador: Média por município. CALDEIRÃO (Dot.) COLÔNIA DO PIAUÍ (Cross +). FLORIANO (Square). FRONTEIRAS (Filled sq.) NOVA OLINDA (Cross x). SANTANA DO CARIRI (Circle o). SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ (Line -)



O dendrograma gerado corrobora com a distribuição das formas das asas, apresentado no gráfico de dispersão. Apresentando um índice de correlação cofenética alta de 0,8252, o que demonstra uma boa confiabilidade e qualidade no agrupamento (FIGURA 9).

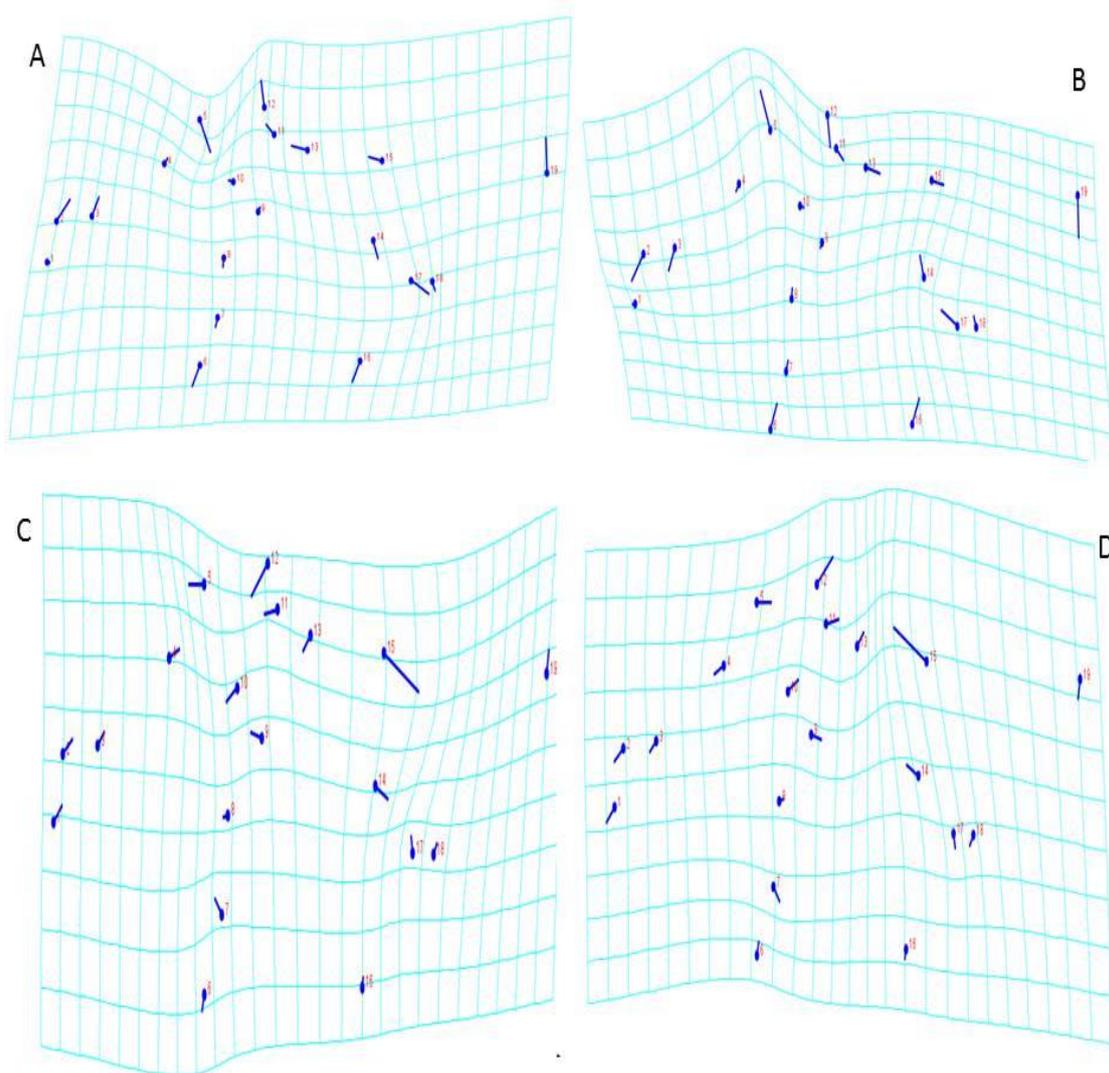
Figura 9 - Dendrograma obtido pelo programa PAST. Destacando a distribuição dos municípios e a formação de dois grupos. Grupo I: Floriano e São Francisco. Grupo II: Demais municípios. Índice de relação cofenética de 82,52%. Bootstrap = 1000.



Os valores dos bootstrap, apresentados permitem a identificação de dois grupos distintos, o grupo dos municípios de baixas altitudes < 170 metros – representado pelos municípios de Floriano e São Francisco do Piauí e um grupo com os demais municípios, os quais estão localizados em altitudes superiores a 200 metros.

A análise das grades de deformação permitiu avaliar o tipo de variação presente nas asas consensos de cada componente principal (FIGURA 10). Dessa forma podemos perceber a tendência da forma das asas de acordo com a distribuição dos municípios no gráfico de dispersão.

Figura 10 - Grades de Deformação para cada componente principal do gráfico de dispersão. A: Forma para valores positivos do componente principal 1. B: Forma para valores negativos do componente principal 1. C: Forma para valores positivos do componente principal 2. D: Forma para valores negativos do componente principal 2.



Nota-se que os municípios de presentes no estado do Ceará (Santana do Cariri e Nova Olinda), apresentam os maiores valores positivos para o componente principal 1 (FIGURA 8), possuindo um formato de asa mais contraído nas interseções das nervuras presentes no ponto 5 (FIGURA 10).

Os municípios de altitude menor (Floriano e São Francisco) assumem valores negativos para o componente principal 2 (FIGURA 8), apresentando o formato da asas com retração nas interseções entre as nervuras dos pontos 15 e 16 (FIGURA 10).

Os municípios piauienses “mais distante do rio Parnaíba” (Fronteiras e Caldeirão), assumem valores positivos para o componente principal 2 (FIGURA 8), apresentando uma expansão maior no formato das asas entre as nervuras marcadas pelos pontos 15 e 16 (FIGURA 10).

Apesar da formação de possíveis grupos distribuídos de acordo com o relevo presente na bacia do rio Parnaíba, nas análises de variáveis canônicas em conjunto com todas as localidades, foram necessárias as primeiras 4 variáveis canônicas para explicar 83% da variação total entre as colônias estudadas (TABELA 4).

Desse modo no gráfico de dispersão verificou-se que existe tendência à separação das populações em localidades que compartilham a mesma bacia hidrográfica ou mesma faixa de relevo/altitude (FIGURA 11). A distribuição dos pontos no gráfico de dispersão gerado a partir das variáveis canônicas permite observar a ocorrência de fluxo gênico entre localidades que compartilham afluentes próximos.

A análise de função discriminante indicou que as das distâncias quadradas de Mahalanobis entre os centroides de distribuição das localidades dos grupos que compartilham o mesmo não se apresentaram estatisticamente significante ($P < 0,05$ – dados não tabelados). O Valor do teste de validação cruzada apresentou taxa de acerto de 60%, com os valores chegando a 80 – 90 % entre as localidades que apresentam a mesma categoria topográfica.

Figura 11 - Gráfico de dispersão em relação ao eixo cartesiano estabelecido pela variáveis canônicas CV1 e CV2. Identificador utilizado: Todas as localidades.

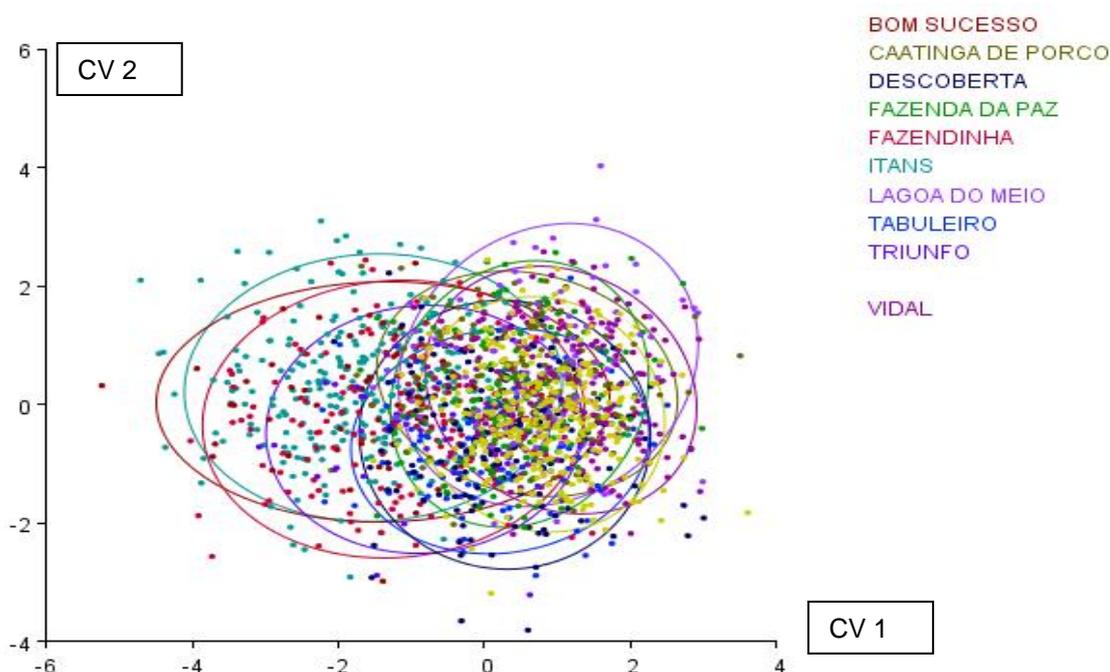


Tabela 4 - Variável canônica, porcentagem da variância e da variância acumulada, obtida com a análise das colônias coletas por localidade.

VARIÁVEL CANÔNICA	AUTOVALORES	% DA VARIÂNCIA	% DA VARIÂNCIA ACUMULADA
1	0,94162272	58,688	58,688
2	0,15276802	9,522	68,210
3	0,12739664	7,940	76,150
4	0,11117743	6,929	83,080
5	0,09371928	5,841	88,921
6	0,06396102	3,986	92,907
7	0,04001839	2,494	95,402
8	0,03647027	2,273	97,675
9	0,02425718	1,512	99,187
10	0,01305166	0,813	100,000

Segundo os valores das distâncias quadradas de Mahalanobis entre os centroides das distribuições das colmeias nos apiários (TABELA 5), as maiores proximidades morfológicas significativas ($P < 0,0001$) são observadas nas localidades, de Itans (São Francisco) e Fazendinha (Floriano), já as menores proximidades morfológicas significativas ($P < 0,0001$) são observadas entre as localidades de Itans (São Francisco) e Lagoa do Meio (Caldeirão do Piauí), esses valores corroboram com as análises realizadas por região e a diferença

na distribuição das populações de acordo com a variação de altitude ao longo da bacia do rio Parnaíba.

Verificou-se pelo teste de Mantel a existência de uma correlação significativa ($p=0,033$) entre as matrizes de forma (distância de Procrustes) e altitude das localidades amostradas. A correlação entre as matrizes de forma (distância de Procrustes) e distância geográfica apresentou valores não significativos ($p= 0,054$). Dessa forma, apesar de não existir grupos completamente distintos dentro e fora do vale, verifica-se que ocorre uma tendência para a distribuição das populações de abelhas africanizadas de acordo com a localização topográfica (variação de relevo) dos apiários ao longo da bacia do rio Parnaíba.

Tabela 5 - Distâncias quadradas de Mahalanobis entre as populações de *Apis mellifera* obtidas através das variáveis canônicas de todas as localidades amostradas. Significância dos testes: *ns* = Não significativo; *a* = significante a 0,05; *b* = significante a 0,01; *c* = significante a 0,0001.

	BOM SUCESSO	CAATINGA DE PORCO	DESCOBERTA	FAZENDA PAZ	FAZ.	ITANS	LAGOA DO MEIO	TABULEIRO	TRIUNFO
CAATINGA	2,5385 ^c								
DESCOBERTA	2,4499 ^c	1,3176 ^c							
FAZENDA DA PAZ	2,4859 ^c	1,0447 ^b	1,3327 ^c						
FAZENDINHA	1,7083 ^b	2,0381 ^c	1,7847 ^c	2,1122 ^c					
ITANS	1,6098 ^b	2,2791 ^c	2,0772 ^c	2,2514 ^c	1,1090 ^c				
LAGOA DO MEIO	2,9988 ^c	1,3338 ^c	1,4925 ^c	1,6873 ^c	2,4785 ^c	2,6028 ^c			
TABULEIRO	2,3612 ^c	1,3465 ^c	0,9894 ^a	1,3966 ^c	1,7592 ^c	2,1177 ^c	1,7749 ^c		
TRIUNFO	4,8804 ^{ns}	5,2814 ^b	5,2337 ^a	5,0482 ^a	5,1457 ^a	5,2336 ^a	5,6805 ^b	5,2405 ^a	
VIDAL	2,8513 ^c	1,0712 ^c	1,4867 ^c	1,4573 ^c	2,3568 ^c	2,6877 ^c	1,2707 ^c	1,5039 ^c	5,1455 ^a

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que a morfometria geométrica foi eficiente nas análises da variação na forma das asas ($p < 0,0001$) dentro das localidades e municípios amostrados, se constituindo como uma importante ferramenta para o estudo populacional.

Estudos realizados na Argentina por Andere et al. (2008), utilizando a morfometria geométrica demonstraram a existência de grupos distintos em regiões temperadas e tropicais. Nunes et al. (2012) em amplo trabalho demonstra que a presença de diferenças morfométricas com base na morfometria da asa está relacionada a um padrão geográfico em cada região brasileira. Esses dados mostram a eficácia da morfometria geométrica na avaliação de diferenças populacionais.

A existência da variação no caráter analisado permite construir várias hipóteses para explicar a distribuição da variabilidade existente, nessa perspectiva podemos perceber como as populações das abelhas africanizadas estão distribuídas ao longo da bacia do rio Parnaíba.

Devido às diferenças geomorfológicas presentes nas áreas amostradas, associada a grande capacidade adaptativa e de ocupação de hábitat variados em ambientes heterogêneos (RUTTNER, 2000), além da a plasticidade fenotípica das abelhas africanizadas (SOUSA et al., 2016), é possível o levantamento de hipóteses sobre os processos micro evolutivos envolvidos na dinâmica populacional, em especial o processo migratório (DINIZ FILHO et al., 2000).

Na análise conjunta com todas as localidades (FIGURA 11), muitos pontos dispersos entre as interseções das elipses, permitem afirmar que não existe uma estrutura populacional estabelecida. A ausência de subdivisão populacional está associada ao elevado fluxo gênico e capacidade enxameatória das abelhas africanizadas (MORETTI, 2014). Desde os primeiros estudos populacionais (KERR, 1967; RUTTNER, 1988) essas características são tratadas como fundamentais na distribuição dessas espécies.

A análise dos componentes principais (FIGURA 8) apresentam os municípios se organizando de acordo com a sua distribuição em relação ao

relevo e a proximidade dos vales de rios da bacia do Parnaíba, corroborando dessa forma com a existência de grupos adaptados a estas condições.

Conte e Navajas (2008) afirmam que a *Apis mellifera* é uma espécie que tem mostrado grande potencial adaptativo em abrangentes aspectos climáticos e topográficos, nessa perspectiva a variação topográfica apresenta um importante papel na influência da forma e tamanho das abelhas africanizadas (SOUSA et al., 2016). Além do fato do estado apresentar uma grande área de transição (PFALTZGRAFF, 2010).

As variações topográficas podem interferir no desenvolvimento dos organismos (HEPBURN et al., 2011). Sendo que a altitude (KLOK et al., 2009) exerce influência tanto no tamanho, quanto na forma das estruturas. Apesar de não apontar uma altitude específica para tal influência Harrison et al., (2010) essa influência pode ser devida ao comprometimento do desenvolvimento em baixo suprimento energético (em virtude do fato de que em altas altitudes o ar se tornar rarefeito) ou a baixa densidade do ar na sustentação do batimento das asas.

A correlação entre as matrizes de distância de Procrustes e de altitude dos municípios indica uma colinearidade dos seus efeitos, dessa forma podemos verificar que a altitude exerce um efeito significativo na distribuição das populações ao longo dos vales (planícies) e regiões de maiores altitudes.

Na comparação entre os municípios mais próximos ao vale (Floriano) e os mais distantes (Nova Olinda – CE e Santana do Cariri- CE) notou-se a organização dos municípios em torno de um perfil de relevo (FIGURA 9), apesar de a dispersão ser resultado de um processo natural (ALMEIDA, 2008) é influenciada pelo clima, época de florada, vegetação, disponibilidade de alimento (SOUZA et al., 2009).

As abelhas africanizadas estão adaptadas a áreas urbanas, bordas de florestas e formações vegetais abertas (OLIVEIRA; CUNHA 2005). Dessa forma, para conseguir os recursos de modo mais fácil para a colmeia é preferível à busca em ambientes abertos sendo preferível que a sua rota de dispersão seja contornando os rios, estradas e as áreas abertas disponíveis.

Sendo assim as abelhas da localidade Itans apresentam um fluxo migratório mais intenso por estarem presentes numa área de planície, com maior disponibilidade para explorar os recursos da região. Em estudo

morfométrico com abelhas africanas Diniz – Filho (2000) afirma que a manutenção do *pool* gênico, tornam os indivíduos de uma determinada região parecidos entre si.

O fato de compartilharem uma região de relevo plano e com rios que fazem parte da mesma bacia, fazem com que as localidades dos municípios de São Francisco e Floriano sejam morfologicamente mais semelhantes (FIGURA 10).

Mesmo a distância em linha reta entre os municípios de Colônia do Piauí e São Francisco do Piauí ser de apenas 41Km, as populações amostradas apresentam diferenças morfológicas, com relação ao formato da asa. A presença de uma mata de transição entre os municípios, além dos efeitos da altitude, pode fazer com que o fluxo migratório seja mais restrito. De acordo com Cardona et al.(2013), a dispersão por dentro de matas e floresta é mais lento.

O fluxo gênico é resultante do movimento de migração e mantém unidos os conjuntos gênicos de populações distintas, aumentando a variabilidade intra populacional e diminuindo a quantidade de divergência genética que pode ocorrer entre elas (HARTL; CLARK, 2010). Após esse processo migratório, os indivíduos apresentam novas expressões fenotípicas, conferindo a população maior ou menor adaptação (CRUZ et al., 2011).

Em abelhas, esse processo ocorre principalmente em decorrência do comportamento enxameatório e pode ter importância tanto no aspecto reprodutivo (caracterizado por ocorrer em condições ótimas ambientais), quanto migratório (relacionado à presença de condições adversas como pouca fonte de alimento e variações climáticas) (ALMEIDA, 2008). Assim, o fluxo/procura de alimento torna-se um dos principais fatores para a expansão populacional.

A fuga e comportamentos de migração para estabelecer populações são responsáveis por frequentes movimentos das colônias no Nordeste (FREITAS, 2007). A florada encontrada na região em determinadas épocas do ano, como por exemplo, marmeleiro, anjico, jurema, exerce influência direta na escolha por novas áreas de exploração de recursos (SOUZA et al., 2009).

Por estar localizado em uma área de rios que secam na maior parte do ano, as localidades dos Municípios de Caldeirão do Piauí e Fronteiras

apresentam um fluxo migratório mais restrito ao longo dos vales. Mesmo assim os resultados do presente trabalho mostram que essas localidades não apresentam grandes diferenças em relação às localidades dos municípios cearenses e Colônia do Piauí.

A razão para essa proximidade pode está relacionada à vida na região da caatinga. Freitas (2007) aponta que durante a estação seca é difícil à obtenção de alimento para as colônias de abelhas. O longo período sem chuva e a escassa floração são exigências para a procura por novas áreas para a obtenção de alimento. Em média apenas 10% das colmeias não fogem ou morrem durante longos períodos de estiagem (SOUSA et al., 2000).

Sendo assim as abelhas africanizadas nidificam nas regiões de clima semiárido durante a estação chuvosa e a abandonam na estação seca (FRETAS 2007). As maiorias dos enxames migram para regiões onde as temperaturas são mais amenas, porém o excesso de chuva nas regiões de clima tropical subúmido, dificulta o comportamento forrageiro (ALEMIDA, 2008) e acaba forçando as colmeias africanizadas a migrarem de volta ao semiárido (MORETTI, 2014). Essa procura por novas áreas pode contribuir para diminuir as diferenças morfométricas entre as localidades desse transecto.

Dessa forma, o comportamento das abelhas pode ser considerado como o produto de uma interação entre fatores genéticos e ambientais (BUGALHO, 2009). Nesse aspecto o conhecimento dos mecanismos genéticos e os fatores ambientais que influenciam se tornam essencial para o conhecimento do controle do comportamento enxameatório.

A compreensão da causa e consequência das variações em distintas populações pode ser explorada em programas de conservação e manejo de recursos genéticos (SOUSA, 2016). A correlação de uma característica vantajosa em um amplo conjunto fenotípico pode ser associada com melhorias no desempenho produtivo das abelhas africanizadas.

Por se tratar das primeiras informações relacionadas à influência da bacia hidrográfica do rio Parnaíba na distribuição das populações de abelhas africanizadas, os dados obtidos fornecem aos apicultores informações mais técnicas e precisas relacionadas ao fluxo migratório das populações, para melhor manejo, além de gerar ensaios para futuros programas de melhoramento na região.

CONCLUSÕES

O presente trabalho comprovou que as abelhas africanizadas que estão em localidades que compartilham a mesma bacia hidrográfica têm o seu fluxo gênico facilitado, de modo que existem grupos adaptados às condições dessas localidades, existindo uma correlação da forma das asas com a progressiva elevação da altitude das regiões.

A variação genética está se organizando na forma de tendências a formação de fenótipos distintos, refletindo em seleção diferenciada da localização próxima ou distante do vale dos rios que fazem parte da bacia do Parnaíba e do efeito topográfico em ambientes diferentes.

Existe variabilidade morfológica das abelhas africanizadas em diferentes regiões do Piauí e fronteiras do Ceará com alta variabilidade genética e intenso fluxo gênico levando a ausência de uma estrutura populacional definida.

REFERÊNCIAS

ABEMEL. Associação Brasileira de Exportadores do Mel Setor Apícola Brasileiro em Números, disponível em: http://brazilletsbee.com.br/inteligencia_nacional_comercial_abemel_abril_2010.pdf. Acessado em maio de 2016.

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1969.

ALMEIDA, Gesline Fernandes. (2008). Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas. Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

ANDERE, C.; GARCÍA, A. C.; MARINELLIA, C.; CEPEDA, R.; RODRIGUEZ, E. M. Morpho-metric variables of honeybees *Apis mellifera* used in ecotypes characterization in Argentina. **Ecological modeling**. 214: 53–58, 2008.

BLOCH, G.; FRANCOY, T. M.; WACHTEL, I. ; PANITZ-COHEN, N. ; FUCHS, S. ; MAZAR, A. Industrial apiculture in the Jordan valley during Biblical times with Anatolian honeybees. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 107:11240-11244, 2010.

BRANCHICCELA, B.; AGUIERRE, C.; PARRA, G.; ESTAY, P.; ANTUNEZ, K. Genetic changes in *Apis mellifera* after 40 years of Africanization. **Apidologie**. 45: 752-756, 2014.

BRASIL. Companhia do desenvolvimento dos vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf. In: Plano de Ação para o desenvolvimento integrado da bacia do Parnaíba. Brasília, DF: 2006, 130p.

BUGALHO, Vanessa Andrade. (2009). Influência das precipitações pluviométricas e da atividade forrageira das abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) no comportamento higiênico. Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP.

CARANTÓN, Omar Arvey Martínez. (2012). Melhoramento Genético e seleção de colmeias para aumento da produção de própolis verde na apicultura comercial. Tese apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

CARDINAL, S.; DANFORTH, B. N. Bees diversified in the age of eudicots. **Biological Sciences**. 260: 15-30, 2013.

CARDONA, A. G.; GONZALES, J. P. A.; MARCHAND, B. R.; GIRAY, T. Genetic structure of the gentle Africanized honey bee population in Puerto Rico. **14: 65-76, 2013.**

COLLET, Thaís. (2004). Estrutura genética das populações de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) do Brasil determinada por meio de polimorfismo do DNA mitocondrial. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de São Carlos.

COLLET, T.; FERREIRA, K.M.; ARIAS, M.C.; SOARES, A. E. E.; DEL LAMA, M. A. Genetic structure of Africanized honeybee populations (*Apis mellifera* L.) from Brazil and Uruguay viewed through mitochondrial DNA COI–COII patterns. **Heredity**. 97: 329–335, 2006.

COLLET, T., CRISTIANO, A.S., QUIROGA, C.F.P., SOARES, E.E., LAMA, M.A. Genetic structure of drone congregation areas of Africanized honeybees in southern Brazil. **Genetic Molecular Biology**. 32: 857 – 863m 2009.

CONTE, L.Y.; NAVAJAS, M. A. Climate change: impact on honey bee populations and diseases. **Revue scientifique et technique**. 27: 499-510. 2008.

CORREIA-OLIVEIRA, E. M. Manejo da agressividade de abelhas africanizadas: Serie: Produtor Rural, n,33, p.38, Piracicaba, ESALQ/USP: 2012.

CRISTIANO, Alexandre dos Santos. (2003). Aspectos reprodutivos envolvidos no processo de africanização das abelhas *Apis mellifera* no Brasil. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

CRUZ C. D.; FERREIRA F.M.; PESSONI L.A. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética* 1.ed. Viçosa:Suprema, 2011.

DANFORTH, B.N.; SIPES, S.; FANG, J.; BRADY, S.G. The history of early bee diversification based on five genes plus morphology, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 103: 15118–15123, 2006.

DINIZ – FILHO, J.A.; BINI, L.M. Space free correlation between morphometric and climatic data: a multivariate analysis of Africanized honey bees (*Apis mellifera* L) in Brazil Global Ecology. **Biogeogr**. 4: 194-202, 1994.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; Malaspina, O. Evolution and population structure of Africanized honey bees in Brazil: evidence from spatial analysis of morphometric data. **Evolution**. 49:1172-1179, 1995.

DINIZ-FILHO, JOSÉ A. F. Spatial analysis of morphological variation in African honeybees (*Apis mellifera* L.) on a continental scale. **Apidologie**. 31:191-204, 2000.

DINIZ, N.M., SOARES, A.E.E., SHEPPARD, W.S., LAMA, M.A. Genetic structure of honeybee populations from southern Brazil and Uruguay. **Genetic and Molecular Biology**. 26:47-52, 2003

DUJARDIN, J.P.; GEMI, I.R.D. Modern morphometrics of medically important insects. **Genetic and Evolution of Infectious Diseases**. 10: 473-801, 2011.

FAROOQUI, T. A potential link among biogenic amines-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: A unique hypothesis. **Neurochemistry international**. 62:122-136, 2013.

FERREIRA, K. M.; LINE, E.; SALVIA, O.; Arias, M.C.; Del Lama, M.A. Cytochrome-b variation in *Apis mellifera* samples and its association with COI-COII patterns. **Genetics**. 135:149-155, 2008.

FRANCOY, T. M. (2007). Variabilidade genético-morfológica em populações neotropicais de *Apis mellifera*. Tese de doutorado, apresentada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/ USP.

FRANCOY, T. M.; WITTMANN, D.; DRAUSCHKE, M. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: two fast and efficient procedures. **Apidologie**. 39: 488-494, 2008.

FRANCOY, T. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. A Morfometria Geométrica De Asas e a Identificação Automática De Espécies De Abelhas. **Oecologia Australis**, 14:317-321, 2010.

FRANCOY, T.M., GONÇALVES, L.S., DE JONG, D. Rapid morphological changes in populations of hybrids between Africanized and European honey bees. **Genetic Molecular Research**. 11: 3349-3356, 2012.

FRANK, P.; GARNERY, L.; CELEBRANO, G.; SOLIGNAC, M. Hybrid origins of honeybees from Italy (*Apis mellifera ligustica*) and Sicily (*Apis mellifera sicula*). **Molecular Ecology**. 9:907-921, 2000.

FREITAS, B. M. Absconding and migratory behaviors of feral Africanized honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies in NE Brazil. **Acta Sci. Biol. Sci. Maringá**. 29:381-385, 2007.

GONÇALVES, L. S. A influência do comportamento das abelhas africanizadas na produção, capacidade de defesa e resistência a doenças. In: I ENCONTRO SOBRE ABELHAS DE RIBEIRÃO PRETO, 1994, Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, p. 69-79, 1994.

GONÇALVES, L.S. The big challenge development of beekeeping with Africanized honey bees in northeast Brazil. In: VII Encontro sobre Abelhas, 2004, Ribeirão Preto, p.241-247, 2004.

GRASSI, M.L. (2009). Discriminação morfométrica de 26 subespécies de *Apis mellifera* L. e abelhas Africanizadas por técnicas de morfometria tradicional, morfometria geométrica e sistema ABIS de identificação automática de espécies. Dissertação apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/ USP.

GRUBER, Karl. Distinct subspecies or phenotypic plasticity? Genetic and morphological differentiation of mountain honey bees in East Africa. **Ecology and evolution**. 3:3204-3218, 2013.

HARTL, D.L.; CLARK, A.G. **Princípios de Genética de Populações**. 4ªed. Artemed:2010.

KEKECOGLU, M.; SOYSAL, M.I. Genetic Diversity of ecotypes in Turkey and evidence for geographical differences. **Romanian Biotechnological Letters**. 15: 5647- 5650. 2010.

KERR, W.E. The history of introduction of African bees to Brazil. **South African Bee Journal**. 39: 3-5, 1967.

KLEIN, A.M.; VAISSIÈRE, B. E.; CANE, J. H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society** .274: 303–313, 2007.

KLINGENBERG, Christian Peter. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. **Elsevier Science**. 287: 3-10, 2002.

KLINGENBERG, Christian Peter. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. **Natural Reviews Genetics**. 11: 623-635, 2010.

KLINGENBERG, C. P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. **Molecular ecology resources**. 11:353-357, 2011.

LOCKE, Barbara. *Varroa destructor*. **Applied and environmental microbiology**. 78: 227-235, 2012.

MAGALHÃES, C, B.; FREITAS, B, M. Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. **Apidologie**.44:234-239, 2013.

MIGUEL, I.; BAYLAC, M.; MIKEL, I. Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch. **Apidologie**. 42:150–161, 2011.

MORAES, D. A. A Morfometria Geométrica e a sua “Revolução na Morfometria”: localizando e visualizando mudanças na forma dos organismos. **Bioletim**.v.1, n. 3. 2003.

MORETTI, C.J. (2014). Dinâmica populacional em populações de abelhas Africanizadas (*Apis mellifera* L.) no Nordeste brasileiro. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

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

NUNES, L. A. (2012). Estruturação populacional, variações fenotípicas e estudos morfométricos em *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) no Brasil. Tese de doutorado apresentada a Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”.

NUNES, L.; ARAÚJO, E.D.; MARCHINI, L.C.; MORETI, A.C.C. Variation morphometrics of Africanized honey bees (*Apis mellifera*) in Brazil. **Iheringia Serier Zoologia.** 102: 321 – 326, 2012.

OLIVEIRA, M.L.; CUNHA, J.A.; Abelhas Africanizadas *Apis mellifera scutellata* Lepeletier 1836 (Hymenoptera: Apidae: Apinae) exploram recursos da floresta Amazônica? **Acta Amazonica.** 35: 389-394, 2005.

PARADA, E.; CLAUDE, J.; STRIMMER, K. APE: analyses of phylogenetics and evolution in R language. **Bioinformatics.** 20: 289-290, 2004.

PARKER, Robert. Ecological adaptation of diverse honey bee (*Apis mellifera* L.) populations. **PloSone.** 5: 96-110, 2010.

PEREIRA, F. M.; LOPES, M. T. R.; CAMARGO, R. C. R.; VILELA, S. L. O. (2002). Embrapa Produção de mel. Embrapa. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br>. Acessado em 10 de março de 2016.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos (Org.). *Geodiversidade do Estado do Piauí: Programa Geologia do Brasil.* Recife, 2010. 260p.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>.

RENNER, S.S.; SCHAEFER, H. The evolution and loss of oil – flowers: new insights from dated phylogenies for angiosperms and bees. **Biological Sciences.** 365: 423 – 435, 2010.

RIZZARDO, R. A. G. ; MILFONT, M. O. ; SILVA, E. M. S. ; FREITAS, B. M. *Apis mellifera* pollination improves agronomic productivity of anemophilous castor bean (*Ricinus communis*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** 84:605-608, 2012.

ROHLF, F. J. On applications of geometric morphometrics to studies of ontogeny and phylogeny. **Systematic biology.** 47, 47-58, 1998.

ROHLF, F. J. **tpsUtil.** New York - USA: Department of Ecology and Evolution, State University of New York, 2005a.

ROHLF, F. J. **tpsDig.** New York - USA: Department of Ecology and Evolution, State University of New York, 2005b.

RUTTNER, F.; ELMI, M. P.; FUCHS, S. Ecoclines in the Near East along 36° N latitude in *Apis mellifera* L. **Apidologie**. 31: 157-165. 2000.

RUTTNER F. 1988. *Biogeography and taxonomy of honeybees*. Springer Verlag, Berlin

SANTIAGO, A.R. (2013). Divergências Morfométricas e Comportamentais em *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal de Sergipe.

SCHLIEP, K.P. Phangorn: Phylogenetic analysis in R. **Bioinformatics**, 27: 592-593, 2011.

SCHNEIDER, S.S.; HOFFMAN, G.D.; SMITH, D.R. The African honey bee: factors contributing to a successful biological invasion. **Annual Review Entomology**. 49: 351-376, 2004.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Setor Apicultura, disponível: http://www.sebrae.com.br/setor/apicultura_2014, acessado 10 de março de 2016.

SIDRA. Sistema IBGE de recuperação automática. 2014.– Produção Pecuária Municipal. www.sidra.ibge.gov.br. Acessado em março de 2016.

SOUSA, R.M. et al. *Seasonal changes in Africanized honey bee (Apis mellifera L.) population of the caatinga vegetation in NE Brazil*. In: ERICKSON JR., E.H. et al. International conference on africanized honey bees and bee mites. The A.I. Root Company, 2000. p. 16-24.

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

SOUZA, D. L., EVANGELISTA-RODRIGUES, A., RIBEIRO, M. N., PADILLA-ÁLVAREZ, E. S. L. F., & PEREIRA, E. W. E. Análise morfométrica entre *Apis mellifera* na mesorregião do sertão paraibano. **Archivos de zootecnia**, 58:65-71, 2009.

STRAUS, K.; The role of the queen mandibular gland pheromone in honeybees (*Apis mellifera*): honest signal or suppressive agent? **Behavioral Ecology and Sociobiology**. 62: 1523-1531, 2008.

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

TOFILSKI, A. Shorter lived workers start foraging earlier. **Insect socialia**. 56: 359-366, 2009.

TOLEDO, V., RUVOLOTAKASUSUKI, M. C. C., BAITALA, T. V., Costa-Maia, F. M., Pereira, H. L., Halak, A. L., Malerbo-Souza, D. T.. Pollination by honeybees (*Apis mellifera* L.) in orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Scientia Agraria Paranaensis**, 12: 236-246, 2013

USDA. United States Departamento of Agriculture. *ARS Honey Bee Health and Colony Collapse Disorder*. Disponível em: [HTTP://www.ars.usda.gov/news/docs](http://www.ars.usda.gov/news/docs). Acessado em 20/03/16.

VICINE, Lorena. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: CCNE, 2005, 215p.

VIDAL, Maria de Fátima. Efeitos da seca de 2012 sobre a apicultura nordestina. **Informe Rural**, n.2, 2013.

VILELA, S. L. **Cadeia produtiva do mel no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 20

