



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS/ZOOLOGIA**

**DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA,
HEXAPODA) NO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: A INFLUÊNCIA DOS
FATORES AMBIENTAIS E ESPACIAIS E A DESCRIÇÃO DE NOVOS TÁXONS**

AILA SOARES FERREIRA

**João Pessoa-PB
2018**

AILA SOARES FERREIRA

**DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA,
HEXAPODA) NO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: A INFLUÊNCIA DOS
FATORES AMBIENTAIS E ESPACIAIS E A DESCRIÇÃO DE NOVOS TÁXONS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas/Zoologia da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do grau de Doutora em Ciências Biológicas (Zoologia).

**DR. DOUGLAS ZEPPELINI
ORIENTADOR**

**DR. ALEXANDRE VASCONCELLOS
2º ORIENTADOR**

**DR. JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS
COORIENTADOR ESTRANGEIRO**

**João Pessoa-PB
2018**

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

F383d Ferreira, Aila Soares.

Diversidade e distribuição de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil: a influência dos fatores ambientais e espaciais e a descrição de novos táxons / Aila Soares Ferreira. - João Pessoa, 2018.

131 f. : il.

Orientação: Douglas Zeppelini, Alexandre Vasconcellos.
Tese (Doutorado) – UFPB/CCEN.

1. Beta diversidade. 2. Fauna edáfica. 3. Gradientes geográficos. 4. Métodos de coleta. 5. Região Neotropical. 6. Riqueza de espécies. I. Zeppelini, Douglas. II. Vasconcellos, Alexandre. III. Título.

UFPB/CCEN

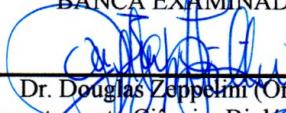
AILA SOARES FERREIRA

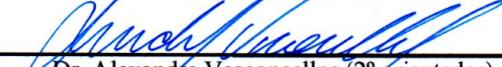
**DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA)
NO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: A INFLUÊNCIA DOS FATORES AMBIENTAIS E
ESPACIAIS E A DESCRIÇÃO DE NOVOS TÁXONS**

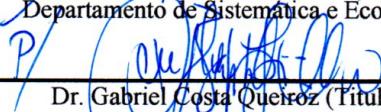
Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Doutora em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 15/06/2018

BANCA EXAMINADORA


Dr. Douglas Zeppelini (Orientador)
Departamento Ciências Biológicas – UEPB


Dr. Alexandre Vasconcellos (2º orientador)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB

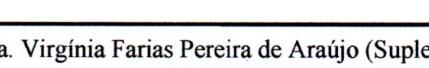

Dr. Gabriel Costa Queiroz (Titular externo)
Museu Nacional – UFRJ


Dr. Alessandre Pereira Colavite (Titular externo)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB


Dr. Antônio José Creão-Duarte (Titular interno)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB


Dr. Pablo Riu (Titular interno)
Departamento de Engenharia e Meio Ambiente – UFPB


Dra. Virgínia Farias Pereira de Araújo (Suplente externo)
UNIVASF


Dr. Marcio Bernardino da Silva (Suplente interno)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe,
Francísca Soares.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Douglas Zeppelini, pela orientação e confiança ao longo de quase 10 anos de caminhada acadêmica.

Ao meu 2º orientador, Prof. Dr. Alexandre Vasconcellos, pela orientação e ensinamentos em ecologia. Agradeço a sua dedicação, confiança e paciência a mim dispensadas. Alexandre, sua orientação influenciou meu caminho acadêmico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de Pós-Graduação e o auxílio financeiro durante o período do doutorado sanduíche.

Aos Professores da Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), pelos ensinamentos valiosos e atenção dispensada no decorrer do curso.

A Josias Xavier, secretário da Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), sempre solícito com todos os alunos. Agradeço também a sua enorme ajuda durante a inscrição do doutorado sanduíche.

Ao Quarteto Fantástico, Ana Cláudia, Carolina Liberal e Matilde Ernesto, não encontro palavras para agradecer toda parceira durante esses quatro anos de coleta. Tenho guardado na memória todos os momentos de ajuda, carinho e cuidado. Nossas histórias de campo dar um livro de comédia e aventura. Muito obrigada!

Ao Sr. Guilherme, responsável pelo agendamento dos transportes do CCEN, agradeço por sua sensibilidade nos momentos de dificuldades. Aos Srs. Mozart, Rochael, Izaquiel e Ronaldo, motoristas da UFPB que sempre dispostos a nos ajudar no trabalho de campo.

À Amanda Loyse e Nilson Mimoso, que nos ajudaram em quase todos os campos.

Aos que ajudaram na realização do trabalho de campo: Helder Araújo, Arnaldo Vieira, Israel da Silva, Flavia Moura, Ruan Navaro, Dalyne Teles, Aline Lourenço, Izabella Braga, Alessandre Colavite, Geovane Gomes, Rembrandt Rothea, Ana Márcia, Giácomo Raphael, Janderson Alencar, Joafrâncio Araújo, Seu Chico e D. Lourdinha, Washington Vieira, Vancarder Brito, Alane Couto, Seu Caetano e Mariano Ferreira.

A todos os mateiros e guias pela ajuda de campo nas coletas.

Aos colegas do Laboratório LSCC (Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação) – UEPB e LabTermes (Laboratório de Termitologia) – UFPB que contribuíram direta ou indiretamente com esse trabalho. Em especial, Roniere Brito, João Victor Lemos e Estevam Araújo, pelo apoio e sugestões. A Rozzanna Figueiredo e Matilde Ernesto pela parceria e amizade.

Aos que ajudaram na identificação taxonômica: Dr. Gabriel Queiroz, com os Poduromorpha; A Dra. Maria Cleide Mendonça com a revisão da família Isotomidae; Dra. Nerivania Godeiro com as espécies do gênero *Seira*. E aos demais colegas do LSCC, que estavam sempre dispostos a tirarem dúvidas taxonômicas.

Ao meu amigo Wallace São-Mateus, agradeço a sua enorme ajuda e paciência, com todas as minhas dúvidas em relação ao doutorado sanduíche, por indicar a casa de Celina e pelo apoio nos momentos difíceis do doutorado. Muito obrigada!

À Alane Couto, Marianna Barbosa, William Fabiano e Jéssica Prata pelas trocas de informações e apoio durante o período do sanduiche.

Aos colegas da Pós-Graduação Rafaela Farias, Valberta Cabral, Renata Marinho, Hannah Nunes e aos demais que ajudaram diretamente ou indiretamente.

Ao Dr. José G. Palacios Vargas, por aceitar ser meu orientador durante o período do doutorado sanduíche. Obrigada por ensinar como a taxonomia é uma ciência encantadora.

Aos integrantes do Laboratório Ecología y Sistemática de Microartrópodos – UNAM. Em especial, Dra. Blanca Mejía, Ricardo Mendoza, Angela Arango, Maira Cruz, Luis Fernando, Isaac Cruz, Elihu Catalan e Elida Patricia. ¡Muchas gracias por todo!

A Fernando Queiroga, agradeço a sua afável convivência e apoio durante todo esse período.

Ao grupo de Capoeira Brasil do Formando Ligeirinho, obrigada por mostrar que a capoeira não é só uma luta e sim uma filosofia de vida deixada pelos nossos antepassados.

Às minhas amigas Shirley Mesquita, Noadia Priscila, Priscyla Mariz, Melina Rodrigues e Rafaela Duarte, pela amizade, palavras de incentivo e pelos cafés compartilhados.

À minha mãe Francisca Ferreira e meu irmão Wagner Ferreira por compreender a minha ausência durante esse período.

A Vancarder Brito, meu companheiro de vida, agradeço sua compreensão e suporte durante esse período de estresses e ausências. Agradeço também toda sua dedicação por nós e pelos momentos de jazz na varanda. Você, Pepe e Fidel tornaram essa caminhada mais leve.

Aos professores da banca de qualificação e banca final por gentilmente terem aceito o convite e pelas valiosas contribuições que certamente ajudaram a enriquecer este trabalho.

A todos que ficaram ausentes desta lista, que porventura tenha esquecido de citar seus nomes e que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Um dos principais objetivos das pesquisas em biodiversidade é compreender os padrões de distribuição das espécies, identificando as escalas em que os processos ecológicos ocorrem. O objetivo desse estudo foi caracterizar as taxocenose de Collembola em áreas de Caatinga e de Mata Atlântica na Paraíba, avaliando como as características espaciais e ambientais influenciam a riqueza de espécies, abundância de indivíduos e composição da fauna; e avaliar o desempenho e complementaridade de três métodos de coleta da fauna edáfica de Collembola; bem como, descrever possíveis espécies novas. O estudo foi desenvolvido em oito áreas no estado da Paraíba. As coletas foram realizadas no período chuvoso, em cada área foram selecionados 10 pontos distantes no mínimo 100m um do outro. A captura dos espécimes foi realizada com o auxílio do aspirador entomológico, armadilhas de queda (*pitfall traps*) e extrator de Winkler. Para a avaliação da estatística dos dados foi realizada a análise de Redundância Parcial (pRDA) com particionamento aditivo para determinar a influência relativa das variáveis ambientais e espaciais sobre a composição da taxocenose de Collembola. O escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) foi utilizado para descrever e interpretar os principais gradientes de influência sobre a composição das taxocenoses de Collembola. Para verificar a complementariedade das metodologias de coleta da fauna de Collembola foram realizados NMDS para áreas de floresta úmida e seca e uma análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) entre os métodos. Foram coletados um total de 28.382 indivíduos de colêmbolos, distribuídos em 69 espécies, 37 gêneros e 13 famílias. As variáveis ambientais e espaciais explicaram 68% da variação da composição da fauna de Collembola, sendo 28% explicada pela componente ambiental, 12% pelo componente espacial e 28% pelo componente compartilhado. O NMDS mostrou dois grupos distintos, formado pelas áreas de floresta úmida e o outro de floresta seca, possivelmente revelando uma falta de conectividade entre esses ambientes. Sendo assim, as variáveis ambientais estruturadas espacialmente foram determinantes na composição da taxocenose de Collembola. A armadilha de pitfall foi a metodologia com melhor desempenho em todos os parâmetros analisados, sendo indicada como método de coleta para fauna de Collembola em áreas de floresta seca e úmida. Três novas espécies do gênero *Denisiella* foram descritas para o Brasil. Os tibiotarsus dos machos de *Denisiella* apresentaram diferentes formas na sua estrutura, revelando importantes caracteres taxonômicos.

Palavras-chave: Beta diversidade. Fauna edáfica. Gradientes geográficos. Métodos de coleta. Região Neotropical. Riqueza de espécies.

ABSTRACT

One of the main objectives of biodiversity research is to comprehend the distribution patterns of species, identifying the scaled in which ecological processes occur. The aim of this study is to characterize the Collembola assemblage in Caatinga and Atlantic Forest environments in Paraíba, evaluating how the spatial and environmental characteristics influence species richness, abundance and faunal composition; as well as evaluating the performance and complementarity of three sampling methods for edaphic Collembola fauna; and lastly, describe new species. The study was conducted in eight areas in the state of Paraíba. Samplings were performed during rainy season, choosing 10 points in each area distant 100m from each other. The specimens were collected using entomological aspirator, pitfall traps and Winkler extractor. The Partial Redundancy analysis (pRDA) with additive partitioning was used to determine the relative influence of environmental and spatial variables on assemblage composition. The Non-Metric Dimensional Scaling (NMDS) was used to describe and interpret the main gradients that exerted influence over the composition of the Collembola assemblies. To verify the complementarity of the sampling methods, NMDS analysis were performed for dry and humid forest areas, and a non-parametric Analysis of Variance with permutations (PERMANOVA) to compare between methods. A total of 28,382 springtail individuals, distributed in 69 species, 37 genera and 13 families were captured. The environmental and spatial variables explained 68% of the variation in faunal composition, with 28% explained by the environmental component, 12% by the spatial component, and 28% by a shared component. The NMDS revealed two distinct groups, one formed by the humid forest areas, and the other by the dry forests, possibly revealing a lack of connectivity between the two environments. Thus, the spatially structured environmental variables were determinants of the faunal composition for Collembola. Pitfall traps were the method with the best performance in all analyzed parameters, being indicated as the sampling method for Collembola in humid and dry forest areas. Three new species from the genus *Denisiella* were described for Brazil. The tibiotarsus of the male specimens of *Denisiella* presented different structures, revealing important taxonomic characteristics.

Keywords: Beta diversity. Edaphic fauna. Geographic gradients. Neotropics. Sampling methods. Species Richness.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 01

Figura 1.1:	Mapa de localização das oito áreas de coletas no estado da Paraíba. 1. Mata do Buraquinho, João Pessoa; 2. Usina São João, Santa Rita; 3. RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé; 4. Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia; 5. RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros; 6. Serra de São Bentinho, São Bentinho; 7. Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada; 8. Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras.....	35
Figura 1.2:	Armadilhas de queda (<i>pitfalls traps</i>) na Serra de Santa Catarina, Paraíba, Brasil. Foto: Matilde Ernesto.....	39
Figura 1.3:	Aspirador entomológico e bandeja usados na coleta.....	39
Figura 1.4:	Extrator de Winkler na Serra de Santa Catarina, Paraíba, Brasil.....	40
Figura 1.5 A-C:	Medidas das variáveis ambientais: solo e vegetação. A- Porção de solo retirada para análise de umidade e fertilidade; B- Estimador de cobertura vegetal; C- Altura da serapilheira.....	42
Figura 1.6:	Diagrama de Venn da variação da partição de um conjunto de dados resposta entre os dois conjuntos de variáveis explanatórias X e W. A fração [a] corresponde à porcentagem de variação explicada exclusivamente pelas variáveis ambientais. A interseção [b] representa a porcentagem de variação explicada pelo efeito compartilhado dos preditores ambientais e espaciais. Fração [c] representa a variação explicada exclusivamente pelos preditores espaciais. (Adaptado de BORCARD et al. 2011).....	44
Figura 1.7 A-B:	A. Riqueza de espécie de Collembola em oito áreas da Paraíba. B. Abundância de Collembola em oito áreas da Paraíba, no período chuvoso de 2014 a 2017. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).....	47
Figura 1.8:	Riqueza observada e riqueza estimada de Collembola na Mata do Buraquinho, João Pessoa; Usina São João, Santa Rita; RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé e Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia, Paraíba, Brasil.....	53

Figura 1.9:	Riqueza observada e riqueza estimada de Collembola na RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros; Serra de São Bentinho, São Bentinho; Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada e Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.....	54
Figura 1.10:	Regressões lineares simples entre a riqueza de espécies de Collembola e a variáveis preditoras em oito áreas na Paraíba, Brasil. Matéria orgânica do solo ($R^2 = 0.72$; $R^2_{adj} = 0.67$; P–valor = 0.007); Cobertura do dossel ($R^2 = 0.53$; $R^2_{adj} = 0.45$; P–valor = 0.04); Temperatura media anual (°C) ($R^2 = 0.10$; $R^2_{adj} = -0.045$; P–valor = 0.43); Precipitação media anual ($R^2 = 0.10$; $R^2_{adj} = -0.043$; P–valor = 0.43); P (Fósforo) ($R^2 = 0.24$; $R^2_{adj} = 0.11$; P–valor = 0.21); Variável espacial ($R^2 = 0.12$; $R^2_{adj} = -0.025$; P–valor = 0.39).....	55
Figura 1.11:	Resultados da fração da partição da variabilidade da composição das espécies de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. Os resultados são baseados em análise de redundância. Os valores apresentados são de R^2 ajustados das variáveis ambientais [a], variáveis espaciais [c] e o componente partilhado [b], sendo [d] a parte não explicada.....	57
Figura 1.12:	Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Morisita da fauna de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).....	58
Figura 1.13:	Decaimento da similaridade da taxocenose de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil em função da distância entre locais de amostragem. As linhas representam as curvas de regressão logarítmica.....	59
CAPÍTULO 02		
Figura 2.1:	Riqueza de espécies observada em quatro áreas de floresta úmida, no estado da Paraíba, Brasil. Os círculos representam a riqueza de espécies observada (Sobs) e as barras o intervalo de confiança 95%.....	88
Figura 2.2:	Riqueza de espécies observada em quatro áreas de floresta seca, no estado da Paraíba, Brasil. Os círculos representam a riqueza de espécies observada (Sobs) e as barras o intervalo de confiança 95%.....	89

Figura 2.3:	Diagrama de Venn ilustrando a riqueza de espécies exclusivas por cada método de coleta, armadilha de pitfall, aspirador entomológico, extrator de Winkler e suas possíveis combinações em quatro áreas de floresta úmida no Estado da Paraíba, Brasil.....	91
Figura 2.4:	Diagrama de Venn ilustrando a riqueza de espécies exclusivas por cada método de coleta, armadilha de pitfall, aspirador entomológico, extrator de Winkler e suas possíveis combinações em quatro áreas de floresta seca no Estado da Paraíba, Brasil.....	92
Figura 2.5:	Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Bray-curtis da taxocenose de Collembola em quatro áreas de floresta úmida no estado da Paraíba, Brasil. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia).....	93
Figura 2.6:	Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Bray-curtis da taxocenose de Collembola em quatro áreas de floresta seca no estado da Paraíba, Brasil. FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).....	93
CAPÍTULO 03		
Figures 1–4:	<i>Denisiella rhizophorae</i> sp. nov.: 1, Ant. II; 2, Ant. III; 3, Ant. IV; 4, Ant. I.....	112
Figures 5–7:	<i>Denisiella rhizophorae</i> sp. nov.: 5, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 6, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus; 7, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus.....	113
Figures 8–11:	<i>Denisiella rhizophorae</i> sp. nov.: 8, frontal cephalic cheatotaxy; 9, posterior chaetotaxy of dens; 10, anterior chaetotaxy of dens; 11, mucro.	114
Figure 12 A–H:	<i>Denisiella rhizophorae</i> sp. nov.: Scanning Electronic Microscope (photos). A, eyes: 6 + 6 ommatidia; B, Ant. II and Ant. III clasping organ; C, Ant. IV; D, four sensilla of tibiotarsus I; E, unguis III without inner tooth; F, unguis II with pseudonychia; G, serrate spine-like setae of tibiotarsus III; H, mucro.....	115

Figures 13–16: <i>Denisiella betschi</i> sp. nov.: 13, Ant. II; 14, Ant. III; 15, Ant. IV; 16, Ant. I.....	118
Figures 17–19: <i>Denisiella betschi</i> sp. nov.: 17, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 18, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 19, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus.....	119
Figures 20–24: <i>Denisiella betschi</i> sp. nov.: 20, frontal cephalic cheatotaxy; 21, chaetotaxy of small abdomen and genital plate of male in lateral view; 22, posterior chaetotaxy of dens; 23, anterior chaetotaxy of dens; 24, mucro.....	120
Figure 25 A–F: <i>Denisiella betschi</i> sp. nov.: Scanning Electronic Microscope (SEM). A, eyes: 6 + 6 ommatidia; B, four sensilla of tibiotarsus I; C, polycarinate seta of tibiotarsus II; D, serrate spine-like setae of tibiotarsus III; E, unguis III with inner tooth; F, mucro.....	121
Figures 26–29: <i>Denisiella caatingae</i> sp. nov.: 26, Ant. II; 27, Ant. III; 28, Ant. IV; 29, Ant. I.....	124
Figures 30–32: <i>Denisiella caatingae</i> sp. nov.: 30, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 31, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 32, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus.....	125
Figures 33–36: <i>Denisiella caatingae</i> sp. nov.: 33, frontal cephalic cheatotaxy; 33a, nasal organ in detail; 34, posterior cheatotaxy of dens; 35, anterior chaetotaxy of dens; 36, mucro.....	126

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 01

Tabela 1.1:	Áreas coletadas no estado da Paraíba no período chuvoso de 2014 a 2017. Altitude média foi calculada a partir dos dados georreferenciado por meio do uso de GPS portátil em cada ponto.....	34
Tabela 1.2:	Riqueza de espécies e abundância de Collembola em oito áreas da Paraíba, no período chuvoso de 2014 a 2017. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).....	48
Tabela 1.3:	Valores dos estimadores de abundância ACE e Chao 1 e de incidência Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap, ICE, em oito áreas no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media ± DP) media mais desvio padrão.....	52
Tabela 1.4:	Análise de Redundância Parcial da variação explicada da taxocenose de Collembola nas oito áreas coletadas no estado da Paraíba, Brasil. G.I.- graus de liberdade.	56
Tabela 1.5:	Correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e espaciais e os escores do escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) da composição de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. * P<0,05.....	58

CAPÍTULO 02

Tabela 2.1:	Collembola edáficos amostrados por pitfall (Pit), aspirador entomológico (Asp) e extator de Winkler (Win) em quatro áreas de floresta úmida, Paraíba, Brasil. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia).....	79
Tabela 2.2	Collembola edáficos amostrados por pitfall (Pit), aspirador entomológico (Asp) e extator de Winkler (Win) em quatro áreas de floresta seca, Paraíba, Brasil. FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de	

Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).....	83	
Tabela 2.3	Valores dos estimadores de riqueza de espécies de Collembola amostrados por pitfall (Pit), aspirador entomológico (Asp) e extator de Winkler (Win) em quatro áreas de floresta úmida no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media ± DP) media mais desvio padrão. MTB (Mata do Buraquinho, João Pessoa), USJ (Usina São João, Santa Rita), FAP (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), MPF (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia). *Métodos de coletas que capturam menos de cinco espécies, não foram realizadas análises de estimativas.....	86
Tabela 2.4	Valores dos estimadores de riqueza de espécies de Collembola amostrados por pitfall (Pit), aspirador entomológico (Asp) e extator de Winkler (Win) em quatro áreas de floresta seca no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media ± DP) media mais desvio padrão. FAA (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), SSB (Serra de São Bentinho, São Bentinho), SSC (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), ENA (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras). *Métodos de coletas que capturam menos de cinco espécies não foram realizadas análises de estimativas...	87
Tabela 2.5:	Análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) com base na similaridade de Bray-curtis, com 9999 permutações, entre a taxocenose de Collembola coletada com três métodos de captura em áreas de floresta úmida e seca no estado da Paraíba, Brasil. Na floresta úmida: F-valor = 2.978; P-valor = 0.001. Na floresta seca: F-valor = 2.026; P-valor = 0.0008. * P<0,05.....	95
Tabela 2.6:	Índice de complementaridade (ϵ) e índice de similaridade de Jaccard (sem destaque) entre a composição da taxocenose de Collembola coletada com três métodos de capturada em áreas de floresta úmida e seca no Estado da Paraíba, Brasil.....	95
Tabela 2.7:	Síntese do esforço relativo do custo do tempo e monetário necessário para cada método de coleta de Collembola em relação o esforço total usando os três métodos de coletas.....	95

CAPÍTULO 03

Table 1:	Comparative table of <i>Denisiella</i> species. <i>D. nayarita</i> , <i>D. seurati</i> and <i>D. sexpinnata</i> are not included because their males were not described. (?) indicates unknown; (+) present; (-) absent; (Tita. I: sensilla) four sensilla of tibiotarsus I; (Tita. III: serrate) serrate spinelike setae of tibiotarsus III.....	111
-----------------	---	-----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	CLASSE COLLEMBOLA.....	17
1.2	ECOLOGIA DE COLLEMBOLA.....	18
1.3	DOMÍNIOS FITOGEOGRÁFICOS DO ESTADO DA PARAÍBA.....	20
1.4	MEDIDAS ESPACIAIS DA DIVERSIDADE.....	22
2.	OBJETIVOS.....	24
2.1	OBJETIVO GERAL.....	24
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
	REFERÊNCIAS.....	25

CAPÍTULO 01: EFEITO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS E AMBIENTAIS NA TAXOCENOSE DE COLLEMBOLA (ARTROPODA, HEXAPODA) EM ÁREAS DE CAATINGA E MATA ATLÂNTICA NA PARAÍBA, BRASIL.....

1.1	INTRODUÇÃO.....	32
1.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
1.2.1	ÁREAS DE ESTUDO.....	34
1.2.2	MÉTODOS DE COLETA.....	38
1.2.3	IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA.....	40
1.2.4	OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS E AMBIENTAIS.....	40
1.2.5	ANÁLISE DOS DADOS.....	42
1.3	RESULTADOS.....	46
1.4	DISCUSSÃO.....	60
1.5	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO 02: DESEMPENHO E COMPLEMENTARIDADE DE TRÊS MÉTODOS DE COLETA DA FAUNA EDÁFICA DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA) EM ÁREAS DE FLORESTA SECA E ÚMIDA, NORDESTE, BRASIL.....

2.1	INTRODUÇÃO.....	72
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
2.2.1	ÁREAS DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE COLETA.....	74
2.2.2	ANÁLISE DOS DADOS	74
2.3	RESULTADOS.....	77
2.4	DISCUSSÃO.....	96
2.5	CONCLUSÃO.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100

CAPÍTULO 03: REDEFINITION OF *DENISIELLA* FOLSOM & MILLS, 1938 (COLLEMBOLA: SMINTHURIDIDAE) WITH DESCRIPTION OF THREE NEW SPECIES FROM BRAZIL.....

ABSTRACT.....	104
---------------	-----

105

INTRODUCTION.....	106
MATERIALS AND METHODS.....	106
SYSTEMATICS.....	107
REFERENCES CITED.....	128

1. INTRODUÇÃO

1.1 CLASSE COLLEMBOLA

A Classe Collembola Lubbock, 1870 (Arthropoda: Hexapoda) é formada por quatro grupos distintos que podem ser classificados como ordens, Poduromorpha e Entomobryomorpha que apresentam corpo alongado e claramente segmentado, enquanto Neelipleona e Sympyleona, apresentam corpo globoso com fusão de segmentos do tronco. As formas do corpo e pigmentação variam dentro de cada grupo e podem ser relacionadas com as características do ambiente que se encontram. (HOPKIN, 1997; ZEPPELINI & BELLINI, 2004).

Collembola são pequenos artrópodes com comprimento do corpo que podem variar de 0,2 a 10 mm, e que apresentam padrão de tagmose tipicamente hexápode, com o corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. A cabeça apresenta um par de antenas com quatro artículos. Mandíbulas e maxilas estão presentes nestes animais, mas estão completamente encerradas na cavidade bucal (condição entognata). Ainda na cabeça são observados olhos formados por no máximo oito omatídeos. O tórax consiste em três segmentos, cada um com um par de pernas e o abdome é formado por seis segmentos, exibindo em sua superfície ventral o colóforo (tubo ventral), retináculo e fúrcula, estruturas localizadas respectivamente no primeiro, terceiro e quarto segmentos. A abertura genital e o ânus estão no quinto e sexto segmentos, respectivamente. Todos os apêndices abdominais têm estrutura par (ZEPPELINI & BELLINI, 2004; PALACIOS -VARGAS et al., 2013).

O mais antigo registro fóssil de Collembola é do Devoniano Médio (cerca de 400 milhões de anos atrás) que estão entre os mais antigos registros conhecidos de animais terrestres, sendo assim, uma das linhagens de artrópodes mais bem sucedidos (BELLINGER et al., 1996-2018).

Colêmbolos possuem ampla distribuição no mundo e podem ser encontrados em praticamente todos os habitats terrestres, como cavernas, desertos, glaciares, dossel de árvores, ninhos de vertebrados e insetos e rochas das zonas entremarés (BELLINGER et al., 1996-2018; JORDANA, 1997; GREENSLADE, 1991; PALACIOS-VARGAS et al., 2000; ZEPPELINI & BELLINI, 2004).

Em todo mundo, foram descritas mais 8.000 espécies do grupo, incluídas em 824 gêneros de 33 famílias (BELLINGER et al., 1996-2018). A diversidade da Região Neotropical

ainda é pouco conhecida, com pouco mais de 700 espécies descritas. A baixa riqueza de espécies registrada para a Região Neotropical está claramente relacionada a um baixo esforço de coleta. As primeiras publicações sobre a descrição da diversidade de Collembola no Brasil começaram apenas na década de 30 com o Dr. Roger Arlé. No Brasil, são reconhecidas aproximadamente 370 espécies, distribuídas em 110 gêneros (CULIK & ZEPPELINI, 2003; ZEPPELINI & BELLINI, 2004; ABRANTES et al., 2010, 2012; ZEPPELINI et al., 2018).

No Domínio da Mata Atlântica foram registradas 200 espécies de Collembola, sendo 43 para o estado da Paraíba. No Domínio da Caatinga, 29 espécies foram registradas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba (BELLINI & ZEPPELINI, 2004; ABRANTES et al., 2010, 2012; SANTOS-ROCHA et al., 2011, FERREIRA et al., 2013). A riqueza de espécies de Collembola nessas áreas certamente é bem maior, pois estes estudos são pontuais. Na Caatinga foram coletados apenas em áreas da Ecorregião da “Depressão Sertaneja Setentrional”, existindo ainda outras sete Ecorregiões com diferentes condições climáticas, geomorfológicas e vegetacionais (VELLOSO et al., 2002). Desta forma, há expectativa que o número de espécies de Collembola esteja bem aquém do valor real.

1.2 ECOLOGIA DE COLLEMBOLA

Os Collembola estão entre os representantes mais diversificado e dominantes da mesofauna do solo (DEHARVENG, 1996; CASSAGNE et al., 2003) e desempenham papel importante na ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica e formação do solo (HOPKIN, 1997; ZEPPELINI & BELLINI, 2004). Os colêmbolos de solo podem ser classificados em três formas de vida: epiedáficos, hemiedáficos ou euedáficos.

Os epiedáficos vivem sobre a superfície do solo e da serrapilheira, são espécies geralmente mais ágeis, com muitas cerdas, com antenas, pernas e fúrcula longas. Os hemiedáficos são os que habitam o solo orgânico a 5 cm de profundidade, as espécies frequentemente apresentam redução das antenas, cerdas e fúrcula. Os euedáficos são os que se encontram no solo mineral e habitam os interstícios do solo, as espécies apresentam diminuição ou ausência total de pigmentação (HOPKIN, 1997; PETERSEN, 2002). Estudos recentes têm mostrado que Collembola epiedáficos e euedáficos possuem estratégias de alimentação distintas, sugerindo diferenciação no nicho trófico (CHAHARTAGHI et al., 2005; ENDLWEBER et al., 2009; NGOSONG et al., 2011). Algumas espécies de Collembola euedáficos são sensíveis ao aumento de temperatura do solo, enquanto as espécies hemiedáficas e epiedáficos são mais afetadas pela alteração da umidade (JUCEVICA & MELECIS, 2006).

A abundância e riqueza de espécies de Collembola são influenciadas por muitos aspectos bióticos e abióticos, tais como aeração, pH, composição da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, tipo de húmus, vegetação e estrutura física e química do solo (LORANGER et al., 2001; CULIK & ZEPPELINI, 2003; ZEPPELINI et al., 2009; PETERSEN, 2011). Segundo Slawska et al. (2017), as comunidades de Collembola em áreas de florestas são estruturadas pela umidade do solo, teor de carbono, pH e nitrogênio. Em áreas de vegetação urbana as concentrações de fósforo, potássio e pH, são variáveis ambientais importantes que moldam a composição da fauna de Collembola (RZESZOWSKI et al., 2017). Devido a sua sensibilidade a mudanças ambientais e perturbações do solo, algumas espécies de colêmbolos podem ser bioindicadoras (ZHAOA et al., 2013)

Nesse âmbito, avaliações das taxocenoses de colêmbolos edáficos vêm sendo utilizadas em estratégias de conservação e monitoramento de ecossistemas terrestres naturais e perturbados (CULIK & ZEPPELINI, 2003; ZEPPELINI et al., 2009). Em ecossistemas florestais que sofreram algum distúrbio, ou estão em algum estágio de sucessão, a taxocenose de Collembola difere da comunidade clímax, com a redução do número de espécies, principalmente as raras e endêmicas (HOPKIN, 1997; PETERSEN, 1995; HEINIGER et al., 2014.). Segundo Deharveng (2000), as espécies endêmicas de Collembola tem um alto valor biológico para conservação e são de fundamental importância na caracterização da comunidade. No Brasil, Zeppelini et al. (2009), avaliando áreas de reflorestamento, usaram riqueza e endemismo de espécies de Collembola como indicadores. Eles observaram que áreas reflorestadas, apresentam uma riqueza significativamente menor de espécies do que áreas não perturbadas. Contudo, no Brasil, esse campo do conhecimento ainda é incipiente e a maioria das pesquisas conduzidas com colêmbolos possuem um cunho taxonômico (ABRANTES et al., 2010 e 2012).

Um dos mecanismos de dispersão dos colêmbolos é pela forma passiva, sendo transportados diretamente ou indiretamente pelo vento (DUNGER et al., 2002; HAWES et al., 2007; COULSON & MIDGLEY 2012; HEINIGER et al., 2014). As altas taxas de dispersão ocorrem principalmente em habitat abertos com redução da cobertura da vegetação. Sendo assim a dispersão desempenha um papel importante na estruturação de metacomunidade de Collembola, onde a amplitude e a direção de seu efeito dependem do tipo de habitat considerado (HEINIGER et al., 2014). Desse ponto de vista, colêmbolos são organismos ideais para avaliações biogeográficas não apenas em grande escala, mas também em escalas menores, o que é corroborado pela observação de elevado endemismo das espécies associado a um alto

potencial de riqueza taxonômica. Contudo há poucos dados sobre os parâmetros de distribuição espacial e temporal de Collembola na Região Neotropical (FERREIRA et al., 2013; 2018).

Alguns estudos de sazonalidade mostram a sensibilidade da taxocenose de Collembola à diminuição da precipitação no ambiente, com a redução significativa da riqueza e abundância das espécies (PFLUG & WOLTERS, 2001; TSIAFOULI et al., 2005; KARDOL et al., 2011; MAKKONEN et al., 2011; FERREIRA et al., 2013). Porém em Floresta Boreal no Canadá, o aumento da precipitação levou a diminuição da riqueza e abundância de colêmbolos (TURNBULL & LINDO, 2015). Essas pesquisas mostram que variações climáticas, principalmente a precipitação tem relação com a taxocenose de Collembola, alterando diretamente a teia alimentar do solo. A distribuição espacial de Collembola foi correlacionada com a heterogeneidade ambiental em relação à cobertura vegetal, quantidade de madeira morta e riqueza e densidade de plantas (SEREDA et al., 2012; FERREIRA et al., 2018).

Nesse contexto, o presente estudo contribui para o conhecimento dos efeitos das variáveis ambientais e espaciais sobre a distribuição destes organismos nos domínios da Caatinga e Mata Atlântica.

1.3 DOMÍNIOS FITOGEOGRÁFICOS DO ESTADO DA PARAÍBA

Segundo Ab'Saber (2003), o Domínio Morfoclimático e Fitogeográfico é um conjunto espacial de grande extensão, sendo definidos a partir das características climáticas, botânicas, pedológicas, hidrológicas e fitogeográficas, formando feições paisagísticas e ecológicas integradas.

O Brasil apresenta seis grandes Domínios Fitogeográficos (VELOSO et al., 1991; Ab'Saber, 2003): **1.** A Amazônia que comprehende as áreas da região norte do Brasil ocupando 49,29% do território, sendo o maior em extensão; **2.** O Cerrado, o segundo maior domínio em extensão no Brasil, o ocupando 23,92% do território; **3.** A Mata Atlântica que ocupa 13,04% do território brasileiro; **4.** A Caatinga ocupando 9,92% do território; **5.** O Pampa que se restringe ao Sul do Brasil ocupando 2,07%; **6.** O Pantanal, que é o menor em extensão ocupando 1,76% do território (IBGE, 2010). Dentro de cada Domínio Fitogeográfico, há uma grande variedade de tipos de vegetação, fitofisionomias, habitats e micro habitats que são ocupados por uma ampla diversidade de plantas, animais e fungos (FORZZA et al., 2010).

O estado da Paraíba é ocupado praticamente por dois Domínios Fitogeográficos: A Mata Atlântica e a Caatinga. A Caatinga é uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca que comprehende uma área de 912.529km² que corresponde a 10,7% do território brasileiro, inserida em um

domínio semiárido quase exclusivo da Região Nordeste do Brasil (SILVIA et al., 2017), ocupando aproximadamente 90% do território do estado da Paraíba.

O domínio da Caatinga possui um período seco prolongado sendo caracterizado por um clima quente fortemente sazonal, com a precipitação média anual de 773 mm, sendo que 70% do total pode precipitar em um único mês (ANDRADE et al., 2017; SILVIA et al., 2017). A insolação média anual é em torno de 2.800 horas, com taxas médias de evaporação de 2.000 mm/ano, a temperatura média é constante ao longo do ano, variando de 25 a 30°C, e a umidade relativa do ar, em geral, é de aproximadamente 50%, sendo assim, a vegetação está submetida à deficiência hídrica sazonal (AB'SABER, 1974; VELLOSO et al., 2002; SAMPAIO 2010; SILVA et al., 2017).

Os solos em geral são ricos em minerais, pedregosos, pouco espessos e com fraca capacidade de retenção de água (ALVES et al., 2009). O domínio da Caatinga possui uma surpreendente diversidade de ambientes, proporcionados por um mosaico de tipos de vegetação, como florestas secas e formações abertas (TABARELLI & SILVA, 2003). Essas características do solo e da vegetação aberta favorece a ação da lavagem superficial pelo escoamento em lençol, possibilitando que os rios e os riachos tenham regimes intermitentes com cheias rápidas e ocasionais e os sedimentos transportados são grosseiros, representados por areia grossa e cascalho (AB' SABER et al., 2003). Atualmente, a Caatinga é um dos domínios sulamericanos que mais vem sofrendo com a ação antrópica, incluindo processos de desertificação (LEAL et al., 2003; MMA, 2005). No entanto, existem poucos estudos sobre a biodiversidade e processos ecológicos na Caatinga, especialmente sobre a estrutura e dinâmica de sua fauna de solo.

A Mata Atlântica é considerada a segunda maior Floresta Pluvial Tropical do continente americano, é uma das 25 prioridades mundiais para a conservação e também foi incluída definitivamente no cenário mundial como um dos 34 *hotspots* de biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2004). A mesma originalmente se estendia de forma contínua ao longo do litoral brasileiro, na região do Nordeste cobria uma área contínua de floresta com 76.938 km² (6,4% da extensão da Mata Atlântica brasileira; TABARELLI & SANTOS, 2004). Ribeiro et al. (2009), quantificou a cobertura da Mata Atlântica brasileira variando em 11 a 16%, onde mais de 80% dos fragmentos abrangem menos de 50 ha e que a distância média entre os fragmentos é grande (1440 m), mostrando que o estado de conservação atual é insuficiente para suportar a sobrevivência a longo prazo.

A Mata Atlântica contempla diferentes formações florestais e ecossistemas associados como: A Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas,

campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste (CÂMARA, 2003; CAMPANILI & SCHAFFER, 2010).

Na região nordestina, a Mata Atlântica é composta pelos brejos de altitude, que são florestas úmidas estabelecidas na região semiárida consideradas como disjunção ecológica, sendo cercadas por uma vegetação de Caatinga, condição que torna esses remanescentes áreas de elevada biodiversidade (VELOSO et al., 1991).

Os Brejos de altitude do Nordeste são áreas mais úmidas que o semiárido que os rodeia por causa do efeito orográfico nas precipitações e na redução da temperatura, que está associada à ocorrência de planaltos e chapadas entre 500 - 1.100 metros de altitude (ANDRADE-LIMA, 1961). A hipótese mais aceita sobre a origem vegetacional dos Brejos de altitude está associada às variações climáticas ocorridas durante o Pleistoceno, as quais permitiram que a floresta Atlântica penetrasse nos domínios da Caatinga. Ao retornar a sua distribuição original, após períodos interglaciais, as ilhas de Floresta Atlântica permaneceram em locais de microclima favorável (ANDRADE-LIMA, 1982).

Existem 43 brejos de altitude estabelecidos no domínio da Caatinga nordestina (ANDRADE-LIMA, 1982) distribuídos nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (TABARELLI & SANTOS, 2004). Os brejos são considerados centros de endemismos e detém 16% da sua vegetação original em relação aos outros centros de endemismos da Mata Atlântica (RIBEIRO et al., 2009), essas áreas sempre atraíram agricultores, devido a sua condição privilegiada (VIANA et al., 1997).

1.4 MEDIDAS ESPACIAIS DA DIVERSIDADE

Compreender e descrever os padrões gerais da diversidade de espécie é o objetivo central das pesquisas em biodiversidade. Hubbell (2001), define biodiversidade sendo a riqueza de espécies e abundância relativa no tempo e no espaço. A diversidade biológica é mensurada pelo índice de diversidade que agrupa informações de riqueza de espécies e uniformidade ou modelos de diversidade. A riqueza de espécies é o número de espécies dentro de uma unidade de estudo, constituindo a mais antiga medida de diversidade biológica, enquanto a uniformidade descreve a variabilidade das abundâncias relativas das espécies (MAGURRAN, 2004).

Os níveis espaciais de diversidade foram particionados em alfa (α), beta (β) e gama (γ) (WHITTAKER, 1960). A diversidade alfa é a diversidade de unidades espacialmente definidas em uma comunidade ou dentro do habitat que difere da diversidade pontual, que é a diversidade de uma única amostra (WHITTAKER, 1972). A diversidade beta reflete as mudanças do

ambiente, medindo as diferenças na diversidade de composição entre áreas da diversidade alfa (WHITTAKER, 1960). Esses conceitos mostram que a relação da diversidade alfa e beta são dependentes da escala, um aumento amostral da área de estudo resultará em um aumento da diversidade alfa (MAGURRAN, 2004). Sendo a diversidade alfa associada a fatores ambientais locais com interações entre as populações, enquanto a diversidade beta está ligada a fatores como distância entre as amostragens, como o espaço e o tempo e heterogeneidade ambiental (HALFFTER & MORENO, 2005). A diversidade beta também pode variar com a escala, mesmo quando são usadas medidas aparentemente independentes, sendo as alterações temporais e espaciais também chamadas de rotatividade de espécies (*species turnover*; MAGURRAN, 2004). A diversidade gama é composta pela diversidade alfa e beta, sendo a diversidade de uma província biogeográfica (WHITTAKER, 1960). Ao definir a diversidade gama para uma província biogeográfica, estamos integrando uma extensão espacial e uma história geomorfológica e evolutiva comum, não simplesmente com uma grande área que engloba muitos habitats.

Pouco se sabe sobre os fatores que influenciam a diversidade biológica nas mudanças da composição das espécies ao longo de um gradiente (BECK & KHEN, 2007; NEMESIO, 2013). Segundo Hubbell (2001) a composição das espécies de uma comunidade é controlada pela capacidade de dispersão espacial limitada e crescimento demográfico, sendo assim a comunidade local é mais influenciada pela composição da metacomunidade circundante e da taxa de imigração das suas espécies constituintes do que pelo ambiente local. Outra hipótese enfatiza que a distribuição das espécies está relacionada às características locais das condições ambientais (WHITTAKER, 1956). As pesquisas recentes sobre os padrões de diversidade beta têm analisado as hipóteses das contribuições das variáveis ambientais, espaciais e aleatórios (LEGENDRE et al., 2005 e 2013).

As pesquisas de padrões de diversidade beta na Região Neotropical, têm focado os estudos em plantas e vertebrados, sendo poucos estudos com os insetos (formigas, abelhas, besouros, borboletas e vespas) (CONDIT et al., 2002; TUOMISTO et al., 2003; VASCONCELOS et al., 2010; ABRAHAMCZYK et al. 2011; GARCIA-LOPEZ et al. 2012; SILVA & HERNÁNDEZ, 2014; BEIRÃO et al. 2017; PERILLO et al. 2017).

Uma melhor compreensão dos padrões de diversidade beta dos artrópodes e suas causas têm implicações práticas importantes para a conservação da biodiversidade e no planejamento e interpretação de pesquisas ecológicas (VASCONCELOS et al., 2010). Nesse contexto, o presente estudo contribui para compreensão dos padrões da diversidade de Collembola.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar taxocenose de Collembola em áreas de Mata Atlântica e Caatinga no estado da Paraíba, Brasil, avaliando como as características espaciais e ambientais influenciam a riqueza de espécies, abundância e composição da fauna.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a diversidade de Collembola em diferentes áreas da Mata Atlântica e Caatinga no estado da Paraíba, Brasil;
- Relacionar as variáveis espaciais e ambientais das áreas estudadas aos padrões de distribuição das espécies;
- Comparar a similaridade faunística entre as áreas estudadas;
- Avaliar o desempenho e complementaridade de três métodos de coleta de Collembola nas áreas da Mata Atlântica e Caatinga no Nordeste do Brasil;
- Descrever possíveis novas espécies encontradas;

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMCZYK, S.; GOTTLIEUBER, P.; MATAUSCHEK, C.; KESSLER, M. 2011. Diversity and community composition of euglossine bee assemblages (Hymenoptera: Apidae) in western Amazonia. **Biodiversity and Conservation** **20**: 2981-3001.
- ABRANTES, E.A.; BELLINI, B.C.; BERNARDO, A.N.; FERNANDES, L.H; MENDONÇA, M.C; OLIVEIRA, E.P.; QUEIROZ, G.C; SAUTTER, K.D.; SILVEIRA, T.C.; ZEPPELINI. D. 2010. Synthesis of Collembola: an update to the species list. **Zootaxa** **2388**: 1-22.
- ABRANTES, E.A.; BELLINI, B.C.; BERNARDO, A.N.; FERNANDES, L.H; MENDONÇA, M.C; OLIVEIRA, E.P.; QUEIROZ, G.C; SAUTTER, K.D.; SILVEIRA, T.C.; ZEPPELINI. D. 2012. Errata Corrigenda and update for the “Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list.” ABRANTES *et al.* (2010), Zootaxa, 2388: 1–22. **Zootaxa** **3168**: 1-21.
- AB'SÁBER, A. N. 1974. O domínio morfoclimático semiárido das Caatingas brasileiras. **Geomorfologia** **43**: 1-39.
- AB'SÁBER, A. N. 2003. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** Ateliê Editorial, São Paulo, Brazil. p.159.
- ALVES, J.J.A.; ARAÚJO, M.A.; NASCIMENTO, S.S. 2009. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga** **22**: 126-135.
- ANDRADE, E.M.; AQUINO, D.; CHAVES, L.C.G.; LOPES, F.B. 2017. **Water as Capital and Its Uses in the Caatinga.** In: SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. (eds) Caatinga. Springer, Cham, p. 281-302.
- ANDRADE-LIMA, D. 1961. Tipos de florestas de Pernambuco. **Anais da Associação Brasileira de Geógrafos** **12**: 69-85.
- ANDRADE-LIMA, D. 1982. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. In: PRANCE G. T. (Ed.). **Biological Diversification in the Tropics.** Columbia University Press, New York. p. 245-254
- BECK, J.; KHEN, C.V. 2007. Beta-diversity of geometrid moths from northern Borneo: effects of habitat, time and space. **Journal of Animal Ecology** **76**: 230-237.
- BEIRÃO, M. V.; FREDERICO, S. N.; CARLA M. P.; PHILIP J. D.; FERNANDES, G. W. 2017. High butterfly beta diversity between Brazilian cerrado and cerrado-caatinga transition zones. **Journal of Insect Conservation** **21**: 849-860.
- BELLINGER, P. F.; CHRISTIANSEN, K. A.; JANSENS F. 1996-2018. **Checklist of the Collembola of the World.** Disponível em: <<http://www.collembola.org>>. Acessado em: 03 jan. 2018.
- BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. 2004. First records of Collembola (Ellipura) from the State of Paraíba, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia** **48**: 433-596.
- CAMPANILI, M. & SCHAFFER, W. B. 2010. **Mata Atlântica: manual de adequação**

ambiental. Brasília: MMA/SBF. p. 96.

CÂMARA, I. G. 2003. Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In GALINDO-LEAL, C; CÂMARA, I. G. (eds.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook.** Center for Applied Biodiversity Science and Island Press, Washington, D.C. p. 31-42.

CASSAGNE, N.; GERS, C.; GAUQUELIN, T. 2003. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **Biol Fertil Soils** **37:** 355-361.

CHAHARTAGHI, M.; LANGE, R.; SCHEU, S.: RUESS, L. 2005. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. **Soil Biology & Biochemistry** **37:** 1718-1725.

CONDIT, R.; PITMAN, N.; LEIGH, E.G.; CHAVE, J.R.; TERBORGH, J.; FOSTER, R.B.; NUNEZ, P.; AGUILAR, S.; VALENCIA, R.; VILLA, G.; MULLER-LANDAU, H.C.; LOSOS, E.; HUBBELL, S.P. 2002. Beta-diversity in tropical forest trees. **Science** **295:** 666-669.

COULSON, S.J.; MIDGLEY, N.G. 2012. The role of glacier mice in the invertebrate colonisation of glacial surfaces: the moss balls of the Falljokull, Iceland. **Polar Biology** **35:** 1651-1658.

CULIK, M.P.; ZEPPELINI, D.F. 2003. Diversity and distribution of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) of Brazil. **Biodiversity and Conservation** **2:**

DEHARVENG, L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a casestudy in the Pyrenees (France). **Conservation Biology** **10:** 74-84.

DEHARVENG, L.; DALENS, H.; DRUGMAND, D.; SIMON-BENITO, J. C.; DA GAMA, M. M.; SOUSA, P.; GERS, C.; BEDOS, A. 2000. Endemism mapping and biodiversity conservation in western Europe: an Arthropod perspective. **Belgian J. Ent.** **2:** 59-75.

DUNGER, W.; SCHULZ, H.J.; ZIMDARS, B. 2002. Colonization behaviour of Collembola under different conditions of dispersal. **Pedobiologia** **46:** 316-327.

ENDLWEBER, K.; RUESS, L.; SCHEU, S. 2009. Collembola switch diet in presence of plant roots thereby functioning as herbivores. **Soil Biology and Biochemistry** **41:** 1151-1154.

FERREIRA, A. S.; BELLINI, B. C.; VASCONCELLOS, A. 2013. Temporal variations of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in the semiarid Caatinga in northeastern Brazil. **Zoologia (Curitiba): an international journal for zoology** **30:** 639-644.

FERREIRA, A. S.; ROCHA, I. M. S.; BELLINI, B. C.; VASCONCELLOS, A. 2018. Effects of habitat heterogeneity on epiedaphic Collembola (Arthropoda, Hexapoda) in a semiarid ecosystem in Northeast Brazil. **Zoologia (Curitiba): an international journal for zoology** **35:** 1-5.

FORZZA, R.C.; org., et al. 2010. Instituto De Pesquisas Jardim Botânico Do Rio De Janeiro. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil.** Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto

de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Introdução: síntese da diversidade brasileira, p. 19-42.

GARCIA-LOPEZ, A.; MICO, E.; GALANTE, E. 2012. From lowlands to highlands: searching for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. **Diversity and Distributions** **18:** 543-553.

GREENSLADE, P. J. 1991. **The Insects of Australia.** A Textbook for Students and Research Workers, ed. 2th. CSIRO. Carlton, Australia: Melbourne University Press. p. 252-264.

HALFFTER, G.; MORENO, C. E. 2005. **Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma.** In: HALFFTER, G. et al., (Eds.). Sobre diversidade biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma, Zaragoza: Acribia, 141-162.

HAWES, T.C.; WORLAND, M.R.; CONVEY, P.; BALE, J.S. 2007. Aerial dispersal of springtails on the Antarctic Peninsula: implications for local distribution and demography. **Antarctic Science** **19:** 3-10.

HEINIGER, C.; BAROT, S.; PONGE, J.F.; SALMON, S.; BOTTON-DIVETA, L.; CARMIGNAC, D.; DUBS, F. 2014. Effect of habitat spatiotemporal structure on collembolan diversity. **Pedobiologia** **57:** 103-117.

HOPKIN, S. P. 1997. **Biology of Springtails (Insecta: Collembola).** Oxford University Press, USA. 344p.

HUBBELL, S.P. 2001. **The unified neutral theory of biodiversity and biogeography.** Princeton University Press, Princeton, NJ.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. **Mapa de biomas.** IBGE, Rio de Janeiro.

JORDANA R. 1997. New habitat for a species of *Axelsonia* Börner, 1907. **Pedobiologia** **41:** 1-3.

JUCEVICA, E.; MELECIS, V. 2006. Global warming affect Collembola community: a long - term study. **Pedobiologia** **50:** 177-184.

KARDOL, P.; REYNOLDS, W.N.; NORBY, R.J.; CLASSEN, A.T. 2011. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. **Applied Soil Ecology** **47:** 37-44.

LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. 2003. **Ecologia e Conservação da Caatinga.** Recife: UFPE, 804p.

LEGENDRE, P.; BORCARD, D.; PERES-NETO, P.R. 2005. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. **Ecol Monogr** **75:** 435-450.

LEGENDRE, P.; CÁCERES, M. 2013. Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. **Ecology Letters** **16:** 951-963.

- LORANGER, G.; BANDYOPADHYAYA, I.; RAZAKA, B.; PONGE, J.F. 2001. Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities? **Soil Biology and Biochemistry** **33**: 381-393.
- MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Blackwell, Oxford, p. 256.
- MAKKONEN, M.; BERG, M.P.; VAN HAL, J.R.; CALLAGHAN, T.V.; PRESS, M.C.; AERTS, R. 2011. Traits explain the responses of a sub-arctic Collembola community to climate manipulation. **Soil Biology & Biochemistry** **43**: 377-384.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOUREX, J. & FONSECA, G. A. B. 2004. **Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. CEMEX/Agrupación Sierra Madre, Mexico City. 392p. CEMEX, Mexico City, 392p.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2005. **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga. Suporte a estratégias regionais de conservação**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 466p.
- NEMÉSIO, A.; VASCONCELOS, H. L. 2013. Beta diversity of orchid bees in a tropical biodiversity hotspot. **Biodiversity and Conservation**, **22**: 1647-1661.
- NGOSONG, C.; RAUPP, J.; RICHNOW, H.H.; RUSS, L. 2011. Tracking Collembola feeding strategies by the natural ¹³C signal of fatty acids in an arable soil with different fertilizer regimes. **Pedobiologia** **54**: 225-233.
- PALACIOS-VARGAS, J. G.; CUTZ, L. Q.; MALDONADO, Y. C. 2000. Redescription of the male of *Coenaletes caribaeus* (Collembola: Coenaletidae) associated with hermit crabs (Decapoda; Coenobitidae). **Annals of the Entomological Society of America** **93**: 194-197.
- PALACIOS-VARGAS, J. G.; MEJÍA RECAMIER, B. E.; ZEPPELINI, D. 2013. **Técnicas atuais para Estudo de Micro e Mesoartrópodes do Solo**. Editoria: Universidade Estadual de Paraíba, Brasil, p.113.
- PERILLO, L.N; NEVES, F.; ANTONINI, Y.; MARTINS, R.P. 2017. Compositional changes in bee and wasp communities along Neotropical mountain altitudinal gradient. **PLoS ONE** **12** (7).
- PETERSEN, H. 1995. Temporal and spatial dynamics of soil Collembola during secondary succession in Danish heathland. **Acta Zool. Fennica** **196**: 190-194
- PETERSEN, H. 2002. General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. **Pedobiologia** **46**: 246-260.
- PETERSEN, H. 2011. Collembolan communities in shrublands along climatic gradients in Europe and the effect of experimental warming and drought on population density biomass and diversity. **Soil Organisms** **83**: 463-488.
- PFLUG, A.; WOLTERS, V. 2001. Influence of drought and litter age on Collembola communities. **European Journal of Soil Biology** **37**: 305-308.

- RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F. HIROTA, M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** **142** (6): 1141-1153.
- RZESZOWSKI, K.; ZADROŻNY, P.; NICIA, P. 2017. The effect of soil nutrient gradients on Collembola communities inhabiting typical urban green spaces. **Pedobiologia** **64**: 15-24.
- SAMPAIO, E.V.S.B. 2010. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. (eds) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, p.29-48.
- SANTOS-ROCHA, I. M.; ANDREAZZE, R.; BELLINI, B. C. 2011. Registros de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Neotropica** **11**(3): 167-170.
- SEREDA, E.; BLICK, T.; DOROW, W.H.O.; WOLTERS, V.; BIRKHOFER, K. 2012. Spatial distribution of spiders and epedaphic Collembola in an environmentally heterogeneous forest floor habitat. **Pedobiologia** **55**: 241–245.
- SILVA, J.M.C.; BARBOSA, L.C.F.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. 2017. The Caatinga: Understanding the Challenges. In: SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. (eds) **Caatinga**. Springer, Cham, p. 3-19.
- SILVA, P.G.; HERNÁNDEZ, M.I.M. 2014. Local and Regional Effects on Community Structure of Dung Beetles in a Mainland-Island Scenario. **PLOS ONE** **9**.
- SLAWSKA, M.; BRUCKNER, A.; SLAWSKI, M. 2017. Edaphic Collembola assemblages of European temperate primeval forests gradually change along a forest-type gradient. **European Journal of Soil Biology** **80**: 92-101.
- TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. 2003: Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. In: LEAL, I.R; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. 2004. Uma Breve Descrição Sobre a História Natural dos Brejos Nordestino, In: PORTO, K.C.; CABRAL, J.J.P.; TABARELLI, M. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação**. Brasilia; Ministério de Meio Ambiente, p. 17-24.
- TSIAFOULI, M.A.; KALLIMANIS, A.S.; KATANA, E.; STAMOU, G.P.; SGARDELIS, S.P. 2005. Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. **Applied Soil Ecology** **29**: 17-26.
- TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. 2003. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science** **299**: 241–244.

- TURNBULL, M. S.; LINDO, Z. 2015. Combined effects of abiotic factors on Collembola communities reveal precipitation may act as a disturbance. **Soil Biology & Biochemistry** **82**: 36-43.
- VASCONCELOS, H.L.; VILHENA, J.M.S.; FACURE, K. G.; ALBERNAZ, A L.K.M. 2010. Patterns of ant species diversity and turnover across 2000 km of Amazonian floodplain forest. **Journal of Biogeography** **37**: 432-440.
- VELLOSO, A.L. et al. 2002. **Ecorregiões Propostas para o Bioma Caatinga**. TNC Brasil, Associação Plantas do Nordeste, Recife.
- VELOSO, H. P.; RANGEL & FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. p. 124.
- VIANA, V.M.; TABANEZ, A.J.; BATISTA, J.L. 1997. Dynamics and restoration of forest fragments in the brazilian Atlantic moist forest., in: LAURANCE, W.F.; R.O. BIERREGAARD JR. (eds.). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. The University of Chicago Press, Chicago. p. 351-365
- WHITTAKER, R. H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. – **Ecol. Monogr.** **26**: 1-80.
- WHITTAKER, R. H. 1960. Vegetation of Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs** **22**: 1-44.
- WHITTAKER, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. **TAXON** **21**: 213-251.
- ZEPPELINI, D. F.; BELLINI, B. C. 2004. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba, p.82.
- ZEPPELINI, D.; B. C. BELLINI; CREÃO-DUARTE, A. J; HERNÁNDEZ, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation** **18**:1161-1170.
- ZEPPELINI, D.; QUEIROZ C. G.; BELLINI, B.C. 2018. **Collembola in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/379>>. Acesso em: 28 fev. 2018
- ZHAO, J.; SHAO, Y.; WANG, X.; NEHER, D.A.; XU, G.; LI, Z.A.; FU, S. 2013. Sentinel soil invertebrate taxa as bioindicators for forest management practices. **Ecological Indicators** **24**: 236-239.

CAPÍTULO 01

**EFEITO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS E AMBIENTAIS NA
TAXOCENOSE DE COLLEMBOLA (ARTROPODA, HEXAPODA) EM
ÁREAS DE CAATINGA E MATA ATLÂNTICA NA PARAÍBA, BRASIL**

1.1 INTRODUÇÃO

Os padrões de distribuição e composição de espécies são influenciados por diferentes processos ecológicos que envolvem fatores bióticos e abióticos que operam em diferentes escalas espaciais e temporais (HOWETH, 2010). Dessa forma, a manutenção da diversidade de espécies pode ser controlada por diferentes processos oriundos da teoria de nicho (TUOMISTO et al., 2003) e neutra (HUBBELL, 2001), ou seja, a importância relativa do meio ambiente e variáveis geográficas sobre o “turnover” das espécies.

Na teoria de nicho as espécies diferem em seus nichos e por isso coexistem (HUTCHINSON, 1957; CHESSON, 2000), sendo assim a distribuição da diversidade é explicada com base nas variáveis ambientais medidas em cada local, limitando a coexistência das espécies em uma comunidade (RICKLEFS, 1996). Na teoria neutra os indivíduos de todas as espécies são equivalentes ecologicamente; a composição de espécies de uma comunidade é influenciada pela metacomunidade circundante (HUBBEL, 2001). Nesse sentido, os processos espaciais sozinhos determinam a composição das espécies. Chave (2004), sugere que a composição da comunidade ecológica pode ser estruturada por sistemas ambientais como também por processos estocásticos.

A diversidade beta (β) é a mudança na composição da comunidade ao longo de gradientes, que mede como a composição de espécies varia de um lugar para outro (WHITTAKER, 1960). A combinação de fatores ambientais e geográficos influenciam a diversidade beta, porém a influência de cada conjunto de variáveis varia de acordo com o grupo taxonômico, nível taxonômico, escala espacial e região geográfica estudados (QIAN et al., 2009). Sendo assim as variações da composição da comunidade devem ser analisadas para determinar se os padrões espaciais, diferem do aleatório que gera autocorrelação espacial, se estão presentes e se as variáveis ambientais explicam a variação da composição da comunidade. Em muitos ecossistemas, a diversidade beta pode ser causada por estes processos em diferentes proporções (LEGENDRE et al., 2005).

O conhecimento dos padrões da diversidade beta tem implicações práticas no conhecimento de padrões biogeográficos de distribuição de táxons, os quais, por sua vez são ferramentas importantes para planejamento de áreas prioritárias para conservação. Há poucos estudos sobre os padrões de diversidade beta de artrópodes em ecossistemas neotropicais (VASCONCELOS et al., 2010; ABRAHAMCZYK et al., 2011; GARCIA-LOPEZ et al., 2012; NEMESIO & VASCONCELOS, 2013; SILVA & HERNÀNDEZ, 2014; ÁVILA et al., 2017;

BEIRÃO et al., 2017; PERILLO et al., 2017). Os ecossistemas terrestres tropicais são heterogêneos em diferentes níveis de escalas espaciais, formando um mosaico de diferentes tipos de florestas determinado por fatores edáficos e climáticos, bem como distúrbios naturais e antropogênicos (GENTRY, 1988; TUOMISTO et al., 1995).

Collembola são artrópodes que estão entre os representantes mais diversificados e representativos da fauna do solo, mostrando mudanças significativas na composição das espécies em todo um gradiente ambiental (DEHARVENG, 1996; CASSAGNE et al., 2003 PONGE et al., 2006; PONGE & SALMON, 2013). Sendo a sua composição influenciada por vários aspectos bióticos e abióticos, como a heterogeneidade e qualidade do habitat (CULIK & ZEPPELINI, 2003; ZEPPELINI et al., 2009). Devido a sua alta sensibilidade a fatores ambientais e perturbações do solo, os colêmbolos vêm sendo utilizados como um grupo modelo em pesquisas relacionadas a diversidade e conservação da fauna do solo (PETERSEN, 2011). Esses artrópodes possuem diferentes habilidades de dispersão, tanto ativa como passiva e podem se dispersar por longas distâncias, sendo o principal mecanismo de dispersão pela forma passiva, transportados diretamente ou indiretamente pelo vento (DUNGER et al., 2002; HAWES et al., 2007; COULSON & MIDGLEY 2012; HEINIGER et al., 2014)

O presente estudo tem como objetivo caracterizar a influência dos fatores ambientais e espaciais sobre a taxocenose de Collembola em 500 km em áreas de Caatinga e Mata Atlântica. Para isso foram testadas as seguintes hipóteses:

1. Que a riqueza de espécies e abundância de Collembola seja maior nas áreas de florestas úmidas; pois essas áreas possuem uma maior disponibilidade de recursos e clima mais ameno.
2. Que haja correlação com as variáveis ambientais, ressaltando a importância relativa dos gradientes ambientais e geográficos na composição da taxocenose de Collembola.
3. Que a distância entre as áreas interfira na similaridade da fauna, sendo as áreas mais próximas mais similares, pois o efeito espacial tem grande importância na estruturação de comunidades em maiores escalas, sendo a metacomunidade circundante importante na composição da taxocenoses de uma comunidade.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

1.2.1 ÁREAS DE ESTUDO

As coletas foram realizadas em oito áreas no estado da Paraíba ao longo de aproximadamente 500km (Tabela 1.1 e Figura 1.1).

Tabela 1.1: Áreas coletadas no estado da Paraíba no período chuvoso de 2014 a 2017. Altitude média foi calculada a partir dos dados georreferenciados por meio do uso de GPS portátil em cada ponto.

Área	Município	Coordenadas	Altitude Média	Domínio Fitogeográfico
Mata do Buraquinho	João Pessoa	07°8'20.1"S 34°51'18.7"W	24.1m	Mata Atlântica
Usina São João	Santa Rita	07°9'51.2"S 35°03'32.5"W	99.0m	Mata Atlântica
RPPN Fazenda Pacatuba	Sapé	07°02'31"S 35°9'6.8"W	129.0m	Mata Atlântica
Reserva Ecológica da Mata do Pau Ferro	Areia	06°58'14.6"S 35°44'53.6"W	598.7m	“Brejo de Altitude”
RPPN Fazenda Almas	São José dos Cordeiros	07°28'38"S 36°54'37.49"W	701.3m	Caatinga
Serra de São Bentinho	São Bentinho	06°52'19.4"S 37°43'18.4"W	277.0m	Caatinga
Serra de Santa Catarina	São José da Lagoa Tapada	07°1'2"S 38°14'4.2"W	584.6m	Caatinga
Engenheiro Ávidos	Cajazeiras	06°58'36.3"S 38°27'43.5"W	323.7m	Caatinga

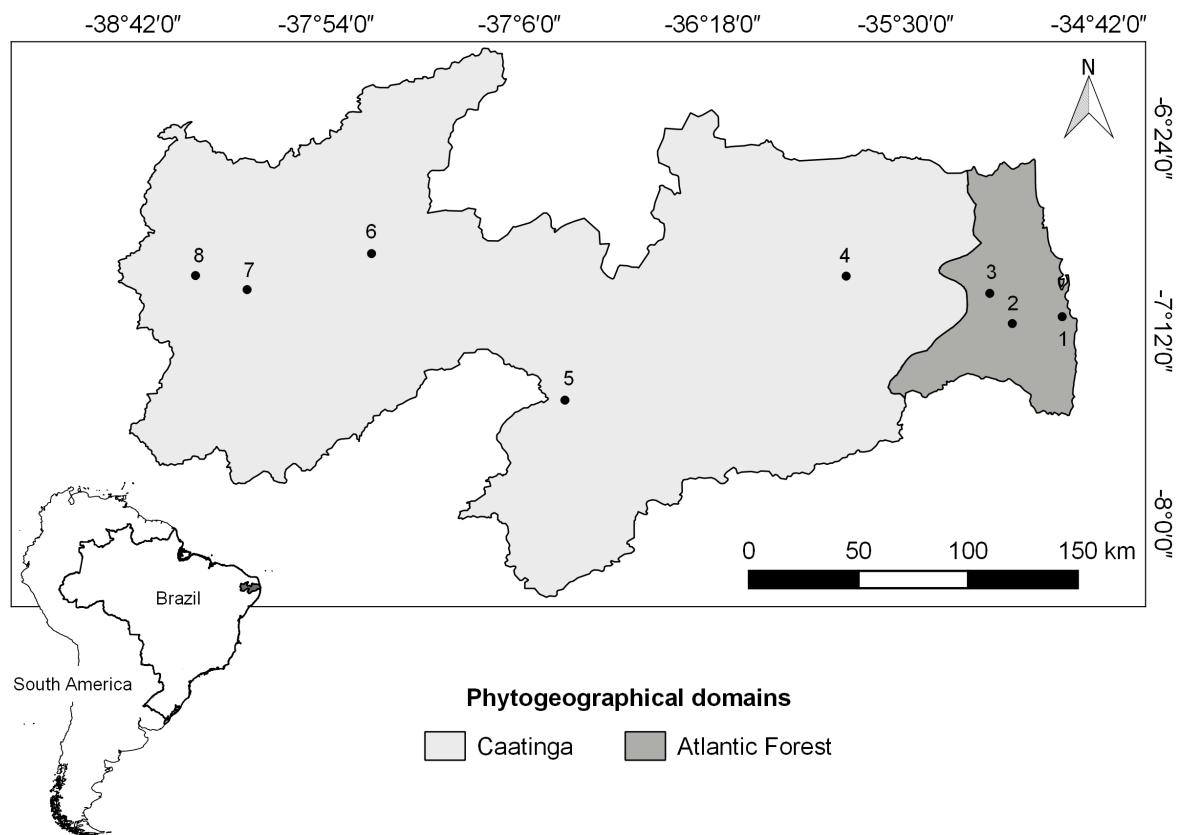


Figura 1.1: Mapa de localização das oito áreas de coletas no estado da Paraíba. **1.** Mata do Buraquinho, João Pessoa; **2.** Usina São João, Santa Rita; **3.** RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé; **4.** Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia; **5.** RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros; **6.** Serra de São Bentinho, São Bentinho; **7.** Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada; **8.** Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras.

Mata do Buraquinho (MTB)

A Mata do Buraquinho, localizada na cidade de João Pessoa, possui uma extensão de aproximadamente 515 hectares (PARAIBA, 2014), sendo uma das áreas mais representativas de Mata Atlântica da Paraíba, destacando-se pelo seu tamanho e importância ecológica. A vegetação é do tipo Floresta Estacional Semidecidual (MELO & BARBOSA, 2007). Apresenta clima do tipo As', tropical com chuvas no inverno, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A pluviosidade média é de 1.700mm/ano, temperatura média anual de 25°C e umidade relativa do ar em torno de 80% (LIMA & HECKENDORFF, 1985) e uma altitude média de aproximadamente 45m (MELO & BARBOSA, 2007).

Usina São João (USJ)

A mata da Usina São João, pertence à Companhia Usina São João e está situada entre os municípios de Santa Rita e Cruz do Espírito Santo. Com aproximadamente 730 hectares, é um remanescente de Floresta Atlântica imerso em uma matriz de cana de açúcar (SANTANA et al., 2008). A vegetação é de Floresta Estacional Semidecidual (RODRIGUES et al., 2013). O clima é do tipo Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno, sendo o tipo As' segundo a classificação de Köppen (MASCARENHAS et al., 2005). A pluviosidade média anual é de 1.634,2mm, a temperatura média anual é 26°C e a altitude varia de 50 a 100m (MASCARENHAS et al., 2005).

Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Pacatuba (FAP)

A RPPN Fazenda Pacatuba está situada no município de Sapé, Paraíba, a 47 km da capital João Pessoa, possui uma área de 266.53 hectares de floresta contínua, rodeada por uma matriz de plantação de cana de açúcar. A vegetação é predominantemente do tipo Floresta Estacional Semidecidual (Floresta tropical subcaducifólia) (IBGE, 1992). Apresenta clima do tipo As' com uma pluviosidade média anual de 1.600mm, possuindo uma maior concentração de pluviosidade no final do verão e início do inverno (PEREIRA et al., 2012), a temperatura média anual é 25°C. Seu relevo apresenta altitude variando entre 75 e 150m.

Parque Estadual Mata do Pau Ferro (MPF)

O Parque Estadual Mata do Pau Ferro localiza-se na microrregião do Brejo Paraibano, no Município de Areia, possui uma área de aproximadamente 600 hectares. A vegetação é do tipo Floresta Ombrófila aberta (VELOSO et al., 1991). Apresenta clima do tipo As' (PARAÍBA, 1985), com pluviosidade média de 1400mm/ano, temperatura média anual de 22°C e umidade relativa de 85%. Altitude local é de aproximadamente 600m (MAYO & FEVEREIRO, 1982).

Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas (FAA)

A RPPN Fazenda Almas, localizada predominantemente no município de São José dos Cordeiros, mas, com uma pequena porção no município de Sumé, possui uma área de 3.505 hectares. A vegetação predominante no local é a caatinga arbórea, variando de densa a aberta, entremeada por lajedos com uma flora característica (BARBOSA et al., 2007). O clima nos municípios de São José dos Cordeiros e Sumé é do tipo Semiárido, sendo o tipo BSh no sistema de Köppen, o período chuvoso está concentrado entre os meses de janeiro a março, com pluviosidade média anual em torno de 560 ± 230 mm/ano. A temperatura média anual é 28.3°C, a evapotranspiração potencial estimada está entre 171 e 103mm/mês (DELFIM & FREIRE, 2007; NASCIMENTO & ALVES, 2008) e a altitude local é de aproximadamente 700m.

Serra de São Bentinho (SSB)

A Serra de São Bentinho localizada no município de São Bentinho, apresenta o clima do tipo Tropical Semiárido com chuvas de verão. A vegetação é composta por caatinga hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005). Apresenta clima do tipo Aw', o período chuvoso se inicia em fevereiro com término em maio e o restante do ano predomina a seca, podendo ocorrer chuvas isoladas no mês de dezembro. A temperatura média anual é 25.8°C, com pluviosidade média de 854mm/ano, com a altitude média de 340m.

Serra de Santa Catarina (SSC)

A Serra de Santa Catarina está localizada na Depressão Sertaneja, considerada uma área de alta importância biológica, sendo a área mais preservada da caatinga paraibana. Localizada ao longo do lineamento de Patos, entre os municípios de São José da Lagoa Tapada, Aguiar e Nazarezinho, possuindo uma área de aproximadamente 11.210 hectares. O clima é As tropical seco (ALVARES et al., 2013), com sete a oito meses secos e precipitação anual irregular. A vegetação é formada por caatinga arbustiva, arbórea com manchas florestais, ao longo de um gradiente altitudinal. Seu sistema fitogeográfico é classificado como caatinga do tipo floresta estacional decidual, savana estépica florestada e arborizada (IBGE, 2012). A temperatura média anual da área é 24.3°C com uma precipitação média anual de 972mm. A altitude local é de 500 a 800m nas partes mais elevadas.

Parque Ecológico Engenheiro Ávidos (ENA)

O Parque Ecológico Engenheiro Ávidos localiza-se no Distrito de Engenheiro Ávidos, município de Cajazeiras e comprehende a área da bacia do Açude de Piranhas, não possuindo ainda delimitação de sua área. A vegetação é do tipo caatinga arbustiva-arbórea e as áreas selecionadas para estudo encontram-se sem uso agropecuário há pelo menos 20 anos. Apresenta clima do tipo Aw – clima tropical úmido, com chuvas de verão-outono, novembro e dezembro, com pluviosidade de 870mm/ano, temperaturas médias mensais variando de 24.9° a 28.7°C e umidade de 62% (FEITOSA et al., 2002) e a altitude média 290m.

1.2.2 MÉTODOS DE COLETA

As coletas foram realizadas no período chuvoso de 2014 a 2017. Em cada área foram selecionados dez pontos distantes no mínimo 100m um do outro. Ao longo dos dez pontos, a captura dos espécimes foi realizada com o auxílio do aspirador entomológico, armadilhas de queda (*pitfall traps*) e extrator de Winkler.

Cinco armadilhas de queda (*pitfalls traps*) com 11cm diâmetro e 7cm de altura foram instaladas em cada ponto, dispostos em cruz e distantes 1m um do outro (Figura 1.2). Em cada *pitfall*, foi adicionado álcool 70% para fixação dos espécimes e colocado um disco de isopor a aproximadamente 15cm da superfície do solo, a fim de proteger a armadilha contra a incidência solar direta e queda de serapilheira e ficaram expostas durante 48 horas.

Em cada ponto, os Collembola também foram coletados ativamente, com auxílio do aspirador entomológico, durante 30 minutos/ponto. Em todas as áreas ficaram dois coletores por ponto, sendo assim 15 minutos/pessoa. Para diminuir qualquer influência da experiência do coletor, sempre foram os mesmos coletores nas oito áreas coletadas. Durante este tempo, os indivíduos foram coletados nos mais variados microhabitats, como folhiço, solo e sob cascas de árvores com o auxílio de bandeja branca e aspirador entomológico (Figura 1.3). A serrapilheira também foi coletada em uma área de 1m² em cada ponto, ao longo dos dez pontos, em seguida colocada no Extrator de Winkler sem peneirar durante seis dias (Figura 1.4).



Figura 1.2: Armadilhas de queda (*pitfalls traps*) na Serra de Santa Catarina, Paraíba, Brasil.
Foto: Matilde Ernesto

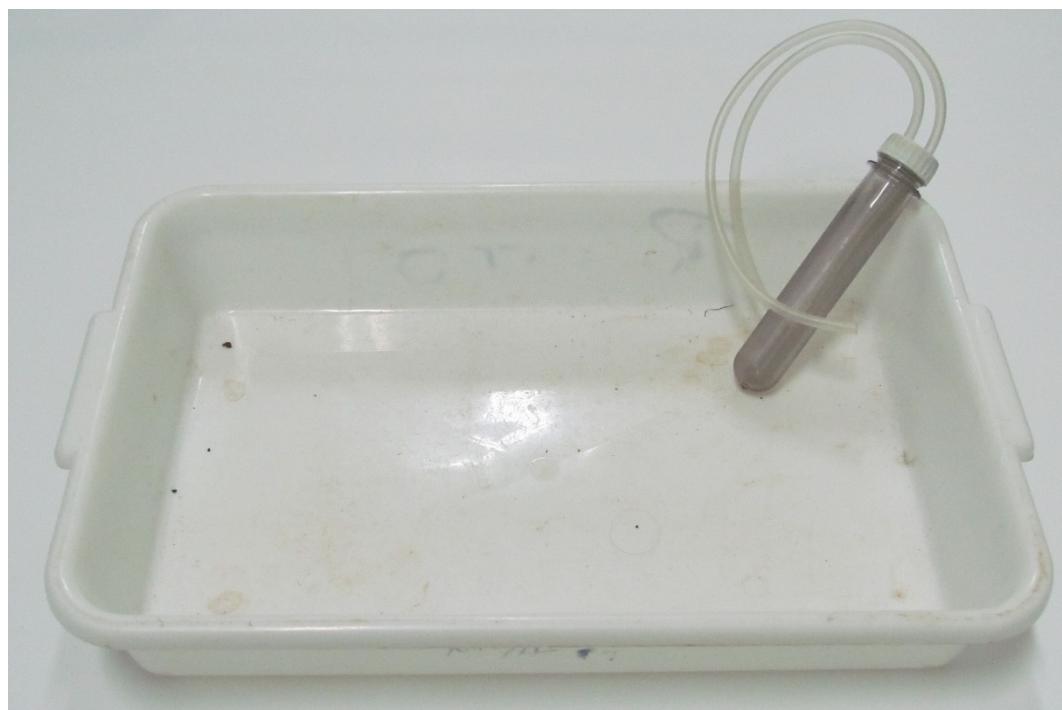


Figura 1.3: Aspirador entomológico e bandeja usados na coleta.



Figura 1.4: Extrator de Winkler na Serra de Santa Catarina, Paraíba, Brasil.

1.2.3 IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA

O material coletado foi triado, contado e morfotipado sob estereomicroscópio. Os exemplares coletados foram diafanizados em KOH 5% e lactofenol e montados em lâminas semipermanentes para microscopia ótica em líquido de Hoyer (ARLÉ & MENDONÇA, 1982). As identificações das espécies foram realizadas através do estudo da morfologia e quetotaxia dos exemplares, sob microscópio óptico com o auxílio de chaves especializadas para identificação de famílias, gêneros e espécies (CHRISTIANSEN & BELLINGER, 1980; ZEPPELINI & BELLINI, 2004; BELLINGER & CHRISTIANSEN, 1996-2018).

1.2.4 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS E AMBIENTAIS

Cada ponto de amostragem foi georreferenciado por meio do uso de GPS portátil (Garmin e Trex® 30) sendo tomadas as medidas de latitude, longitude e altitude. Os dados climáticos foram derivados do WorldClim (HIJMANS et al., 2005), esses dados são produzidos

a partir da interpolação dos dados climáticos coletados por estações meteorológicas em todo o mundo no período de 1950 a 2000. O WordClim, disponibiliza 19 variáveis climáticas que são fortemente correlacionadas entre si ($r = > 0.70$), para evitar os efeitos da multicolinearidade nas análises dos dados, foram selecionadas duas variáveis do WordClim: precipitação média anual e temperatura média anual, essas variáveis apresentaram uma baixa correlação ($r = 0.44$) e também são variáveis climáticas preditoras importantes na distribuição dos Collembola com base na literatura (FERREIRA et al., 2013; YAN et al., 2015).

Variáveis ambientais medidas em cada área relacionadas ao solo foram: umidade e disponibilidade de matéria orgânica, pH, P (fósforo), N (Nitrogênio) e K (Potássio). As amostras de solo foram coletadas a partir de uma superfície de 25cm² por 15cm de profundidade e acondicionadas em sacos plásticos pretos foscos para transporte (Figura 1.5A). A umidade foi determinada por meio do método gravimétrico e a disponibilidade de matéria orgânica por perda por combustão, descrito por Allen et al. (1974) e modificado por Silva & Bandeira (1999). A disponibilidade de matéria orgânica foi calculada pela fórmula: Mat. Org.= (peso perdido x 100)/peso seco em estufa. A umidade do solo foi determinada pela fórmula: US= (S/S0) x 100, onde US é a umidade do solo; S é a diferença de peso entre as amostras de solo úmido e seco; S0 é o peso do solo úmido. As análises de umidade e matéria orgânica do solo foram feitas no Laboratório de Termitologia (LabTermes) na Universidade Federal da Paraíba (Campus I, João Pessoa). As análises de fertilidade do solo foram feitas através de serviços terceirizados oferecido pelo Laboratório dos Solos (LabSolos) no Centro de Ciências Agrárias na Universidade Federal da Paraíba (Campus II, Areia) utilizando a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

A estrutura da vegetação, em cada área de estudo foi obtida a partir de três parcelas (10 x 10m) delimitadas em cada uma das áreas de coleta. No ponto central das parcelas foram medidas cobertura de dossel e altura da serapilheira. Para a cobertura de dossel foi utilizado um quadro reticulado moldurado, confeccionado com tubos de PVC, possuindo 625cm² de área interna. Essa área foi dividida em 100 retículos iguais confeccionados com barbante esticado (Figura 1.5B). Esse quadro era posicionado paralelo ao chão numa altura de aproximadamente 2m e quantificados os quadrados preenchidos, resultando em um valor percentual de cobertura. A altura da serapilheira foi medida utilizando-se um escalímetro posicionado perpendicular ao solo (Figura 1.5C).

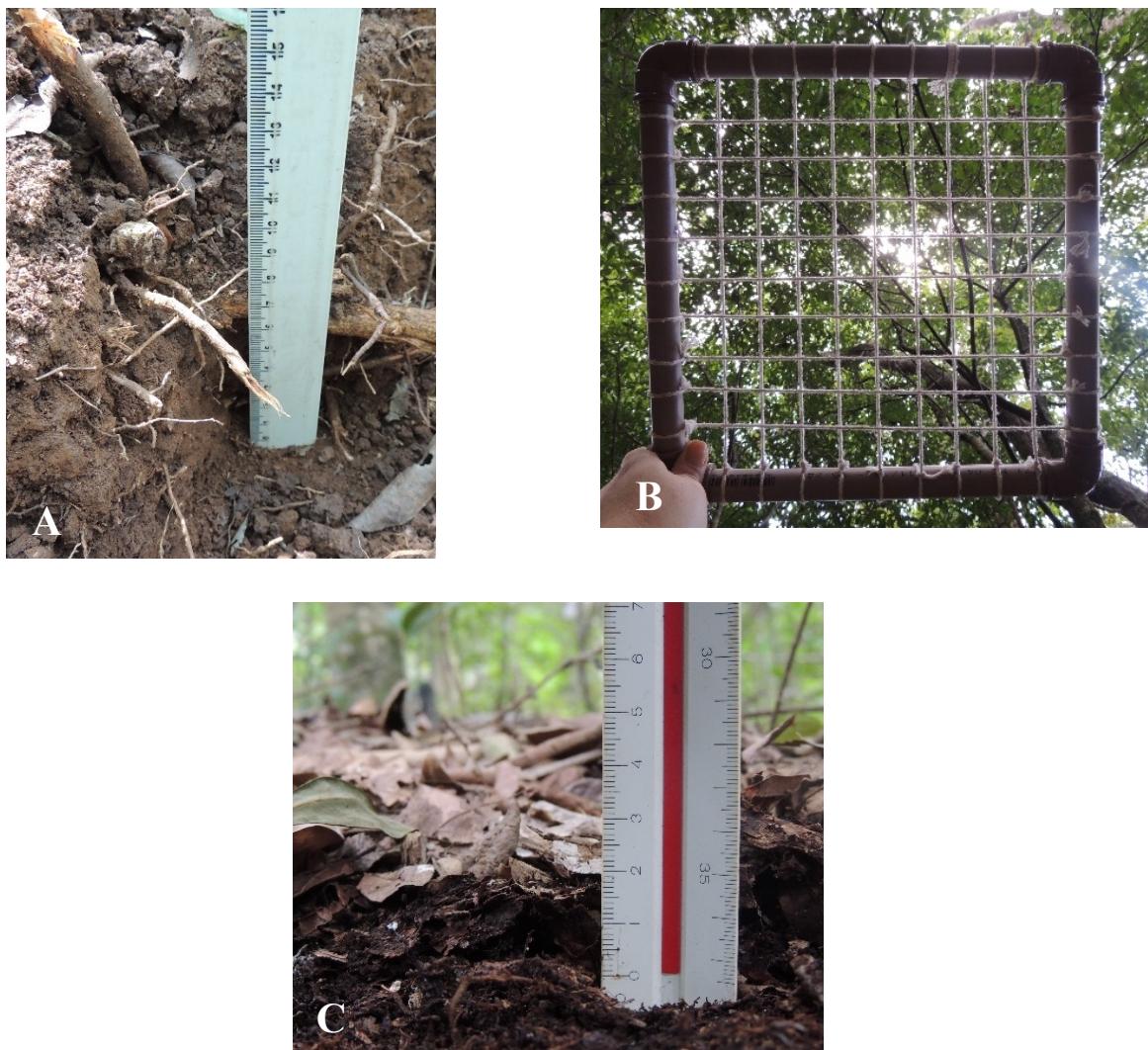


Figura 1.5 A – C: Medidas das variáveis ambientais: solo e vegetação. **A-** Porção de solo retirada para análise de umidade e fertilidade; **B-** Estimador de cobertura vegetal; **C-** Altura da serapilheira.

1.2.5 ANÁLISE DOS DADOS

A suficiência amostral de cada área, sendo 10 unidades amostrais por área foram verificadas a partir da comparação com os valores calculados por estimadores não-paramétricos de riqueza de espécie. Foram utilizados estimadores ACE e Chao1 que são baseados na abundância e os estimadores Chao 2, Jackknife 1 e 2, Bootstrap e ICE que são baseados na incidência, utilizando o software EstimateS[®] 9.1 (COLWELL, 2013), com 1000 randomizações sem reposição, para cada área. O estimador de cobertura baseado na incidência ICE, é baseado em espécies encontradas em mais de 10 unidades amostrais (MAGURRAN, 2004), para

solucionar o possível erro, o programa foi corrigido para mais de cinco unidades amostrais. A comparação da riqueza foi feita a partir da riqueza observada e da média da riqueza estimada pelos estimadores de abundância e incidência.

Variáveis espaciais e ambientais

As variáveis espaciais utilizadas nas análises foram obtidas pelo método das coordenadas principais de matrizes de vizinhança (“principal coordinates of neighbor matrices” – PCNM), um método bem adaptado para a detecção de tendências espaciais que transforma pares de coordenadas geográficas em uma matriz truncada de distância Euclidiana, gerando autovetores (BORCARD & LEGENDRE, 2002; BORCARD et al., 2004; DRAY et al., 2006). O valor de truncamento utilizado foi a distância geográfica máxima, o que permite que todas as comunidades estejam ligadas na matriz de conectividade (BORCARD & LEGENDRE, 2002). Os autovetores são considerados melhores, pois, podem representar uma gama maior de padrões espaciais, representando assim a estrutura espacial entre comunidades (BORCARD & LEGENDRE, 2002). Os autovetores gerados são os PCNMs que são utilizados como variáveis explicativas espaciais nas análises de regressão múltipla ou de ordenações (RDA e CCA; BARCORD et al., 2011), podendo ser usados como variáveis independentes nas análises. No presente estudo foram gerados 35 PCNMs, sendo apenas o primeiro eixo (PCNM1) significativo, o mesmo foi usado nas análises estatísticas como variável espacial. Os PCNMs foram criados usando a função **pcnm** do pacote Vegan (OKSANEN et al., 2017) para a linguagem R (R CORE TEAM, 2012).

Foram excluídas das análises ambientais variáveis que apresentaram uma alta correlação ($r > 0.75$), dessa forma foram excluídas as variáveis: altitude, umidade do solo, pH, N (Nitrogênio), K (Potássio) e altura da serrapilheira. As variáveis ambientais selecionadas foram padronizadas para apresentarem média 0 (zero) e variância 1, por apresentarem diferentes unidades de medida.

Para avaliar as relações da riqueza e abundância de espécies com as variáveis ambientais (temperatura e precipitação média anual; cobertura de dossel; matéria orgânica e P do solo) e espaciais foram utilizadas regressões simples.

A análise de Redundância Parcial (pRDA) foi utilizada para determinar a influência relativa das variáveis ambientais (temperatura e precipitação média anual; cobertura de dossel; matéria orgânica e P do solo) e espaciais sobre a composição da taxocenose de Collembola (PERES-NETO & LEGENDRE, 2010). O R^2 ajustado (R^2_{adj}) da pRDA foram utilizados para

mostrar se a variação na taxocenose foi explicado pelas variáveis ambientais [a+b], as variáveis espaciais [b+c], por ambos os conjuntos de variáveis [a+b+c], fração não explicada pelos preditores selecionados [d] e as frações puramente ambientais [a] e espaciais [c] (PERES-NETO & LEGENDRE, 2010; BORCARD et al., 2011; Figura 1.6). Nas análises de pRDA com intuito de reduzir a influência de espécies muito comuns e controlar a ausência de linearidade, os dados brutos de abundância de Collembola foram precedidos a transformação de Hellinger, essa transformação é indicada para o uso em ordenações lineares (LEGENDRE & GALLAGHER, 2001).

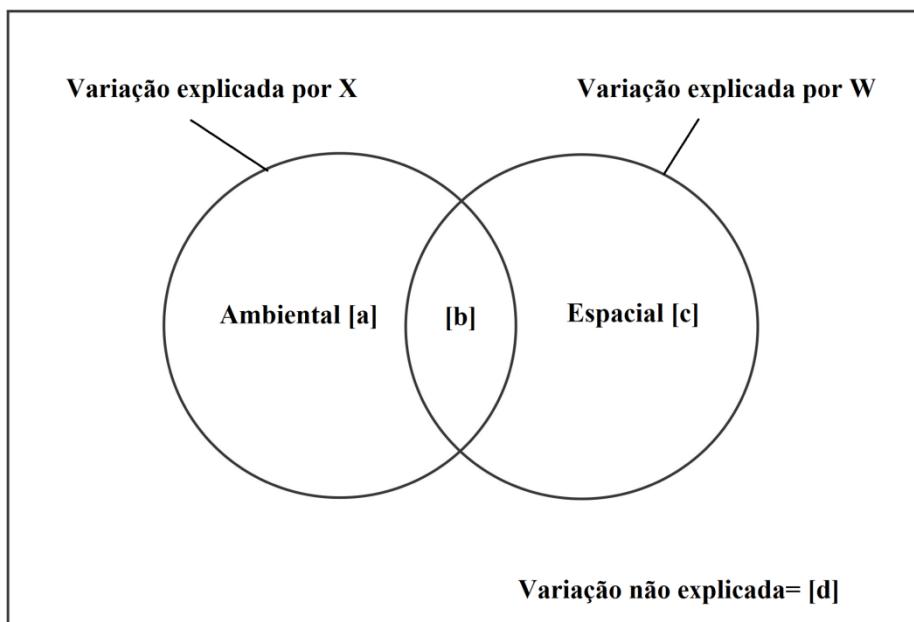


Figura 1.6: Diagrama de Venn da variação da partição de um conjunto de dados resposta entre os dois conjuntos de variáveis explanatórias X e W. A fração [a] corresponde à porcentagem de variação explicada exclusivamente pelas variáveis ambientais. A interseção [b] representa a porcentagem de variação explicada pelo efeito compartilhado dos preditores ambientais e espaciais. Fração [c] representa a variação explicada exclusivamente pelos preditores espaciais. (Adaptado de BORCARD et al. 2011).

O escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), que calcula a distorção ou stress entre a matriz de similaridade e a ordenação (MANLY, 2008), foi utilizado para descrever e interpretar os principais gradientes de influência sobre a composição da taxocenose de Collembola. Uma análise de correlação de Pearson foi realizada entre os dois primeiros eixos do NMDS e as variáveis espaciais e ambientais para determinar quais variáveis influenciam a estrutura composicional da taxocenose de Collembola.

Todas as análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2012) utilizando os pacotes Vegan (OKSANEN et al., 2017) e MASS (VENABLES & RIPLEY, 2002).

Similaridade entre as áreas

Para verificar possíveis efeitos do decaimento da similaridade entre as áreas, gerado pela distância entre elas, ou seja, a relação entre distância geográfica e semelhança na composição de espécies, uma análise de regressão logarítmica foi realizada entre a similaridade de pares de áreas e suas respectivas distâncias. As similaridades foram construídas utilizando dados de presença-ausência (índice de Jaccard) e abundância (frequência de ocorrência) (índice de Morisita- equação clássica). As similaridades de Jaccard e Morisita são métodos fáceis e intuitivos para descrever a diversidade beta de pares de locais, sendo ambos os índices satisfatórios para desempenho das análises (MAGURRAN, 2004). As similaridades foram feitas no programa estatístico Past (HAMMER et al., 2001).

1.3 RESULTADOS

Foram coletados um total de 28.382 indivíduos de colêmbolos, distribuídos em 69 espécies, 37 gêneros e 13 famílias (Tabela 1.2). As espécies *Xenylla* sp. n. 2, *Lepidocyrtus* sp. n. 4, *Lepidocyrtus* sp. n. 3 foram as espécies mais abundantes com 8230 (29% da abundância total), 4592 (16% da abundância total) e 4097 (14% da abundância total) respectivamente. Os gêneros mais ricos em espécies foram *Seira*, com nove espécies, seguido dos gêneros *Neotropiella*, *Trogolaphysa* e *Lepidocyrtus*, com cinco espécies cada. As famílias Entomobryidae e Neanuridae foram a mais diversa com 20 espécies (29% da riqueza total) e 11 espécies (16% da riqueza total), respectivamente. A família Neelidae só ocorreu na área do Parque Estadual da Mata do Pau Ferro e Collophoridae no Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, essas duas famílias foram as únicas que não foram registradas em mais de uma área.

Parque Estadual da Mata do Pau Ferro, Serra de Santa Catarina e a Mata do Buraquinho foram as áreas com maior riqueza de espécies, com 34 (49% da riqueza total), 25 (36% da riqueza total) e 24 (35% da riqueza total) espécies, respectivamente. A Serra de São Bentinho foi a área com a menor riqueza de espécies, com oito (11% da riqueza total; Figura 1.7A). Áreas mais abundantes foram o Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Mata do Buraquinho e Parque Estadual Mata do Pau Ferro com 10.630 (37% da abundância total), 7133 (25% da abundância total) e 5358 (19% da abundância total) de indivíduos de colêmbolos respectivamente (Figura 1.7B).

Entre as áreas de floresta úmida, a Mata do Buraquinho, Usina São João, RPPN Fazenda Pacatuba e Parque Estadual Mata do Pau Ferro foram as áreas com maior riqueza e abundância, com um total de 14.737 indivíduos de colêmbolos, distribuídos em 47 espécies, sendo 31 espécies exclusivas (45% da riqueza total) para essas áreas. As espécies *Lepidocyrtus* sp. 3, *Rhynchocyrtus* sp. n. 1, *Seira harena* Godeiro & Bellini, 2014, *Trogolaphysa formosensis* Silva & Bellini, 2015 e *Szeptyckitheca* sp. 1, ocorreram nas quatro áreas de floresta úmida.

As áreas de floresta seca, a RPPN Fazenda Almas, Serra de São Bentinho, Serra de Santa Catarina e Parque Ecológico Engenheiro Ávidos apresentaram uma abundância de 13.645 indivíduos de colêmbolos e uma riqueza de 38 espécies, sendo 22 espécies exclusivas (32% da riqueza total). A espécie *Seira ritae* Bellini & Zappelini, 2011 e o gênero novo da família Bourletiellidae, foram os únicos que ocorreram nas quatro áreas de floresta seca.

As áreas de floresta úmida e de floresta seca compartilharam apenas 16 espécies (23% da riqueza total): *Brachystomella agrosa* Wray, 1953, *Neotropiella* sp. 4, *Coecobrya* sp. 1,

Pseudosinella sp. 1, *Seira paraibensis* Bellini & Zeppelini, 2009, *Paracerura* sp. 1, *Proisotoma* sp.1, *Cyphoderus innominatus* Mills & Pearse, 1938, *Trogolaphysa* sp. n. 3, *Stenognathriopes janssensi* Zeppelini & Silva, 2012, *Calvatomina* sp. 1, *Temeritas* sp. 1, *Varelasminthurus potiguarus* Silva, Palacios-Vargas & Bellini, 2015, *Sphaeridia heloisea* Arlé, 1984, *Sphaeridia* sp. n. 1 e *Sminthurinus* sp. 1.

De acordo com os estimadores de riqueza de espécies utilizados, a suficiência amostral de todas as áreas ficou acima de 80% (Tabela 1.3 e Figuras 1.8 e 1.9).

A riqueza e abundância de espécies de Collembola não foram correlacionadas ($r = 0.51$) e, portanto, ambas foram tratadas separadamente como variáveis dependentes. As análises de regressões linear simples entre a riqueza de espécies de Collembola nas oito áreas coletas e as variáveis preditoras explicaram que a variação na riqueza é correlacionada significativamente com a matéria orgânica do solo ($R^2 = 0.72$; $R^2_{adj} = 0.67$; P–valor = 0.007; Figura 1.10) e com cobertura de dossel ($R^2 = 0.53$; $R^2_{adj} = 0.45$; P–valor = 0.040; Figura 1.10). A abundância de Collembola não foi correlacionada com nenhuma das variáveis preditoras.

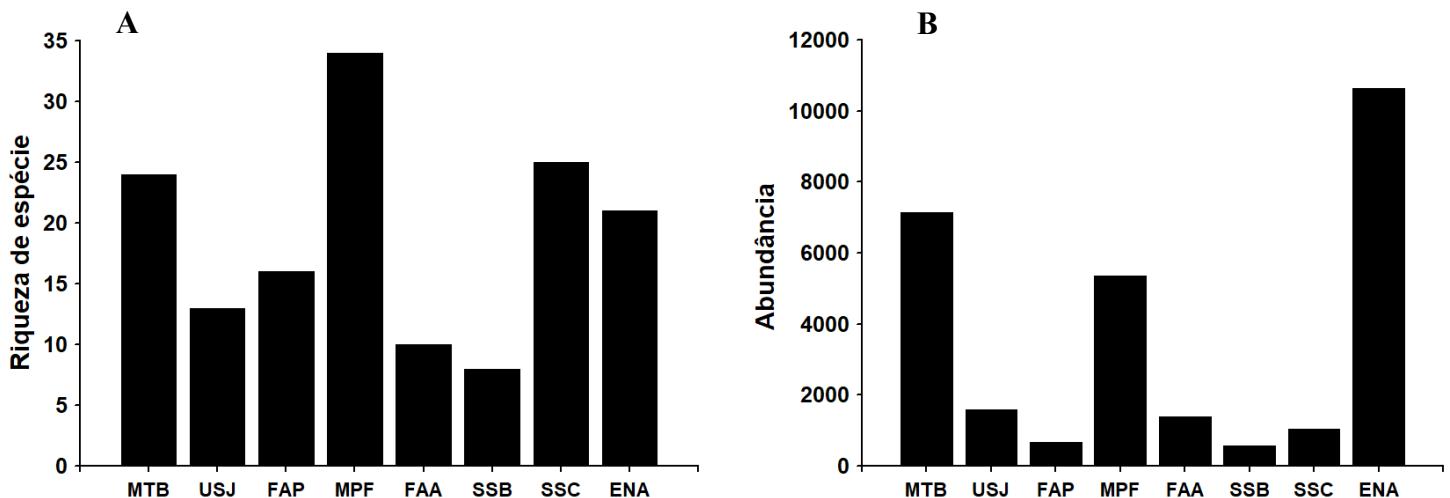


Figura 1.7 A-B: A. Riqueza de espécie de Collembola em oito áreas da Paraíba. B. Abundância de Collembola em oito áreas da Paraíba, no período chuvoso de 2014 a 2017. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).

Tabela 1.2: Riqueza de espécies e abundância de Collembola em oito áreas da Paraíba, no período chuvoso de 2014 a 2017. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).

Família/ Espécies	MTB	USJ	FAP	MPF	FAA	SSB	SSC	ENA	Abundância Total
Brachystomellidae									
<i>Brachystomella agrosa</i> Wray, 1953	130		3	44	45	2	94		318
<i>Brachystomella</i> sp. n.1					1		1	3	5
Hypogastruridae									
<i>Xenylla</i> sp. n. 1							11		11
<i>Xenylla</i> sp. n. 2								8230	8230
<i>Xenylla</i> sp. n. 3			17		2				19
Neanuridae									
<i>Aethiopella</i> sp. 1					2				2
<i>Arlesia albipes</i> (Folsom, 1927)	1				1				2
<i>Friesea</i> sp. 1					4				4
<i>Neotropiella</i> sp. 1					2				2
<i>Neotropiella</i> sp. 2	1				4				5
<i>Neotropiella</i> sp. 3					2				2
<i>Neotropiella</i> sp. 4					7		28		35
<i>Neotropiella</i> sp. 5							45		45
<i>Pseudachorutes</i> cf. <i>difficilis</i> Denis, 1931				47					47

Família/ Espécies	MTB	USJ	FAP	MPF	FAA	SSB	SSC	ENA	Abundância Total
<i>Pseudachorutes</i> sp. 1				10					10
<i>Pseudachorutes</i> sp. 2					15				15
Entomobryidae									
<i>Coecobrya</i> sp. 1		1						12	13
<i>Dicranocentrus</i> sp.1				109					109
<i>Lepidocyrtoides</i> cf. <i>caeruleomaculatus</i> Cipolla & Bellini, 2017	4								4
<i>Lepidocyrtoides</i> sp. 1				20					20
<i>Lepidocyrtus nigrosetosus</i> Folsom, 1927						7			7
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 1						40			40
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 2					32	31	10		73
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 3	516	45	69	3467					4097
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 4	3920		43	629					4592
<i>Pseudosinella</i> sp. 1		11			2			15	28
<i>Rhynchocyrtus</i> sp. n. 1	68	46	22	64					200
<i>Seira dowlingi</i> (Wray, 1953)			24						24
<i>Seira glabra</i> Godeiro & Bellini, 2013			19	9	17				45
<i>Seira harena</i> Godeiro & Bellini, 2014	10	146	4	135					295
<i>Seira mirianae</i> Arlé & Guimaraes, 1981						44			44
<i>Seira paraibensis</i> Bellini & Zeppelini, 2009	1731	860	157	140		47			2935
<i>Seira ritae</i> Bellini & Zeppelini, 2011					600	358	54	1209	2221
<i>Seira</i> sp. n. 1							18		18
<i>Seira</i> sp. n. 2					12	15	255		282

Família/ Espécies	MTB	USJ	FAP	MPF	FAA	SSB	SSC	ENA	Abundância Total
<i>Seira</i> sp. n. 3				3					3
Isotomidae									
<i>Arlea</i> sp. 1								2	2
<i>Folsomides</i> sp. 1								2	2
<i>Hemisotoma</i> sp. 1							53		53
<i>Isotomiella nummulifer</i> Deharveng & Oliveira, 1990	1			22					23
<i>Isotomiella</i> sp. 1						11			11
<i>Isotomurus</i> sp.1						28			28
<i>Paracerura</i> sp. 1				17		11	3		31
<i>Proisotoma</i> sp.1				73		3			76
<i>Proisotoma</i> sp. 2	2								2
Paronellidae									
<i>Campylothorax mitrai</i> Bellini & Meneses, 2012	29								29
<i>Cyphoderus innominatus</i> Mills & Pearse, 1938	6	3	1		1		2		13
<i>Cyphoderus</i> sp. n. 1	4								4
<i>Salina</i> sp. 1	128	96	31						255
<i>Trogolaphysa formosensis</i> Silva & Bellini, 2015	323	270	279	32					904
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 1						17			17
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 2			1	2					3
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 3	38		25	2			2		67
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 4	30								30
Bourletiellidae									
Gen. n. 1					630	158	237	414	1439

Família/ Espécies	MTB	USJ	FAP	MPF	FAA	SSB	SSC	ENA	Abundância Total
<i>Stenognathriopes janssensi</i> Zeppelini & Silva, 2012		5			40	5	60	126	236
Collophoridae									
<i>Collophora brasiliis</i> Zeppelini & Brito, 2013								3	3
Dicyrtomidae									
<i>Calvatomina</i> sp. 1	94				141			8	244
Sminthuridae									
<i>Pararrhopalites palaciosi</i> Zeppelini & Brito, 2014		9	1	14					24
<i>Szeptyckitheca</i> sp. 1	19	43	9	14					85
<i>Temeritas</i> sp. 1	7				3		134	5	149
<i>Varelasminthurus potiguarus</i> Silva, Palacios-Vargas & Bellini, 2015			6		29	17	32	78	162
Sminthurididae									
<i>Denisiella caatingae</i> sp. nov								53	53
<i>Denisiella bestchi</i> sp. nov								108	108
<i>Sphaeridia heloisea</i> Arlé, 1984	59				121			54	234
<i>Sphaeridia</i> sp. n. 1					115			18	133
<i>Sphaeridia</i> sp. n. 2					17				17
Katiannidae									
<i>Sminthurinus</i> sp. 1			3	60			61		124
Neelidae									
<i>Megalothorax</i> sp.1					19				19
Abundancia total	7133	1583	663	5358	1397	584	1034	10630	28382
Riqueza total	24	13	16	34	10	8	25	21	69

Tabela 1.3: Valores dos estimadores de abundância ACE e Chao 1 e de incidência Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Boostrap, ICE, em oito áreas no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media \pm DP) media mais desvio padrão.

Áreas	Abundância					Incidência						
	Sobs	ACE	Chao 1	Media \pm DP	Suficiência amostral	Chao 2	Jack 1	Jack 2	Boot	ICE	Media \pm DP	Suficiência amostral
Mata do Buraquinho	24	29.04	27	28 \pm 1.4	86%	28.5	28.5	31.79	25.95	27.58	28.5 \pm 2.1	84%
Usina São João	13	13	13	13 \pm 0	100%	13	13.9	14.7	13.41	13.32	13.7 \pm 0.7	95%
RPPN Fazenda Pacatuba	16	18.58	19	18.8 \pm 0.2	85%	17.35	19.6	20.67	17.8	18.74	18.8 \pm 1.3	85%
PE Mata do Pau Ferro	34	34.43	34	34.2 \pm 0.3	99%	35.93	39.4	39.93	36.8	38.19	38.1 \pm 1.7	89%
RPPN Fazenda Almas	10	10.6	10	10.3 \pm 0.5	97%	10.45	11.8	12.69	10.84	11.48	11.5 \pm 0.9	87%
Serra de São Bentinho	8	8.53	8	8.4 \pm 0.5	95%	8.9	9.8	11.4	8.7	9.98	9.8 \pm 1.1	82%
Serra de Santa Catarina	25	26.11	25	25.6 \pm 0.7	98%	25.3	26.8	26.98	26.02	25.65	26.2 \pm 0.7	95%
PE Engenheiro Ávidos	21	21.41	21	21.2 \pm 0.2	99%	25.5	26.4	29.78	23.4	26.06	26.2 \pm 2.3	80%

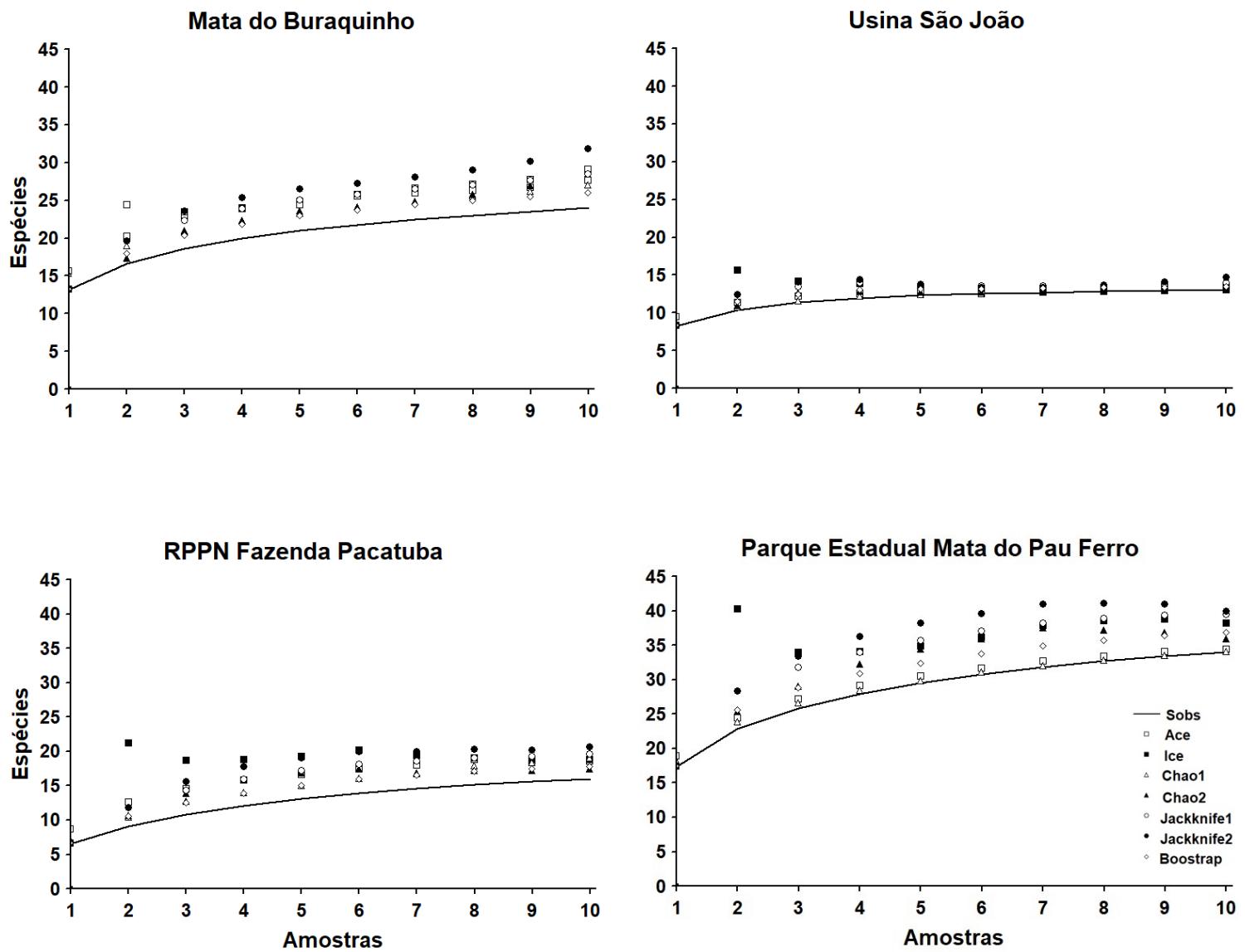


Figura 1.8: Riqueza observada e riqueza estimada de Collembola na Mata do Buraquinho, João Pessoa; Usina São João, Santa Rita; RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé e Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia, Paraíba, Brasil.

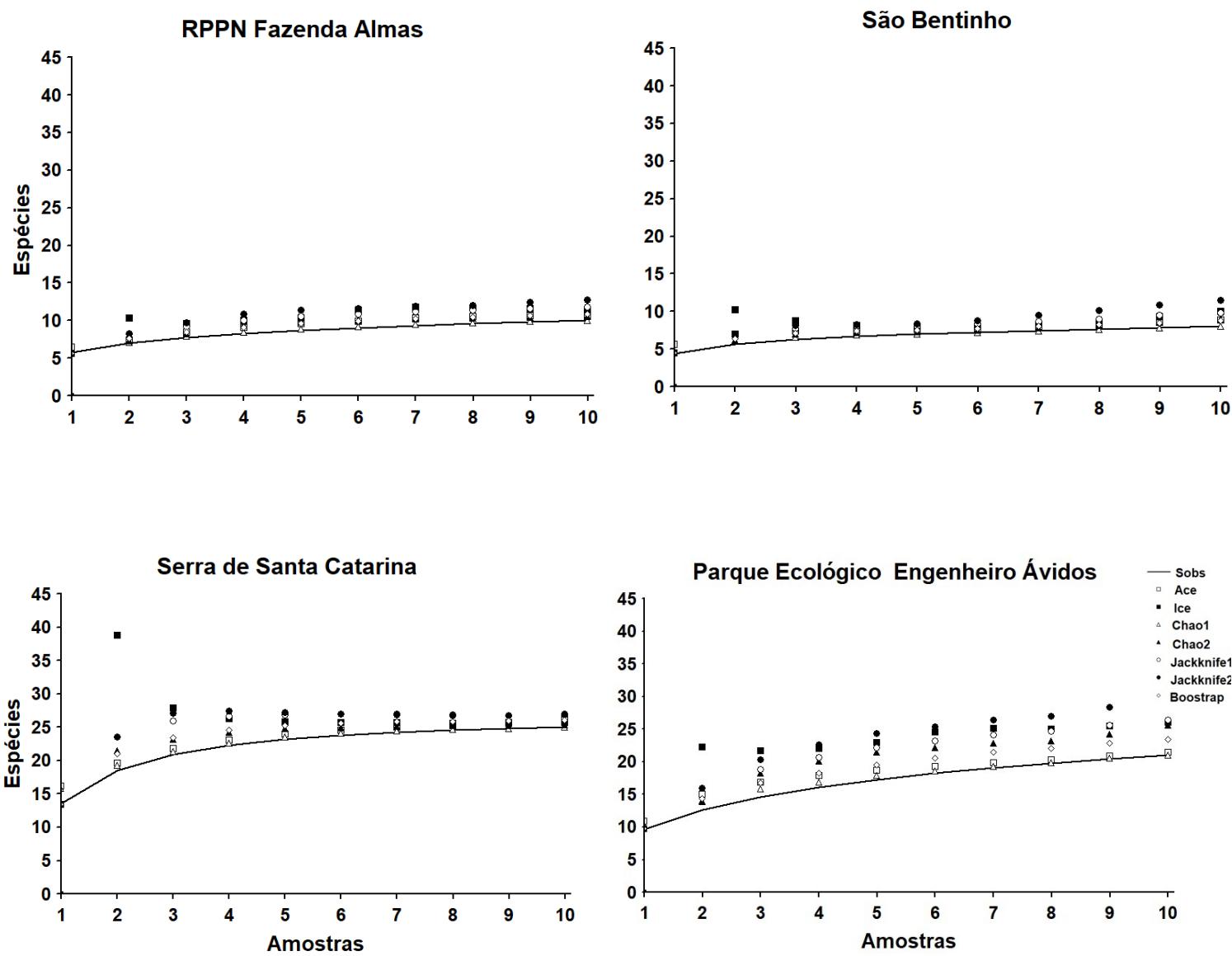


Figura 1.9: Riqueza observada e riqueza estimada de Collembola na RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros; Serra de São Bentinho, São Bentinho; Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada e Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

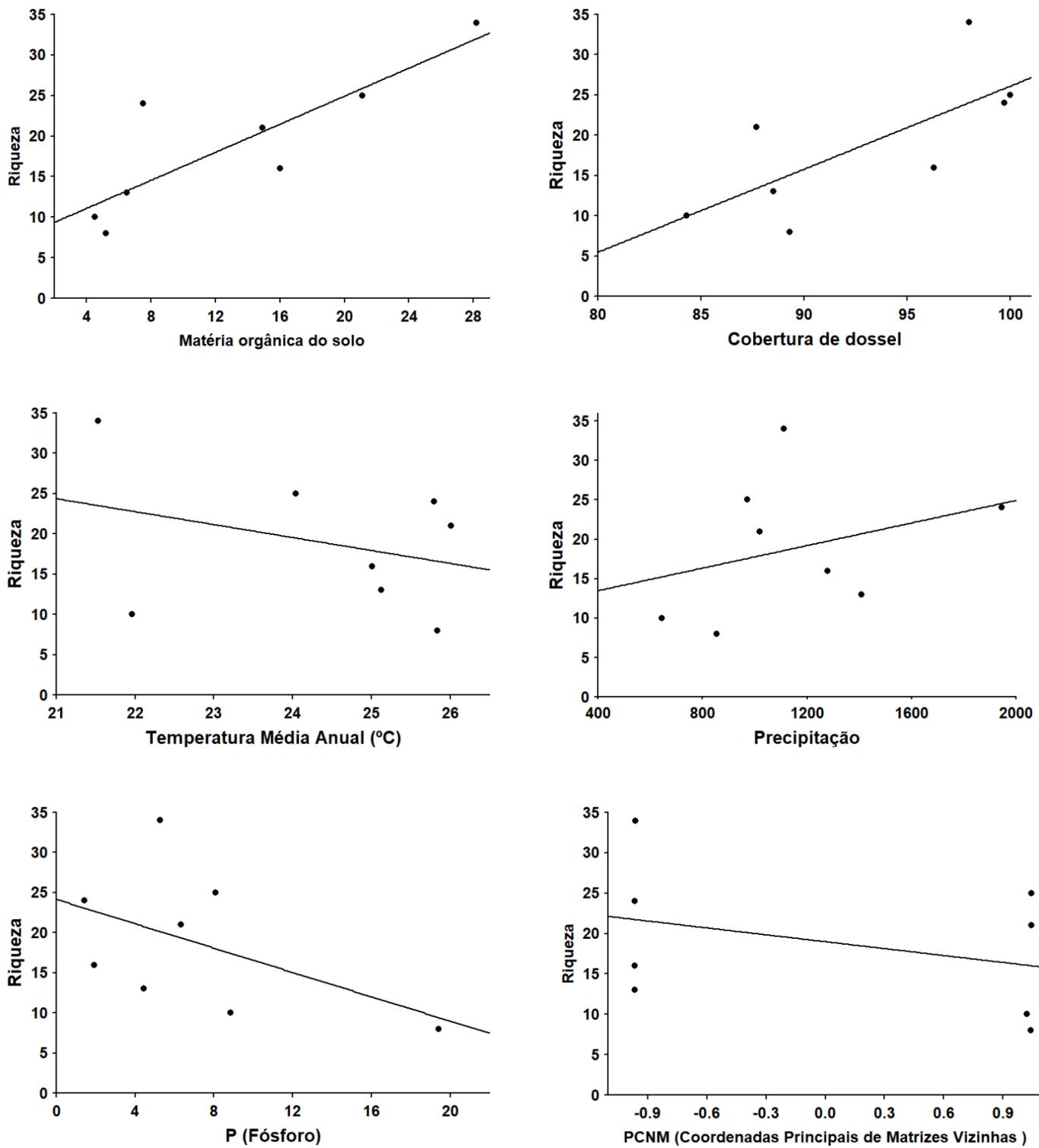


Figura 1.10: Regressões lineares simples entre a riqueza de espécies de Collembola e a variáveis preditoras em oito áreas na Paraíba, Brasil. Matéria orgânica do solo ($R^2 = 0.72$; $R^2_{adj} = 0.67$; P-valor = 0.007); Cobertura do dossel ($R^2 = 0.53$; $R^2_{adj} = 0.45$; P-valor = 0.04); Temperatura media anual (°C) ($R^2 = 0.10$; $R^2_{adj} = -0.045$; P-valor = 0.43); Precipitação media anual ($R^2 = 0.10$; $R^2_{adj} = -0.043$; P-valor = 0.43); P (Fósforo) ($R^2 = 0.24$; $R^2_{adj} = 0.11$; P-valor = 0.21); Variável espacial ($R^2 = 0.12$; $R^2_{adj} = -0.025$; P-valor = 0.39).

A participação da variação mostrou que 68% ($R^2 = 0.70$; $R^2_{adj} = 0.68$; P-valor = 0.001) da distribuição da composição da taxocenose Collembola nas áreas estudadas é explicada pelo conjunto das variáveis ambientais e espaciais [a+b+c], o componente ambiental estruturado [a+b] explicou 56% ($R^2 = 0.59$; $R^2_{adj} = 0.56$) e o espacial estruturado [b+c] 40% ($R^2 = 0.41$; $R^2_{adj} = 0.40$; Tabela 1.4). A fração ambiental pura [a] e o componente compartilhado [b] ambas explicaram 28% ($R^2_{adj} = 0.28$) cada uma, da variação da composição da taxocenose de Collembola, enquanto a fração espacial pura [c] explicou 12% ($R^2_{adj} = 0.12$; Figura 1.11).

A ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) mostrou que a composição da taxocenose de Collembola nas oito áreas estudadas possuem um gradiente ambiental/geográfico em relação a longitude (Figura 1.12). O eixo 1 da ordenação separou as áreas em floresta seca e floresta úmida, onde o Fósforo do solo ($r=0.78$) e PCNM (Coordenadas Principais de Matrizes Vizinhas) ($r=0.98$) foram correlacionados positivamente, enquanto a precipitação média anual ($r=-0.76$) foi correlacionada negativamente. O eixo 2 da ordenação não foi correlacionado com nenhuma das variáveis preditoras (Tabela 1.5).

A Semelhança faunística entre áreas diminuiu significantemente à medida que a distância geográfica aumentou (índice de Jaccard: $r = -0.71$, $p < 0.05$ e índice de Morisita: $r = -0.59$, $p < 0.05$), sendo assim áreas mais próximas possuem uma maior semelhança faunística de Collembola e com condições ambientais mais parecidas (Figura 1.13).

Tabela 1.4: Analise de Redundância Parcial da variação explicada da taxocenose de Collembola nas oito áreas coletadas no estado da Paraíba, Brasil. d.f - graus de liberdade.

Partição da variação	R^2	R^2_{adj}	df	P-valor
Ambiental [a+b]	0.59	0.56	5	0.001
Espacial [b+c]	0.41	0.40	1	0.001
Total [a+b+c]	0.70	0.68	6	0.001

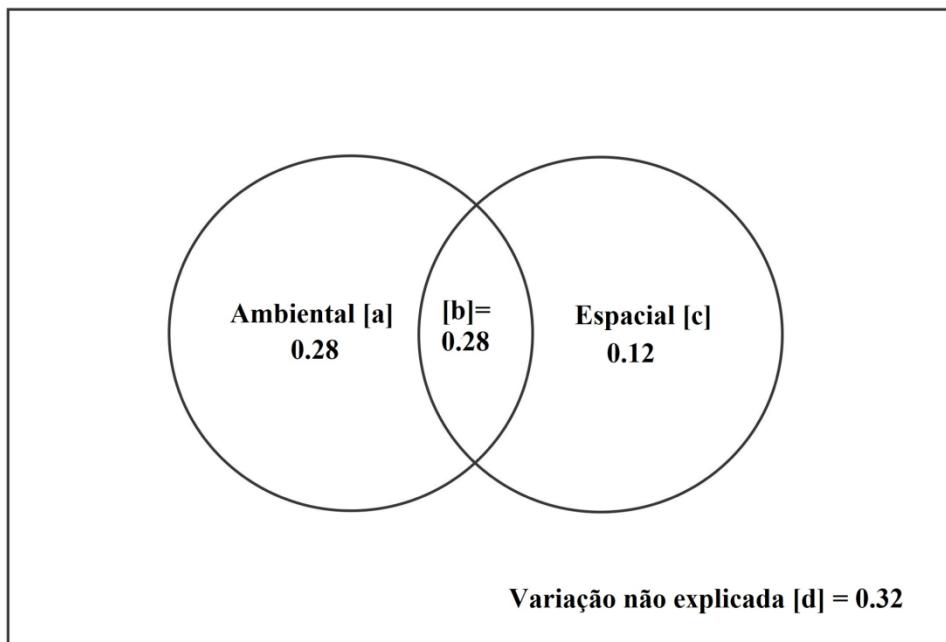


Figura 1.11: Resultados da fração da partição da variabilidade da composição das espécies de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. Os resultados são baseados em análise de redundância. Os valores apresentados são de R^2 ajustados das variáveis ambientais [a], variáveis espaciais [c] e o componente partilhado [b], sendo [d] a parte não explicada.

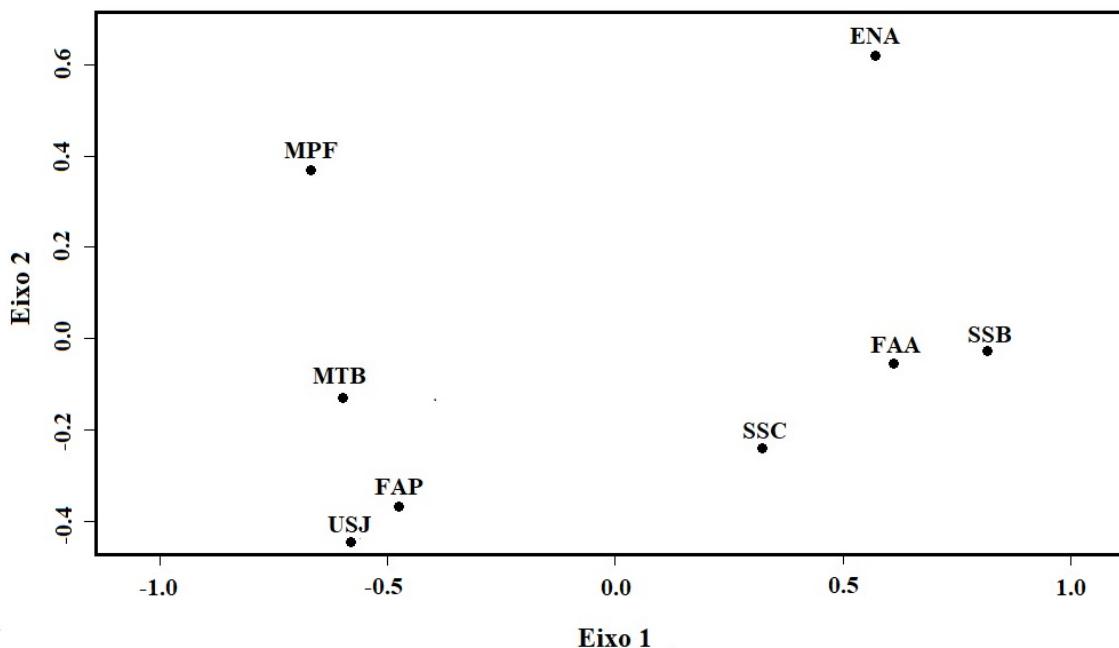


Figura 1.12: Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Morisita da fauna de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Areia), **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).

Tabela 1.5: Correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e espaciais e os escores do escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) da composição de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil. * $P < 0,05$

Variáveis	Eixo 1 (NMDS)	Eixo 2 (NMDS)
Temperatura média anual	0.10	-0.13
Precipitação média anual	-0.76*	-0.27
Cobertura de dossel	-0.56	-0.16
Matéria orgânica do solo	-0.42	0.44
Fósforo do solo (P)	0.78*	0.13
PCNM	0.98*	0.32

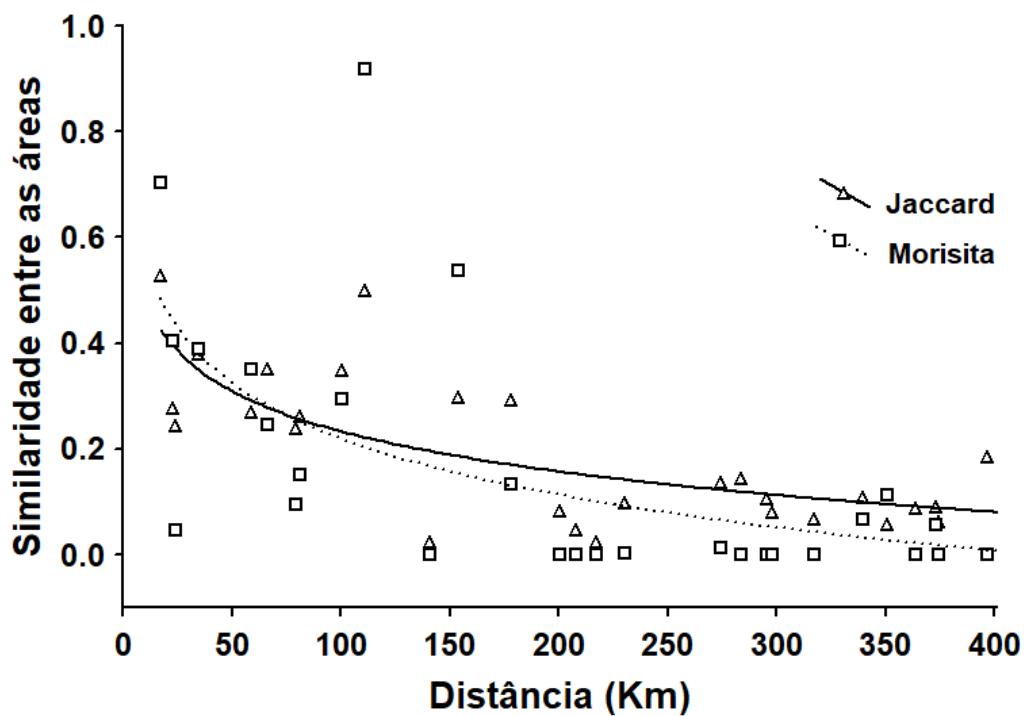


Figura 1.13: Decaimento da similaridade da taxocenose de Collembola em oito áreas no estado da Paraíba, Brasil em função da distância entre locais de amostragem. As linhas representam as curvas de regressão logarítmica.

1.4 DISCUSSÃO

A riqueza de espécies de Collembola encontrada nesse estudo foi uma das maiores, em comparação a outros inventários realizados também no Brasil. A maior parte desses inventários de Collembola realizados no Brasil, empregam métodos de coletas diferentes, sendo esse estudo um dos mais extensivo e consistente, aplicando a mesma metodologia em todas as áreas estudadas (ZEPPELINI et al., 2009; SANTOS-ROCHA et al., 2011; BELLINI, 2014).

Na Região do Nordeste do Brasil são conhecidas 71 espécies de Collembola (ZEPPELINI et al., 2018), nesse trabalho encontramos 69 espécies ao longo de oito áreas coletadas no estado Paraíba, sendo, no mínimo, 16 espécies novas para ciência. A família Entomobryidae foi a que mostrou a maior riqueza de espécies, corroborando os dados da literatura que mostram que essa família é a mais diversa de Collembola, possuindo elementos morfológicos predominantes de ambientes epiedáficos de ecossistemas tropicais, tendo o corpo cobertos por abundantes cerdas e escamas, que retêm uma camada de ar aprisionada sobre o corpo, diminuindo a perda de água e permitindo que esses animais habitem ambientes secos (HOPKIN, 1997; CHRISTIANSEN & BELLINGER, 2000). *Seira* foi o gênero dominante em número de espécies, esse gênero é o mais rico taxonomicamente no Brasil, com aproximadamente 33 espécies, sendo 30 endêmicas (ZEPPELINI et al., 2018). BELLINI & ZEPPELINI (2009) sugerem que a Região Nordeste do Brasil é, possivelmente, uma das áreas de maior riqueza de espécies de *Seira* no mundo.

No presente estudo as áreas foram estruturadas em floresta úmida e seca, o conjunto dessas áreas compartilham poucas espécies (16 espécies; 23% do total de espécies), sendo assim esses dois conjuntos, floresta úmida e seca, possuem uma composição de espécies de Collembola categóricas.

A maior riqueza de espécies de Colembola foi encontrada nas áreas mais úmidas. Segundo Saraeva et al. (2015) a riqueza de Collembola apresenta uma distribuição mais heterogênea em ambientes que possuem uma maior variação de umidade. Enquanto a abundância de colêmbolos não apresentou variação em relação ao gradiente de umidade, isso não condiz com os dados da literatura que mostra que abundância de colêmbolos é maior em áreas úmidas (SARAEVA et al., 2015; SLAWSKA et al., 2017). Entretanto na

área de floresta seca no Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras, uma única espécie (*Xenylla* sp. n. 2) reteve 60 % da abundância total das áreas de floresta seca.

As áreas coletadas apresentam um gradiente longitudinal que influencia grande parte da variação observada na composição da taxocenose de Collembola. Sendo essa variação na composição de espécies explicada por variáveis ambientais (temperatura e precipitação média anual; cobertura de dossel; matéria orgânica e P do solo) e variáveis espaciais em larga escala (PCNM1). A maior parte dessa variação é explicada (56%; $R^2_{adj} = 0.56$) e determinada pelas variáveis ambientais estruturadas com o componente espacial [a+b], sendo a contribuição do componente compartilhado [b] de 28%, mostrando uma influência significativa entre associação do ambiente e do espaço, ou seja, a ação dos processos neutros como dispersão (HUBBELL, 2001) estão atuando com as variáveis ambientais. Alguns estudos, porém, mostraram que a composição da taxocenose de Collembola foi melhor explicada por variáveis ambientais do que as espaciais (MARTINS DA SILVA et al., 2012; PONGE & SALMON, 2013; WIDENFALK et al., 2015). Os componentes espaciais também podem desempenhar um papel importante na explicação da variação na composição da comunidade de Collembola onde aumentando da distância espacial, provavelmente resultará em um aumento do impacto da filtragem ambiental (MARTINS DA SILVA et al., 2012; WIDENFALK et al., 2015). Rzeszowski e colaboradores (2017), em um gradiente urbano, apontaram que os fatores ambientais e espaciais se sobrepõem, sendo a variação da comunidade de Collembola explicada pelos fatores ambientais estruturados pelo componente espacial.

A composição de espécies foi explicada pela variação da precipitação média anual e a quantidade de fósforo no solo, enquanto a riqueza de espécies de Collembola foi explicada pela matéria orgânica do solo e cobertura do dossel, corroborando assim, com Zeppelini et al. (2009). Essas variáveis ambientais estão associadas direta ou indiretamente a mudanças na disponibilidade de fontes de alimento para esses hexápodes (HOPKIN, 1997; RUSEK, 1998; CASTAÑO-MENESES et al., 2004).

Collembola são considerados consumidores generalistas nos ecossistemas, a análise do conteúdo intestinal dos Collembola indica que várias espécies neotropicais apresentam quantidades consideráveis de matéria orgânica vegetal em seu trato digestivo (CASTAÑO-MENESES et al., 2004). Potapov e colaboradores (2016), demonstraram que os recursos derivados de plantas são oriundos diretamente das raízes, sendo assim o tipo de vegetação e composição são muitas vezes determinantes na variação da taxocenose dos colêmbolas (HOPKIN, 1997). Desta forma, mudanças relacionadas a

vegetação podem exercer influência sobre a fauna dos Collembola através da alteração e disponibilidade de recursos alimentares e de habitat adequado (WIDENFALK et al., 2015; FERREIRA et al., 2018).

A variação na composição das espécies de Collembola também pode ser explicada por gradientes de concentração de fósforo no solo. A disponibilidade de fósforo é associada a composição da microflora do solo, tais como fungos e bactérias, que também são principais recursos alimentares de Collembola (HOPKIN, 1997; RZESZOWSKI, 2017).

A distância geográfica contribui com a diversidade beta, de tal forma que, quanto maior a distância geográfica entre as áreas, menor a similaridade de espécies entre elas. Sendo assim o aumento da diversidade beta está relacionada ao aumento da distância entre as localidades. No presente estudo a diversidade beta representou uma rotatividade das espécies (*turnover*), em vez de uma perda da riqueza de espécies em relação a distância indicando que essa substituição pode ser relacionada às variações ambientais espacialmente estruturadas (DINIZ-FILHO et al., 2012).

1.5 CONCLUSÃO

Foi possível concluir: **1.** Os padrões de distribuição de Collembola ao longo das áreas estudadas é controlada em grande medida pelas variáveis ambientais estruturadas espacialmente, isto é, os fatores ambientais e os processos estocásticos estão atuando de forma contínua ao longo da escala geográfica estudada. Fatores de escalas maiores podem interagir com processos ecológicos que determinam a estrutura da comunidade local, sendo assim o presente estudo pode ser aplicado em escalas espaciais menores. **2.** A medida que a distância entre as áreas foi menor, a similaridade faunística foi maior, mostrando que a composição de espécies de uma comunidade é influenciada pela metacomunidade circundante e no presente estudo as áreas próximas possuem características ecológicas semelhantes. **3.** Esses resultados representam uma melhor compreensão da importância relativa dos processos ecológicos na estrutura da comunidade de Collembola em áreas de ecossistemas terrestres tropicais. Esses efeitos de padrões gerais podem ser extrapolados e servem de base para outros hexápodes decompositores com características e requisitos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMCZYK, S.; GOTTLIEBER, P.; MATAUSCHEK, C.; KESSLER, M. 2011. Diversity and community composition of euglossine bee assemblages (Hymenoptera: Apidae) in western Amazonia. **Biodiversity and Conservation** **20**: 2981-3001.
- ALLEN, S. E.; GRISHALL H.M.; PARKINSON J.A; QUARNBY C. 1974. Analysis of soil. In: ALLENS, S.E (eds). **Chemical analysis of ecological materials**. Blackwell Scientific publications, London.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** **22** (6): 711-728.
- ARLÉ, R. & MENDONÇA, C. 1982. Estudo preliminar das espécies de *Dicranocentrus* Schött, 1893, ocorrentes no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Biologia** **42**: 41-49.
- AVILA, A.C.; STENERT, C.; RODRIGUES, E.N.L; MALTCHIK L. 2017. Habitat structure determines spider diversity in highland ponds. **Ecological Research** **32**: 359-367.
- BARBOSA, M. R. V.; LIMA, I. B.; LIMA, J. R.; CUNHA, J. P.; AGRA, M. F.; THOMAS, W. W. 2007. Vegetação e Flora no Cariri Paraibano. **Oecologia Brasiliensis** **11**(3): 313-322.
- BEIRÃO, M. V.; FREDERICO, S. N.; CARLA M. P.; PHILIP J. D.; FERNANDES, G. W. 2017. High butterfly beta diversity between Brazilian cerrado and cerrado-caatinga transition zones. **Journal of Insect Conservation** **21**: 849-860.
- BELLINGER, P. F.; K. A. CHRISTIANSEN & F. JANSENS. 1996-2018. **Checklist of the Collembola of the World**. Disponível em: <<http://www.collembola.org>>. Acessado em: 03 jan. 2018.
- BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. 2009. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia** **53** (3): 386-390.
- BELLINI, B.C. 2014. Fauna de Collembola (Arthropoda) em áreas úmidas do semiárido. In: BRAVO, F.; CALOR, A. (Eds.), **Artrópodes do Semiárido: Biodiversidade e Conservação**. Printmídia, Feira de Santana, pp. 57-68.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P. 2002. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. **Ecological Modelling** **153**: 51-68.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; AVOIS-JACQUET, C.; TUOMISTO, H. 2004. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. **Ecology** **85**: 1826-1832.

- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. 2011. **Numerical ecology with R.** Springer, New York, New York, USA.
- CASSAGNE, N.; GERS, C; GAUQUELIN, T. 2003. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **Biol Fertil Soils** **37**: 355-361.
- CASTAÑO-MENESES, G. PALACIOS-VARGAS, J.G ; CUTZ-POOL, L.Q. 2004. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, **Serie Zoología** **75**: 135-142.
- CHAVE, J. 2004. Neutral theory and community ecology. **Ecology Letters** **7**: 241-253.
- CHESSON, P. 2000. Mechanisms of maintenance of species diversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** **31**: 343-366.
- CHRISTIANSEN, K.; BELLINGER, P.F. 1980. **The Collembola of North America north of Rio Grande, a taxonomic analysis.** Iowa, Grinnel College, p. 1322.
- CHRISTIANSEN, K.A.; P. BELLINGER. 2000. A Survey of the Genus *Seira* (Hexapoda: Collembola: Entomobryidae) n the Americas. **Caribbean Journal of Science** **36**: 39-75.
- COLWELL, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>
- COULSON, S.J.; MIDGLEY, N.G. 2012. The role of glacier mice in the invertebrate colonisation of glacial surfaces: the moss balls of the Falljokull, Iceland. **Polar Biology** **35**: 1651-1658.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de São Bentinho, estado da Paraíba.** Recife: CPRM/PRODEEM,
- CULIK, M. P.; ZEPPELINI, D.F. 2003. Diversity and distribution of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) of Brazil. **Biodiversity and Conservation** **12**: 1119-1143.
- DEHARVENG, L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a casestudy in the Pyrenees (France). **Conservation Biology** **10**: 74-84.
- DELFIN, F. R.; FREIRE, E. M. X. 2007. Os lagartos Gimnóftalmídeos (Squamata: Gymnophthalmidae) do Cariri Paraibano e do Seridó do Rio Grande do Norte Nordeste do Brasil: Considerações acerca da distribuição geográfica e ecologia. **Oecologia Brasiliensis** **11(3)**: 365-382.
- DINIZ-FILHO, J.A.F.; SIQUEIRA, T.; PADIAL, A.A.; RANGEL, T.F.; LANDEIRO, V.L.; BINI, L.M. 2012. Spatial autocorrelation analysis allows disentangling the balance between neutral and niche processes in metacommunities. **Oikos** **121**: 201-210.
- DRAY, S.; LEGENDRE, P.; PERES-NETO, P.R. 2006. Spatial modelling: a

comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecological Modelling** **196**: 483-493.

DUNGER, W.; SCHULZ, H.J.; ZIMDARS, B. 2002. Colonization behaviour of Collembola under different conditions of dispersal. **Pedobiologia** **46**: 316-327.

EMBRAPA. 1997. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, p. 212.

FEITOSA, A. A. F. M. A.; WATANABE, T.; MENEZES, M. A. 2002. Unidades de conservação no semi-árido nordestino: o caso do Parque Ecológico De Engenheiro Ávidos – PB. **Raízes** **21(1)**: 101-113.

FERREIRA, A. S.; BELLINI, B. C.; VASCONCELLOS, A. 2013. Temporal variations of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in the semiarid Caatinga in northeastern Brazil. **Zoologia (Curitiba): an international journal for zoology**: 639-644.

FERREIRA, A. S.; ROCHA, I. M. S.; BELLINI, B. C.; VASCONCELLOS, A. 2018. Effects of habitat heterogeneity on epiedaphic Collembola (Arthropoda, Hexapoda) in a semiarid ecosystem in Northeast Brazil. **Zoologia (Curitiba): an international journal for zoology** **35**: 1-5.

GENTRY, A.H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **75**:1-34.

GARCIA-LOPEZ, A.; MICO, E.; GALANTE, E. 2012. From lowlands to highlands: searching for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. **Diversity and Distributions** **18**: 543-553.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletronica** **4**: 1-9.

HAWES, T.C.; WORLAND, M.R.; CONVEY, P.; BALE, J.S. 2007. Aerial dispersal of springtails on the Antarctic Peninsula: implications for local distribution and demography. **Antarctic Science** **19**: 3-10.

HEINIGER, C.; BAROT, S.; PONGE, J.F.; SALMON, S.; BOTTON-DIVETA, L.; CARMIGNAC, D.; DUBS, F. 2014. Effect of habitat spatiotemporal structure on collembolan diversity. **Pedobiologia** **57**: 103-117.

HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology** **25**: 1965-1978.

HOPKIN, S. P. 1997. **Biology of Springtails (Insecta: Collembola)**. Oxford University Press, USA. 344.

HOWETH J.G.; LEIBOLD M.A. 2010. Species dispersal rates alter diversity and ecosystem stability in pond metacommunities. **Ecology** **91**: 2727-2741.

HUBBELL, S.P. 2001. **The unified neutral theory of biodiversity and biogeography.** Princeton University Press, Princeton, NJ.

HUTCHINSON, G.E. 1957. Population studies – animal ecology and demography concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology** 22: 415-427.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1992. **Manual técnico da vegetação brasileira:** 1-92. IBGE, Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. **Manuais técnicos em geociências: Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2 ed. Rio de Janeiro, p. 271.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia** 129: 271-280.

LEGENDRE, P.; BORCARD, D.; PERES-NETO, P.R. 2005. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. **Ecol Monogr** 75: 435-450.

LIMA, P. J.; HECKENDORFF, W. D. 1985. Climatologia. In: **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba.** Secretaria de Educação, Governo do Estado da Paraíba, João Pessoa. p. 34-43.

MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity.** Blackwell, Oxford, p. 256.

MANLY, B. J. F. 2008. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução.** 3 ed. Porto Alegre. Bookman. 229.

MARTINS DA SILVA, P.; BERG, M.P.; SERRANO, A.R.M.; DUBS, F.; SOUSA, J.P. 2012. Environmental factors at different spatial scales governing soil fauna community patterns in fragmented forests. **Landscape Ecology** 27: 1337-1349.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C.; MORAIS, F.; MENDES, V. A.; MIRANDA, J. L. F. 2005. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea.** Diagnóstico do município de Cruz do Espírito Santo, estado da Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM. 10 p.

MAYO, S. J.; FEVEREIRO, V. P. B. 1982. Mata do Pau-Ferro: a pilot study of the brejo forest. **Royal Botanic Gardens, Kew** :29

MELO, A. L.; BARBOSA, M. R. V. 2007. O gênero *Borreria* G.Mey (Rubiaceae) na Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba. **Revista Brasileira de Biociências** 5 (2): 627-629.

NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A. 2008 - Ecoclimatologia do Cariri Paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica** 2 (3): 28-41.

NEMÉSIO, A.; VASCONCELOS, H. L. 2013. Beta diversity of orchid bees in a tropical biodiversity hotspot. **Biodiversity and Conservation**, 22: 1647-1661.

OKSANEN, F.J.; GUILLAUME, B.; ROELAND, K.; PIERRE, L.; PETER, R.M.; O'HARA, R.B.; GAVIN, L.S.; PETER, S.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. 2017. **Vegan: Community Ecology Package.** R package version 2.4-5. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

PARAÍBA. 1985. Secretaria da Educação. Universidade Federal da Paraíba. **Atlas Geográfico da Paraíba.** João Pessoa: GRAFSET.

PARAÍBA. 2014. **Estudo para subsidiar a criação de Unidade de Conservação de Proteção Integral da Mata do Buraquinho – Paraíba.** p. 133.

PEREIRA, M. D. B.; SOUZA FILHO, J. F.; MOURA, M. O. 2012. Análise da pluviosidade na Microrregião de Sapé, Paraíba e sua relação com a produção da cana-de-açúcar. **Revista Geonorte 2(5):** 910-921.

PERES-NETO, P.R; LEGENDRE, P. 2010. Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. **Global Ecology and Biogeography, 19:** 174-184.

PERILLO, L.N; NEVES, F.; ANTONINI, Y.; MARTINS, R.P. 2017. Compositional changes in bee and wasp communities along Neotropical mountain altitudinal gradient. **PLoS ONE 12 (7).**

PETERSEN, H. 2011. Collembolan communities in shrublands along climatic gradients in Europe and the effect of experimental warming and drought on population density biomass and diversity. **Soil Organisms 83:** 463-488.

PONGE, J.F.; DUBS, F.; GILLET, S.; SOUSA, J.P.; LAVELLE, P. 2006. Decreased biodiversity in soil springtail communities: the importance of dispersal and landuse history in heterogeneous landscapes. **Soil Biology and Biochemistry 38:** 1158-1161.

PONGE, J.F.; SALMON, S. 2013. Spatial and taxonomic correlates of species and species trait assemblages in soil invertebrate communities. **Pedobiologia 56:** 129 -136.

POTAPOV, A.M.; GONCHAROV, A.A.; TSURIKOV, S.M.; TULLY, T.; TIUNOV, A.V. 2016. Assimilation of plant-derived freshly fixed carbon by soil collembolans: not only via roots? **Pedobiologia 59:** 189-193.

QIAN, H.; BADGLEY, C.; FOX, D.L. 2009. The latitudinal gradient of beta diversity in relation to climate and topography for mammals in North America. **Global Ecology and Biogeography 18:** 111-122.

R CORE TEAM. 2012. **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>

RICKLEFS, R. E. 1996. **A economia da natureza.** 3 ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, p. 470.

- RODRIGUES, R.; ALBUQUERQUE, R. L.; SANTANA, D. J.; LARANJEIRAS, D. O.; PROTÁZIO, A. S.; FRANÇA, F. G. R.; MESQUITA, D. O. 2013. Record of the occurrence of *Lachesis muta* (Serpentes, Viperidae) in an Atlantic Forest fragment in Paraíba, Brazil, with comments on the species' preservation status. **Biotemas** **26**(2): 283-286.
- RUSEK, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. **Biodiversity and Conservation** **7**: 1207-1219.
- RZESZOWSKI, K.; ZADROŻNY, P.; NICIA, P. 2017. The effect of soil nutrient gradients on Collembola communities inhabiting typical urban green spaces. **Pedobiologia** **64**: 15-24.
- SARAEVA, A.K.; POTAPOV, M.B; KUZNETSOVA, N.A. 2015. Different-scale distribution of Collembola in homogenous ground vegetation: stability of parameters in space and time. **Entomological Review** **95**: 699-714.
- SANTANA, G. G.; ALMEIDA, W. O.; ALVES, R. R. N.; VASCONCELLOS, A. 2008. Extension of the northern distribution of Onychophora in the Brazilian Atlantic Forest. **Biotemas** **21**(2): 161-163.
- SANTOS-ROCHA, I.M.; ANDREAZZE, R.; BELLINI, B.C. 2011. Registros de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Neotropica** **11**: 167-170.
- SILVA, E. G.; BANDEIRA, A. G. 1999. Abundância e distribuição vertical de cupins (Insecta, Isoptera) em solo de Mata Atlântica, João Pessoa, Paraíba. **Revista Nordestina de Biologia** **13**(1/2): 13-36.
- SILVA P.G.; HERNÁNDEZ M.I.M. 2014. Local and Regional Effects on Community Structure of Dung Beetles in a Mainland-Island Scenario. **PLOS ONE**, **9**.
- SLAWSKA, M.; BRUCKNER, A.; SLAWSKI, M. 2017. Edaphic Collembola assemblages of European temperate primeval forests gradually change along a forest-type gradient. **European Journal of Soil Biology** **80**: 92-101.
- TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; KALLIOLA, R.; LINNA, A.; DANJOY W.; RODRIGUEZ, Z. 1995. Dissecting Amazonian biodiversity. **Science** **269**: 63-66.
- TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. 2003. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science** **299**: 241-244.
- VASCONCELOS, H.L.; VILHENA, J.M.S.; FACURE, K. G.; ALBERNAZ, A L.K.M. 2010. Patterns of ant species diversity and turnover across 2000 km of Amazonian floodplain forest. **Journal of Biogeography** **37**: 432-440.
- VELOSO, H. P.; RANGEL & FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. p. 124

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. 2002. **Modern Applied Statistics with S**. Fourth Edition. Springer, New York.

WHITTAKER, R. H. 1960. Vegetation of Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs** 22: 1-44.

WIDENFALK, L.A.; BENGTSSON, J., BERGGREN, A.; ZWIGGELAAR, K.; SPIJKMAN, E.; HUYERBRUGMAN, F.; BERG, M.P. 2015. Spatially structured environmental filtering of collembolan traits in late successional salt marsh vegetation. **Oecologia** 1-13.

YAN, X.; NI, Z.; CHANG, L.; WANG, K.; WU, D. 2015. Soil warming elevates the abundance of collembola in the songnen plain of China. **Sustainability** 7: 1161-1171.

ZEPPELINI, D. F.; BELLINI, B. C. 2004. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba, p. 82

ZEPPELINI, D.; BELLINI B. C.; CREÃO-DUARTE A. J.; HERNÁNDEZ M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation** 18: 1161-1170.

ZEPPELINI, D.; QUEIROZ C. G.; BELLINI, B.C. 2018. **Collembola in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/379>>. Acesso em: 28 fev. 2018

CAPÍTULO 02

**DESEMPENHO E COMPLEMENTARIDADE DE TRÊS
MÉTODOS DE COLETA DA FAUNA EDÁFICA DE
COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA) EM
ÁREAS DE FLORESTA SECA E ÚMIDA, NORDESTE,
BRASIL**

2.1 INTRODUÇÃO

Para a biologia da conservação, taxonomia, ecologia, biogeografia e outros campos de pesquisa que envolvem o estudo da biodiversidade é fundamental saber quantas e quais espécies vivem em um determinado lugar ou região (GOTELLI & COLWELL, 2001; CODDINGTON et al., 2009). Sendo assim, a amostragem é importante tanto para estudos aplicados de diversidade quanto para os fundamentais, uma amostragem deficiente e sem informação sobre o esforço amostral impede comparações da riqueza de espécies de diferentes localidades (MAGURRAN, 2004).

Diferentes técnicas de amostragem são apropriadas para diferentes táxons e ambientes, todavia segundo Cardoso (2009), uma amostragem satisfatória e otimizada deve passar por alguns testes como: 1. Adequação; 2. Eficiência; 3. Viabilidade e 4. Flexibilidade. Isto é, as técnicas de amostragem devem ser rápidas, passíveis de serem repetidas e viáveis quanto ao seu custo-benefício (SOUZA et al., 2007).

Os invertebrados são frequentemente negligenciados em planos de manejo para conservação de áreas prioritárias, devido à falta de dados taxonômicos e amostragem que não permitem comparações confiáveis, mesmo quando feita pelo mesmo grupo de pesquisa (MUELELWA et al., 2010). As técnicas de amostragem de invertebrados são relativamente rápidas, porém demanda muito trabalho no laboratório com a triagem e identificação dos espécimes (SANTOS et al., 2008; QUERNER & BRUCKNER, 2010). Conforme o tamanho corporal dos invertebrados diminui, o esforço no laboratório com triagem e identificação taxonômica aumenta (LAWTON et al., 1998).

Collembola estão entre os artrópodes de solo mais abundantes da mesofauna edáfica (DEHARVENG, 1996). A mesofauna do solo é componente chave na rede alimentar dos ecossistemas terrestres, sendo importante para o fluxo de carbono e produtividade do solo (VAN EEKEREN et al., 2009), contribuindo diretamente com taxas de 5-10% e indiretamente com taxas maiores que 25% na decomposição da matéria orgânica do solo (SEASTEDT, 1984). Uma amostragem robusta é necessária para fornecer informações de ocorrência das espécies que podem ser utilizados para comparações entre diferentes áreas, porém métodos de amostragem e esforço devem ser padronizados (LONGINO et al., 2002).

Existem alguns estudos sobre os métodos de coletas para *Collembola* (DEHARVENG, 1996; BLACK et al., 2003; PALACIOS-VARGAS et al., 2007;

QUERNER & BRUCKNER, 2010; SHAW & OZANNE, 2011). Entretanto no Brasil, a maioria das pesquisas são de levantamento taxonômico ou descrição de novas espécies, não havendo necessidade da padronização da amostragem ou detalhamento do esforço amostral empregado, impedindo assim comparações de riqueza de espécies entre áreas e, consequentemente, avaliações ecológicas e biogeográficas (BELLINI & ZEPPELINI, 2004; ABRANTES et al., 2010 e 2012; SANTOS-ROCHA et al., 2011; BELLINI, 2014). Os principais métodos de amostragem de Collembola usados nas pesquisas na Região Neotropical são: Armadilhas de queda (pitfalls), aspirador entomológico, extrator de Winkler, funil de Berlese-Tullgren e flotação (BELLINI & ZEPPELINI, 2004; SANTOS-ROCHA et al. 2011; LIMA & ZEPPELINI, 2015). Colêmbolos são relativamente fáceis de coletar e já foram empregados como organismos modelo em avaliações de conservação, monitoramento e reflorestamento (ZEPPELINI et al., 2009).

Nesse contexto, o presente estudo pretende avaliar três métodos de amostragem de Collembola edáficos e suas combinações em áreas de floresta úmida e seca, para verificar qual a melhor forma de atingir uma amostragem representativa em estudos nesses ambientes, contribuindo assim para a elaboração de protocolos mais eficientes. A elaboração desse estudo foi norteada pelas seguintes perguntas: **1.** Os mesmos métodos de coleta possuem o mesmo desempenho nas áreas de floresta úmida e floresta seca? **2.** Quais os métodos de coleta podem ser considerados complementares? **3.** Qual o método de coleta mais apropriado para as áreas de floresta úmida e seca?

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 ÁREAS DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE COLETA

As descrições das áreas de coleta, dos métodos de coleta e da identificação taxonômica empregadas estão descritas em “Materiais e Métodos” do Capítulo 01 dessa tese.

2.2.2 ANÁLISE DOS DADOS

Estimativa de riqueza de espécies

A estimativa de riqueza de espécies de Collembola para cada método de coleta e combinações por área entre os métodos foram realizadas a partir das comparações com os valores calculados por estimadores não paramétricos de riqueza, fundamentados numa quantificação de raridade (TOTI et al., 2000). Foram utilizados estimadores ACE e Chao1 que são baseados na abundância e os estimadores Chao 2, Jackknife 1 e 2, Boostrap e ICE que são baseados na incidência, utilizando o software EstimateS[©] 9.1 (COLWELL, 2013a), com 1000 randomizações sem reposição para cada método e sua combinação.

Os estimadores ACE (*Abundance-based Coverage Estimator*) e o ICE (*Incidence-based Coverage Estimator*) são estimadores de riqueza baseados na cobertura de amostra, onde as espécies amplamente difundidas ou abundantes tem grande probabilidade de serem incluídas em qualquer amostra (CHAO et al., 2000; MAGURRAN, 2004). O estimador Chao 1 é baseado no número de espécies raras na taxocenose, sendo a relação entre o número de espécies observadas representadas por um só indivíduo (*Singletons*) e o número de espécies observadas representadas por dois indivíduos (*Doubletons*; COLWELL, 2013b). Chao 2, Jackknife 1 e 2 e Boostrap são estimadores de incidência que utilizam nas suas fórmulas o número de espécies que ocorrem em uma única amostra (*Uniques*) e o número de espécies que ocorrem em duas amostras (*Duplicates*; MAGURRAN, 2004; COLWELL, 2013b). A comparação da riqueza foi feita a partir da riqueza observada e da média da riqueza estimada pelos estimadores de abundância e incidência.

Complementaridade

Foram elaborados diagramas de Venn no programa Venny 2.1 (OLIVEROS, 2015), com a finalidade de ilustrar a riqueza de espécies capturada por cada método de coleta, similaridade e diferenças entre os métodos de coleta e suas combinações.

O escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) (MANLY, 2008) foi utilizado para dimensionalizar a composição da taxocenose de Collembola amostradas em cada método por áreas coletadas. O gráfico foi constituindo a partir de uma distorção ou stress, entre uma matriz de similaridade e a ordenação, onde os objetos diferentes são posicionados distantes no espaço de ordenação, enquanto os similares são posicionados próximos (GOTELLI & ELLISON, 2011). Para construção do NMDS foi utilizado uma matriz de distância obtida a partir do coeficiente de Bray- Curtis realizada no programa R (R Core Team, 2012) utilizando os pacotes Vegan (OKSANEN et al., 2017) e MASS (VENABLES & RIPLEY, 2002).

A análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) foi utilizada para testar diferenças na composição da taxocenose de Collembola entre os métodos de coleta, essa análise possui robustez similar ao da ANOVA tradicional, porém não exige normalidade ou homocedasticidade dos valores como pressupostos, sendo baseada no mesmo desenho das análises univariadas (ANDERSON, 2001). A matriz de similaridade de Bray-Curtis também foi utilizada para realização da análise, que foi feita com 9999 permutações.

O índice de similaridade de Jaccard foi utilizando como base para o índice de complementaridade entre os métodos de coleta da fauna de Collembola. A complementaridade nos permite ver riqueza de espécie local e diferenças bióticas como componentes positivos da biodiversidade (COLWELL & CODDINGTON, 1994). O índice de Jaccard é uma métrica satisfatória, que vai de zero a um, quando maior os valores de similaridade menor será o valor de complementaridade. A similaridade de Jaccard e PERMANOVA foram realizadas no programa estatístico Past (HAMMER et al., 2001).

Tempo e custo monetário

As avaliações realizadas para verificar o tempo e os custos monetários foram efetuados com base no esforço máximo, que é a combinação dos três métodos de captura,

sendo as frações destes calculadas, gerando o tempo e custo monetário relativo. Os custos foram baseados na amostragem de campo e atividades laboratoriais, com base em diárias e bolsa de estudante de doutorado no Brasil. O tempo para realizar o trabalho foi a soma do tempo de campo para cada método de coleta e o tempo gasto no laboratório com triagem e identificação dos Colêmbolos.

2.3 RESULTADOS

Floresta úmida

Nas áreas de floresta úmida foram coletados 14.732 indivíduos de colêmbolos, distribuídos em 47 espécies, 29 gêneros e 12 famílias (Tabela 2.1) com auxílio das armadilhas de pitfall, aspirador entomológico e extrator de Winkler. *Seira paraibensis* foi a única espécie capturada com as três técnicas de coleta nas quatro áreas de floresta úmida e a *Seira glabra* foi capturada somente com armadilha de pitfall, enquanto a *Seira dowlingi* só foi capturada com auxílio do aspirador entomológico.

As armadilhas de pitfall coletaram a maior riqueza de colêmbolos em relação as outras armadilhas nas quatro áreas de floresta úmida com 95%, 92%, 87% e 82% da riqueza total de espécies registradas na Mata do Buraquinho, Usina São João, RPPN Fazenda Pacatuba e Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, respectivamente. O extrator de Winkler foi a método com o desempenho mais baixo sendo 25%, 15%, 18% e 58% da riqueza total de espécies registradas na Mata do Buraquinho, Usina São João, RPPN Fazenda Pacatuba e Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, respectivamente. Esse mesmo padrão foi encontrado para abundância, onde a menor abundância também foi coletada pelo extrator de Winkler com 0.3%, 1%, 2% e 4%, enquanto a armadilha de pitfall coletou 93%, 98%, 90% e 90% do número total de abundância registradas nas quatros áreas de floresta úmida (Tabela 2.1).

A riqueza observada dos três métodos combinados nas quatro áreas de coletas foi maior, em relação a cada método, sendo a armadilha de pitfall o método com a riqueza observada mais próxima dos três métodos juntos (Figura 2.1).

De acordo com os estimadores de riqueza utilizados, a suficiência amostral coletada por método de coleta nas áreas de floresta úmida foram suficientes, ficando acima de 54%. Apenas 10% das espécies nas áreas de floresta úmida são *singletons* e *doubletons*. (Tabela 2.3).

Floresta seca

Nas áreas de floresta seca foram coletados 13.645 indivíduos de colêmbolos, distribuídos em 38 espécies, 26 gêneros e 12 famílias (Tabela 2.2) com auxílio das armadilhas de pitfall, aspirador entomológico e extrator de Winkler. As espécies

Isotomiella sp.1, *Isotomurus* sp.1 e *Trogolaphysa* sp. n. 3 foram capturadas exclusivamente com auxílio do aspirador entomológico nas áreas de floresta seca.

A armadilha de pitfall coletou 90%, 100%, 96%, 95%, enquanto o extrator de Winkler coletou 70%, 12%, 4% e 4% da riqueza total nas áreas da RPPN Fazenda Almas, Serra de São Bentinho, Serra de Santa Catarina e Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, respectivamente. Esse mesmo padrão também foi encontrado para abundância, sendo a armadilha de pitfall o método com a maior abundância (acima de 86% da abundância total por cada área de coleta) e o extrator de Winkler com a menor abundância (menor que 6% da abundância total por cada área de coleta; Tabela 2.2).

Assim como na floresta úmida a riqueza observada dos três métodos combinados nas quatro áreas de floresta seca foi maior, em relação a cada método, sendo a armadilha de pitfall o método com a riqueza observada mais próxima dos três métodos juntos (Figura 2.2).

Apenas 8% das espécies das áreas de floresta seca são *singletons* e *doubletons*. As estimativas de riqueza de espécies dos estimadores ACE e Chao1 foram os mais baixos e com valores semelhantes, enquanto a estimativa do Jackknife 2, foi a mais alta, sendo esse padrão encontrado em ambas as áreas de floresta seca e floresta úmida (Tabelas 2.3 e 2.4). De acordo com os estimadores de riqueza utilizados a suficiência amostral coletada por método de coleta nas áreas de floresta seca foram suficientes, ficando acima de 48% (Tabelas 2.4).

Tabela 2.1: Collembola edáficos amostrados por pitfall (**Pit**), aspirador entomológico (**Asp**) e extator de Winkler (**Win**) em quatro áreas de floresta úmida, Paraíba, Brasil. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia).

Família/ Espécies	MTB			USJ			FAP			MPF		
	Pit	Asp	Win									
<i>Salina</i> sp. 1	80	48		77	19		23	8				
<i>Trogolaphysa formosensis</i> Silva & Bellini, 2015	300	23		263	7		279			25	4	3
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 2								1			2	
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 3	16	22					23		2		2	
<i>Trogolaphysa</i> sp. n. 4	26	4										
Bourletiellidae												
<i>Stenognathriopes janssensi</i> Zeppelini & Silva, 2012				5								
<i>Calvatomina</i> sp. 1	91	3								98	12	31
Sminthuridae												
<i>Pararrhopalites palaciosi</i> Zeppelini & Brito, 2014				9			1		9	3	2	
<i>Szeptyckitheca</i> sp. 1	19			43			5		4	11	1	2
<i>Temeritas</i> sp. 1	7											
<i>Varelasminthurus potiguarus</i> Silva, Palacios-Vargas & Bellini, 2015					6							
Sminthurididae												
<i>Sphaeridia heloisea</i> Arlé, 1984	58		1						100		21	
<i>Sphaeridia</i> sp. n. 1									43		72	
<i>Sphaeridia</i> sp. n. 2									10		7	
Katiannidae												
<i>Sminthurinus</i> sp. 1					3				60			
Neelidae												
<i>Megalothorax</i> sp.1										19		

	MTB			USJ			FAP			MPF		
	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win
Abundância	6704	401	28	1335	230	18	600	49	14	4831	273	254
Abundância relativa (%)	93%	6%	0.3%	84%	14%	1%	90%	7%	2%	90%	5%	4%
Riqueza de espécies	23	16	6	12	7	2	14	5	3	28	14	20
Riqueza relativa (%)	95%	66%	25%	92%	53%	15%	87%	31%	18%	82%	41%	58%

Tabela 2.2: Collembola edáficos amostrados por pitfall (**Pit**), aspirador entomológico (**Asp**) e extator de Winkler (**Win**) em quatro áreas de floresta seca, Paraíba, Brasil. **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).

Família/ Espécies	FAA			SSB			SSC			ENA		
	Pit	Asp	Win									
Brachystomellidae												
<i>Brachystomella agrosa</i> Wray, 1953	17		28	2			94					
<i>Brachystomella</i> sp. n. 1		1						1			3	
Hypogastruridae												
<i>Xenylla</i> sp. n. 1							11					
<i>Xenylla</i> sp. n. 2										7641	584	5
Neanuridae												
<i>Neotropiella</i> sp. 4							28					
<i>Neotropiella</i> sp. 5							45					
<i>Pseudachorutes</i> sp. 2		15										
Entomobryidae												
<i>Coecobrya</i> sp. 1										12		
<i>Lepidocyrtus nigrosetosus</i> Folsom, 1927							7					
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 1							25	15				
<i>Lepidocyrtus</i> sp. 2	2	6	24	31			5	5				
<i>Pseudosinella</i> sp. 1			2							3	12	
<i>Seira mirianae</i> Arlé & Guimaraes, 1981							44					

Família/ Espécies	FAA			SSB			SSC			ENA		
	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win	Pit	Asp	Win
<i>Calvatomina</i> sp. 1							6	2		1		
Sminthuridae												
<i>Temeritas</i> sp. 1	2	1					134			4	1	
<i>Varelasminthurus potiguarus</i> Silva, Palacios-Vargas & Bellini, 2015	26	1	2	17			30		2	78		
Sminthurididae												
<i>Denisiella caatingae</i> sp. nov										53		
<i>Denisiella bestchi</i> sp. nov										108		
<i>Sphaeridia heloisea</i> Arlé, 1984										54		
<i>Sphaeridia</i> sp. n. 1							18					
Katiannidae												
<i>Sminthurinus</i> sp. 1							61					
Abundância	1229	100	68	562	19	3	977	55	2	9902	723	5
Abundância relativa (%)	87%	7%	5%	96%	3%	0.5%	94%	5%	0.1%	93%	7%	0.04%
Riqueza de espécies	9	6	7	8	1	1	24	8	1	20	7	1
Riqueza relativa (%)	90%	60%	70%	100%	12%	12%	96%	32%	4%	95%	33%	4%

Tabela 2.3: Valores dos estimadores de riqueza de espécies de Collembola amostrados por pitfall (**Pit**), aspirador entomológico (**Asp**) e extator de Winkler (**Win**) em quatro áreas de floresta úmida no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media ± DP) media mais desvio padrão. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia). *Métodos de coletas que capturaram menos de cinco espécies, não foram realizadas análises de estimativas.

Floresta Úmida	MTB			USJ			FAP			MPF		
	Pit	Asp	Win	Pit	Asp*	Win*	Pit	Asp	Win*	Pit	Asp	Win*
Sobs	23	16	6	12	7	—	14	5	—	28	14	20
Singletons	4	2	4	0	1	—	1	2	—	1	2	1
Doubletons	1	3	9	0	1	—	0	0	—	5	2	4
Uniques	6	3	4	1	2	—	2	2	—	7	4	4
Duplicates	1	6	1	0	0	—	4	0	—	4	3	6
ACE	26.67	16.9	18.89	12	8	—	14.33	5.98	—	28.54	14.93	20.38
Chao 1	26	16.25	11.79	12	7	—	14	5.98	—	28	14.33	20
M. dos estimadores ± DP	26.34	16.56	15.34	12	7.5	—	14.17	5.98	—	28.27	14.63	20.19
	± 0.5	± 0.5	± 5.0	± 0	± 0.7	—	± 0.2	± 0	—	± 0.4	± 0.4	± 0.3
Suficiência amostral	87%	97%	40%	100%	93%	—	99%	100%	—	99%	97%	99%
Chao 2	29.75	16.39	8.7	12	7.9	—	14.18	5.9	—	31.78	15.35	20.77
Jackknife 1	28.4	18.7	9.6	12.9	8.8	—	15.8	6.8	—	34.3	17.6	23.6
Jackknife 2	32.49	16.83	12.09	13.7	10.4	—	14.56	8.4	—	37.06	18.67	22.53
Bootstrap	25.25	17.75	7.51	12.39	7.73	—	15.21	5.73	—	30.95	15.75	22.16
ICE	28.54	17.83	15.78	12.34	8.91	—	14.91	7.15	—	33.25	17.23	21.98
M. dos estimadores ± DP	28.85	17.5	10.74	12.66	8.74	—	14.86	6.8	—	33.47	16.92	22.21
	± 2.6	± 0.9	± 3.3	± 0.7	± 1.1	—	± 0.6	± 1.1	—	± 2.4	± 1.4	± 1.0
Suficiência amostral	80%	91%	56%	95%	80%	—	94%	74%	—	84%	83%	90%

Tabela 2.4: Valores dos estimadores de riqueza de espécies de Collembola amostrados por pitfall (**Pit**), aspirador entomológico (**Asp**) e extator de Winkler (**Win**) em quatro áreas de floresta seca no Estado da Paraíba, Brasil. A suficiência amostral (%) foi calculada pela riqueza observada (Sobs) dividido pela média dos estimadores. (Media ± DP) media mais desvio padrão. **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras). *Métodos de coletas que capturaram menos de cinco espécies não foram realizadas análises estimativas.

Floresta Seca	FAA			SSB			SSC			ENA		
	Pit	Asp	Win	Pit	Asp*	Win*	Pit	Asp	Win*	Pit	Asp	Win*
Sobs	9	6	7	8	—	—	24	8	—	20	7	—
Singletons	1	3	1	1	—	—	1	1	—	1	1	—
Doubletons	2	0	2	1	—	—	0	1	—	3	1	—
Uniques	2	4	2	2	—	—	2	3	—	5	2	—
Duplicates	1	0	1	0	—	—	3	2	—	3	1	—
ACE	9.75	8.97	7.5	8.83	—	—	25.12	8.38	—	20.41	7.6	—
Chao 1	9	8.97	7	8	—	—	24	8	—	20	7	—
M. dos estimadores ± DP	9.38	8.97	7.25	8.41	—	—	24.56	8.19	—	20.21	7.3	—
	± 0.53	± 0	± 0.35	± 0.6			± 0.8	± 0.3		± 0.3	± 0.4	
Suficiência amostral	96 %	67%	97%	95%	—	—	98%	98%	—	99%	96%	—
Chao 2	9.45	11.4	7.45	8.9	—	—	24.23	8.9	—	22.25	7.45	—
Jackknife 1	10.8	9.6	8.8	9.8	—	—	25.8	10.7	—	24.5	8.8	—
Jackknife 2	11.69	12.8	9.69	11.4	—	—	25.27	11.68	—	26.37	9.69	—
Bootstrap	9.83	7.4	7.85	8.7	—	—	25.16	9.32	—	22.18	7.83	—
ICE	10.72	20.16	8.21	9.98	—	—	24.74	9.93	—	23.1	8.68	—
M. dos estimadores ± DP	10.50	12.27	8.4	9.76	—	—	25.04	10.11	—	23.68	8.49	—
	± 0.88	± 4.85	± 0.88	± 1.1			± 0.6	± 1.1		± 1.8	± 0.9	
Suficiência amostral	85%	49%	83%	82%	—	—	96%	79%	—	84%	82%	—

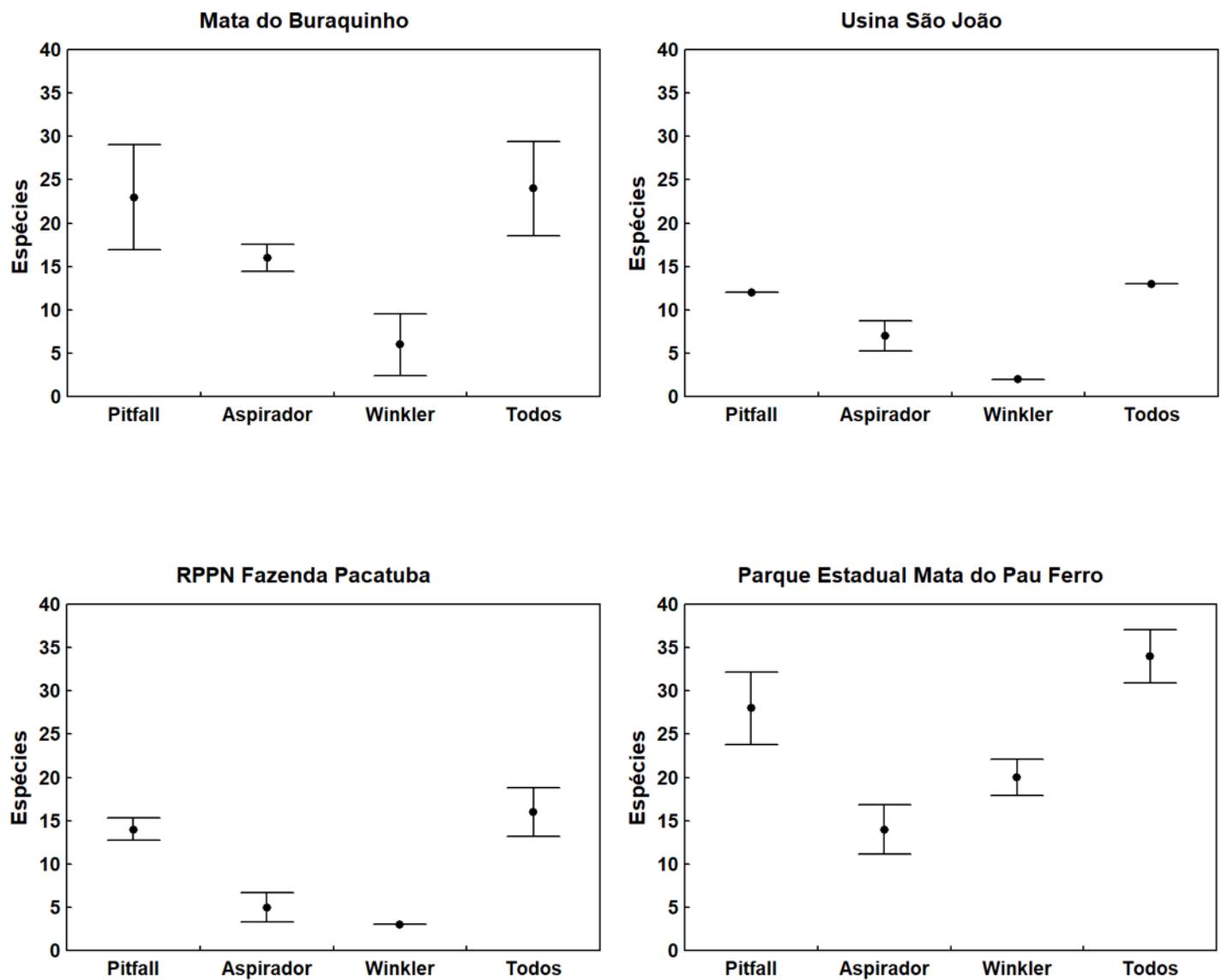


Figura 2.1: Riqueza de espécies observada em quatro áreas de floresta úmida, no estado da Paraíba, Brasil. Os círculos representam a riqueza de espécies observada (Sobs) e as barras o intervalo de confiança 95%.

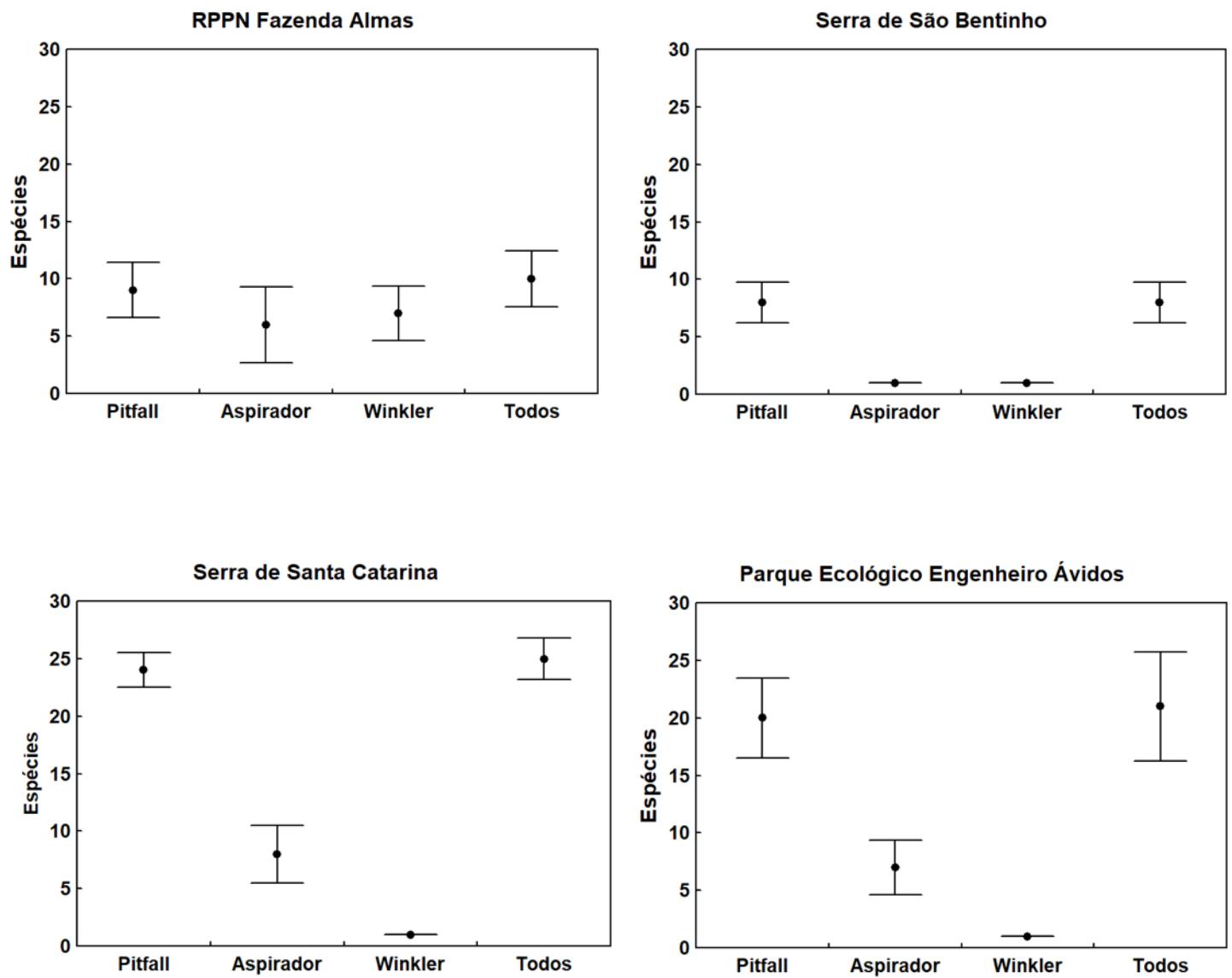


Figura 2.2: Riqueza de espécies observada em quatro áreas de floresta seca, no estado da Paraíba, Brasil. Os círculos representam a riqueza de espécies observada (Sobs) e as barras o intervalo de confiança 95%.

Complementaridade

O diagrama de Venn mostrou a contribuição da riqueza de espécies de cada método de coleta e suas combinações. Nas áreas de floresta úmida, a armadilha de pitfall foi o método que coletou o maior número de espécies exclusivas, com seis a nove espécies por áreas de coleta, o aspirador entomológico coletou entre uma e duas espécies exclusivas, enquanto o extrator de Winkler nas áreas da Mata do Buraquinho, Usina São João e RPPN Fazenda Pacatuba, o seu desempenho foi aquém dos outros métodos de coleta sem nenhuma espécie exclusiva (Figura 2.3). A Mata do Buraquinho, foi a única área de floresta úmida que a combinação de métodos entre armadilha de pitfall e aspirador entomológico alcançou mais espécies exclusivas (41.7% da riqueza total) em comparação aos outros métodos e suas possíveis combinações (Figura 2.3a).

Nas áreas de floresta seca, a armadilha de pitfall também foi o método de coleta mais eficiente, todavia o desempenho do aspirador entomológico do extrator de Winkler foi muito baixo, com zero a uma espécie exclusiva por áreas de coleta (Figura 2.4). A RPPN Fazenda Almas, foi a única área que a combinação de todos os métodos juntos capturou mais espécies exclusivas (50% da riqueza total; Figura 2.4a).

A ordenação do NMDS mostrou que a composição das espécies de Collembola coletados com a armadilha de pitfall é diferente da fauna coletada pelo aspirador entomológico e extrator de Winkler. De tal maneira que as áreas coletadas com pitfall formaram um grupo muito próximo, esse padrão foi observado nas as áreas de floresta úmida e nas áreas de floresta seca, evidenciando assim, que mesmo em áreas diferentes dentro de cada floresta o pitfall captura uma fauna semelhante. A fauna coletada pelos aspirador entomológico e extrator de Winkler constituíram um grupo sem divisões geradas pelos eixos do NMDS (Figuras 2.5 e 2.6).

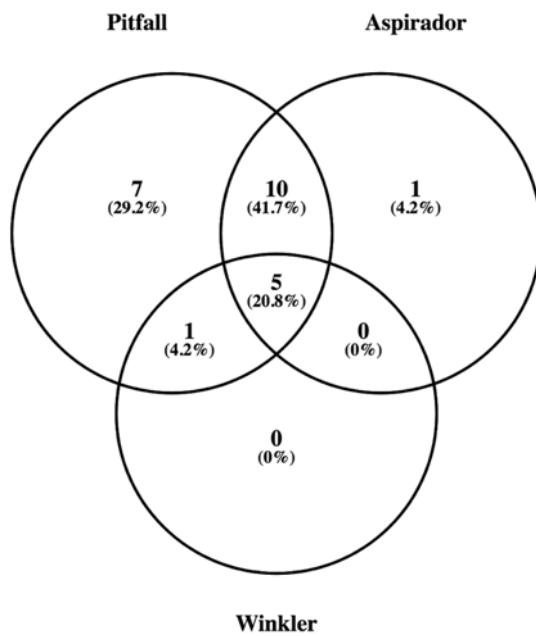
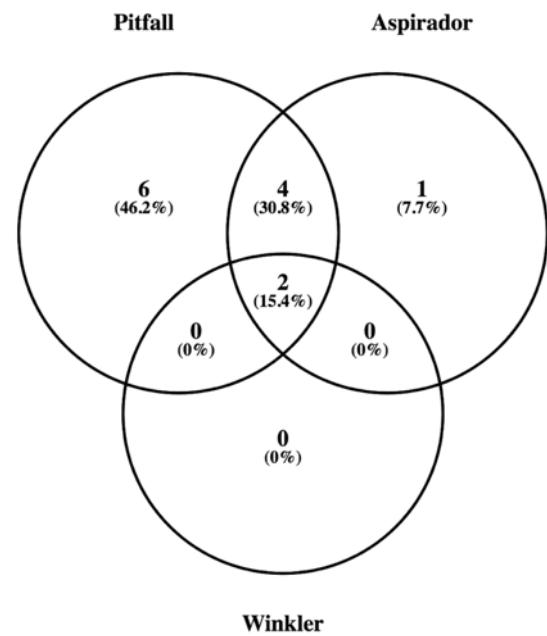
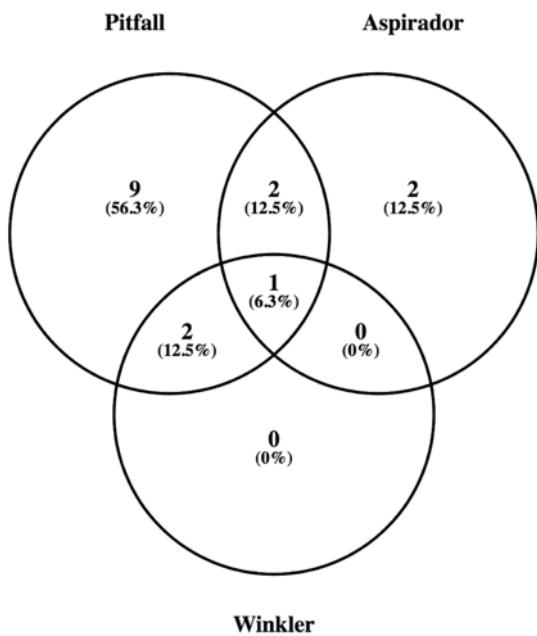
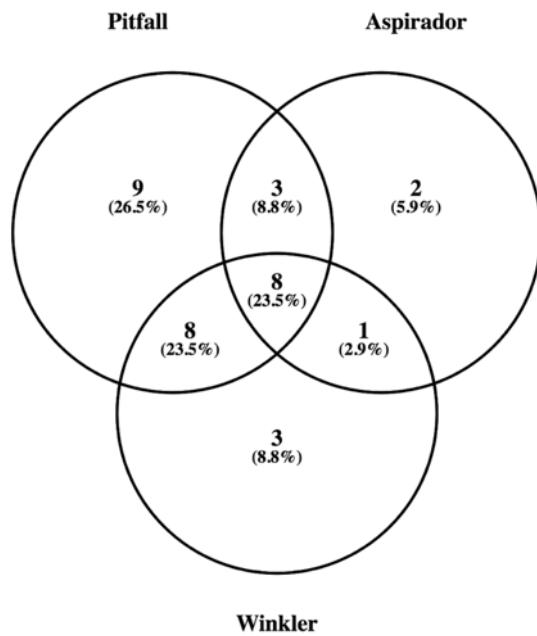
a) Mata do Buraquinho**b) Usina São Joao****c) RPPN Fazenda Pacatuba****d) Parque Estadual Mata do Pau-Ferro**

Figura 2.3: Diagrama de Venn ilustrando a riqueza de espécies exclusivas por cada método de coleta, armadilha de pitfall, aspirador entomológico, extrator de Winkler e suas possíveis combinações em quatro áreas de floresta úmida no Estado da Paraíba, Brasil.

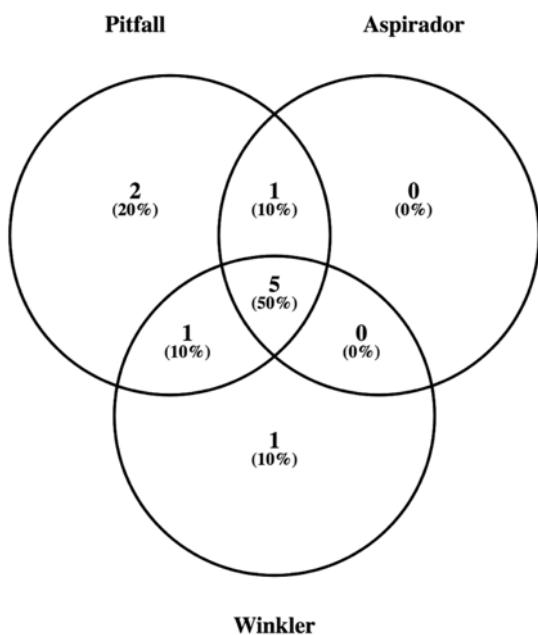
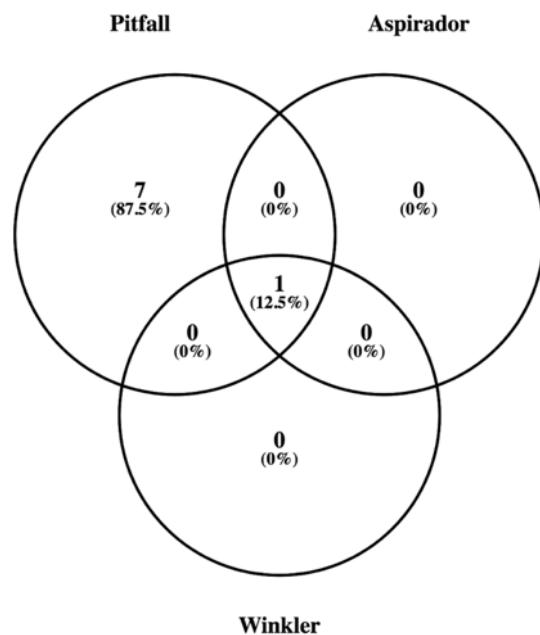
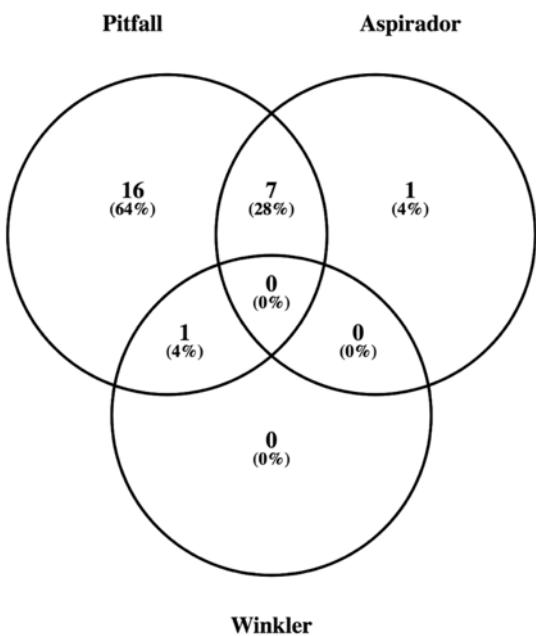
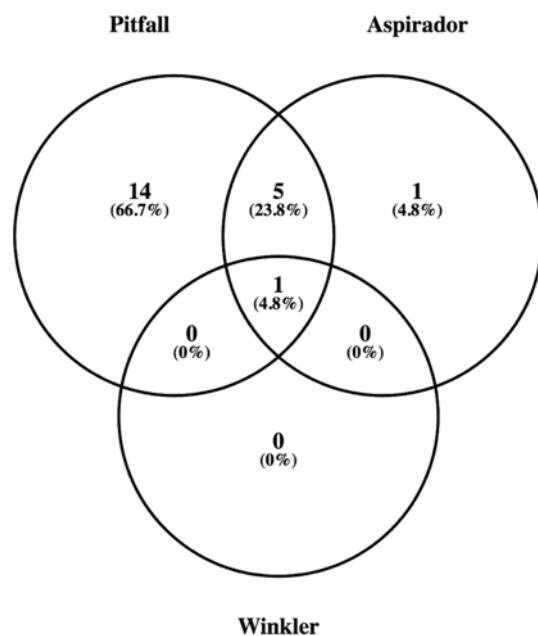
a) RPPN Fazenda Almas**b) Serra de São Bentinho****c) Serra de Santa Catarina****d) Parque Ecológico Engenheiro Ávidos**

Figura 2.4: Diagrama de Venn ilustrando a riqueza de espécies exclusivas por cada método de coleta, armadilha de pitfall, aspirador entomológico, extrator de Winkler e suas possíveis combinações em quatro áreas de floresta seca no Estado da Paraíba, Brasil.

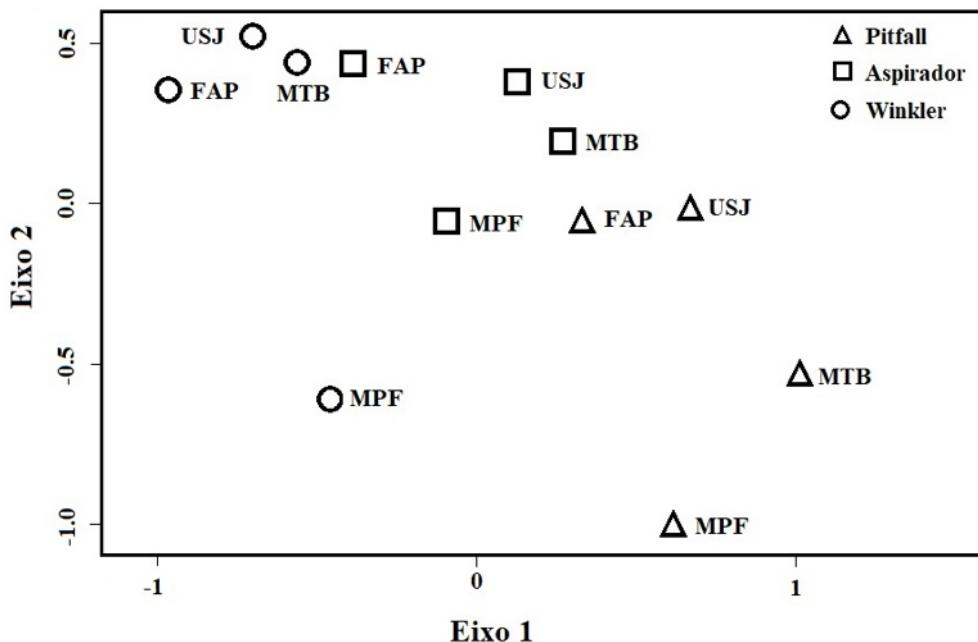


Figura 2.5: Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Bray-curtis da taxocenose de Collembola em quatro áreas de floresta úmida no estado da Paraíba, Brasil. **MTB** (Mata do Buraquinho, João Pessoa), **USJ** (Usina São João, Santa Rita), **FAP** (RPPN Fazenda Pacatuba, Sapé), **MPF** (Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, Areia).

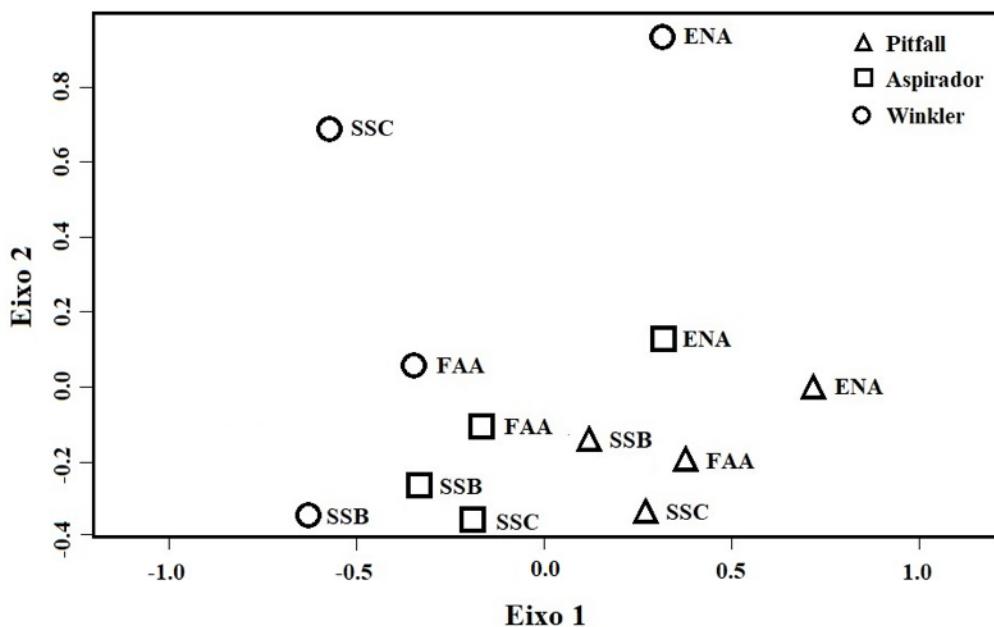


Figura 2.6: Ordenação do NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico) gerada através da matriz de similaridade do índice de Bray-curtis da taxocenose de Collembola em quatro áreas de floresta seca no estado da Paraíba, Brasil. **FAA** (RPPN Fazenda Almas, São José dos Cordeiros), **SSB** (Serra de São Bentinho, São Bentinho), **SSC** (Serra de Santa Catarina, São José da Lagoa Tapada), **ENA** (Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Cajazeiras).

Essa diferença na composição da fauna capturada entre os métodos de coleta dimensionalizada pelo NMDS é significativa (floresta úmida: P-valor = 0.001; floresta seca: P-valor = 0.0008), pois na análise de PERMANOVA (análise de variância permutacional não paramétrica) usando também a distância de Bray-curtis tanto nas áreas de floresta seca como nas áreas de floresta úmida a composição da taxocenose de Collembola coletada pela armadilha de pitfall foi significativamente diferente da fauna coletada pelos outros métodos. O aspirador entomológico e o extrator Winkler não possuem diferença significativa entre a composição da fauna coletada, isto é, ambos capturam uma fauna semelhante (Tabela 2.5).

Com índice de Jaccard foi possível gerar o índice de complementaridade (COLWELL & CODDINGTON, 1994) entre os métodos. Nas áreas de floresta úmida o índice de complementaridade foi maior entre a armadilha de pitfall e o extrator de Winkler (P-valor = 0.587), sendo assim a composição da fauna coletada pelos métodos são dissimilares. A complementaridade entre os três métodos e suas combinações nas áreas floresta úmida ficou acima de 50%, indicando uma baixa similaridade entre os métodos (Tabela 2.6).

Nas áreas de floresta seca o índice de complementaridade foi alto entre a armadilha de pitfall e o extrator Winkler (P-valor = 0.778), e entre armadilha de pitfall e o aspirador entomológico (P-valor = 0.684), indicando que a composição da fauna de Collembola coletada pela armadilha de pitfall é consistentemente diferente da fauna obtida por outros métodos de coleta (Tabela 2.6).

Tempo e custo monetário

Os métodos de coletas são diferentes em seus custos e tempo. A armadilha de pitfall foi a mais cara, representando 46% do custo monetário total, sendo o aspirador entomológico o método com menos custo 13% do custo total. Esse mesmo padrão foi encontrado em relação ao custo do tempo, onde a armadilha de pitfall foi o método com maior custo de tempo e o aspirador com menor custo de tempo (Tabela 2.7).

Tabela 2.5: Análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) com base na similaridade de Bray-curtis, com 9999 permutações, entre a taxocenose de Collembola coletada com três métodos de captura em áreas de floresta úmida e seca no estado da Paraíba, Brasil. Na floresta úmida: F-valor = 2.978; P-valor = 0.001. Na floresta seca: F-valor = 2.026; P-valor = 0.0008. * P<0,05

Floresta úmida	Pitfall	Aspirador	Winkler
Pitfall	0	-	-
Aspirador	0.0284*	0	-
Winkler	0.0285*	0.0558	0
Floresta seca	Pitfall	Aspirador	Winkler
Pitfall	0	-	-
Aspirador	0.0276*	0	-
Winkler	0.0289*	0.087	0

Tabela 2.6: Índice de complementaridade (^c) e índice de similaridade de Jaccard (sem destaque) entre a composição da taxocenose de Collembola coletada com três métodos de capturada em áreas de floresta úmida e seca no Estado da Paraíba, Brasil.

Floresta úmida	Pitfall	Aspirador	Winkler
Pitfall	1	0.489	0.413
Aspirador	0.511^c	1	0.455
Winkler	0.587^c	0.545^c	1
Floresta seca	Pitfall	Aspirador	Winkler
Pitfall	1	0.316	0.222
Aspirador	0.684^c	1	0.467
Winkler	0.778^c	0.533^c	1

Tabela 2.7: Síntese do esforço relativo do custo do tempo e monetário necessário para cada método de coleta de Collembola em relação o esforço total usando os três métodos de coletas.

Métodos	Tempo	Custo
Pitfall	51%	46%
Aspirador	19%	13%
Winkler	30%	41%
Todos	100 %	100%

2.4 DISCUSSÃO

Os métodos de coleta empregados na captura de Collembola diferem muito em riqueza de espécies e abundância capturadas. Esses resultados podem ser atribuídos a condição intrínseca de cada método ou refletir as diferenças entre os micro habitats das espécies, além disso algumas espécies só foram capturados por um método específico, como exemplo *Seira glabra*, que foi exclusivamente coletada com armadilhas de pitfall em três áreas da floresta úmida. Querner & Bruckner (2010) também encontraram diferenças na riqueza e abundância de Collembola coletados com armadilhas de pitfall e funil de Berlese-Tullgren.

O aspirador entomológico e o extrator de Winkler apresentaram valores muito baixos de riqueza e abundância em comparação à armadilha de pitfall nas áreas de floresta úmida e seca. A armadilha de pitfall também coletou o maior número de espécies exclusivas por área. O aspirador entomológico e o extrator de Winkler são métodos *a priori* que dependem do coletor e seus métodos geralmente são aplicados no período do dia, em contraste com a armadilha de pitfall que fica ativa durante o dia/noite, sendo a noite o momento que geralmente a umidade é mais elevada e as temperaturas são mais amenas. Collembola são artrópodes sensíveis ao aumento da temperatura e alterações na umidade do solo (JUCEVICA & MELECIS, 2006). Durante o dia nos períodos de altas temperaturas e baixa umidade, os indivíduos de Collembola podem migrar verticalmente procurando locais mais úmidos e durante a noite, quando as temperaturas e umidade são amenas, os indivíduos podem novamente ampliar a sua distribuição vertical no solo (BUTCHER et al., 1971).

Essa sensibilidade da fauna de Collembola às alterações da temperatura e umidade do solo pode ser um fator determinante para o bom desempenho da armadilha de pitfall, embora segundo Sousa et al. (2012), a maior eficiência das armadilhas de pitfall em comparação com estudos em florestas tropicais podem ser resultado de uma variedade de fatores. Em floresta boreal do Canadá foi estudado o efeito da estrutura de habitat, como cobertura do solo e vegetação, no desempenho das armadilhas de pitfall na captura de artrópodes terrestres, evidenciando diferenças significativas na composição dos artrópodes (BERGERON et al., 2013), e o efeito das condições da temperatura do ambiente foi estudado com dados de armadilhas pitfall na Europa em coletas de besouros,

onde o aumento da temperatura máxima duplicou a captura dos besouros (SASKA et al., 2013).

Querner & Bruckner (2010), em florestas agrícolas na Áustria usando armadilhas de pitfall e funil de Berlese-Tullgren como métodos para coleta da fauna de Collembola, encontraram uma relação baixa entre os dois métodos ($r = 0.41$), mesmo com essa baixa redundância entre os métodos, os resultados indicam a armadilha de pitfall como método de coleta com melhor desempenho, atribuído ao seu baixo esforço de triagem, identificação mais rápida das espécimes e menor gasto financeiro. Santos (2016), em floresta amazônica também observou a economia de tempo e custo com coletas com armadilhas de pitfall em relação ao funil de Berlese-Tullgren, mostrando também que a armadilha de pitfall é um método eficaz de realização de inventários da comunidade de colêmbolos, porém esse trabalho foi realizado somente com duas famílias de Collembola (Isotomidae e Paronellidae).

A armadilha de pitfall é o método mais utilizado em amostragem de artrópodes terrestres em pesquisas de biodiversidade e o número de pesquisas utilizando esse método de amostragem está em crescimento (BROWN & MATTHEWS, 2016). Em geral as armadilhas de pitfall capturam mais espécies em comparação a outros métodos de amostragem de artrópodes de solo (SØRENSEN et al., 2002; SANTOS et al., 2007; SOUZA et al., 2012; BROWN & MATTHEWS, 2016).

Comparando o desempenho do aspirador entomológico e o extrator de Winkler entre as áreas de floresta seca e úmida, nas áreas de floresta seca esses métodos ficaram muito aquém do esperado. Esse baixo desempenho pode estar associado às diferenças ambientais entre floresta seca e floresta úmida e à natureza dos métodos. Esses métodos dependem diretamente da coleta ativa da superfície do solo e serrapilheira, as áreas de floresta seca que no presente estudo compreender as áreas de Caatinga, possuem um clima marcadamente sazonal (SILVA et al., 2017) e consequentemente uma produção de serrapilheira baixa em contraste com as áreas de floresta úmida pluvial. Delsinne et al. (2008) também encontram esse mesmo padrão ao longo de um gradiente de precipitação utilizando o extrator Winkler como método de amostragem de formigas, onde o desempenho do mesmo diminuiu nas áreas mais secas, gerando uma amostragem não satisfatória. Esse baixo desempenho do método pode ser atribuído a redução da serrapilheira, recomendando que as armadilhas de pitfall devem ser usadas para amostragem de formigas em áreas de floresta seca.

O extrator de Winkler foi o método de coleta com o pior desempenho em todos os parâmetros analisados. Segundo Shaw & Ozanne (2011), que analisaram o extrator de Winkler e o funil de Berlese-Tullgren em áreas de florestas do Reino Unido, comparando os métodos, encontraram um desempenho muito baixo do extrator de Winkler, afirmando que o mesmo nunca será um método de coleta satisfatório para estudos de taxocenose de *Collembola*, corroborando assim, com os dados encontrados no presente estudo para as áreas de floresta seca e floresta úmida.

2.5 CONCLUSÃO

A armadilha de pitfall foi o método de coleta com melhor desempenho em todos os parâmetros analisados, com exceção do custo monetário e tempo, mesmo assim é indicada como método de coleta para fauna de Collembola em áreas de floresta seca ou úmida, pois revelou um maior número de espécies em relação aos outros métodos de estudo. Sendo assim, é indicado como método de coleta principalmente para trabalhos com objetivos ecológicos e biogeográficos, que necessitam de um inventário eficaz e comparável para responder suas perguntas. Outro benefício da armadilha de pitfall para captura de Collembola é que são fáceis de instalar e transportar. No geral os métodos do aspirador entomológico e extrator de Winkler, são redundantes nas áreas de floresta úmida e seca, também possuindo um desempenho baixo principalmente em áreas de floresta seca. Porém o aspirador entomológico tem o menor custo financeiro, podendo ser usado em trabalhos taxonômicos que não necessitam de uma amostragem eficiente e comparativa, principalmente em áreas de floresta úmida.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, E.A.; BELLINI, B.C.; BERNARDO, A.N.; FERNANDES, L.H; MENDONÇA, M.C; OLIVEIRA, E.P.; QUEIROZ, G.C; SAUTTER, K.D.; SILVEIRA, T.C.; ZEPPELINI. D. 2010. Synthesis of Collembola: an update to the species list. *Zootaxa* **2388**:1-22.
- ABRANTES, E.A.; BELLINI, B.C.; BERNARDO, A.N.; FERNANDES, L.H; MENDONÇA, M.C; OLIVEIRA, E.P.; QUEIROZ, G.C; SAUTTER, K.D.; SILVEIRA, T.C.; ZEPPELINI. D. 2012. Errata Corrigenda and update for the “Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list.” ABRANTES *et al.* (2010), Zootaxa, 2388: 1–22. *Zootaxa* **3168**: 1-21.
- ANDERSON, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* **26**: 32-46.
- BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. 2004. First records of Collembola (Ellipura) from the State of Paraíba, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* **48**: 433-596.
- BELLINI, B.C. 2014. Fauna de Collembola (Arthropoda) em áreas úmidas do semiárido. In: Bravo, F. & Calor, A (orgs). 2014. **Artrópodes do semiárido: Biodiversidade e conservação**. Feira de Santana: Printmídia: p. 298.
- BERGERON, J.A.C.; SPENCE, J.R.; VOLNEY, W.J.A.; PINZON, J.; HARTLEY, D.J. 2013. Effect of habitat type and pitfall trap installation on captures of epigaeic arthropod assemblages in the boreal forest. *Canadian Entomologist* **145**: 547-565.
- BLACK, H. I.J.; PAREKH, N. R.; CHAPLOW, J.S.; MONSON, F.; WATKINS, J.; CREAMER, R.; POTTER, E.D.; POSKITT, J.M.; ROWLAND, P.; AINSWORTH, G.; HORNUNG, M. 2003. Assessing soil biodiversity across Great Britain: national trends in the occurrence of heterotrophic bacteria and invertebrates in soil. *Journal of Environmental Management*. **67**: 255-266.
- BROWN, G.R; MATTHEWS, I.M. 2016. A review of extensive variation in the design of pitfall traps and a proposal for a standard pitfall trap design for monitoring ground-active arthropod biodiversity. *Ecology and Evolution* **6 (12)**: 3953-3964.
- BUTCHERJ, W.; SNIDER, R.; SNIDER, R. J. 1971. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. *Annual Review of Entomology* **3**: 249-288.
- CARDOSO, P. 2009. Standardization and optimization of arthropod inventories – the case of Iberian spiders. *Biodiversity and Conservation* **18**: 3949-3962.
- CHAO, A.; HWANG W.H.; CHEN, Y.C.; KUO, C.-Y. 2000. Estimating the number of shared species in two communities. *Statistica Sinica* **10**: 227-246.
- CODDINGTON, J.A.; AGNARSSON, I.; MILLER, J.A.; KUNTNER, M.; HORMIGA, G. 2009. Undersampling bias: the null hypothesis for singleton species in tropical arthropod surveys. *Journal of Animal Ecology* **78**: 573-584.

COLWELL, R.K.; J.A. CODDINGTON. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions: Biological Sciences Lond. B** **345**: 101-118.

COLWELL, R. K. 2013a. **EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 8. Disponível em: <purl.oclc.org/estimates>.

COLWELL, R. K. 2013b. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. **User's Guide and application**. Disponível em: <<http://purl.oclc.org/estimates>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

DEHARVENG, L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a case study in the Pyrenees (France). **Conservation Biology** **10**: 74-84.

DELSINNE, T.; LE蓬CE, M.; THEUNIS, L.; BRAET, Y.; ROISIN, Y. 2008. Rainfall influences ant sampling in dry forests. **Biotropica** **40**: 590-596.

GOTELLI, N.J.; COLWELL, R.K. 2001: Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters** **4**: 379-391.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. 2011. **Princípios de estatística em ecologia**. Artmed, Porto Alegre, 1^a ed. p. 528.

JUCEVICA, E.; MELECIS, V. 2006. Global warming affect Collembola community: a long -term study. **Pedobiologia** **50**: 177-184.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletronica** **4**: 1-9.

LAWTON, J.H.; BIGNELL, D.E.; BOLTON, B.; BLOEMERS, G.F.; EGGLETON, P.; HAMMOND, P.M.; HODDA, M. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. **Nature** **391**: 72-75.

LIMA, E. C. A.; ZEPPELINI, D. 2015. First survey of Collembola (Hexapoda: Entognatha) fauna in soil of Archipelago Fernando de Noronha, Brazil. **The Florida Entomologist** **98**: 368-369.

LONGINO, J.T.; CODDINGTON, J.; COLWELL, R.K. 2002. The ant fauna of tropical rain forest: estimating species richness three different ways. **Ecology** **83**: 689-702.

MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Oxford, Blackwell Science, p. 256.

MANLY, B. J. F. 2008. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3 ed. Porto Alegre. Bookman. p. 229.

MUELELWA, M.I.; FOORD, S.H.; DIPPENAAR-SCHOEMAN, A.S.; STAM, E.M. 2010. Towards a standardized and optimized protocol for rapid assessments: spider

species richness and assemblage composition in two savanna vegetation types. **Zoological Society of Southern Africa** **45**: 273-290.

OKSANEN, F.J.; GUILLAUME, B.; ROELAND, K.; PIERRE, L.; PETER, R.M.; O'HARA, R.B.; GAVIN, L.S.; PETER, S.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. 2017.

Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-5.
<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEROS, J.C. 2007-2015. Venny. **An interactive tool for comparing lists with Venn's diagrams.** Disponivel em: <<http://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/index.html>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

PALACIOS-VARGAS, J.G.; CASTAÑO-MENESES, G.; GÓMEZ-ANAYA, J.A.; MARTÍNEZ-YRIZAR, A.; MEJÍA-RECAMIER, B.E.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. 2007. Litter and soil arthropods diversity and density in a tropical dry forest ecosystem in Western Mexico. **Biodiversity and Conservation** **16**: 3703-3717.

QUERNER, P.; BRUCKNER, A. 2010. Combining pitfall traps and soil samples to collect Collembola for site scale biodiversity assessments. **Applied Soil Ecology** **45**: 293-297.

R CORE TEAM. 2012. 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>>

SANTOS, S.A.P.; CABANAS, J.E.; PEREIRA, J.A. 2007. Abundance and diversity of soil arthropods in olive grove ecosystem (Portugal): Effect of pitfall trap type. **European Journal of Soil Biology** **43**: 77-83.

SANTOS, E.M.; FRANKLIN, E.; MAGNUSSON, W.E. 2008. Cost-efficiency of subsampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian Savanna. **Biotropica** **40**: 728-735.

SANTOS-ROCHA, I. M.; R. ANDREAZZE; B. C. BELLINI. 2011. Registros de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Neotropical** **11(3)**: 167-170.

SANTOS, I. P. S. 2016. **Fatores ambientais na distribuição espacial de assembleias de colêmbolos (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos e redução do esforço amostral na Amazônia.** 140 f. Tese (Ciências Biológicas (Entomologia)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

SASKA P.; VAN DER WERF, W.; HEMERIK, L.; LUUFF, M.L.; HATTEN, T.D.; HONĚK, A. 2013. Temperature effects on pitfall catches of epigean arthropods: a model and method for bias correction. **Journal of Applied Ecology** **50**: 181-189.

SEASTEDT, T.R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Annual Review of Entomology** **29**: 25-46.

- SHAW, P.; OZANNE, C. 2011. A calibration of the efficiency of Winkler electors for extracting Collembola at different humidities. **Soil Organisms** **83**: 515-520.
- SILVA, J.M.C.; BARBOSA, L.C.F.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. 2017. The Caatinga: Understanding the Challenges. In: SILVA, J.M.C.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. (eds) **Caatinga**. Springer, Cham, p. 3-19.
- SOUZA, J.L.P.; MOURA, C.A.R.; HARADA, A.Y.; FRANKLIN, E. 2007. Diversidade de espécies dos gêneros de Crematogaster, Gnamptogenys e Pachycondyla (Hymenoptera: Formicidae) e complementaridade dos métodos de coleta durante a estação seca numa estação ecológica no estado do Pará, Brasil. **Acta Amazonica** **37**: 649-656.
- SOUZA, J.L.P.; BACCARO, F.B.; LANDEIRO, V.L.; FRANKLIN, E.; MAGNUSSON, W.E. 2012. Trade-offs between complementarity and redundancy in the use of different sampling techniques for ground-dwelling ant assemblages. **Applied Soil Ecology** **56**: 63-73.
- SØRENSEN, L. L.; CODDINGTON, J. A.; SCHARRFF, N. 2002. Inventorying and estimating sub-canopy spider diversity using semi-quantitative sampling methods in an Afromontane forest. **Environmental Entomology** **31**:319-330.
- TOTI, D. S.; COYLE, F.A.; MILLER, J.A. 2000. A structured inventory of Appalachian grass bald and heath bald spider assemblages and a test of species richness estimator performance. **Journal of Arachnology** **28**: 329-345.
- VAN EEKEREN, N.; VAN LIERE, D.; DE VRIES, F.T.; RUTGERS, M.; DE GOEDE, R.G.M.; BRUSSAARD, L. 2009. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. **Applied Soil Ecology** **42**: 254-263.
- VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. 2002. **Modern Applied Statistics with S**. Fourth Edition. Springer, New York.
- ZEPPELINI, D.; BELLINI, B. C.; CREÃO-DUARTE, A. J.; HERNÁNDEZ, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation** **18**: 1161-1170.

CAPÍTULO 03

**REDEFINITION OF *DENISIELLA* FOLSOM & MILLS,
1938 (COLLEMBOLA: SMINTHURIDIDAE) WITH
DESCRIPTION OF THREE NEW SPECIES FROM
BRAZIL**

(artigo aceito na revista Zootaxa)

Running head: Palacios-Vargas et al.: *Denisiella* from Brazil

Redefinition of *Denisiella* Folsom & Mills, 1938 (Collembola: Sminthurididae) with description of three new species from Brazil

JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS¹, AILA SOARES FERREIRA^{2,3,4} & DOUGLAS ZEPPELINI^{2,3}

¹ Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Depto. Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, Coyoacán 04510, México; E-mail: trogolaphysa@hotmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, Paraíba, Brazil, E-mail: aillasoares@gmail.com

³ Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação. Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas. Universidade Estadual da Paraíba, Campus V, João Pessoa, Paraíba, Brazil, E-mail: zeppelini@daad-alumni.de

⁴ Corresponding author

Abstract

A new diagnosis of *Denisiella* is provided, based on the revision of most descriptions, including three new species from Brazil. New Brazilian taxa share the presence of 6 + 6 eyes, 4 + 4 serrate spine-like on tibiotarsi III and the polycarinate setae on tibiotarsi II but differ from each other by the shape and size of the sensilla of the tibiotarsi I.

Denisiella rhizophorae sp. nov. has the combination of sensilla on tibiotarsi I of rhagidial type and C2 blunt on antennal segment III. Only *D. betschi* sp. nov. has barbulate spines on head and *D. caatingae* sp. nov. is the only which males present nasal organ. They are illustrated with drawings and scanning electron microscope photographs. Three different shapes of sensilla in the tibiotarsi I were observed and were compared with other species.

Key words: taxonomy, chaetotaxy, morphology, sexual dimorphism

Introduction

Members of Sminthurididae are characterized by the sexual dimorphism, where males have antennal segments II and III modified for sexual mating behavior, males being smaller than females. This family has close to 150 valid species in 11 genera, six of them monospecific: *Boernerides* Bretfeld, 1999; *Debouttevillea* Murphy, 1965; *Pedonides* Bretfeld, 2010; *Pseudosminthurides* Sánchez-García & Engels, 2016 (fossil); *Sinnamarides* Betsch & Waller, 1991 and *Sminthuridia* Massoud & Betsch, 1972. Most species of Sminthurididae belongs to genera *Sminthurides* Börner, 1900 and *Sphaeridia* Linnaniemi, 1912 with 55 and 69 taxa respectively. *Pygicornides* Betsch, 1969 and *Yossides* Massoud & Betsch, 1972 have 2 species each, *Stenacidia* Börner, 1906 has 3 and *Denisiella* Folsom & Mills, 1938 12 including those undescribed. In Brazil this family is represented by *Denisiella*, *Sminthurides* and *Sphaeridia* (Bellinger *et al.* 1996–2018; Zeppelini *et al.* 2017).

Denisiella has 10 valid species described from few countries (Table 1) in the world: *D. serroseta* (Börner, 1908), *D. seurati* (Denis, 1925), *D. sexpinnata* (Denis, 1931), *D. ramosa* (Folsom, 1932), *D. lithophila* Snider, 1988, *D. maesorum* Palacios-Vargas, 1995, *D. nayarita* Palacios-Vargas & Bernava, 1999, *D. diomedesi* Palacios-Vargas, 2007, *D. colombiana* Ospina & Palacios-Vargas 2009 and *D. bretfeldi* Schulz & van Harten, 2013 (Bellinger *et al.* 1996–2018). There is one undescribed species cited by Bellini & Zepellini (2004) from Cacimba de Dentro at Paraíba State, Brazil and probably one or few more from the United States of America after Christiansen & Bellinger (1981). Our purpose in this work is to make a new definition of the genus to include new morphological characters found and to describe three new species from Brazil.

Materials and Methods

Specimens were collected with pitfall traps containing 70% ethanol, and mounted under slides, after clearing up using hydrochloric acid and potassium dichromate and mounted in Hoyer's solution for study under phase contrast microscope. Drawings of the new species were done under a Carl Zeiss phase contrast microscope with aid of a camera lucida. Raw figures were treated on CorelDRAW X6 software to obtain the final plates.

For Scanning Electronic Microscope (SEM) study, specimens were dehydrated by ethanol graduate series and then they were dried up in a critical point dryer Baltec CPD030; and covered by gold in the ionizer Denton Vacuum Desk II.

Terminology for the descriptions is based mainly on Betsch (1980) for the chaetotaxy of Ant. II and Ant. III, Nayrolles (1988) for tibiotarsi chaetotaxy, and Betsch & Waller (1994) for the frontal head and abdomen chaetotaxy.

Abbreviations used in the text are: Ant.—antennal segment; Tita—tibiotarsus, tibiotarsi; Tri—trichobothrium, trichobothria; CRFS/UEPB—Coleção de Referência para a Fauna de Solo da Universidade Estadual da Paraíba, Brazil; LESM—Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, UNAM, México.

Systematics

Genus *Denisiella* Folsom & Mills, 1938

Type species: *Sminthurides seurati* Denis, 1925

Diagnosis. Sminthurididae lacking tibiotarsal organ, male antennae highly modified for clasping; trichobothria elements in antenna are Tri1, Tri2 on Ant. II; Tri3 on Ant. III. Modified setae b1 to b6 on the same tubercle on Ant. II and b7 isolate; seta C1 and C3 well developed, the first as blunt lamella and the second as a strong spine on Ant. III; Ant. IV simple not annulated in both sexes with few sensilla difficult to distinguish. Labrum setal formula 6/5,5,4. Six or eight eyes per side. Male head often with a nasal organ, composed by a strong alveolus and four finely ciliated setae and sometimes also two spine setae. Usually one dorso-proximal sensorial organ on Tita. I formed by four bladder-shaped sensilla of different size and structure on the males. One polycarinate seta ventrally on proximal Tita. II, often in a concavity. From zero to five short and thick spines with strong serrations on Tita. III of males and females, and coxae with a small spine. Often two or just one small barbulate spines on each of the three anal valves of female; mucro with two lamellae, inner one can be serrate. One mucronal seta always present. Males are much smaller than females.

Remarks. Recent characters added to the diagnosis are the labral formula, the nasal organ, the kind of sensilla of tibiotarsus I, the polycarinate seta on tibiotarsus II and the number of serrate spine-like on tibiotarsi III. *Denisiella* belongs to the group of

Sminthurididae which lacks tibiotarsal organ on leg III and has one mucronal seta, contrary to *Sphaeridia*, which besides lacking both characters (Tita III organ and mucronal seta), present very simple antennae, with few modifications for clasping and something unique, the development of structures associated to ventral tube in males which have never seen in *Denisiella*.

The genus *Deboutevillea* also lacks tibiotarsal organ and the male antennae are very modified; but the elements of Ant. II and III follow the formula: Tri1, B1, b1 is one barbulate spine, b2 to b4 and C1 in the shape of vesicles; Ant. IV simple in the male and subsegmented in female; mucro with large lamellae; one secondary sexual character in leg II in the female and under the clypeus of male; with metathoracic vesicles in the male.

Stenacidia has tibiotarsal organ and male antennae very modified; Ant. II and III after the formula: Tri1, b1, b2, b3, b4, b6 are barbulate spines, b5 is a lamella, C1 spine shaped; Ant. IV simple in both sexes, metathoracic trochanter with 3 setae, mucro with straight lamella, only one toothed in both sexes, with metathoracic vesicles in male. No mucronal seta.

Sminthurides, the second genus in diversity of the family, presents tibiotarsal III organ and also has a very modified antenna in the male, but the elements are Ant. II and III never with lamella, Tri always present, B1 or Tri2, Ant. IV simple or subsegmented in the female, always simple in male, metathoracic trochanter with 4 setae, the mucro often with wide and undulated lamella, males with metathoracic vesicle; mucronal setae present in both sexes.

Most outstanding characters in the genus is the presence of special structures on legs I and II and when compared with other genera, the trichobothria and setae arrangement elements in antennal segments II and III as the modified setae b1 to b6 on the same tubercle on Ant. II; seta C1 and C3 well developed, the first as blunt lamella and the second as a strong spine on Ant. III. Females present serrate setae on anal valves.

Denisiella rhizophorae sp. nov.

Figs 1–12, Table 1

Type material. Holotype, male on slide 11738, 1 IX 2009. Brazil: Paraiba: Bayeux, col. Ferreira A.S. Holotype deposited at CRFS-UEPB, João Pessoa, Paraíba, Brazil. Paratypes: 2 males and 2 females on slides, same data as holotype, 2 males and 2 females are kept at LESM, Sciences Faculty, UNAM, México. Label ref. #CRFS 11739, #CRFS 11740, #CRFS 11741 #CRFS 11742, #CRFS 11743.

Description. Male. Body length 777 µm (mean of three males 660 µm). Antennae bent as in all Sminthurididae males, elbowed between Ant. II and Ant. III (Figs. 1, 2 and 12B). Ant. I with 7 setae, two very small and thin, and two subapical thicker and shorter than other regular setae (Fig. 4). Ant. II with 20 setae, two trichobothria (Tri1, Tri2), one microsensillum and modified setae b1–6 on the same tubercle and lamella b7 with conic apex (Fig. 1). Ant. III with 13 regular setae, one microsensillum and one trichobothrium (Tri3), Ant. organ III with a pair of oval sensilla, modified setae C1-3, C1 lamellate, C2 as a small blunt projection and C3 is big spine with conic apex (Fig. 2). Ant. IV simple, elliptical with about 45 setae, plus about 6 sensilla difficult to distinguish (Figs. 3 and 12C). Ratio Ant. I: II; III; IV as 1: 1.1; 0.6; 1.0. 6+6 eyes (Figs. 8 and 12A). Chaetotaxy of head as in Fig. 8. Cephalic setae relatively long and acuminate, interocular setae short.

Leg I (Fig. 5): coxa with one seta; trochanter with 3 setae; femur with 12 setae; tibiotarsus with 33 setae: whorl I with 9 setae, **Ja** curved and somewhat thickened; whorl II with 8 setae, one spiniform; whorl III with 7 setae, **IIIp** absent and two oval organs **03pe** and **03ae** present; whorl IV with 6 setae and two large highly elevated sensilla of rhagidial shape, **IVe** and **IVae** present; whorl V with 4 setae **Va** and **Vp** absent two large and highly elevated sensilla of rhagidial shape **Ve** and **Vae** present (Fig. 12D). Leg II (Fig. 6): coxa with one seta; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 11 setae; tibiotarsus with 37 setae: whorl I with 9 setae, **Ja** curved and somewhat thickened; whorl II with 8 setae; whorl III with 8 setae, **IIIp** absent and two oval organs **03pe** and **03ae** present; whorl IV with 8 setae; whorl V with 5 setae, **Va** and **Vp** absent, polycarinate **Vai** present. Leg III (Fig. 7): coxa with 3 setae and one small spine; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 11 setae; tibiotarsus with about 33 setae: whorl I with 9 setae, **Ja** curved and somewhat thickened; whorl II with 7 setae and serrate spine-like **IIp** present; whorl III

with 6 setae **IIIp** absent serrate spine-like **IIIpi** present and two oval organ **03pe** and **03ae** present; whorl IV with 7 setae **IVp** one small seta and serrate spine-like setae **IVpi** present; whorl V with 5 setae **Va** and **Vp** absent and serrate spine-like **Vpi** present.

Unguis without tunica, with pseudonychia (Fig. 12F); Unguis I and II with one small inner tooth, unguis III without inner tooth (Fig. 12E), unguiculus I and II with filament surpassing the unguis. Pretarsus with one anterior and one posterior setae on each leg.

Thoracic segmentation not dorsally evident. Great abdomen with trichobothria A/B/C triangle shaped. Small abdomen with trichobothria D/E. Ventral tube with 1+1 seta in posterior position. Corpus of tenaculum with two setae and each ramus with three teeth and basal appendix. Genital and anal segments fused into a single mass. Genital plate of the male with one pair of pregenital seta and 4 + 4 eugenital setae. Manubrium with 7+7 setae, dens with 38 posterior setae (Fig. 9), anterior surface with setal formula 3,3,3,3,2,1,1,1 (Fig. 10). Mucro with two lamellae, inner with about 17 serrations, outer smooth, one mucronal outer seta (Figs. 11 and 12H).

Female. Body length 964 µm (only one adult female). Antennae elbowed between Ant. II and III. Ant. I with 5 setae, Ant. II with 11 and one microsensillum, Ant. III with 12 and Ant. organ III a pair of oval sensilla. Ant. IV elliptical, with about 40 setae. 6 + 6 eyes. Chaetotaxy of the head similar the male.

Leg I: coxa with one seta, trochanter with 3 setae; femur with 12 setae; tibiotarsus with 33 setae: one spine-like in whorl **IIpi** and two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III. Leg II: coxa with one seta; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 11 setae; tibiotarsus with 26 setae: two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III. Leg III: coxa with 3 setae, one small spine; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 10 setae; tibiotarsus with 32 setae: two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III and five serrate spine-like in position **IIpi**, **IIp**, **IIIpi**, **IVpi**, **Vpi**. Chaetotaxy of whorl of tibiotarsus is similar to the male. Unguis without tunica, with pseudonychia; unguis I and II with inner tooth, unguis III without inner tooth, unguiculus with filament surpassing the unguis. Pretarsus with one anterior and one posterior setae on each leg.

Thoracic segmentation not evident. Dorsal chaetotaxy of small abdomen with two pairs of small serrate setae in the superior inner edges of the lower valves. Ventral tube 1+1 seta in posterior position. Corpus of tenaculum with two setae and each ramus with 3 teeth and one appendix. Manubrium with 7+7 setae, dens with about 40 posterior

setae; anterior surface with setal formula 3,3,3,3,2,1,1,1. Mucro with two lamellae, inner with about 17-18 serrations, outer smooth, one mucronal outer seta.

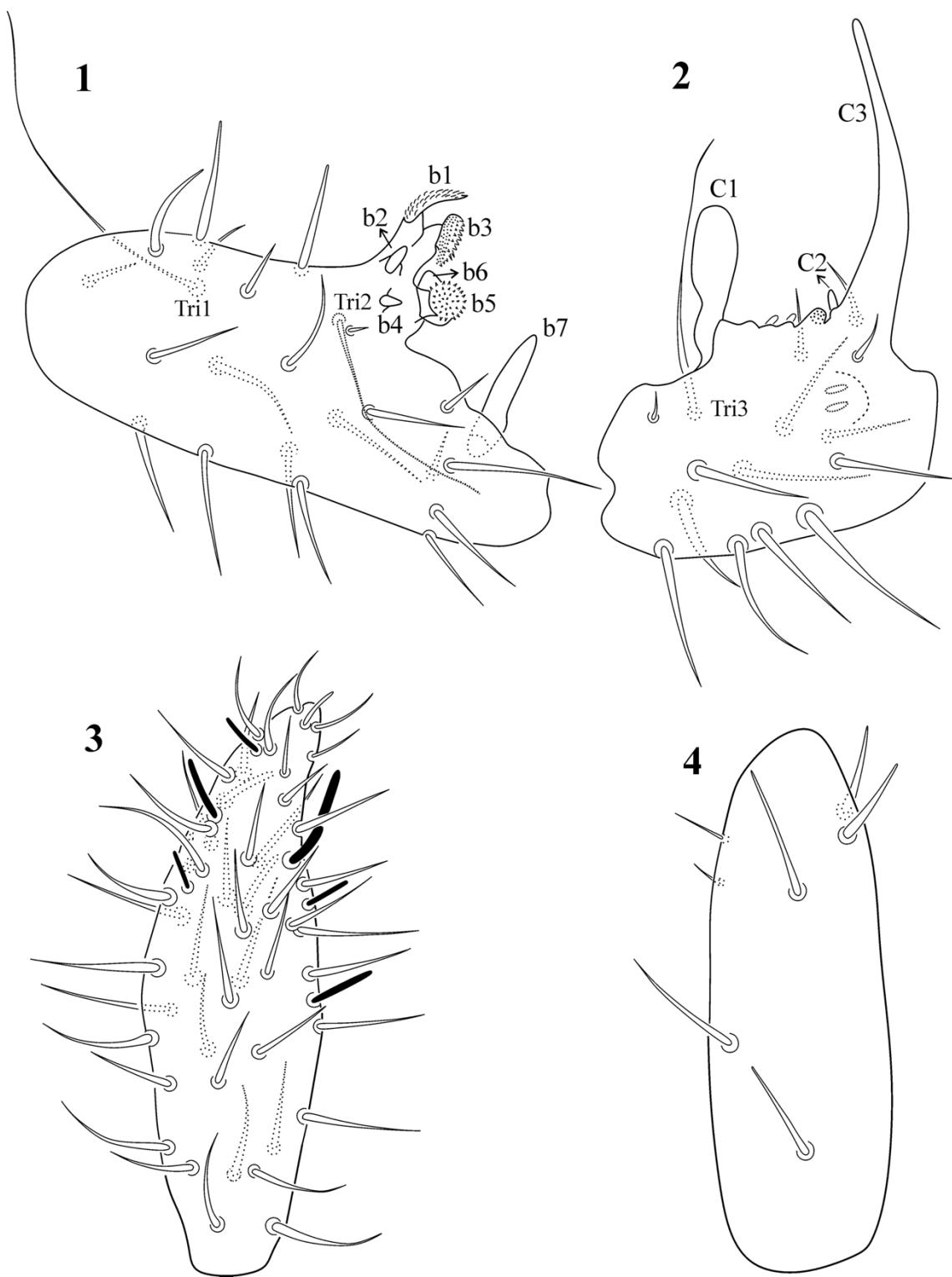
Etymology. The name is a reference to the mangrove of the genus *Rhizophora* (Rhizophoraceae) where the specimens of the new species were collected.

Distribution and habitat. The specimens were collected in mangrove Rio Paraíba do Norte, Paraíba, Brazil (06°57'07"02S/34°50'3455W). Good's Biogeographic zone 27 (Good 1974; Culik & Zepplini 2003).

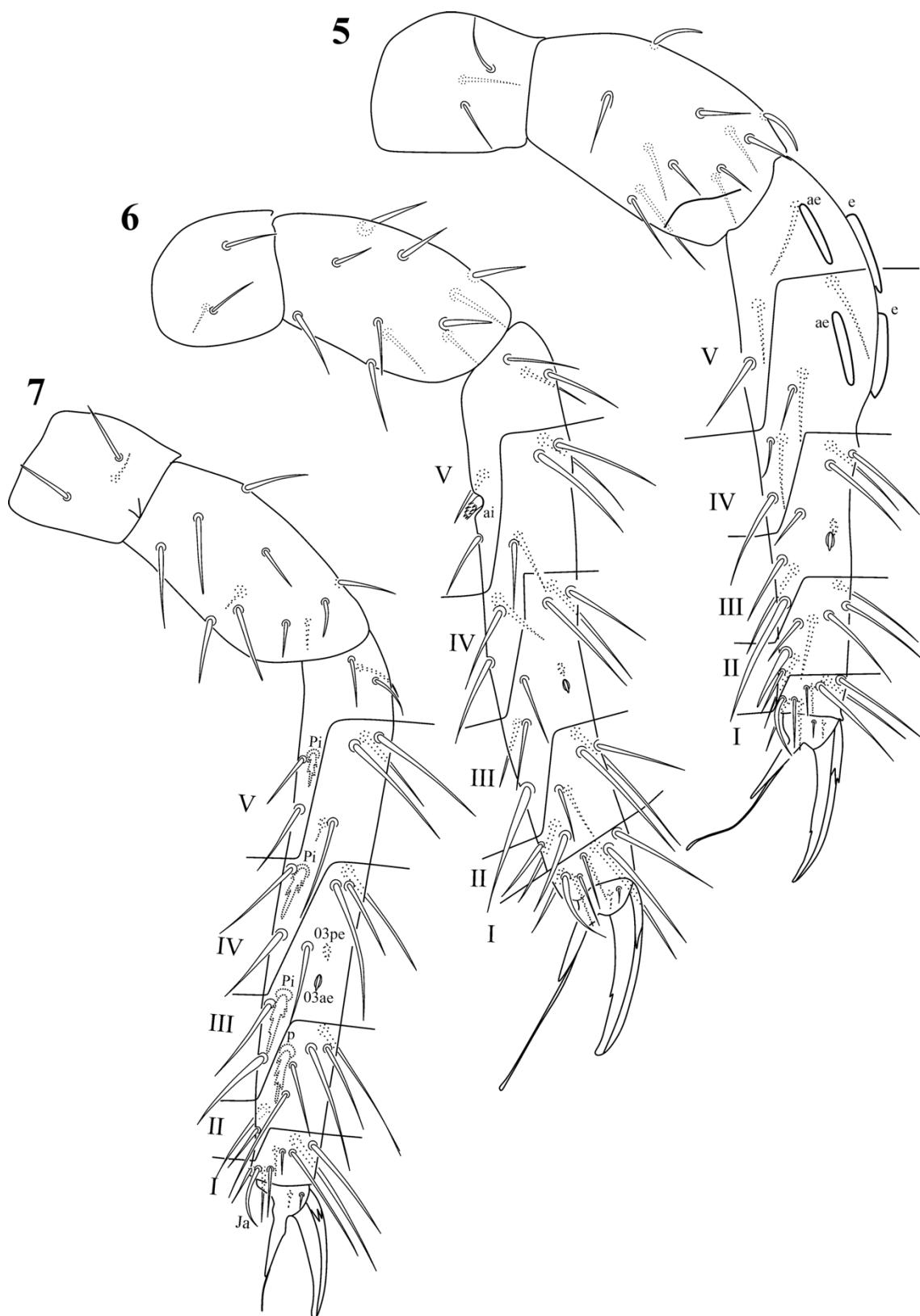
Remarks. *D. rhizophorae* sp. nov. differs from *D. maesorum*, *D. diomedesi*, and *D. colombiana* in the sensilla shape on tibiotarsus I, which is rhagidial type similar to that of *D. ramosa*. Nevertheless *D. ramosa* presents 8+8 eyes and the new species has only 6+6 eyes. Only *Denisiella rhizophorae* sp. nov. and *D. serroseta* lack inner tooth on unguis III. In addition, they can also be recognized from each other by the presence of four coarsely serrated spines on Tita. III in *D. rhizophorae* sp. nov., which are absent in *D. serroseta* (Table 1).

Table 1. Comparative table of *Denisiella* species. *D. nayarita*, *D. seurati* and *D. sexpinnata* are not included because their males were not described. (?) indicates unknown; (+) present; (-) absent; (Tita. I: sensilla) four sensilla of tibiotarsus I; (Tita. III: serrate) serrate spine-like setae of tibiotarsus III.

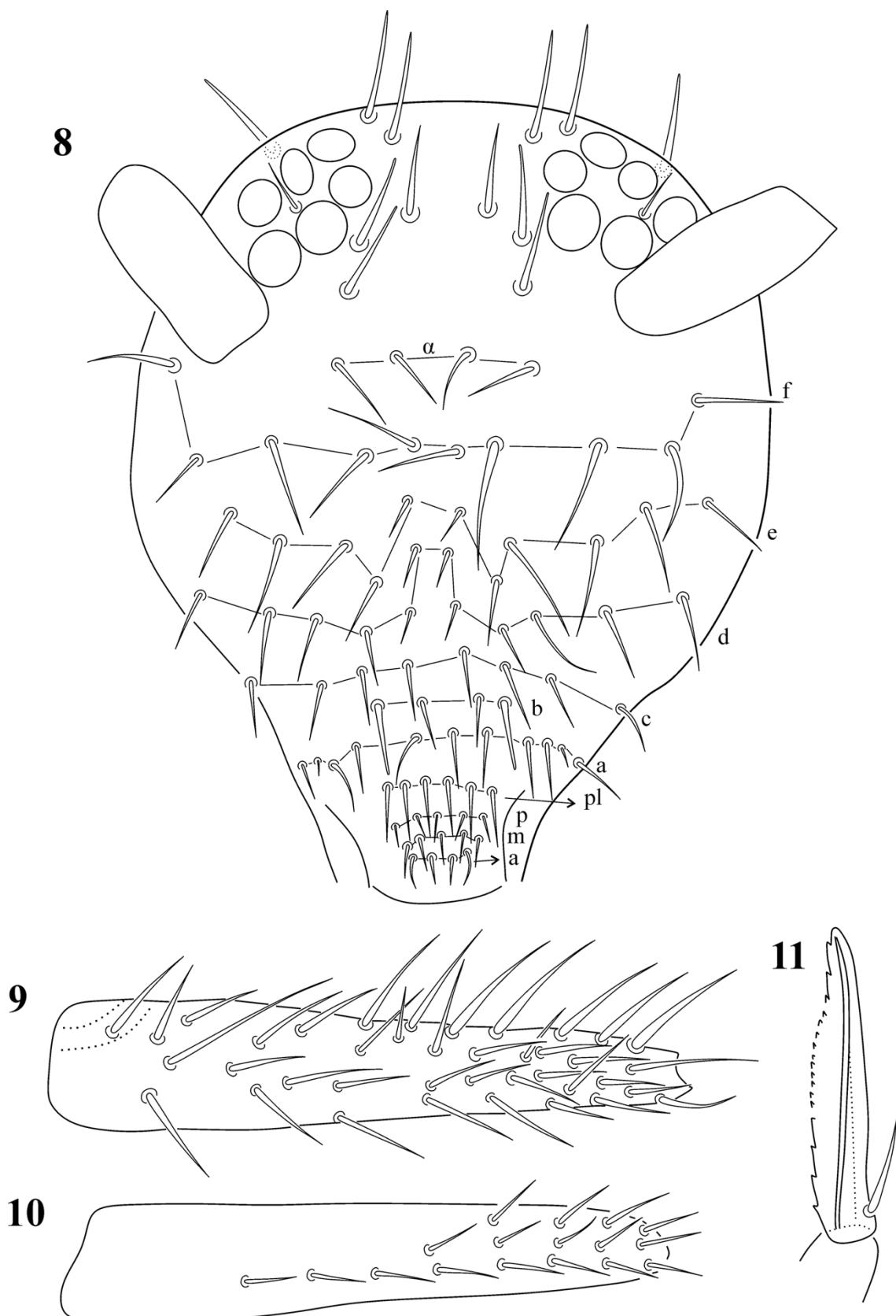
Species	Country	Eyes	Nasal organ	Tita. I: sensilla	Tita. III: serrate	Unguis III: inner tooth
<i>D. betschi</i> sp.nov.	Brazil	6+6	-	Campaniform rugose	4	+
<i>D. bretfeldi</i>	U. Arab Emirates	6+6	+	Big dome	0	+
<i>D. caatingae</i> sp.nov.	Brazil	6+6	+	Small dome	4	+
<i>D. colombiana</i>	Colombia	6+6	-	Big dome	4	+
<i>D. lithophila</i>	U. States	6+6	-	-	3	+
<i>D. ramosa</i>	Hawaii	8+8	-	Rhagidial	4	+
<i>D. rhizophorae</i> sp.nov.	Brazil	6+6	-	Rhagidial	4	-
<i>D. serroseta</i>	S. Africa	6+6	-	?	0	-
<i>D. diomedesi</i>	Panama	6+6	+	Campaniform rugose	4	+
<i>D. maesorum</i>	Nicaragua	6+6	-	Campaniform rugose	4	+



FIGURES 1–4. *Denisiella rhizophorae* sp. nov.: **1**, Ant. II; **2**, Ant. III; **3**, Ant. IV; **4**, Ant. I.



FIGURES 5–7. *Denisiella rhizophorae* sp. nov.: 5, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 6, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus; 7, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus.



FIGURES 8-11. *Denisiella rhizophorae* sp. nov.: 8, frontal cephalic chaetotaxy; 9, posterior chaetotaxy of dens; 10, anterior chaetotaxy of dens; 11, mucro.

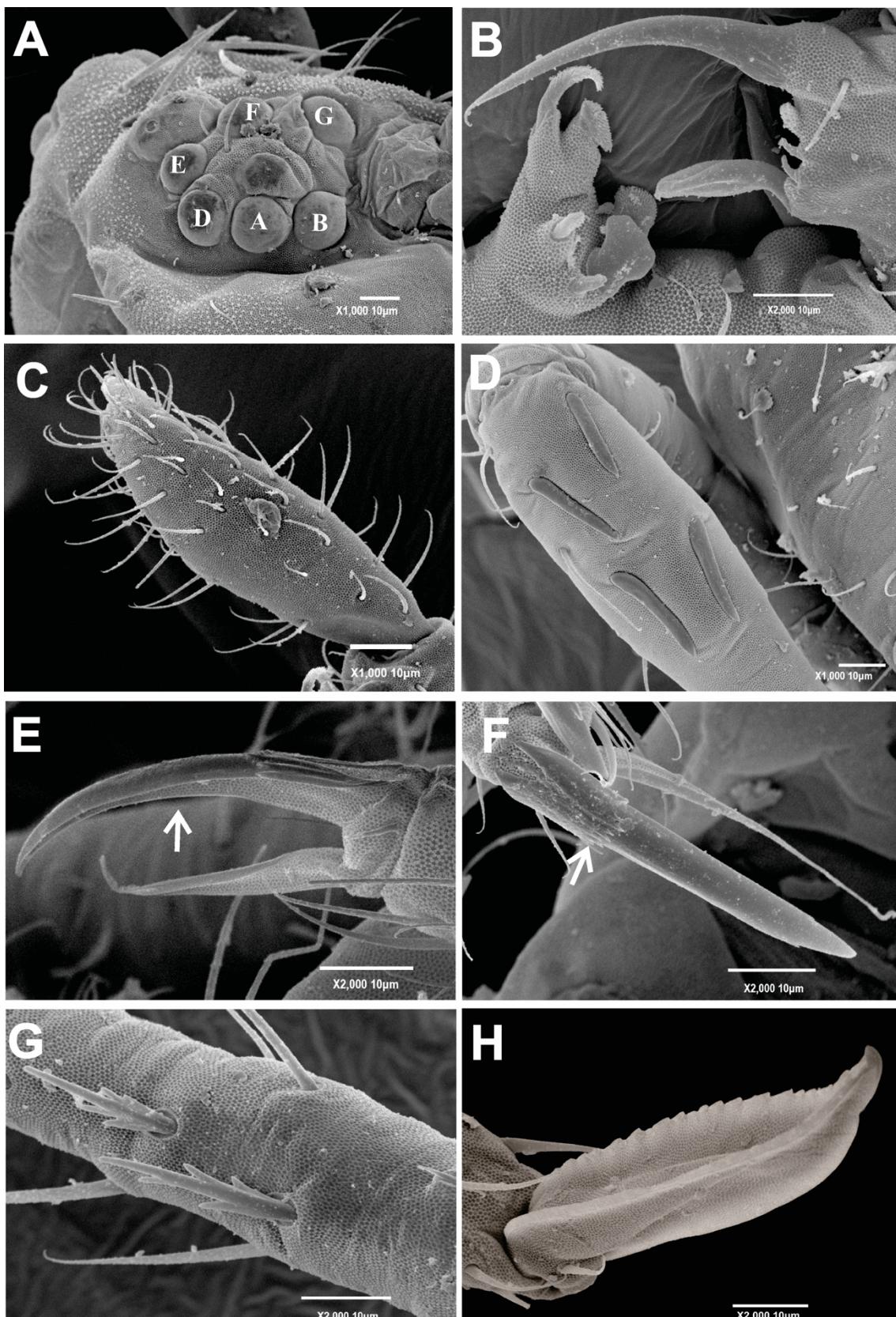


FIGURE 12 A–H. *Denisiella rhizophorae* sp. nov.: Scanning Electronic Microscope (photos). **A**, eyes: 6 + 6 ommatidia; **B**, Ant. II and Ant. III clasping organ; **C**, Ant. IV; **D**, four sensilla of tibiotarsus I; **E**, unguis III without inner tooth; **F**, unguis II with pseudonychia; **G**, serrate spine-like setae of tibiotarsus III; **H**, mucro.

***Denisiella betschi* sp. nov.**

Figs 13–25, Table 1

Type material. Holotype, male on slide 11747, 16 III 2015. Brazil, Paraíba, Cajazeiras, Eng. Ávidos, col. Ferreira A.S. Holotype deposited at CRFS/UEPB, João Pessoa, Paraíba, Brazil. Paratypes: 5 males on slide, same data as holotype, 2 males kept at LESM, Sciences Faculty, UNAM, México. labelled ref. #CRFS 11744, #CRFS 11745, #CRFS 11746.

Description. Male. Body length 456 µm (mean 500 µm three males). Antennae bent as in all Sminthurididae males, elbowed between Ant. II and III (Figs 13 and 14). Ant. I with 7 setae two very small and thin, other subequal in length (Fig. 16). Ant. II short, with 23 regular setae, two trichobothria (Tri1, Tri2), one microsensillum and modified setae b1–6 on the same tubercle, and lamella b7 isolate with apex truncate (Fig. 13). Ant. III with 14 regular setae, one microsensillum and one trichobothrium (Tri3), Ant. organ III with a pair of oval sensilla, modified setae C1-3, C1 lamellate and short, C2 small spine and C3 in the shape of strong sharp spine (Fig. 14). Ant. IV simple, elliptical with about 45 setae, plus three sensilla difficult to distinguish (Fig. 15). Ratio Ant. I: II; III; IV as 1: 1; 0.7; 0.9. 6+6 eyes (Figs. 20 and 25A). Chaetotaxy of frontal area of head with four pairs of barbulate spines as in Fig. 20 and 25A, one of them longer than others, interocular setae short and thin.

Leg I (Fig. 17): coxa with one seta; trochanter with 3 setae, one short and thin; femur with 12 setae; tibiotarsus with 32 setae: two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III and four sensilla in campaniform shape in position **IVe**, **IVae**, **Ve** and **Vae** (Fig. 25B). Leg II (Fig. 18): coxa with one seta; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 11 setae; tibiotarsus with 35 setae: two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III and polycarinate seta **Vai** present (Fig. 25C). Leg III (Fig. 19): coxa with 3 setae and one small spine; trochanter with 3 setae, one of them short and thin; femur with 11 setae; tibiotarsus with about 34 setae: two oval organs **03pe** and **03ae** present in whorl III and four serrate spine-like in position **IIp**, **IIIpi**, **IVpi**, **Vp** (Fig. 25D). Unguis without tunica, with pseudonychia; unguis I, II and III with one small inner tooth (Fig. 25E); unguiculus I and II with filament surpassing the unguis. Pretarsus with one anterior and one posterior setae on each leg.

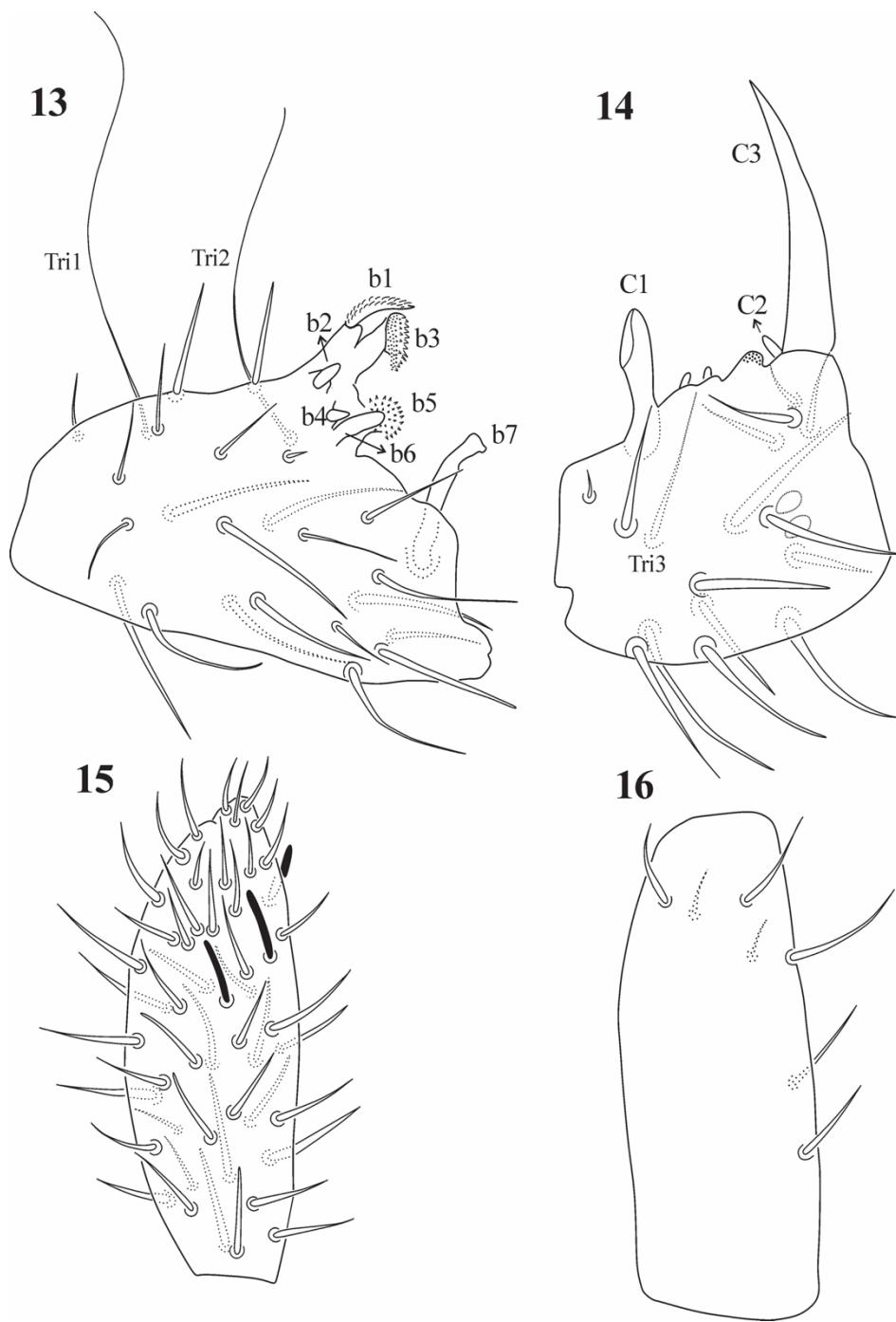
Thoracic segmentation not evident dorsally. Great abdomen with trichobothria A/B/C triangle shaped. Small abdomen with trichobothria D/E (Fig. 21). Ventral tube with 1+1 seta in posterior position. Corpus of tenaculum with two setae and each ramus

with three teeth and basal appendix. Genital and anal segments fused into a single mass. Genital plate of male with one pair of pregenital setae and 4 + 4 eugenital setae (Fig. 21). Manubrium with 7+7 setae, dens with 37 posterior setae (Fig. 22), anterior surface with setal formula 3,3,3,3,2,1,1,1 (Fig. 23). Mucro with two lamellae, inner with about 16 serrations, outer smooth, one mucronal outer seta (Figs. 24 and 25F). Female unknown.

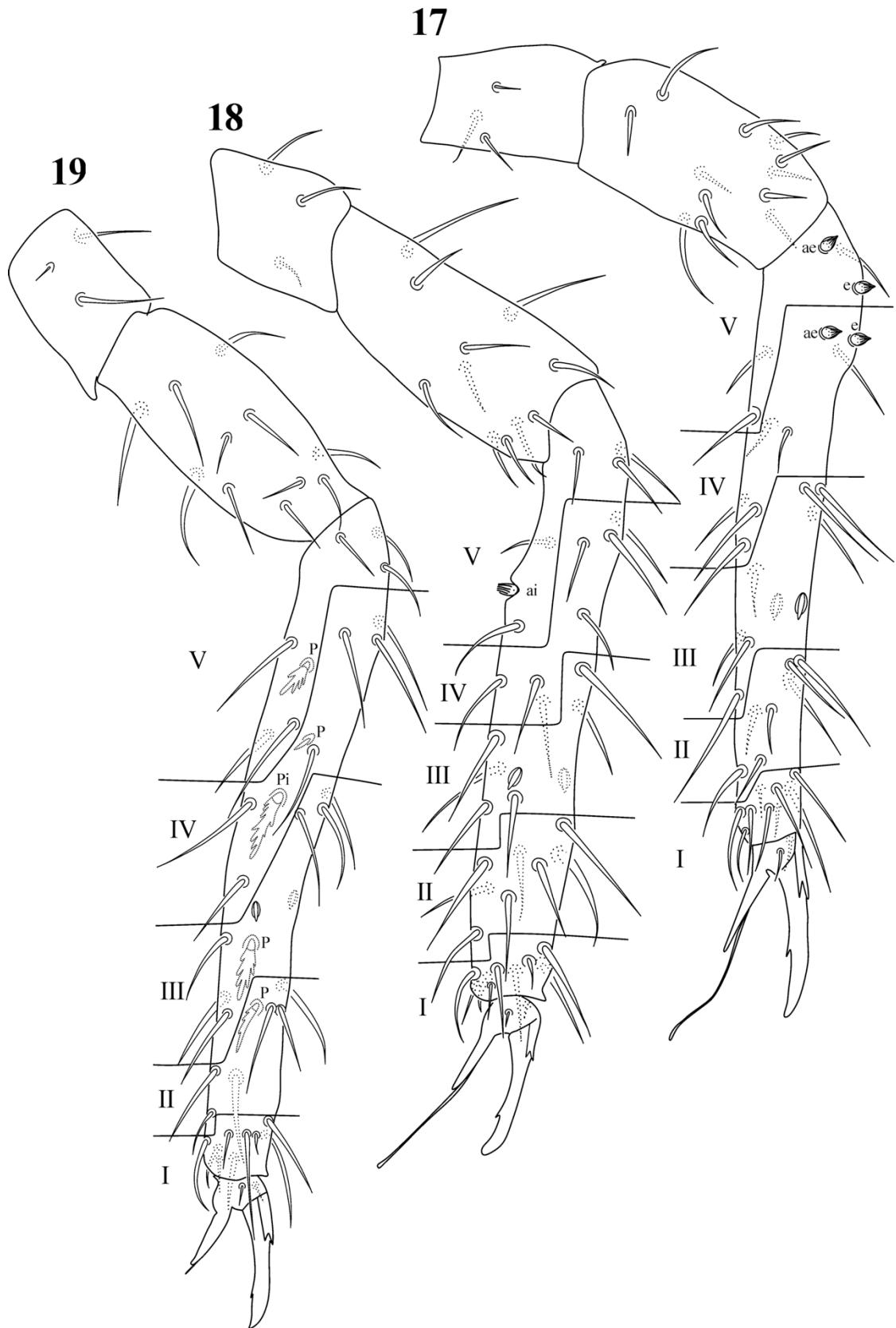
Etymology. The new species is named after Dr. Jean-Marie Betsch, as a recognition for his major contributions to the knowledge on Collembola Symphyleona.

Distribution and habitat. The specimens were collected during the beginning of the rainy season in a semiarid Caatinga domain, located in state of Paraiba, Northeastern Brazil ($06^{\circ}58' 27.7' \text{ S}$ / $34^{\circ} 27' 32.2' \text{ W}$) Good's biogeographic zone 27 (Good1974).

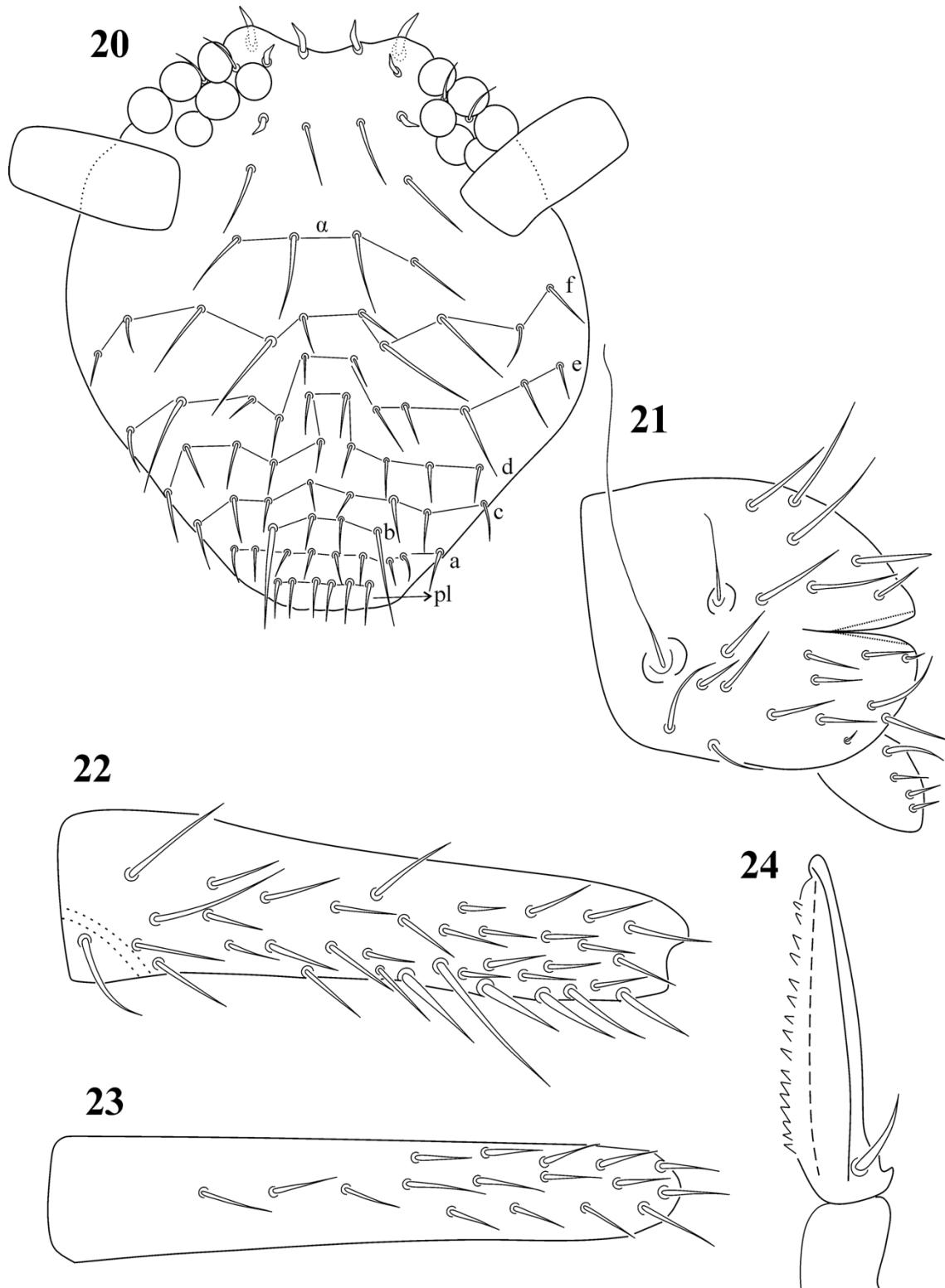
Remarks. *Denisiella betschi sp. nov.* is very easy to distinguish from other *Denisiella* because it has barbulate spines on frontal head that have never been cited in other species. The antennal segment II is very short and the seta b7 is truncate. The ratio of Ant. III: Ant. II is only 1.4, while in *D. caatingae sp. nov.* and *D. rhizophorae sp. nov.* such ratios are 1.7 and 1.8 respectively. The four sensilla on tibiotarsus I are campaniform and rugose, similar to those of *D. diomedesi* and *D. maesorum* (Table 1). Males are the smallest among all the species of the genus known, smaller than 600 μm .



FIGURES 13–16. *Denisiella betschi* sp. nov.: 13, Ant. II; 14, Ant. III; 15, Ant. IV; 16, Ant. I.



FIGURES 17–19. *Denisiella betschi* sp. nov.: 17, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 18, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 19, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy tibiotarsus.



FIGURES 20–24. *Denisiella betschi* sp. nov.: 20, frontal cephalic chaetotaxy; 21, chaetotaxy of small abdomen and genital plate of male in lateral view; 22, posterior chaetotaxy of dens; 23, anterior chaetotaxy of dens; 24, mucro.

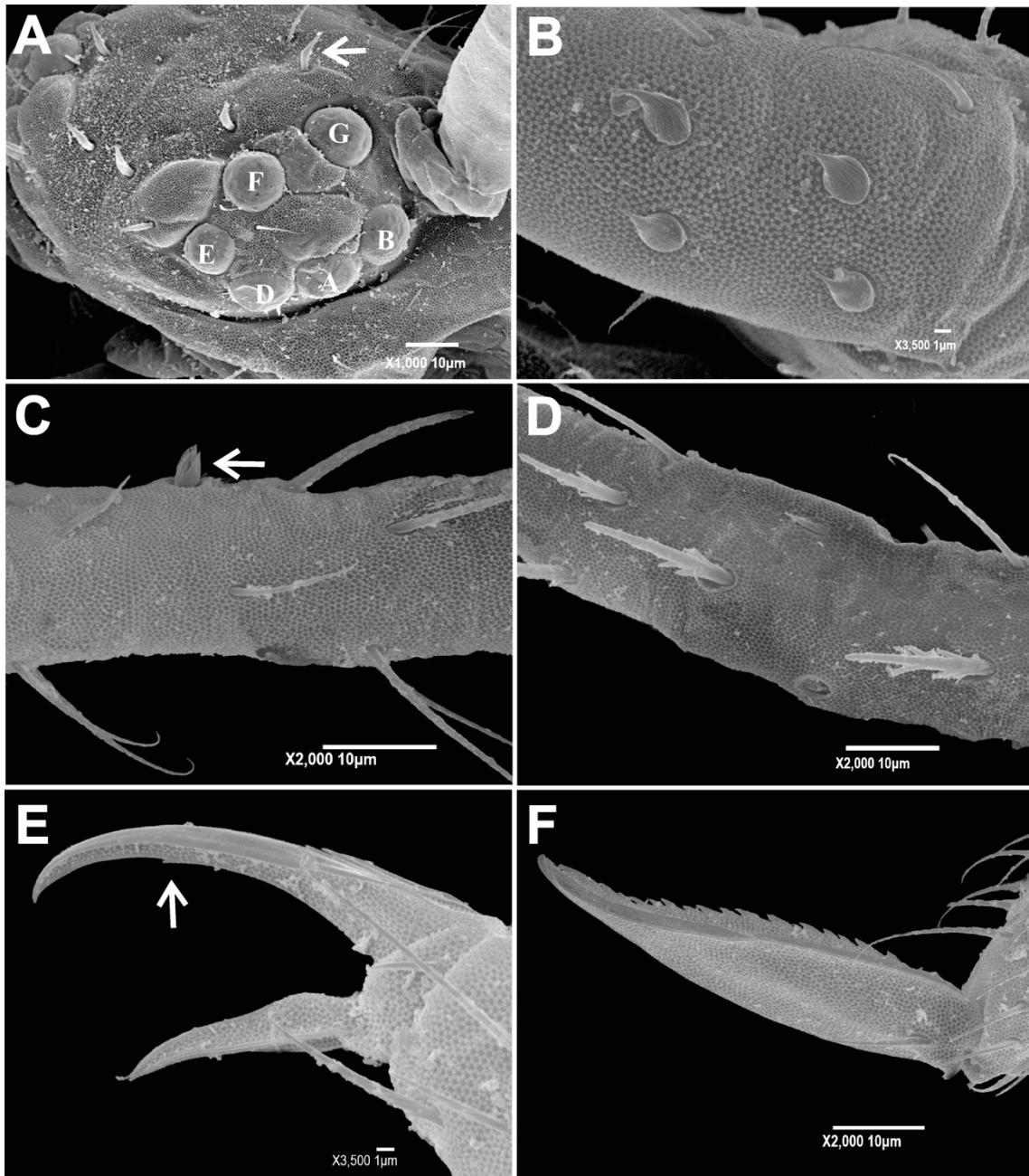


FIGURE 25 A–F. *Denisiella betschi* sp. nov., Scanning Electronic Microscope (SEM): A, eyes: 6 + 6 ommatidia; B, four sensilla of tibiotarsus I; C, polycarinate seta of tibiotarsus II; D, serrate spine-like setae of tibiotarsus III; E, unguis III with inner tooth; F, mucro.

Denisiella caatingae sp. nov.

Figs 26–36 Table 1

Type material. Holotype, male on slide 11748, 16 III 2015. Brazil: Paraíba: Cajazeiras, Eng. Ávidos, col. Ferreira A.S. Holotype deposited at CRFS/UEPB, João Pessoa, Paraíba, Brazil. Paratypes: 1 male on slide, same data as holotype is kept at LESM, Sciences Faculty, UNAM, México.

Description. Male. Body length 873 µm. Antennae bent as in all Sminthurididae males, elbowed between Ant. II and III (Figs. 26 and 27). Ant. I with 7 setae, two very small and thin (Fig. 29), Ant. II with 19 regular setae, two trichobothria (Tri1, Tri2), one microsensillum and modified setae b1–6 on the same tubercle and lamella b7 isolate, short and thick (Fig. 26), Ant. III with 14 regular setae, one microsensillum and one trichobothrium (Tri3), Ant. organ III with a pair of oval sensilla, modified setae C1–3, C1 lamellate, thick and short, C2 as a small spine and C3 in the shape of a big spine (Fig. 27). Ant. IV simple, elliptical whit about 45 setae, plus five sensilla difficult to distinguish (Fig. 28). Ratio Ant. I: II; III; IV as 1: 0.9; 0.5; 0.9. 6+6 eyes. Head with nasal organ, one big alveolus with four setae with fine ciliations (Fig. 33).

Leg I (Fig. 30): coxa with one seta; trochanter with 3 setae; femur with 11 setae; tibiotarsus with 33 setae: two oval organ **03pe** and **03ae** present in whorl III and four sensilla in a small dome form in position **IVe**, **IVae**, **Ve** and **Vae**. Leg II (Fig. 31): coxa with one seta; trochanter with 3 setae; femur with 10 setae; tibiotarsus with 36 setae: two oval organ **03pe** and **03ae** present in whorl III and a thick polycarinate **Vai** present. Leg III (Fig. 32): coxa with 3 setae, and one small spine; trochanter with 3 setae, one short and thin in ventral position; femur with 8 setae and two serrate setae; tibiotarsus with about 34 setae: two oval organ **03pe** and **03ae** present in whorl III and four serrate spine-like in position: **IIIpi**, **IVpi**, **IVp** e **Vpi**. Unguis without tunica, with pseudonychia; Unguis I, II and III with one small inner tooth; unguiculus I and II with filament surpassing the unguis. Pretarsus with one anterior and one posterior setae on each leg.

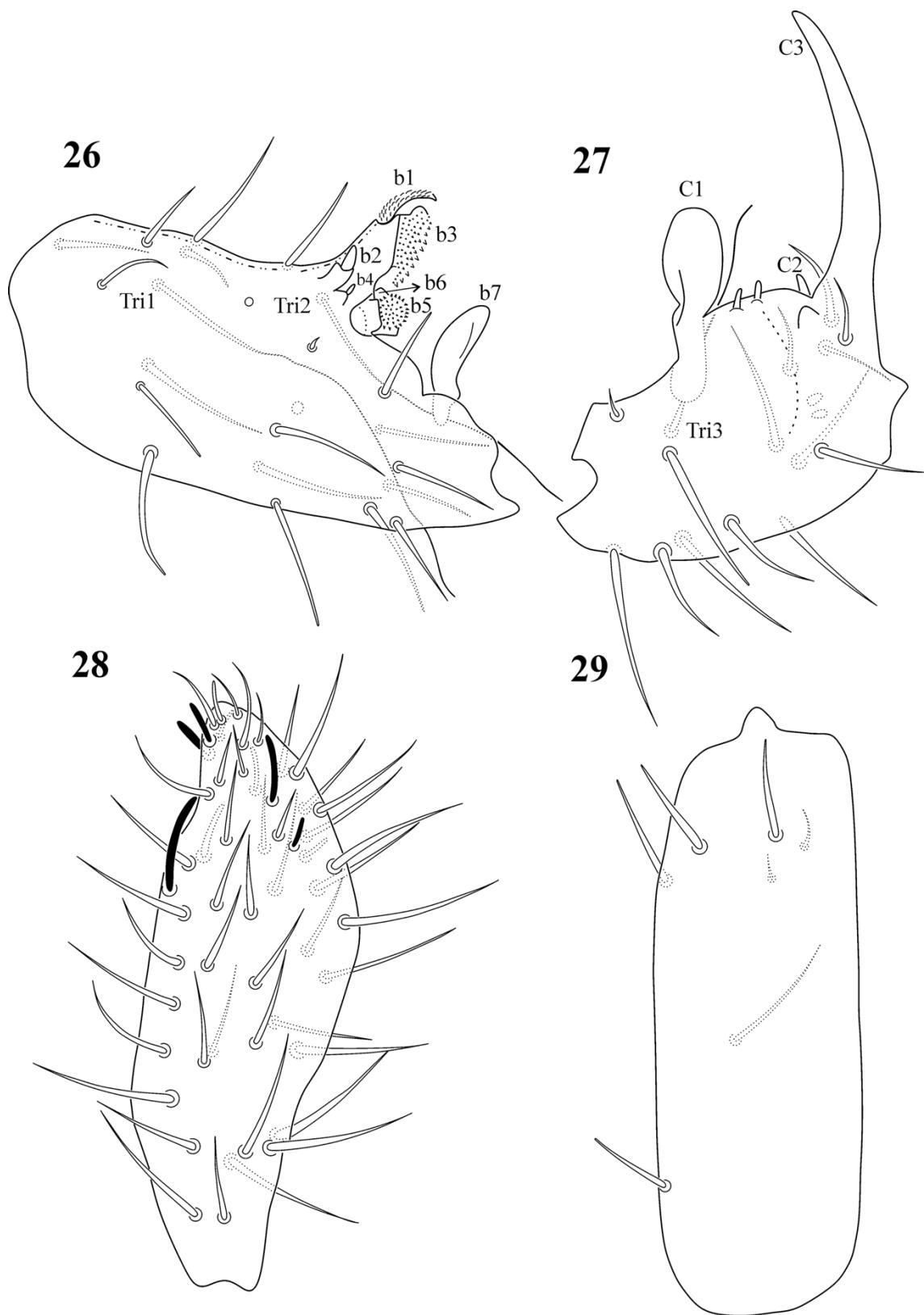
Thoracic segmentation not evident dorsally. Great abdomen with trichobothria A/B/C triangle shaped. Small abdomen with trichobothria D/E. Ventral tube with 1+1 seta in posterior position. Corpus of tenaculum with two setae and each ramus with three teeth and basal appendage. Genital and anal segments fused into a single mass. Genital plate of the male with one pair of pregenital setae and 4 + 4 eugenital setae. Manubrium with 7+7 setae, dens with 44 posterior, two of them very long (Fig. 34),

anterior surface with setal formula 3,3,3,3,2,2,2,1,1,1 (Fig. 35). Mucro with two lamellae, inner with about 28 serrations, outer smooth, one mucronal outer seta (Fig. 36). Female unknown.

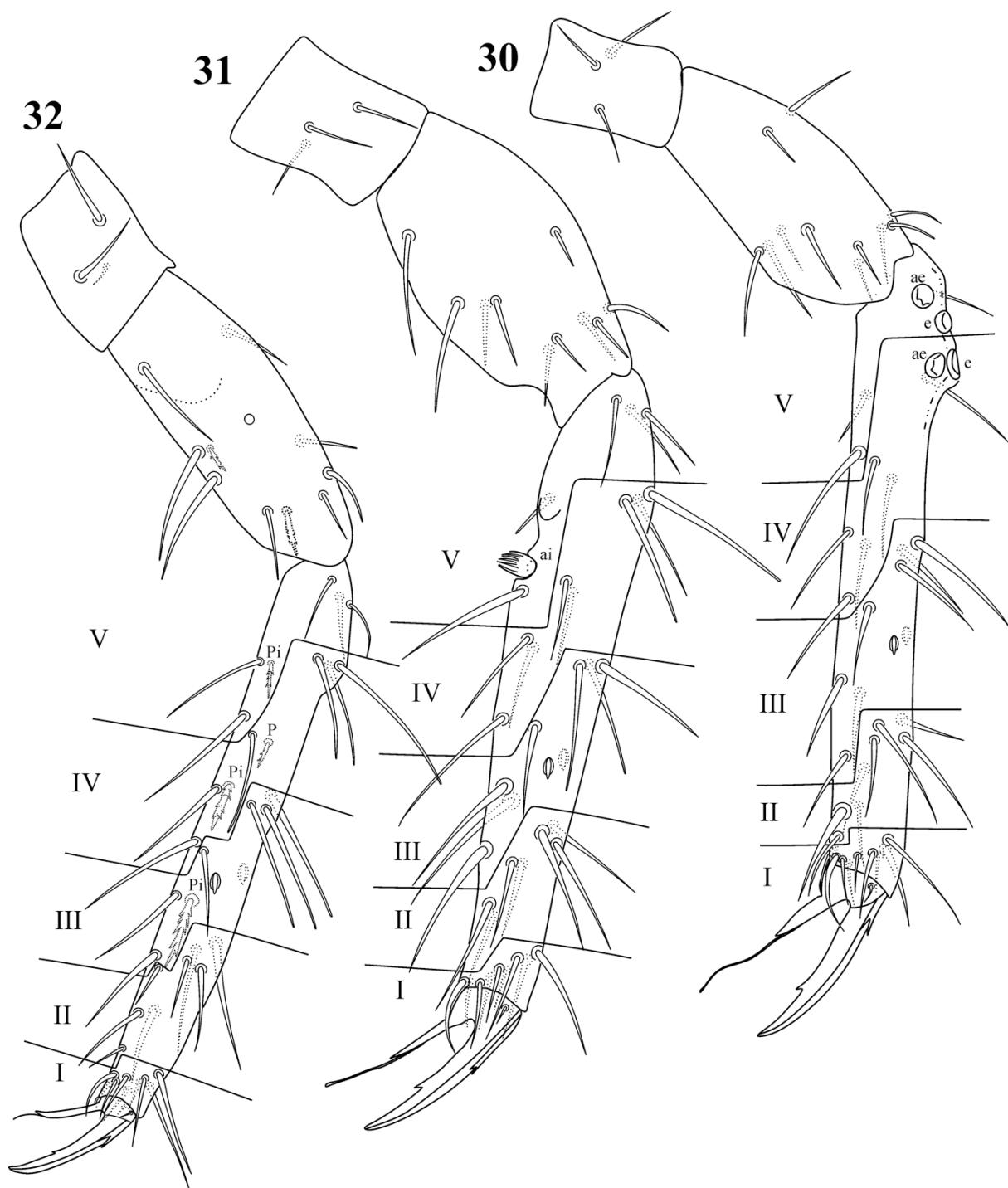
Etymology. The species was named after the Brazilian name for the northeastern semiarid vegetation. Caatinga is an indigenous word that means “white forest”, due to the whitish color of the xeromorphic vegetation, dominant in the type locality.

Distribution and habitat. The specimens were collected during the beginning of the rainy season in a semiarid Caatinga domain, located in state of Paraiba, Northeastern Brazil ($06^{\circ}58' 27.7' \text{ S}$ / $34^{\circ} 27' 32.2' \text{ W}$) Good's biogeographic zone 27 (Good 1974).

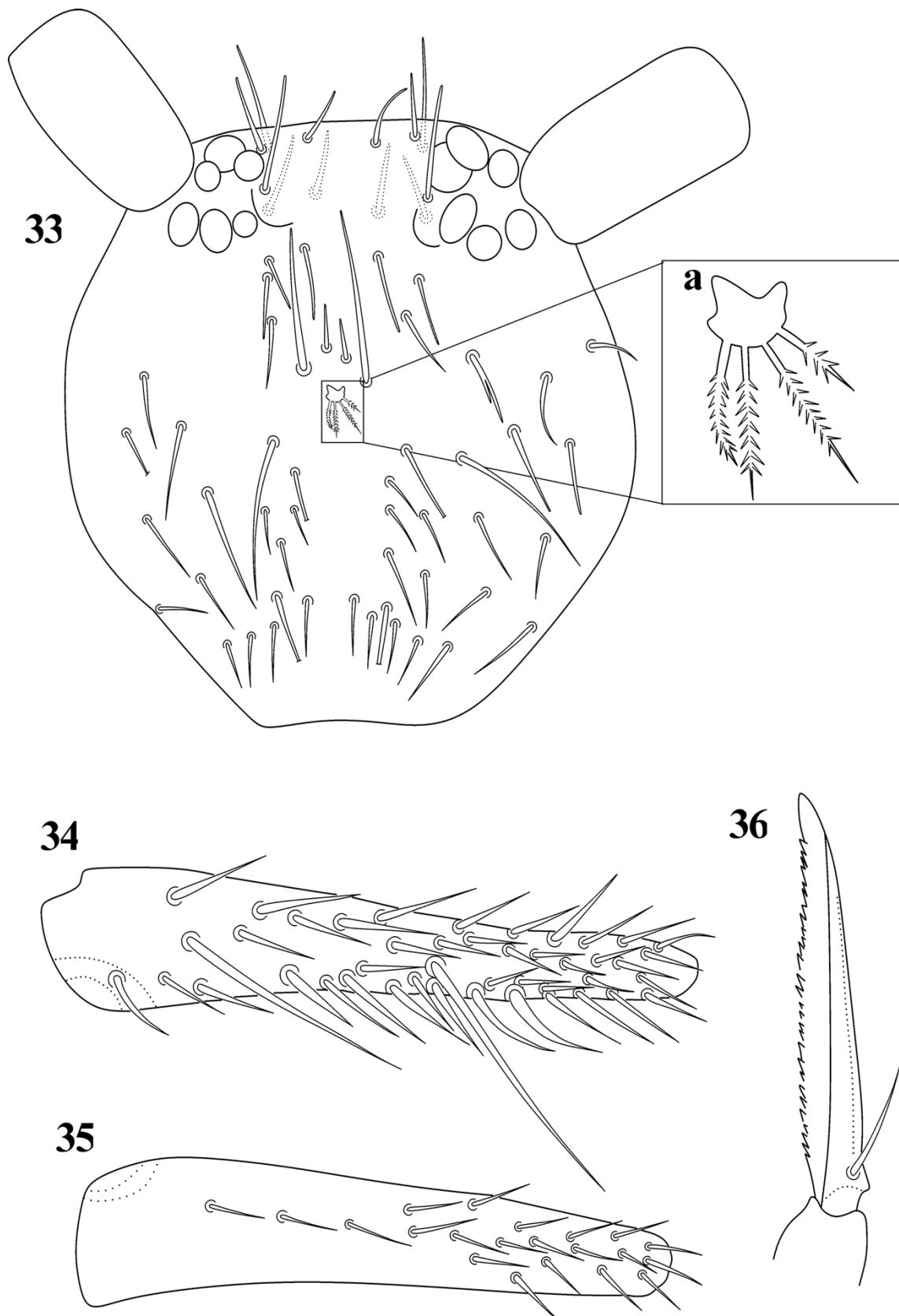
Remarks. *D. caatingae sp. nov.*, *D. bretfeldi* and *D. diomedesi* share the presence of a nasal organ in the middle line of head with four ciliate setae inserted in a single big alveolus, but *D. caatingae sp. nov.* lacks the two spineform setae in such organ, which are present in the other two species. Seta b7 on Ant. II and C1 on Ant. III of the new species are in the shape of wide lamella, much different from others. In *D. diomedesi* the polycarinate seta on tibiotarsus II is located close to a spine seta, which is absent in *D. caatingae sp. nov.* but both species have a tibiotarsus II wider than tibiotarsus I and III. *D. bretfeldi* has no serrate setae in the tibiotarsus III, while the *D. caatinagae sp. nov.* has four serrate setae (Table 1).



FIGURES 26–29. *Denisiella caatingae* sp. nov.: 26, Ant. II; 27, Ant. III; 28, Ant. IV; 29, Ant. I.



FIGURES 30–32. *Denisiella caatingae* sp. nov.: 30, leg I: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 31, leg II: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus; 32, leg III: trochanter, femur and chaetotaxy of tibiotarsus.



FIGURES 33–36. *Denisiella caatingae* sp. nov.: 33, frontal cephalic cheatotaxy; 33a, nasal organ in detail; 34, posterior cheatotaxy of dens; 35, anterior chaetotaxy of dens; 36, mucro.

Discussion

From the remarks on the genus, diagnostic characters for males *Denisiella* are the morphology of tibiotarsi on legs I and II, the trichobothria pattern and setae arrangement on Ant. II and III; in females the presence of serrate setae on anal valves. Ant. IV simple in both sexes with few sensilla difficult to distinguish. Labral setae formula 6/5,5,4. Six or eight eyes per side, but the tubercles on the ocular area can make it difficult to distinguish the real number of eyes. Male head often with a nasal organ, composed by a strong alveolus and four finely ciliated setae and sometimes also two spine-like setae. We have documented and photos of one polycarinate (Fig. 25C) seta ventrally on tibiotarsus II often in a low concavity, which is difficult to see and maybe overlooked in some species, sometimes there is a spine-like seta close to it. Five, four, three or none short and thick spines with strong variable serrations on tibiotarsus III. Coxae of all legs with a short and small spine on males and females. The presence or absence of inner teeth in unguis III can help to characterize species. Often one or two small barbulate spines on each anal valve of female, and the highest number is 6 and the lowest is 3, a character difficult to distinguish because sometimes the barbulations of the spines can be very few and short. Mucro with two lamellae, inner one can be serrate. Always one mucronal seta. According to Schulz (2016), the fourth antennal segment, outer mouth parts (chaetotaxy of the labrum), mandibles and the surface structure of eversible vesicles of the ventral tube are characters of lower taxonomic value, which is true but also difficult to evaluate.

The males of species *D. caatingae* sp. nov., *D. bretfeldi* and *D. diomedesi* are armed with a nasal organ of unknown function consisting of two spine-like setae, each on one alveolus and one big alveolus with four strong setae with fine ciliations (Palacios-Vargas 2007), which have been SEM photographed by Schulz (2016). It should be noted that a nasal organ is also found in all the males of *Arlesminthurus* and some of the *Heterosminthurus* species (both in Family Bourletiellidae which is not close related), but they have a complete different structure and the homologies have not been analyzed.

The first tibiotarsi of male *Denisiella* show differences in shape and cuticular structures which represent important taxonomical characters for isolation of species. There are always four sensilla in the same position, but the shape of them varies in different species. We have observed three different shapes of sensilla: 1—large, thick

and elongated, inserted in an elongated alveolus (Fig. 12D), similar to those sensilla found on the tarsus of mites of the family Rhagidiidae (Acari: Prostigmata), we call them rhagidial sensilla, due to its general aspect: 2—shape of sensilla is campaniform, drop-like and rugose (Fig. 25B), and 3—round and flattened dome shaped (Fig. 30), varying in size (Table 1), they can be small or big.

Dens chaetotaxy is always very similar in most species of *Denisiella*. The SEM picture presented as a female of *D. bretfeldi* by Schulz (2016) correspond to a juvenile, because of that it has a row of posterior spines, as illustrated in *D. maesorum* by Palacios-Vargas (1995).

Acknowledgments

D. Zeppelini is granted CNPq# 301803/2012-9. Dr. Blanca Mejía Recamier (LESM) helped in remounting Collembola slides; Dr. Silvia Espinosa (Facultad de Ciencias, UNAM) processed the specimens and took the scanning electron microscope photos. Diego Silva (INPA) gave criticism to the manuscript and suggestions on the chaetotaxy. Dr. Schulz (Germany) and one anonymous reviewer gave important suggestions to the manuscript.

References Cited

- Bellinger, P.F., Christiansen, K.A., Janssens, F. (1996–2018) Checklist of the Collembola of the World. Available from: <http://www.collembola.org>. (Accessed 7 April 2018).
- Bellini, B.C. & Zeppelini, D. (2004) First records of Collembola (Ellipura) from the State of Paraíba, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 48 (4), 587–588. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262004000400025>
- Betsch, J.M. (1969) Contribution à l'étude des Sminthuridinae (Collemboles Symphypleones) un genre nouveau d'Australie: Pygicornides. *Revue D'ecologie Et De Biologie Du Sol*, 6, 349–355.
- Betsch, J.M. (1980) Éléments pour une monographie des Collemboles Symphypleonés (Hexapodes, Aptérygotes). *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Nouvelle Série A, Zoologie*, 116, 1–227.
- Betsch, J.M. & Waller, A. (1991) Collemboles Symphypléones de Guyane. I. Un nouveau genre de Sminthurididae. *Revue d'Écologie et de Biologie du sol*, 28 (2), 229–235.
- Betsch, J.M & Waller, A. (1994) Chaetotaxic nomenclature of the head, thorax and abdomen in Symphypleona (Insecta, Collembola). *Acta Zoologica Fennica* 195, 5–12.
- Börner, C. (1900) Vorläufige Mittheilung zur systematik der Sminthuridae Tullb.

- inbesondere der genus *Sminthurinus* Latr. *Zoologischer Anzeiger*, 23 (630), 609–618.
- Börner, C. (1906) Das System der Collembolen nebst Beschreibung neuer Collembolen des Hamburger Naturhistorischen Museums. Mitteilungen aus den *Naturhistorischen Museum in Hamburg*, 23, 147–188.
- Börner, C. (1908) Collembolen aus Südafrika, nebst einer Studie über die I. Maxille der Collembolen. In: Schultze L (Ed.) Forschungsreise im westlichen und zentralen Südafrika. *Denkschriften der Medicinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena*, 13, 53–68.
- Bretfeld, G. (1999) Synopses on Palaearctic Collembola, Volume 2. Symphyleona. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz*, 71 (1), 1–318.
- Bretfeld, G. (2010) *Pedonides alcochetensis* n. g. n. sp. (Insecta, Collembola, Sminthurididae) with two clasping organs from the mainland of Portugal. *Soil Organisms*, 82 (3), 317–323.
- Christiansen, K. & Bellinger, P. (1981) Families Neelidae and Sminthuridae. In: *The Collembola of North America North of the Rio Grande*, Grinnell College, Iowa pp.1043–1322.
- Culik, M.P & Zeppelini D. (2003) Diversity and distribution of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) of Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 12, 1119–1143.
- Denis, J.R. (1925) Sur les Collemboles du Muséum de Paris (2ème partie). *Annales de la Société Entomologique de France*, 94, 261–290.
- Denis, J.R. (1931) Collemboles de Costa Rica avec une contribution au species de l'orde. Contributio alla conoscenza del "microgenton" di Costa Rica, II. *Bollettino del Laboratorio de Zoologia in Portici*, 25, 69–170.
- Folsom, J.W. (1932) Hawaiian Collembola. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 8, 51–92.
- Folsom, J.W. & Mills, H.B. (1938) Contribution to the knowledge of the genus Sminthurides Börner. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, Harvard, 82, 231–274.
- Good, R. (1974) The geography of flowering plants. 4th Edition. Longman Group, United Kingdom, 547 pp.
- Linnaniemi, W.M. (1912) Die apterygotenfauna Finlands. II. Spezieller Teil. *Acta Societatis Scientiarum Fennicae*, 40, 1–359
- Massoud, Z. & Betsch, J. M. (1972) Étude sur les Insectes Collemboles II. – Les caractères sexuels secondaires des antennes des Symphypléones. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 9, 55–97.
- Murphy, D.H. (1965) *Deboutevillea marina* n. gen., n. sp., (Collembola, Sminthuridae) from the inter-tidal zone of Singapore. *Bulletin of the National Museum Singapore*, 33 (6), 31–34.
- Nayrolles, P. (1988) Chetotaxie tibiotarsale des Collemboles Symphypleones. *Travaux du Laboratoire d'Ecobiologie des Arthropodes Edaphiques, Toulouse*, 5 (4), 1–19.
- Ospina, M. & Palacios-Vargas, J.G. (2009) A new *Denisiella* Folsom and Mills, 1938 (Collembola: Sminthurididae) from Colombia. *Zootaxa*, 2168, 63–68.
- Palacios-Vargas, J. G. (1995) A new species of *Denisiella* (Collembola: Sminthurididae) from Nicaragua. *Revista Nicaraguense de Entomología*, 32, 25–33.
- Palacios-Vargas, J.G. (2007) A new species of *Denisiella* (Collembola: Sminthurididae) from Panama and new records for *D. sexpinnata* (Denis, 1938). *Zootaxa*, 1638, 63–68.
- Palacios-Vargas, J.G. & Bernava, V. (1999) A new Mexican species of *Denisiella* (Collembola: Sminthuridae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 72,

- 447–450.
- Sánchez-García, A. & Engel, M.S. (2016) Long-term stasis in a diverse fauna of Early Cretaceous springtails (Collembola: Symphyleona). *Journal of Systematic Palaeontology*, 7, 1–25. <https://doi.org/10.1080/14772019.2016.1194575>
- Snider, R. J. (1988) *Denisiella lithophila*, a new species from a granite outcrop in Georgia (Collembola: Sminthurididae). *The Florida Entomologist*, 71, 124–129.
- Schulz, H. J. (2016) Morphological studies of two *Denisiella* species (Collembola, Symphyleona) with an updated identification key to *Denisiella* species based on males. *Soil Organisms*, 88 (3), 149–153.
- Schulz, H.J. & van Harten, A. (2013) Subclass Collembola, order Symphyleona. – Arthropod Fauna of the UAE 5: 13–21.
- Zeppelini, D., Queiroz, G.C. & Bellini, B.C. (2017) Collembola in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Available from: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/8735>. (Accessed 12 September 2018).

