



Universidade Federal da Paraíba- UFPB

Centro de Ciências Exatas e da Natureza - CCEN

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - PPGCB

Área de Concentração: Zoologia

Sebastião Tilbert Ângelo da Silva

Diversidade e estrutura da nematofauna em regiões estuarinas tropicais (~7°S)

João Pessoa

Agosto de 2017

Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Centro de Ciências Exatas e da Natureza - CCEN
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - PPGCB
Área de Concentração: Zoologia

Sebastião Tilbert Ângelo da Silva

**Diversidade e estrutura da nematofauna em regiões estuarinas
tropicais (~7°S)**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como um dos principais requisitos de obtenção de título de Mestre em Zoologia.

Orientador: Dr. Miodeli Nogueira Júnior

Orientador: Dr. Francisco José Victor de Castro

Coorientadora: Dra. Maria Cristina da Silva

João Pessoa

2017

Catálogo na publicação
Setor de Catalogação e Classificação

S586d Silva, Sebastião Tilbert Ângelo da.
Diversidade e estrutura da nematofauna em regiões estuarinas tropicais
(~7°S) / Sebastião Tilbert Ângelo da Silva. – João Pessoa, 2017.
91 f. : il.

Orientador: Miodeli Nogueira Júnior.
Orientador: Francisco José Victor de Castro.
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN/PPGCB

1. Ciências biológicas - zoologia. 2. Nematoda. 3. Nematofauna - meiofauna.
4. Biodiversidade. 5. Estuários tropicais. 6. Ecologia. 7. Meiobentos. I. Título.

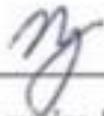
UFPB/BC

CDU - 57(043)

**Diversidade e estrutura da nematofauna em regiões estuarinas
tropicais (~7°S)**

Aprovado em 30/08/2017

Banca examinadora:



Dr. Miodeli Nogueira Júnior. UFPB (Orientador)



Dr. Martin Lindsey Christoffersen. UFPB (Titular interno)

Dra. Micheli Cristina Thomas. UDESC (Titular externo)

João Pessoa

2017

Ao meu querido irmão Anthonio Quirino Netto (*in
memorian*)

À minha amada mãe Zenilda Ângelo, com certeza esta
vitória também é sua. Te amo.

Agradecimentos

Ao meu querido orientador. Dr. Miodeli Nogueira (Grande gafanhoto) por toda atenção, paciência, apoio e por tudo que me ensinou durante o curso de Mestrado tanto no âmbito da ciência quanto na vida, me aconselhando a sempre ser uma pessoa assertiva. Você se tornou um grande amigo, pelo qual tenho muita admiração, consideração e respeito.

Ao meu querido segundo orientador. Dr. Francisco Castro por ter permitido esta parceria entre a UFCG e a UFPB me dando todo apoio e orientações necessários para realizar os procedimentos no Laboratório de Meiofauna do CES-UFCG. Tenho muita gratidão pela sua amizade e por tudo que fez por mim desde o início da graduação em Ciências Biológicas.

À minha coorientadora. Dra. Maria Cristina da Silva pela relevante ajuda na completude desta pesquisa me auxiliando na identificação dos Nematoda. Obrigado por ter compartilhado comigo seu vasto conhecimento em taxonomia, contribuindo significativamente para a minha formação de Mestre em Zoologia.

Agradeço à Thatiany Sousa, que apesar de tudo, nunca deixou de me dar apoio nos momentos em que mais precisei. Você é uma das pessoas mais importantes que existiram na minha vida.

Aos grandes amigos do Mestrado (Os caras): Wallisson Sylas, Edigleidson Valadares, Pedro Lucas, Adonias Teixeira, Diêgo Teles, João Antônio e João Victor por vivenciarem comigo tantos momentos divertidos nas nossas peladas nos fins de semana e na universidade (nos intervalos entre as aulas ou na gigantesca fila do RU).

Agradeço a Wallisson Sylas (Ceará) por ter sido tão paciente e companheiro comigo ao longo do curso de Mestrado. Obrigado do coração pela sua amizade meu grande amigo.

Aos colegas do “Laboratório de Miodeli” (Laboratório de Invertebrados Paulo Young – Lipy), em especial Lívia Oliveira, Pedro Vieira, Júlio Rufino, Bruna Marinho, João Paulo, Varínia Medeiros e Ana Luísa.

Agradeço especialmente a Pedro Vieira, Lívia Oliveira, Varínia Medeiros e Isabela Gerônimo pelo apoio durante as coletas da meiofauna.

Agradeço à técnica do Laboratório. Dra. Priscila Anne (agora professora da UFPB) por ser tão prestativa e competente, estando sempre disposta a ajudar nos momentos em que mais precisei.

Agradeço imensamente ao professor André Carlos, um grande amigo que nos deu estadia em sua casa na APA do Rio Mamanguape para a realização das coletas.

Aos meus colegas do Laboratório de Meiofauna (Labmeio): Bruna Kelly, Géssica Tavares, Fábio Barros e Fátima Cândido por compartilharem momentos de trabalho e diversão no Labmeio.

A minha mãe Zenilda e Adelma. Obrigado por todo amor e cuidado. Amo vocês!

À minha família: meus avós Pedro Ângelo e Dona Tereza; minhas tias Zilda e Zilma e meus primos-irmãos Pedro Henrique e Júlio Cesar. Obrigado por existirem na minha vida.

Aos meus amigos de sempre: Valdenor Silva, Allison Buriti, Gabriel Dantas, Túlio Dantas, Bruno Victor e Patrícia Kelly. Pessoas que admiro muito. Obrigado por tantos momentos bons que me proporcionaram ao longo da vida.

Agradeço a atenção do prof. Dr. Sérgio Netto da Unisul que apesar de seu tempo bastante corrido, me ensinou sobre o cálculo e interpretação do índice de diversidade trófica. Sem sua contribuição, com certeza o nosso trabalho não seria tão robusto.

Agradeço a todos os professores e alunos do Mestrado e Doutorado do PPGCB-Zoologia que contribuíram direta ou indiretamente com minha formação de Mestre em Zoologia.

Aos professores. Dr. Martin Lindsey Christoffersen e Dra. Micheli Cristina Thomas, foi uma honra tê-los como componentes da banca examinadora. Agradeço imensamente pela análise crítica desta obra.

Obrigado!

“E eu não pergunto, porque eu já sei que a vida
não é uma resposta
Se eu aconteço aqui se deve ao fato de eu
simplesmente ser
Se deve ao fato de eu simplesmente...”.

(Raul Seixas - Todo mundo explica)

Sumário

Resumo geral.....	1
General abstract.....	2
Introdução geral	3
Referências	6
Capítulo 1: Diversidade de Nematoda de vida livre em estuários tropicais (NE Brasil, 07°S).....	8
Resumo.....	9
Abstract	10
1. Introdução	11
2. Material e Métodos	13
2.1 Áreas de estudo	13
2.2 Solicitação de coleta em unidade de conservação federal.....	14
2.3 Trabalho de campo	15
2.4 Trabalho de laboratório	15
2.5 Análise dos dados.....	15
3. Resultados e Discussão	16
4. Considerações finais.....	25
5. Referências.....	25
Capítulo 2: Estrutura espacial e temporal da comunidade meiofaunística com ênfase na nematofauna em um estuário tropical (NE Brasil, 07°S).....	30
Resumo.....	31
Abstract	32
1. Introdução	33
2. Material e métodos.....	34
2.1 Área de estudo.....	34
2.2 Solicitação de coleta em unidade de conservação federal.....	36
2.3 Trabalho de campo	36
2.4 Trabalho de laboratório	37
2.5 Dados pluviométricos.....	37
2.6 Índice de diversidade trófica (IDT).....	38
2.7 Índice de maturidade (IM).....	38
2.8 Análise dos Dados.....	39
3. Resultados	40
3.1 Fatores abióticos e matéria orgânica	40
3.2 Estrutura da meiofauna.....	42

3.2.1 Relação com fatores ambientais	47
3.3 Estrutura da nematofauna.....	49
3.3.1 Índice de diversidade trófica	57
3.3.2 Índice de maturidade	59
3.3.3 Relação com variáveis ambientais	60
3.3.4 Estrutura populacional.....	60
4. Discussão.....	68
4.1 Fatores abióticos e matéria orgânica	69
4.2 Estrutura da meiofauna.....	70
4.3 Estrutura da nematofauna.....	71
4.3.1 Índices ecológicos	73
5. Considerações finais.....	75
6. Referências Bibliográficas	76
Conclusões Gerais	82

Resumo geral

A meiofauna é constituída por organismos microscópicos com tamanho geralmente variando entre 44 e 500 μm de comprimento. Os Nematoda são altamente diversificados e abundantes e muito importantes do ponto de vista ecológico e do monitoramento ambiental. O objetivo deste trabalho foi descrever a diversidade da nematofauna nos estuários do Rio Mamanguape (ERM) e Rio Paraíba (ERP) (Cap. 1) e estudar sua distribuição espacial e sazonal no ERM (Cap. 2), bem como sua relação com variáveis ambientais. De um total de 72 amostras foram encontrados 79 gêneros, 60 para o ERM (uma das maiores diversidades já registradas em regiões estuarinas) e 53 para o ERP, sendo *Terschellingia*, *Daptonema*, *Sabatieria*, *Gomphonema*, *Pseudolella* e *Perepsilonema* os mais abundantes. A diversidade observada foi alta, porém, os estimadores apontaram para uma riqueza ainda maior >60 e >90 gêneros no ERP e ERM respectivamente. Apesar disso, a retirada de mais de 120 animais por réplica para o estudo taxonômico, possivelmente resultaria numa riqueza ainda maior, considerando a maior diversidade indicada pelos estimadores em consonância com a grande quantidade de gêneros raros. O estudo ecológico da meiofauna e nematofauna no ERM (cap 2) encontrou maiores abundâncias no período seco com dominância quase total dos nematódeos. Tanto a meiofauna quanto a nematofauna apresentaram fortes relações com matéria orgânica e granulometria. Os índices ecológicos indicaram maior grau de eutrofização no período chuvoso, particularmente na boca do estuário, margem norte. A estrutura populacional dos gêneros mais abundantes foi composta por estágios juvenis. Foi creditado a este trabalho uma contribuição significativa no âmbito da meiobentologia, fornecendo dados relevantes para o conhecimento da biodiversidade e ecologia da meiofauna e nematofauna, com implicações diretas no biomonitoramento ambiental e em pesquisas futuras.

Palavras-chave. Estuários tropicais, biodiversidade, ecologia, meiobentos, Nematoda.

General abstract

The meiofauna is constituted by microscopic organisms ranging from 44 and 500 μm in length. Nematoda are highly diversified and abundant and very important from both the ecological and biomonitoring points of view. This study aimed to describe the nematofauna diversity from Mamanguape River (ERM) and Paraíba River (ERP) estuaries (Chap. 1) and analyze their seasonal and spatial distribution at the ERM (Chap. 2) and relationships with environmental variables. From a total of 72 samples, 79 genera were found, 60 in the ERM (one of the highest diversities recorded from estuaries) and 53 to the ERP, with *Terschellingia*, *Daptonema*, *Sabatieria*, *Gomphonema*, *Pseudolella* and *Perepsilonema* dominating. The diversity was high; however the estimators suggest even higher diversities, >60 and >90 for ERM and ERP respectively. The analysis of more than 120 animals on each sample for the taxonomic study possible would result in higher richness, considering the higher diversity suggested by the diversity estimators along with the great quantity of rare genera. The ecological study at ERM (Chap. 2) found higher abundances in the dry season and a meiofauna assemblage greatly dominated by nematodes. Both meiofaunal and nematofaunal assemblages were highly related to the granulometry and organic matter. The ecological indexes showed higher eutrophication in the rainy season, particularly in the entrance of the estuary north margin. The dominant genera were mostly composed by juveniles. This study contributed significantly to the meiobenthology providing important data to the knowledge of the nematofaunal biodiversity and ecology, with direct implications in the environmental biomonitoring and for future researches.

Key words. Tropical estuaries, biodiversity, ecology, meiobenthos, Nematoda.

Introdução geral

A definição de meiofauna foi proposta inicialmente por Mare (1942) para distinguir um conjunto de organismos classificados de acordo com seu tamanho, sendo constituído por metazoários de dimensões microscópicas que ficam retidos em malhas geológicas com intervalos entre 44 e 500 μm . Em ecossistemas bentônicos, a meiofauna é uma importante unidade ecológica constituída por animais que compartilham um estilo de vida peculiar, os quais estão constantemente submetidos às mesmas pressões seletivas no ambiente intersticial (BALSAMO et al., 2010). Os metazoários que compõem a fauna intersticial abrangem quase todos os filos de invertebrados, sendo abundantes em sedimentos marinhos de todo o mundo (GIERE, 2009). Diversos estudos apontam a grande importância destes organismos em avaliar o estresse ambiental, uma vez que são considerados como “parte viva do sedimento” guardando características deixadas pelos agentes poluidores, refletindo a saúde dos ecossistemas marinhos costeiros (ZEPILLI et al., 2015).

Dentre os animais que constituem a meiofauna, os Nematoda se destacam por ser a unidade ecológica mais diversificada e abundante, representando em geral entre 60-80% do meiobentos (GIERE, 2009; BALSAMO et al., 2010). Os nematódeos têm um relevante papel nas teias tróficas de ecossistemas bêmicos, onde constituem um conspícuo elo trófico pelo qual a energia flui de níveis inferiores para superiores ao longo das cadeias alimentares (COULL, 1999; DITTMAN, 1993; ESTEVES & GENEVOIS, 2006; ZEPILLI et al., 2015; JOUILI et al., 2016). O sucesso desses animais no sistema bentônico estuarino tem três explicações principais: (1) são animais microscópicos e delgados, características que potencializam a capacidade de escavação permitindo a dispersão ativa em uma amplitude de frações granulométricas de sedimentos mais grosseiros até os mais finos e lamacentos; (2) a sua tolerância a uma variedade de estresses ambientais e (3) a sua diversidade de estruturas bucais, permitindo que explorem uma ampla gama de itens alimentares presentes no bentos (MOENS & VINCX, 2000).

Estuários (do latim, *aestuarium*; maré ou onda abrupta e alta), são ambientes altamente dinâmicos com mudanças constantes em resposta a forças naturais (Miranda et al., 2002). São importantes ecossistemas aquáticos de transição entre o continente e o oceano, onde há o encontro dos rios com o mar resultando no processo de diluição da água salgada marinha na água doce proveniente da drenagem continental (MIRANDA et al., 2002). Ao longo dos anos, estes ambientes têm sido significativamente alterados em

conformidade com as exigências humanas, classificando-os como um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo (SEMPRUCCI et al., 2016). A alta vulnerabilidade à influência do homem se deve, entre outras coisas, a diversas atividades como pescarias, tráfego de embarcações, dragagem e despejo de dejetos urbanos e industriais (MIRANDA et al., 2002).

Estuários não são sistemas homogêneos e compreendem uma variedade de ecossistemas complexos, incluindo manguezais em regiões tropicais e extensos pântanos salgados em zonas temperadas (FONSECA & NETTO, 2014). Adicionalmente, possuem uma alta capacidade de armazenamento de nutrientes e são locais de alta produtividade biológica, participando ativamente na manutenção da biodiversidade, fertilização das águas costeiras e recebendo poluentes, funcionando como verdadeiros depuradores da água doce antes dela atingir o mar, assim mitigando a poluição dos oceanos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1984). Além disso, são sistemas aquáticos fundamentais no crescimento e sobrevivência de estágios iniciais da biota marinha, fornecendo tanto uma heterogeneidade de habitats para peixes, répteis, aves e mamíferos quanto ambientes de desova (ALVES, 2009).

Os estuários constituem ecossistemas únicos para muitas espécies e sofrem flutuações constantes nas suas variáveis ambientais, principalmente salinidade, onde gradientes são produzidos em diferentes escalas espaciais a todo momento (ADÃO et al., 2009). Nestes ambientes, a relevância dos fatores ambientais além da salinidade como granulometria, teor de matéria orgânica no sedimento, temperatura e disponibilidade de oxigênio é notória na distribuição do meiobentos (GIERE, 2009), especialmente dando forma as comunidades de Nematoda que podem diferir tanto das encontradas em ecossistemas aquáticos dulcícolas quanto marinhos (NETTO & FONSECA, 2017).

No mundo, a majoritária parte dos estudos em meiofauna mediolitorânea estuarina vem sendo conduzida em regiões temperadas (ADÃO et al., 2009; FONSECA & NETTO, 2014), onde a dinâmica e estrutura sedimentares, salinidade e os regimes de marés são os principais fatores determinantes da estrutura das comunidades meiofaunísticas (CASTRO, 2003). No Brasil, os trabalhos com foco nos Nematoda em estuários continuam sendo escassos (FONSECA & NETTO, 2014) e concentram-se em praias arenosas especialmente na região Sudeste (MARIA et al., 2016). Os estudos iniciaram em 1957 no Sudeste brasileiro quando Gerlach descreveu os Nematoda de manguezais (GERLACH, 1957). Na região Sul, a diversidade dos Nematoda estuarinos também foi

investigada (KAPUSTA et al., 2006; LEITE et al., 2014); no Norte (VENEKEY & MELLO, 2016) também deram suas contribuições para o conhecimento da diversidade da nematofauna e seu uso em monitoramento ambiental. No litoral Nordeste do Brasil, os trabalhos concentraram-se no Estado de Pernambuco onde (RODRIGUES, 2002; CASTRO 2003; SOMERFIELD et al., 2003; ALVES, 2009) apresentaram dados sobre a distribuição espacial e temporal da nematofauna e Ferreira et al., (2015) conduziram um estudo experimental sobre impactos antrópicos na diversidade dos Nematoda.

Atualmente as pesquisas em meiofauna no Brasil apresentam um crescimento significativo, possuindo pelo menos 10 instituições com grupos de pesquisa consolidados, a saber: UFPA, UFPE, UFCG, UFBA, UNIRIO, USP, UNIFESP, UNICAMP, UFPR e UNISUL (DI DOMENICO et al., 2015). Porém, ainda são poucos os cientistas dedicados em estudar a meiofauna, principalmente, por se tratar de organismos microscópicos e de difícil manipulação, uma vez que o maior interesse de estudos é em grupos zoológicos de grande porte (macrofauna e megafauna) que são relativamente mais fáceis de manusear e dispõem de menor trabalho metodológico (DI DOMENICO et al., 2015). Apesar da baixa quantidade de pesquisadores, o cenário da meiobentologia no Brasil é muito produtivo e reconhecido internacionalmente (DI DOMENICO et al., 2015) com maioria dos estudos sendo desenvolvida principalmente em praias arenosas (VENEKEY, 2007; DI DOMENICO et al., 2015).

Este trabalho contribui tanto para o conhecimento da diversidade dos Nematoda livres, quanto dos processos ambientais que influenciam sua distribuição em regiões estuarinas tropicais. O estudo foi dividido em dois capítulos, no primeiro foi avaliada a diversidade genérica da nematofauna em dois estuários submetidos a diferentes níveis de eutrofização, estuário do Rio Mamanguape (prístino) e o estuário do Rio Paraíba (impactado). No capítulo 2, são exploradas as variações espaço-sazonais da comunidade meiofaunística, com ênfase em Nematoda, particularmente testando se existe uma estruturação espacial e temporal na distribuição dos organismos, bem como explorando a relação com variáveis ambientais a exemplo de salinidade, granulometria e matéria orgânica, dados inéditos para a região.

Referências

- ADÃO, H. et al. Spatial distribution of subtidal Nematoda communities along the salinity gradient in southern European estuaries. *Acta oecologica*, v. 35, n. 2, p. 287-300, 2009.
- ALVES, T. Estrutura espaço-temporal da comunidade da nematofauna ao longo do estuário do Rio Carrapicho, litoral norte de Pernambuco – Brasil. 99 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2009.
- CASTRO, F. J. V. Variação temporal da meiofauna e da nematofauna em uma área mediolitorânea da Bacia do Pina (Pernambuco, Brasil). 116 f, Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- BALSAMO, M. et al. Meiofauna of the Adriatic Sea: present knowledge and future perspectives. *Chemistry and Ecology*, v. 26, n. S1, p. 45-63, 2010.
- COULL, B.C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Austral Ecology*, v. 24, n. 4, p. 327-343, 1999.
- DI DOMENICO, M. et al. Como metazoários pequenos fornecem pistas para perguntas de larga escala. *Informativo Sociedade Brasileira de Zoologia*, Curitiba, p. 3-5, 2015.
- DITTMANN, S. Impact of foraging soldiercrabs (Decapoda: Mictyridae) on meiofauna in a tropical tidal flat. *Revista de Biologia Tropical*, v. 41, n. 3 A, p. 627-637, 1993.
- ESTEVES, A.M.; FONSÊCA-GENEVOIS, V. G. Os nematódeos e sua importância nos ecossistemas marinhos. *Floresta e Ambiente*, v. 13, p. 113-120, 2006.
- FONSECA, G.; NETTO, S.A. Macroecological patterns of estuarine nematodes. *Estuaries and Coasts*, v. 38, n. 2, p. 612-619, 2014.
- GERLACH, S.A. Marine Nematoden aus dem mangrove-gebiet von Cananéia (Brasilianische meeres-nematoden III). 1957.
- GIERE, O. *Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Springer Science & Business Media, 2009.
- JOUILI, S. et al. Environmental quality assessment of El Bibane lagoon (Tunisia) using taxonomic and functional diversity of meiofauna and nematodes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, p. 1-11, 2016.
- KAPUSTA, S.C. et al. Spatial and temporal distribution of Nematoda in a subtropical estuary. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 18, p 133-144, 2006.
- LEITE, D.S. et al. Are changes in the structure of nematode assemblages reliable indicators of moderate petroleum contamination? *Marine pollution bulletin*, v. 83, p 38-47, 2014.

- MARE, M.F. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 25, n. 3, p. 517-554, 1942.
- MARIA , T. F. et al. State of the art of the meiofauna of Brazilian Sandy Beaches. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, p 17-26, 2016.
- MIRANDA, LB de; CASTRO, BM de; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: EDUSP, v. 414, 2002.
- NETTO, S.A.; FONSECA, G. Regime shifts in coastal lagoons: Evidence from free-living marine nematodes. *PloS One*, v. 12, n. 2, p. e0172366, 2017.
- MOENS, T.; VINCX, M. Temperature and salinity constraints on the life cycle of two brackish-water nematode species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 243, n. 1, p. 115-135, 2000.
- RODRIGUES, A, C, L, Variação espacial da meiofauna com ênfase à nematofauna na Bacia do Pina, Pernambuco, Brasil. Recife, 92p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) Departamento de Zoologia, UFPE, 2002.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. 1989.
- SEMPRUCCI, F. et al. Assessment of the ecological quality (EcoQ) of the Venice lagoon using the structure and biodiversity of the meiofaunal assemblages. *Ecological Indicators*, v. 67, p. 451-457, 2016.
- VEREKEY, V. Atualização do conhecimento taxonômico dos Nematoda na costa brasileira e sua ecologia na praia de Tamandaré - PE (Brasil). 165 f. Tese de doutorado (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal do Pernambuco, UFPE, Recife. 2007.
- VEREKEY, V.; MELO, T.P.G. Nematodes as indicators of shrimp farm impact on an amazonian estuary (Curuçá, Pará, Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, v, 64, p. 75-87, 2016.
- ZEPPILLI, D. et al. Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts?. *Marine Biodiversity*, v. 45, n. 3, p. 505-535, 2015.

Capítulo 1: Diversidade de Nematoda de vida livre em estuários tropicais (NE Brasil, 07°S)

Resumo

O conhecimento da biodiversidade é essencial para a compreensão de processos ecológicos nas comunidades biológicas, conservação e filogenia, bem como gestão sustentável, pesquisas nas áreas da saúde humana, segurança alimentar, entre outros. O filo Nematoda é extremamente diverso (>27.000 espécies descritas, das quais, ~4.000 são de vida livre) e abundante. O objetivo deste trabalho foi descrever a diversidade dos gêneros de Nematoda em dois ambientes estuarinos tropicais na costa Nordeste do Brasil, estuários do Rio Mamanguape (ERM) e do Rio Paraíba (ERP). De um total de 72 amostras foram coletados 79 gêneros de nematódeos, 60 no ERM e 53 no ERP, com sobreposição de apenas 34, evidenciando consideráveis diferenças na composição. A diversidade estimada pelos índices Chao 1 e 2, Jackknife 1 e 2 e “bootstrap” foi consideravelmente maior do que a observada para os dois estuários, atingindo o máximo de >90 e >60 gêneros no ERM e ERP, respectivamente. Os gêneros mais abundantes foram *Terschellingia*, *Daptonema*, *Sabatieria*, *Gomphionema*, *Pseudolella* e *Perepsilonema*. A diversidade registrada neste estudo é consideravelmente alta e juntamente com a encontrada no estuário do Rio Sai Gon, Vietnã, constituem as maiores riquezas já encontradas em estuários do mundo. Mesmo com a alta diversidade observada, a retirada de mais de 120 animais das amostras para o estudo taxonômico provavelmente resultaria numa diversidade ainda maior, considerando a maior diversidade sugerida pelos estimadores em conjunto com a grande quantidade de gêneros raros.

Palavras-chave. Diversidade, nematofauna, ecossistemas estuarinos, regiões tropicais.

Abstract

The knowledge about biodiversity is essential for the comprehension of ecological processes in the biologic communities, including conservation, phylogeny, and sustainable management, researches in areas of human health, alimentary security among others. The phylum Nematoda is highly diversified (>27,000 described species, of which ~4,000 are free-living) and abundant. The objective of this work was to describe the diversity of the genera of Nematoda in two tropical estuarine environments in Northeast's coast of Brazil, estuary of Mamanguape River (ERM) and estuary of Paraíba river (ERPB). From a total of 72 samples, 79 genera were found; 60 in ERM and 53 in ERPB, with sobreposition of only 34 genera. The diversity estimated by the indexes (Chao 1 and 2, Jackknife 1 and 2 and "bootstrap") was considerably bigger than the observed for both estuaries, achieving the maximum of >90 and 60 in the ERM and ERPB, respectively. The abundant genres were *Terschellingia*, *Daptonema*, *Sabatieria*, *Gomphonema*, *Pseudolella* e *Perepsilon*. The diversity found here is considerable high and along with the diversity from Sai Gon River's estuary, Vietnam, are the highest ever found in estuaries worldwide. Yet, the removal of more than 120 animals from the samples for taxonomic study would probably result in higher diversity, considering the higher diversity estimated by the indexes along to the great quantity of rare genera.

Keywords: Diversity, nematofauna, estuarine ecosystems, tropical regions.

1. Introdução

Nematoda compreende um filo de metazoários extremamente diverso (mais de 27.000 espécies descritas, das quais, ~4.000 são de vida livre). As principais estimativas desde a última década do século passado já apontavam que o número de espécies desconhecidas pudesse variar de 1 a 100 milhões (LAMBSHEAD, 1993; HUGOT et al., 2001). Estes animais podem ocorrer em diversos tipos de habitats desde os oceanos mais profundos até os desertos mais áridos e altitudes mais elevadas, adotando uma miríade de estratégias de vida, desde formas livres nos interstícios até parasitas obrigatórios com múltiplos hospedeiros intermediários e definitivos (ABEBE et al., 2006).

Os nematódeos marinhos de vida livre são, em geral, componentes da meiofauna com tamanho variando entre 0,5 e 3 mm, sendo organismos ubíquos que se destacam pela sua alta densidade (até 10^3 ind. 10 cm^2 em estuários) e diversidade, representando em geral entre 60-80% da abundância total da meiofauna (GIERE, 2009; QUANG et al., 2017). Os Nematoda desempenham importantes papéis nas teias tróficas de ecossistemas bênticos, atuando como importantes elos na cadeia alimentar onde contribuem no fluxo de energia e ciclagem da matéria (COULL, 1999; DITTMAN, 1993; ESTEVES & GENEVOIS, 2006).

A nematofauna estuarina é altamente rica e abundante, sendo constituída por organismos marinhos e/ou de água doce, dependendo de sua tolerância às diferentes salinidades (ABEBE et al., 2006; NETTO & FONSECA, 2017). Nestes ecossistemas, há uma tendência de redução no número de espécies à medida que se passa da água do mar para a água doce, o que faz com que os estuários, no geral, sejam ambientes heterogêneos em termos de composição de gêneros (AUSTEN & WARWICK 1989; ADÃO et al., 2009; NETO & FONSECA, 2017), em comparação com ecossistemas aquáticos de água doce sem conexão com o mar, os quais são mais homogêneos com relação a diversidade (NETO & FONSECA, 2017).

No mundo, ainda são escassos os trabalhos sobre diversidade de nematódeos de vida livre estuarinos, existindo cerca de 25 estudos que abrangem 43 estuários. A Europa e Oceania são as regiões mais intensamente investigadas com 13 e 11 estuários, respectivamente, enquanto América do Sul possui 6 e Ásia, África e América do Norte cinco (FONSECA & NETTO, 2014; NETTO & FONSECA, 2017). No Brasil, entre os ecossistemas costeiros, as praias arenosas possuem as maiores riquezas de gêneros de Nematoda (231 gêneros), em seguida os estuários com 142 gêneros (VENEKEY, 2007). Esta menor riqueza em estuários pode ser consequência da menor quantidade de estudos

nestes ambientes. Entre os principais trabalhos com nematódeos estuarinos no Brasil podemos citar: no Nordeste, Complexo Estuarino da Bacia do Pina (SOMERFIELD et al., 2003) e Complexo Estuarino da Ilha de Itamaracá (FERREIRA et al., 2015); no Sul, estuário Tramandaí-Armazém (KAPUSTA et al., 2006), Complexo Estuarino de Paranaguá (LEITE et al., 2014) e no litoral dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (NETO & FONSECA, 2017); no Norte, estuário do Rio Curuçá (VENEKEY & MELLO, 2016).

O conhecimento da biodiversidade pode servir de base para a compreensão de processos que influenciam no equilíbrio das comunidades como um todo e suas funções ecológicas em diferentes ecossistemas, fornecendo, assim, subsídios necessários para identificar possíveis introduções de espécies exóticas, extinção de espécies locais e interpretação de distúrbios, sejam eles de origem natural ou antrópica (BERTINI et al. 2004). Compreender a história natural dos seres vivos, o que são, como e onde vivem e suas interações bióticas e abióticas dentro das comunidades e ecossistemas também é fundamental para o desenvolvimento de gestão sustentável dos recursos naturais (TEWKSBURY et al., 2014). Além disso, o conhecimento da biota marinha no geral contribui com o desenvolvimento de pesquisas nas áreas da saúde humana, segurança alimentar, conservação, ecologia e filogenia (MARQUES et al., 2003).

Este estudo foi conduzido em dois estuários na costa Nordeste do Brasil, no Estado da Paraíba, estuário do Rio Mamanguape (ERM) e estuário do Rio Paraíba (ERPb). No primeiro, existe uma APA (Área de Proteção Ambiental), que tem o objetivo de proteger os ecossistemas costeiros e a população de peixes-boi marinhos (*Trichechus manatus*) da região (OLIVEIRA, 2009). No entanto, se existem poucos estudos com a diversidade aquática local, como se dá o processo de conservação destes ecossistemas para sustentar esta área como unidade federal de preservação? Por outro lado, o estuário do Rio Paraíba não possui reserva de proteção ambiental e por situar-se na região metropolitana da grande João Pessoa, sofre altos níveis de impactos antrópicos como o lançamento de esgotos domésticos, esgotos industriais, atividade portuária, atividades náuticas, recreação, turismo, atividades de aquicultura, além da pesca (SASSI & WATANABE, 1980). Considerando a falta de estudos locais, bem como em estuários tropicais de uma forma geral (SOMERFIELD et al., 2003; VENEKEY & MELLO, 2016) em conjunto com a grande diversidade e importância ecológica dos Nematoda exemplificados acima, este capítulo tem por objetivo descrever a diversidade de gêneros da nematofauna bentônica intersticial nestes dois estuários.

2. Material e Métodos

2.1 Áreas de estudo

O ERM (Figura 1) está localizado entre as coordenadas geográficas 6° 43' e 6° 51' S e 34° 07' e 34° 54' W, no litoral norte do Estado. A área estuarina abriga remanescentes de Mata Atlântica, extensa porção de mangue, que ocupa mais de 6.000 hectares (ROSA & SASSI, 2002). A região da foz do rio possui um cordão recifal de natureza arenítica, que se estende por cerca 8,5 km de extensão do Norte ao Sul (SILVA, 2002) e se associa à camboas (braços do rio principal, que adentram no manguezal), croas (bancos areno-lodosos), apicuns (áreas desprovidas de vegetação de mangue) e uma barreira de recife perpendicular à sua desembocadura (NISHIDA et al., 2008).

Os pontos de coleta ficaram dentro da APA (Área de Proteção Ambiental) da Barra do ERM, que foi criada pelo Decreto Federal nº 924 de 10 de setembro de 1993 com o objetivo de proteger os ecossistemas costeiros e a população de peixes-boi marinhos (*T. manutus*) da região (OLIVEIRA, 2009). Trata-se de uma região com aproximadamente 14.640 hectares, sua área abrange os Rios Mamanguape, Miriri e da Estiva, e partes dos municípios de Rio Tinto, Marcação e Lucena (ROSA & SASSI, 2002). A Barra do Rio Mamanguape é uma área relativamente isolada no litoral norte do Estado da Paraíba, não existe porto, o tráfego de embarcações é escasso, e ocorre com somente pequenas embarcações, com relativamente poucos dejetos humanos sendo despejados, e provavelmente nenhum desses sendo oriundos de atividade industrial.

O ERPB (Figura 1) tem uma extensão territorial de aproximadamente 24 km e localiza-se geograficamente entre as latitudes 6° 57' e 7° 8' S e as longitudes 34° 50' e 34° 55' W na região metropolitana de João Pessoa. Consiste no maior estuário da Paraíba, sendo constituído por 8 tributários, 4 pela margem direita (Rios Paroeira, Sanhauá, Timbiá e Mandacaru) e 4 pela margem esquerda (Rios Portinho, Tiriri, Ribeira e da Guia). A sua área drena os municípios de Santa Rita, Bayeux, João Pessoa, Lucena e Cabedelo, e sua margem possui uma floresta de mangue, excessivamente degradada em vários pontos (VELÔSO, 1995).

Os manguezais do ERPB são os mais impactados na Paraíba pelo lançamento de esgoto doméstico *in natura*, efluentes industriais, lixo urbano, industrial e hospitalar, agrotóxicos, aquicultura, empreendimentos imobiliários, expansão urbana, queimadas, cultivo de cana-de-açúcar e comércio de madeira (MINISTÉRIO DO MEIO

AMBIENTE, 2002). As áreas mais internas mostram constantemente altas concentrações de nutrientes e a taxas mais elevadas do que em qualquer outro ponto desse ecossistema, em virtude do aporte dos esgotos domésticos e/ou industriais na região (SASSI et al., 1985). Muitas dessas atividades vêm colocando em risco o equilíbrio ecológico do ecossistema, interferindo na sua produtividade biológica (SASSI & WATANABE, 1980).

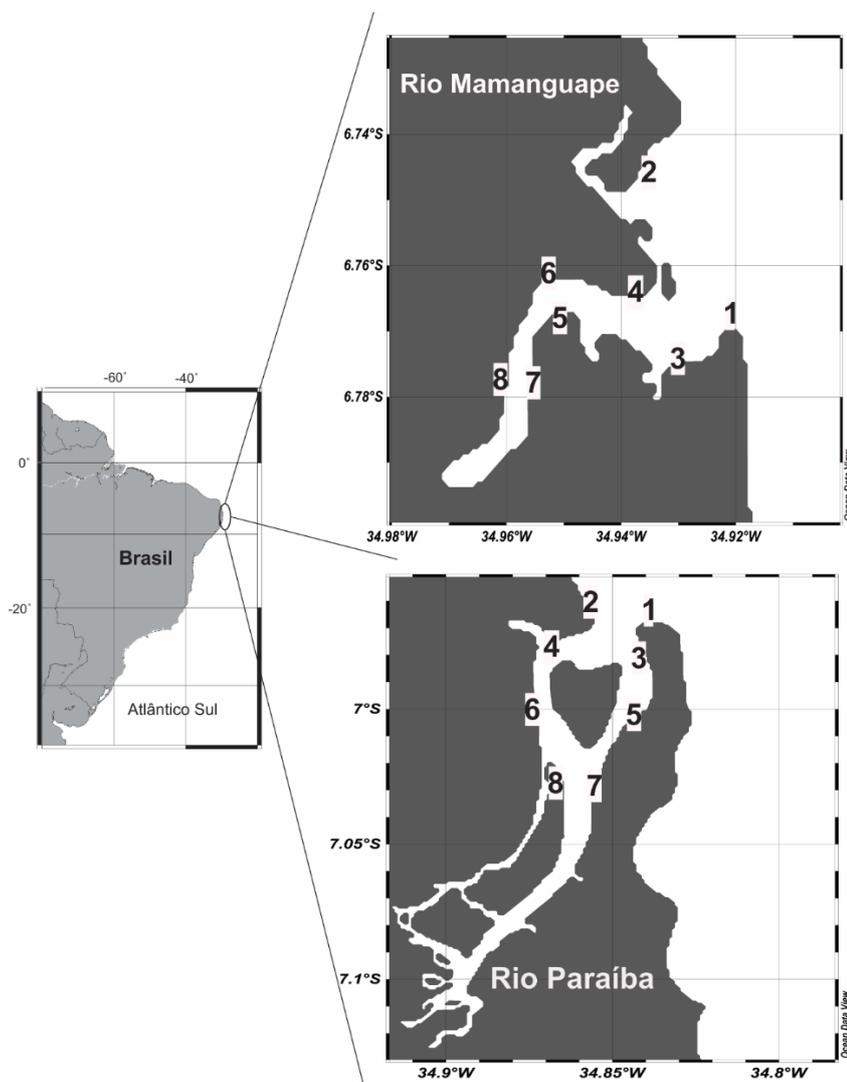


Figura 1. Mapa dos estuários do Rio Mamanguape e Rio Paraíba, Paraíba, Brasil. As estações de coleta foram identificadas de 1-8 (mapa construído usando o Ocean Data View, SCHLITZER, 2015).

2.2 Solicitação de coleta em unidade de conservação federal

Em virtude do estuário do Rio Mamanguape estar situado dentro de uma unidade de conservação federal, foi necessário protocolar um pedido de licença (Nº 52379-1) ao

Sistema de Atendimento à Distância do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (SISBio-ICMBio) para realização das coletas de material biológico.

2.3 Trabalho de campo

As amostras de sedimento destinadas ao estudo da nematofauna foram coletadas em abril e outubro de 2016 no ERM e em abril de 2016 no ERPB. Foram delimitados 8 pontos de coleta em cada estuário, 4 em cada margem. Em cada estação foram tomadas três réplicas de amostras bênticas (total de 48 amostras no ERM e 24 para o ERPB). O material foi coletado com um tubo de PVC de 11 cm² de área interna, introduzindo-o a uma profundidade de 10 cm no sedimento. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos e fixadas com formol 4% ainda em campo para posterior análise em laboratório.

2.4 Trabalho de laboratório

Para a triagem foi utilizada a metodologia de Boisseau (1957), de lavagem e, posteriormente, as amostras foram analisadas em placa de Dolffus sob um estereomicroscópio. Com o auxílio de agulhas, foram retirados até 120 nematódeos por ponto, 40 por réplica. Os mesmos foram estocados para a confecção de lâminas permanentes. Antes da confecção das lâminas, os animais foram diafanizados, através de sua imersão em três soluções, contendo: **(i)** 99% formoldeído a 4% mais 1% glicerina (em dessecador, por vinte e quatro horas); **(ii)** 95% etanol mais 5% glicerina (aplicada a cada duas horas a temperatura ambiente, com 5 repetições); **(iii)** 50% etanol mais 50% glicerina (por duas horas a temperatura ambiente) (DE GRISSE, 1969). Após esta etapa, os animais foram depositados em lâminas permanentes (COBB, 1917).

Durante a montagem de cada lâmina permanente, foram colocados dez indivíduos distribuídos em duas gotas de glicerina (cinco animais por gota) centralizadas em dois círculos de parafina. Sobre os círculos, duas lamínulas foram adicionadas e depois levadas ao aquecimento para fixação (COBB, 1917). Após este processo, as lâminas foram levadas ao microscópio óptico para a identificação dos animais ao nível de gênero (WARWICK et al., 1998; DE LEY et al., 2006). Foi seguido o esquema de classificação de GUILINI et al. (2017).

2.5 Análise dos dados

A curva de acumulação de gêneros e seus respectivos estimadores de diversidade

foi realizada com o pacote estatístico PRIMER® (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) v.6. Os estimadores de diversidade Chao 1, Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap foram utilizados para verificar se a diversidade observada reflete a diversidade real das áreas estudadas.

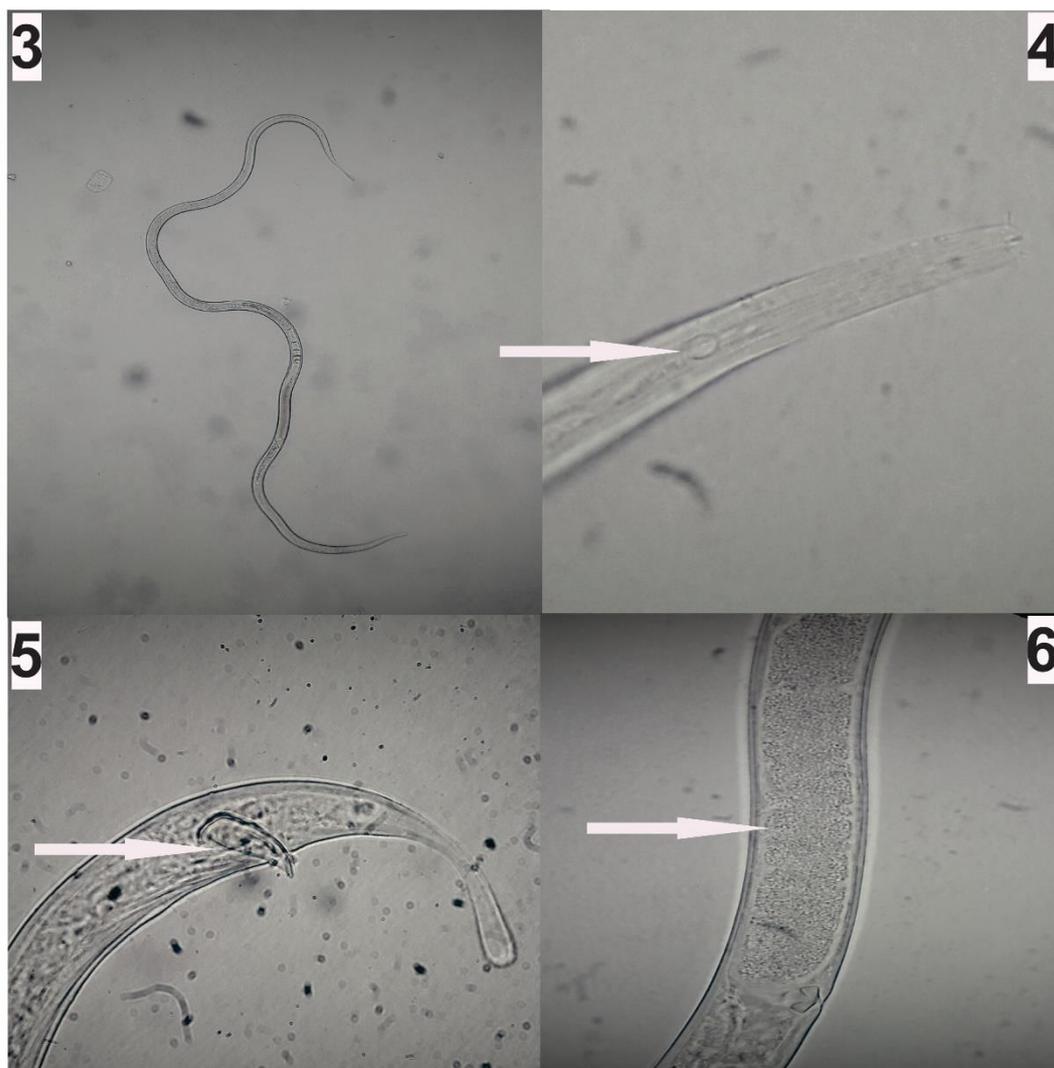
O cálculo da frequência de ocorrência foi feito através da fórmula: $Fo = D \cdot 100/d$, onde: frequência de ocorrência (Fo), número de amostras em que o grupo esteve presente (D) e número total de amostras (d). Após os cálculos, os gêneros foram classificados (*cf.* BODIN, 1977) em grupos constantes (76% a 100%), muito frequentes (51% a 75%), comuns (26% a 50%) e raros (1% a 25%). O cálculo da abundância relativa foi realizado de acordo com a fórmula: $Ar = N \cdot 100/Na$, onde Abundância relativa (Ar), número de organismos de cada grupo na amostra (N) e número total de organismos na amostra (Na).

3. Resultados e Discussão

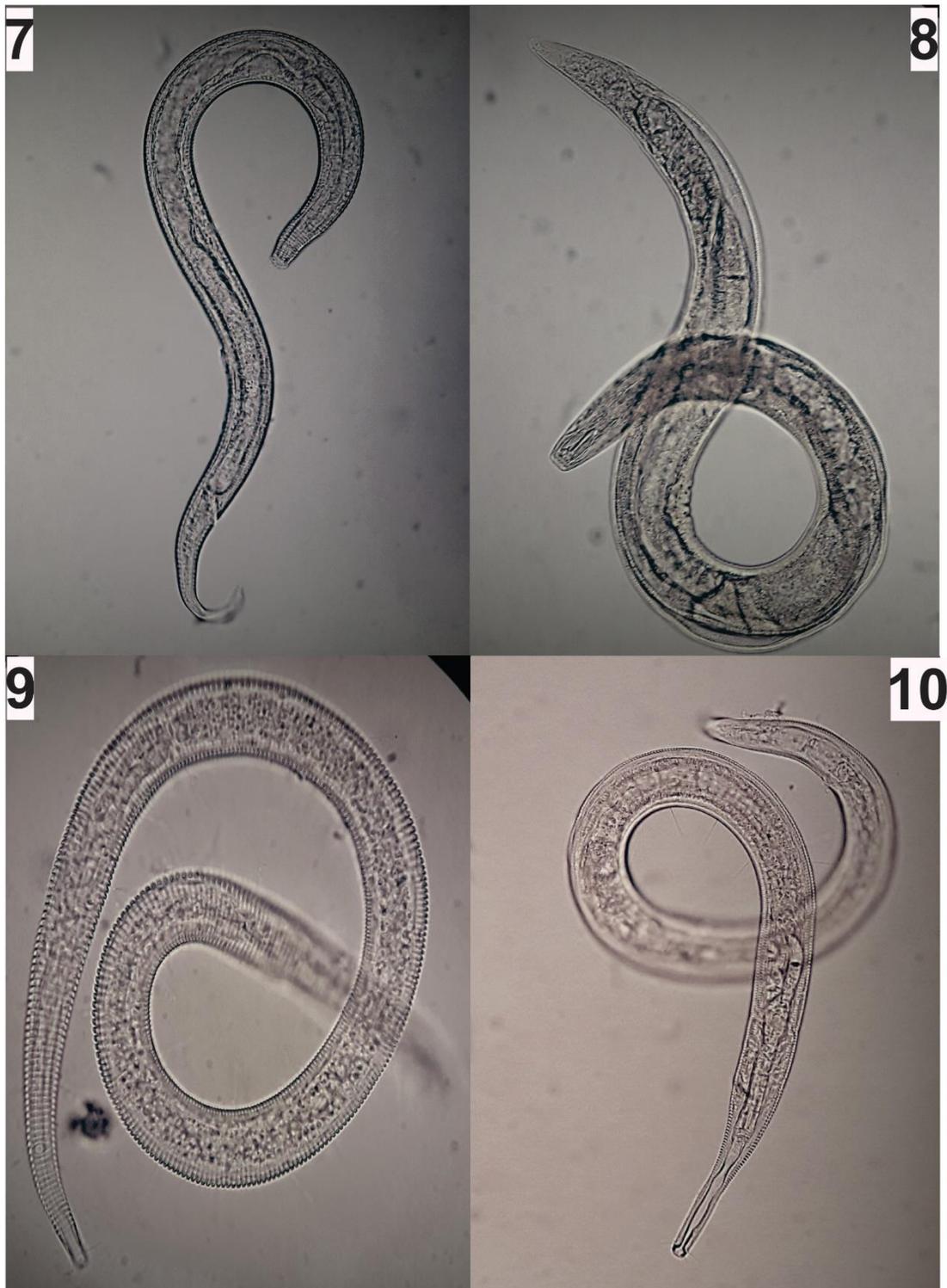
Foram identificados 79 gêneros de nematódeos (60 para o ERM e 53 para o ERPB), dos quais, apenas 34 registrados nos dois estuários (Tabela 1). A grande maioria dos gêneros pertence a classe Chromadorea (66) distribuídos em 16 famílias e 6 ordens, o restante compõe a classe Enoplea com 13 gêneros alocados em 7 famílias e 2 ordens (Tabela 1). Alguns exemplos representativos estão nas Figuras (2-10).

2

Figura 2. *Perepsilonema* Lorenzen, 1973. Aspecto geral de um macho. Comprimento 0,3 – 0,5 mm.



Figuras 3-6. *Oxystomina* Filipjev, 1918. **3:** aspecto geral de uma fêmea; **4:** região anterior evidenciando o anfídio (seta); **5:** região posterior de um macho mostrando as espículas (seta); **6:** fêmea com ovo fecundado (seta). Comprimento 1,5 – 3 mm.



Figuras 7-10. 7: aspecto geral de *Endeolophos* Boucher, 1976. Comprimento 0,5 – 1,5 mm; 8: aspecto geral de *Gomphonema* Wieser & Hopper, 1966. Comprimento 0,8 – 1,5 mm; 9: Aspecto geral de *Prorhynchonema* Gourbault, 1982. Comprimento 0,4 - 0,5 mm; 10: Aspecto geral de *Rhynchonema* Cobb, 1920. Comprimento 0,4 – 1 mm.

A maior proximidade dos diferentes estimadores com o observado, bem como a tendência de obtenção da assíntota ocorreu no ERPB, apesar de possuir metade (24) das amostras em comparação com ERM (48 amostras). Esses dados indicam uma maior diversidade no último (Figura 11). Os estimadores de riqueza Chao 1 e Chao 2 estimaram cerca de 80 gêneros (ERM) e 58 (ERPB), enquanto Jackknife 1 e Jackknife 2 estimaram a diversidade em 75 a 90 gêneros no primeiro estuário e em torno de 62 no segundo (Figura 11). O Bootstrap foi o estimador que esteve mais associado à riqueza observada nos dois estuários, estimando em torno de 60 e 55 gêneros no ERM e ERPB respectivamente (Figura 11). Em geral, ecossistemas maiores e mais heterogêneos tendem a abrigar uma maior diversidade (RICKLEFS, 2010). Sendo assim, seria esperado que o ERPB tivesse uma diversidade maior, porém, os dados levantados no presente estudo indicam o contrário, o que pode ser explicado pelo fato deste sistema estuarino ser mais prístino. De fato, a literatura indica que nematódeos são menos diversos em ambientes aquáticos com altos níveis de poluição (SOMERFIELD et al., 2003; ADÃO et al., 2009; FERREIRA et al., 2015).

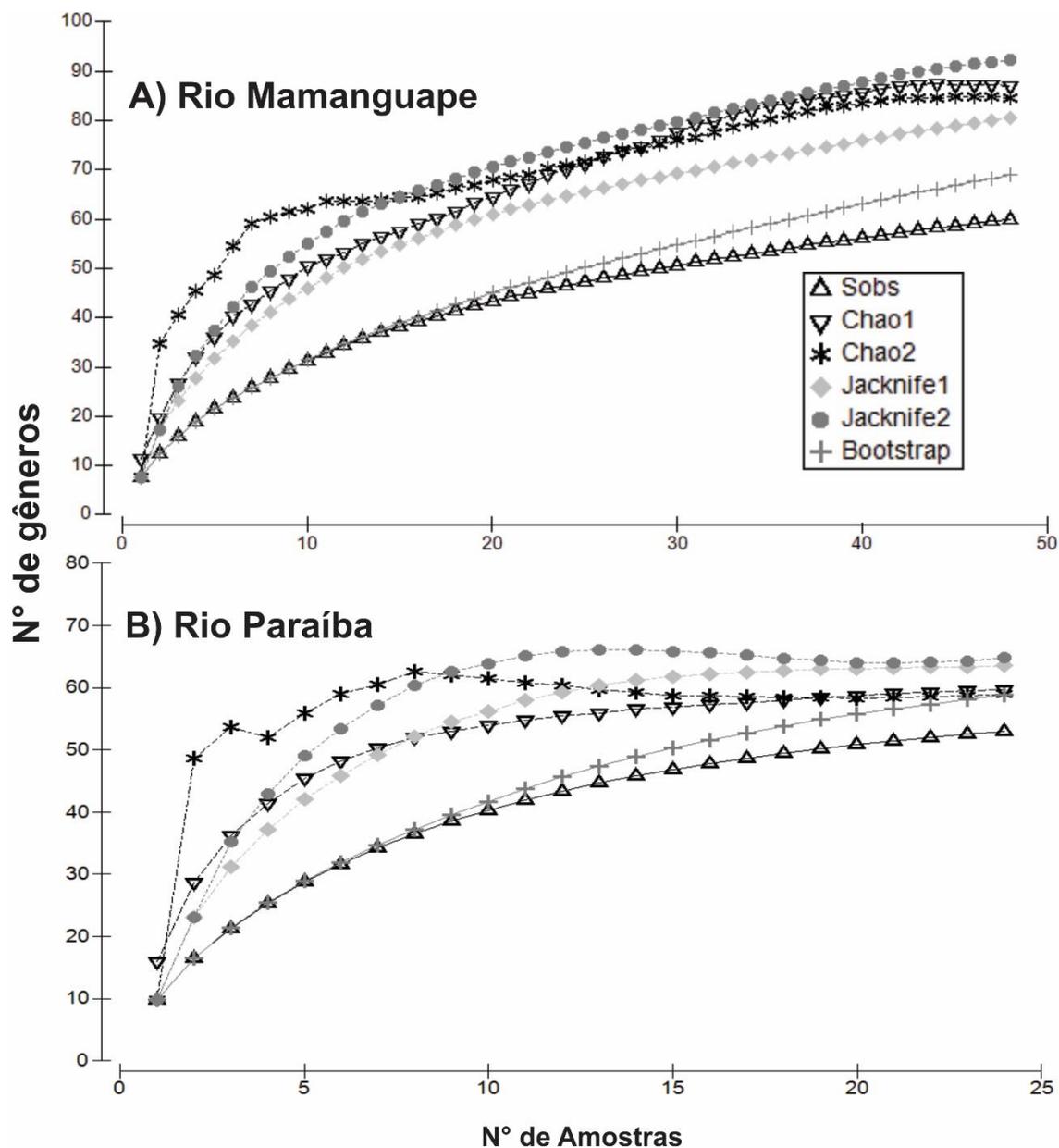


Figura 11. Gráfico cumulativo do número de gêneros observado (Sobs) e estimado pelos diferentes índices nos estuários do Rio Mamanguape (A) e Rio Paraíba (B), Paraíba, Brasil. Notar diferentes escalas devido a diferenças na quantidade de amostras.

No presente trabalho, a riqueza de gêneros foi alta, maior que a diversidade de outros estuários do Brasil (SOMERFIELD et al., 2003; FERREIRA et al., 2015; VENEKEY & MELLO, 2016; NETTO & FONSECA, 2017) e do mundo, que em geral não ultrapassa 50 gêneros tanto em regiões temperadas quanto tropicais, consideradas de alta diversidade (FONSECA & NETTO 2014). A única exceção é a ocorrência de 102 gêneros no estuário do Rio Sai Gon, no Vietnã (QUANG et al., 2017). Os dados do

presente estudo em conjunto com Quang et al. (2017), em ambos os casos amostrando estuários com manguezais, enfatizam a enorme diversidade de nematódeos estuarinos em regiões tropicais e são contrários aos estudos anteriores sintetizados por Fonseca & Netto (2014: fig. 2) que em geral indicam maior diversidade em estuários sem mangue.

Mesmo com a alta diversidade encontrada aqui, os estimadores de diversidade indicam que o número de gêneros ainda é consideravelmente maior, particularmente no ERM (Figura 11), dando ênfase na grande diversidade regional e sugerindo que a riqueza no presente estudo pode estar subestimada. O esforço amostral aqui foi considerável, com oito estações em cada estuário, um total de 72 amostras e a retirada de 120 nematódeos por estação. Assim, talvez seja necessário o estudo taxonômico de maior quantidade de indivíduos como proposto por Quang et al (2010), que mesmo analisando 200 Nematoda por réplica, concluíram que era insuficiente.

Os gêneros muito frequentes em ambos os estuários foram *Terschellingia* (69-75%), *Daptonema* (63-73%), *Sabatieria* (58-63%) e *Gomphionema* (54%). Grupos comuns incluíram *Pseudolella* (46-48%), *Sphaerolaimus* (42-46%) e *Paracyatholaimus* (33-46%). *Dorylaimopsis* (42%) foi comum apenas para o ERM, enquanto *Metachromadora* (46%), *Spirinia* (42%), *Endeolophos* (33%), *Oncholaimus* (33%) e *Comesoma* (29%) foram grupos comuns no ERPB (Tabela 1). Os gêneros registrados aqui, em sua grande maioria, são representantes típicos da nematofauna marinha e geralmente observados com frequência em estuários tropicais e temperados (ALONGI, 1990; CHINNADURAI & FERNANDO, 2007; SOMERFIELD et al., 2003; VENEKEY & MELLO, 2016; QUANG et al., 2017; KAPUSTA et al., 2000; ADÃO et al., 2009; LEITE et al., 2014; NETTO & FONSECA, 2017).

Entre os gêneros comuns aos dois estuários, destacam-se: *Therschellingia*, *Daptonema*, *Sabatieria*, *Theristus* e *Viscosia*, os quais, foram registrados para a maioria (29) dos 43 estuários estudados no mundo até o estudo de (FONSECA & NETTO, 2014), indicando que estes são cosmopolitas e típicos da nematofauna de estuários. Entre os gêneros frequentes, foram relativamente abundantes: *Terschellingia* (18-15%), *Daptonema* (6-7%), *Sabatieria* (6-12%) e *Gomphionema* (10-13%). Grupos comuns como *Pseudolella* (4-12%), *Sphaerolaimus* (3-5%) e *Paracyatholaimus* (2-3%) também tiveram abundâncias altas. *Dorylaimopsis* foi relativamente abundante apenas no ERM (3%) enquanto *Metachromadora* (4%), *Spirinia* (4%), e *Endeolophos* (5%) foram grupos com maiores abundâncias relativas apenas no ERPB. No geral, não houveram disparidades entre os gêneros muito frequentes e abundantes com exceção de

Perepsilonema, que apesar de ter sido raro no ERPB, atingiu uma considerável abundância relativa (8%) em apenas um ponto (Tabela 1).

Tabela 1. Lista de gêneros de Nematoda dos estuários do Rio Mamanguape e Rio Paraíba, Paraíba, Brasil e número de indivíduos (N°) e frequência de ocorrência (F) (%).

Classe	Ordem	Família	Gênero	Mamanguape		Rio Paraíba			
				N°	F(%)	N°	F(%)		
			Destruídos e perdidos	98	75	61	83		
Chromadorea	Araeolaimida	Axonolaimidae	<i>Ascolaimus</i>	0	0	4	17		
			<i>Axonolaimus</i>	4	13	0	0		
			<i>Odontophora</i>	4	4	1	4		
			<i>Odontophoroides</i>	0	0	2	8		
			<i>Parodontophora</i>	0	0	3	13		
			<i>Pseudolella</i>	174	48	43	46		
				Comesomatidae	<i>Cervonema</i>	3	2	0	0
					<i>Comesoma</i>	0	0	18	29
					<i>Dorylaimopsis</i>	45	42	3	13
					<i>Hopperia</i>	8	10	4	17
					<i>Laimella</i>	12	17	1	4
					<i>Metacomesoma</i>	1	2	0	0
					<i>Paracomesoma</i>	3	4	0	0
			<i>Sabatieria</i>	183	58	66	63		
			<i>Setosabatieria</i>	0	0	3	8		
		Chomadorida	Chromadoridae	<i>Endeolophos</i>	13	13	54	33	
					<i>Hypodontolaimus</i>	1	2	2	8
					<i>Ptychlamellus</i>	5	8	15	13
					<i>Spilophorella</i>	1	2	0	0
		Cyatholaimidae		<i>Longicyatholaimus</i>	1	2	0	0	
					<i>Maryllynnia</i>	13	6	1	4
					<i>Nannolaimoides</i>	0	0	1	4
					<i>Paracyatholaimoides</i>	1	2	0	0
					<i>Paracyatholaimus</i>	45	33	22	46
			<i>Pomponema</i>	0	0	1	4		
		Neotonchidae		<i>Filitonchus</i>	1	2	0	0	
				<i>Gomphionema</i>	193	54	108	54	
				<i>Neotonchus</i>	2	4	0	0	
	Selachnematidae		<i>Richtersia</i>	1	2	3	13		
				<i>Synonchium</i>	0	0	2	8	
	Desmodorida	Desmodoridae	<i>Bolbonema</i>	2	4	6	13		
				<i>Chromaspirina</i>	2	4	4	13	
				<i>Eubostrichus</i>	0	0	4	13	
				<i>Metachromadora</i>	8	8	40	46	
				<i>Onyx</i>	0	0	2	4	
				<i>Perspiria</i>	0	0	14	17	
				<i>Pseudochromadora</i>	1	2	0	0	
				<i>Spirinia</i>	22	19	43	42	
	Draconematidae		<i>Draconema</i>	1	2	0	0		

		Epsilonematidae	<i>Perepsilonema</i>	0	0	87	13		
		Microlaimidae	<i>Bolbolaimus</i>	5	10	1	4		
			<i>Microlaimus</i>	10	10	2	8		
Monhysterida	Linhomoeidae		<i>Desmolaimus</i>	4	8	0	0		
			<i>Eleutherolaimus</i>	1	2	0	0		
			<i>Linhomoeus</i>	15	19	17	25		
			<i>Terschellingia</i>	224	69	201	75		
	Sphaerolaimidae		<i>Metasphaerolaimus</i>	4	4	3	8		
			<i>Sphaerolaimus</i>	76	46	37	42		
	Xyalidae		<i>Cobbia</i>	1	2	0	0		
			<i>Daptonema</i>	109	73	69	63		
			<i>Linhystra</i>	0	0	1	4		
			<i>Metadesmolaimus</i>	7	10	12	13		
			<i>Omicronema</i>	1	2	0	0		
			<i>Promonhystra</i>	1	2	0	0		
			<i>Pseudosteineria</i>	30	13	5	4		
			<i>Retrotheristus</i>	2	4	0	0		
			<i>Rhynchonema</i>	1	2	32	17		
			<i>Stylotheristus</i>	1	2	0	0		
			<i>Theristus</i>	20	8	5	17		
			<i>Trichotheristus</i>	2	4	0	0		
			<i>Prorhynchonema</i>	0	0	9	8		
			Monhysteridae		<i>Thalassomonhystra</i>	4	6	0	0
	<i>Diplolaimella</i>			0	0	5	13		
Plectida	Camacolaimidae		<i>Diodontolaimus</i>	3	4	0	0		
			<i>Stephanolaimus</i>	0	0	2	8		
Desmocolecida	Desmoscolecidae		<i>Tricoma</i>	1	2	0	0		
Enoplea	Enoplida	Enchelidiidae		<i>Eurystomina</i>	1	2	0	0	
				<i>Polygastrophora</i>	1	2	3	8	
		Oncholaimidae		<i>Oncholaimellus</i>	28	15	38	17	
				<i>Oncholaimus</i>	2	4	12	33	
				<i>Viscosia</i>	30	19	3	8	
		Oxystominidae		<i>Halalaimus</i>	1	2	0	0	
				<i>Oxystomina</i>	7	10	3	13	
		Thoracostomopsidae		<i>Enoploides</i>	0	0	5	13	
				<i>Mesacanthion</i>	15	8	0	0	
		Trefusiidae		<i>Rhabdocoma</i>	0	0	2	8	
				<i>Trefusia</i>	12	10	28	13	
			Tripyloididae		<i>Bathylaimus</i>	9	6	0	0
		Triplonchida	Rhabdodemaniidae		<i>Trileptium</i>	0	0	1	4
		Total				1476		1114	

4. Considerações finais

Este é o primeiro trabalho sobre a diversidade dos Nematoda estuarinos no litoral paraibano. A baixa quantidade de estudos está relacionada, entre outras coisas, com algumas dificuldades, tais como tamanho microscópico dos organismos dificultando seu manuseio e identificação, o dispêndio de tempo e trabalho de laboratório necessário para análises, carência de especialistas e a falta de padrão metodológico (FONSECA & NETTO, 2014).

Foi testada a hipótese de que a diversidade da nematofauna estuarina tende a ser menor em estuários mais impactados (ERP) comparada a menos impactados (ERM) (FERREIRA et al., 2015). Os resultados mostraram que o ERM é muito mais diversificado do que o ERP. Foram encontrados um total de 79 gêneros, 60 no ERM e 53 no ERP. A diversidade registrada em ambos os estuários é surpreendente, entretanto esses valores possivelmente ainda são uma subestimativa da real riqueza regional, de acordo com os estimadores de diversidade. Assim, questiona-se se a metodologia comumente utilizada por consenso em muitos trabalhos de retirada de 100 indivíduos por ponto é suficiente para descrever de modo adequado e abrangente a enorme diversidade de nematódeos estuarinos tropicais como a encontrada aqui, corroborando os dados de (QUANG et al., 2010). Dessa forma, é necessário que em estudos futuros seja aplicado um teste metodológico com maior número de indivíduos sendo retirados das réplicas e estabelecimento de metodologia padronizada para facilitar comparações meta-analíticas. Maior esforço amostral e monitoramento nos estuários tropicais ao redor do mundo também são necessários para um conhecimento abrangente da diversidade da nematofauna.

5. Referências

- ABEBE, E.; ANDRÁSSY, I.; TRAUNSPURGER, Walter (Ed.). Freshwater nematodes: ecology and taxonomy. CABI, 2006.
- ADÃO, H. et al. Spatial distribution of subtidal Nematoda communities along the salinity gradient in southern European estuaries. *Acta Oecologica*, v. 35, n. 2, p. 287-300, 2009.
- ALONGI, D.M. Community dynamics of free-living nematodes in some tropical mangrove and sandflat habitats. *Bulletin of Marine Science*, v. 46, n. 2, p. 358-373, 1990.

- AUSTEN, M. C.; WARWICK, R. M. Comparison of univariate and multivariate aspects of estuarine meiobenthic community structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 29, n. 1, p. 23-42, 1989.
- BERTINI, G.; FRANSOZO, A.; DE MELO, G.A. Biodiversity of brachyuran crabs (Crustacea: Decapoda) from non-consolidated sublittoral bottom on the northern coast of São Paulo State, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, v. 13, n. 12, p. 2185-2207, 2004.
- BODIN, P. H. Les peuplements de copepods harpacticoides (Crustacea) des sédiments meubles de la zone intertidale des côtes charentaises (Atlantiques). *Memoires du Museum National d'Histoire Naturelle, Serie A, Zoologie, Paris*, v. 104, p. 1012, 1977.
- BOISSEAU, J. P. Technique pour l'étude quantitative de La faune interstitielle des sables. *C. R. Congr Socs sav. Paris Sect Sci.* p. 117 - 119, 1957.
- CHINNADURAI, G.; FERNANDO, O.J. Meiofauna of mangroves of the southeast coast of India with special reference to the free-living marine nematode assemblage. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 72, n. 1, p. 329-336, 2007.
- COBB, N. A. Notes on Nemas. *Contributions to a Science of Nematology V.* 1917.
- COULL, B.C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Austral Ecology*, v. 24, n. 4, p. 327-343, 1999.
- DE GRISSE, A.T. Redescription ou modifications de quelques techniques utilisées dans l'étude des nématodes phytoparasitaires. *Meded. Rijksfakulteit Landbouwwetenschappen Gent*, v. 34, p. 251-369, 1969.
- DE LEY, P.; DECRAEMER, W.; EYUALEM, A. Introduction: summary of present knowledge and research addressing the ecology and taxonomy of freshwater nematodes. In: *Freshwater nematodes: taxonomy and ecology*. CABI, 2006. p. 3-30.
- DITTMANN, S. Impact of foraging soldier crabs (Decapoda: Mictyridae) on meiofauna in a tropical tidal flat. *Revista de Biología tropical*, v. 41, n. 3 A, p. 627-637, 1993.
- ESTEVEZ, A.M.; FONSÊCA-GENEVOIS, V.G. Os nematódeos e sua importância nos ecossistemas marinhos. *Flora & Ambiente*, v. 13, p. 113-120, 2006.
- FERREIRA, R.C. et al. Responses of estuarine nematodes to an increase in nutrient supply: an in situ continuous addition experiment. *Marine pollution bulletin*, v. 90, n. 1, p. 115-120, 2015.
- FONSECA, G.; NETTO, S.A. Macroecological patterns of estuarine nematodes. *Estuaries and Coasts*, v. 38, n. 2, p. 612-619, 2014.

- GIERE, O. Meibenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments. Springer Science & Business Media, 2009.
- GUILINI, K. et al. NeMys: World Database of Free-Living Marine Nematodes. 2017. Accessed at <http://nemys.ugent.be/aphia.php?p=taxdetails&id=799> on 2017-05-30.
- HUGOT, J.-P.; BAUJARD, P.; MORAND, S. Biodiversity in helminths and nematodes as a field of study: an overview. *Nematology*, v. 3, n. 3, p. 199-208, 2001.
- KAPUSTA, S.C. et al. Spatial and temporal distribution of Nematoda in a subtropical estuary. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 18, n. 2, p. 133-144, 2006.
- LAMBSHEAD, P. J. D. Recent developments in marine benthic biodiversity research. *Oceanis*, v. 19, p. 5-24, 1993.
- LEITE, D.S. et al. Are changes in the structure of nematode assemblages reliable indicators of moderate petroleum contamination?. *Marine pollution bulletin*, v. 83, n. 1, p. 38-47, 2014.
- MARQUES, A.C.; MORANDINI, A.C.; MIGOTTO, A.E. Synopsis of knowledge on Cnidaria Medusozoa from Brazil. *Biota Neotropica*, v. 3, n. 2, p. 1-18, 2003.
- MMA. Avaliações e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeira e marinha. Brasília, MMA/SBF, 2002, p. 345.
- NETTO, S.A.; FONSECA, G. Regime shifts in coastal lagoons: Evidence from free-living marine nematodes. *PloS one*, v. 12, n. 2, p. e0172366, 2017.
- NISHIDA, A.K.; NORDI, N.; ALVES, R.R.. Aspectos socioeconômicos dos catadores de moluscos do litoral paraibano, Nordeste do Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 8, n. 1, 2008.
- OLIVEIRA, I.S. Uso do conhecimento tradicional dos catadores de caranguejo-uçá *Ucides cordatus*, (LINNAEUS, 1763) para a identificação dos principais locais de catação, no Estuário do Rio Mamanguape-PB. 94 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Prodem) - Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2009.
- QUANG, N.X. et al. Meibenthos assemblages in the mekong estuarine system with special focus on free-living marine nematodes. *Ocean Science Journal*, v. 45, n. 4, p. 213-224, 2010.
- QUANG, N.X. et al. Nematode communities in the Sai Gon River harbors in relation to tributyltin concentrations. *Marine Biodiversity*, p. 1-13, 2017.
- RICKLEFS, R. E. 2003. A economia da natureza. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 503p.

- ROSA, R. S.; SASSI, R. Estudo da biodiversidade da Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape. Relatório Final do Projeto apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 37p, 2002.
- SASSI, R.; MELO, G.N.; MOURA, G.F. Estudos físico-químicos das águas do Rio Paraíba do Norte. In: Projeto Estuário do Rio Paraíba do Norte. Relatório Técnico final. Universidade Federal da Paraíba 0 UFPB, NEPREMAR, v. I. p. 3038, 1985.
- SASSI, R.; WATANABE, T. Estudos ecológicos básicos no estuário do Rio Paraíba do Norte, Paraíba, Brasil. Fitoplâncton e fatores hidrológicos. SIMPÓSIO NACIONAL DE ECOLOGIA, v. 2, p. 305-313, 1980.
- SCHLITZER, R. Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2015. Acessado em maio de 2017.
- SILVA, G.R. Estrutura da assembleia de peixes de poças de maré em Barra de Mamanguape, Rio Tinto, Paraíba, Brasil. 79 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Zoologia). Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2002.
- SOMERFIELD, P.J. et al. Factors affecting meiofaunal community structure in the Pina Basin, an urbanized embayment on the coast of Pernambuco, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 83, n. 6, p. 1209-1213, 2003.
- TEWKSBURY, J.J. et al. Natural history's place in science and society. *Bio Science*, v. 64, n. 4, p. 300-310, 2014.
- VELÔSO, T. M. G. Composição específica, distribuição e abundância dos Tintinnina (Protozoa, Ciliophora, Oligotrichida) no Estuário do Rio Paraíba do Norte, Paraíba, Brasil. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Zoologia) Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 1995.
- VEREKEY, V. Atualização do conhecimento taxonômico dos Nematoda na costa brasileira e sua ecologia na praia de Tamandaré PE (Brasil). 165 f. Tese de doutorado (Doutorado em Oceanografia) Universidade Federal do Pernambuco, UFPE, Recife. 2007.
- VEREKEY, V.; MELO, T.P.G. Nematodes as indicators of shrimp farm impact on an amazonian estuary (Curuçá, Pará, Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, n. 1, p. 75-87, 2016.

WARWICK, R. M.; PLATT, H. M. & SOMERFIELD, P. J. 1998. Free-living marine Nematodes part III (Monohysterid). The Linnean Society of London and The Estuarine and Coastal Sciences Association, 296p.

**Capítulo 2: Estrutura espacial e temporal da comunidade
meiofaunística com ênfase na nematofauna em um estuário tropical
(NE Brasil, 07°S)**

Resumo

A meiofauna é constituída por organismos microscópicos com tamanho geralmente variando entre 44 e 500 μm de comprimento. Os Nematoda se destacam por serem altamente diversos e abundantes, são extremamente importantes do ponto de vista ecológico e de monitoramento ambiental, permitindo inferências sobre a qualidade ambiental. Este estudo investigou a distribuição espacial e sazonal da meiofauna intersticial com foco especial nos Nematoda ao longo de gradientes físico-químicos como salinidade, granulometria e matéria orgânica no estuário do Rio Mamanguape, litoral Nordeste do Brasil. A meiofauna foi mais abundante no período seco, sendo dominada por Nematoda (45-100%). Em ambos os períodos de coleta, as densidades da meiofauna e nematofauna, bem como a estrutura da comunidade foram estreitamente relacionadas com os gradientes granulométricos e de matéria orgânica nos sedimentos de acordo com a análise de redundância, diferentemente de outros trabalhos em que a salinidade foi um fator mais influente. Não ocorreram mudanças sazonais na diversidade de gêneros de Nematoda e sim na estrutura da comunidade (PERMANOVA $p < 0,05$). Ocorreu uma tendência de separação (similaridade de Bray Curtis) entre a boca do estuário e as áreas com manguezais e entre as margens do estuário especialmente no período seco, tanto para a meiofauna, quanto para os gêneros de Nematoda, mais evidente nestes últimos. No geral, houve dominância de comedores não seletivos de depósito (1B) seguidos de comedores de epístratos (2A). Tanto o índice de diversidade trófica quanto o índice de maturidade mostraram que o estuário esteve com grau de eutrofização mais elevado no período chuvoso, particularmente na estação 2, margem norte. A estrutura populacional dos gêneros em geral foi dominada por estágios juvenis, conforme o esperado. O presente estudo contribuiu com dados relevantes para o conhecimento da biodiversidade e ecologia da meiofauna e dos Nematoda de vida livre de estuários tropicais. Além disso, os resultados deste trabalho fornecerão subsídios para o biomonitoramento ambiental, servindo de base para pesquisas futuras nesse importante e pouco estudado estuário.

Palavras-chave. Ambiente estuarino, eutrofização, diversidade taxonômica e funcional, índice de diversidade trófica, índice de maturidade, Nematoda.

Abstract

The meiofauna is composed by microscopic organisms with sizes ranging between 44 e 500 μm . Nematoda are highly diversified and abundant, and thus extremely important both from the ecological and biomonitoring points of view, allowing inferences about environmental quality. This study investigated the spatial and seasonal distribution of the interstitial meiofauna from Mamanguape River estuary, Northeast Brazil. Focus was given on Nematoda, with particular interest on the influence of the physical-chemical gradients such as salinity, granulometry and organic matter in the assemblage composition and structure. Nematoda always dominated (45-100%) the assemblage, with higher abundances in the dry season. Both meiofauna and nematofauna densities were closely related to granulometric and organic matter gradients, according to the redundancy analysis, differing from other studies where salinity has a preponderant effect. Seasonal changes were not found considering the number of genera, but were detected for the assemblage structure (PERMANOVA, $p < 0.05$). The samples from the estuary mouth tended to be separated (Bray Curtis similarity) from the mangrove areas and between the margins of the estuary, particularly in the dry season for both meiofauna and nematofauna assemblages, more evident in the latter. In general, non-selective deposit feeders (1B) dominated, followed by epistrate feeders (2A). Both the trophic diversity index and maturity index showed that the rainy season was more eutrophic, particularly in the station 2 north margin. The population structure was dominated by juveniles for all abundant genera, as expected. This study contributed with relevant data to the biodiversity and ecology of meiofauna assemblages in tropical estuaries. In addition, the results present here will serve as a baseline for environmental monitoring and future research in this important and poorly studied estuary.

Key words. Estuarine environment, eutrophication, taxonomic and functional diversity, trophic diversity index, maturity index, Nematoda.

1. Introdução

A meiofauna é constituída por organismos de dimensões microscópicas que medem geralmente entre 44 e 500 μm de comprimento (MARE, 1942) e são extremamente diversificados e importantes tanto do ponto de vista ecológico quanto do biomonitoramento ambiental (BALSAMO et al., 2010; ZEPPILLI et al., 2015). Os Nematoda constituem a unidade ecológica mais diversa e abundante do meiobentos intersticial marinho e estuarino (GIERE, 2009; FONSECA & NETTO, 2014) e, portanto, trabalhos com distribuição espacial e sazonal da meiofauna pelo mundo são conduzidos principalmente com foco na taxonomia e ecologia desses animais, sendo geralmente observada sua dispersão com relação às variáveis ambientais (NETTO & FONSECA, 2017). Além disso, os nematódeos são ótimas ferramentas para o monitoramento ambiental, fornecendo respostas interessantes quando submetidos a diversos tipos de distúrbios ambientais (FERREIRA et al., 2015), principalmente através de sua abundância, diversidade taxonômica e funcional (JOUILI et al., 2016).

Dentre as variáveis ambientais, a principal determinante de distribuição da nematofauna em estuários pode ser a salinidade, uma vez que se trata de um estressor ambiental independente que influencia na composição e abundância das comunidades nesses ecossistemas (AUSTEN & WARWICK, 1989; ADÃO et al., 2009; NETTO & FONSECA, 2017). Em virtude dos gradientes de salinidade produzidos em estuários, há uma forte tendência de redução da diversidade taxonômica da meiofauna e especialmente da comunidade de nematódeos na medida em que o estuário vai ganhando gradualmente um aspecto de ambiente dulcícola durante a característica transição entre a água do mar e água doce (AUSTEN & WARWICK, 1989; PORTNOVA et al., 2017). Além da salinidade, gradientes de granulometria e matéria orgânica são produzidos em ambientes estuarinos e atuam na distribuição espaço-temporal dos táxons (ADÃO et al., 2009), bem como, oxigênio dissolvido e temperatura que também são fatores abióticos relevantes (GIERE, 2009; MOENS & VINCX, 2000). Somadas a estes estressores naturais, físicos e químicos, pressões antrópicas também influenciam diretamente nos padrões de distribuição da meiofauna (SEMPRUCCI et al., 2016) e nematofauna (FERREIRA et al., 2015).

Para o estudo da diversidade funcional da nematofauna são empregados dois índices: de maturidade (IM) e de diversidade trófica (IDT) que são importantes indicadores aplicados para aferir a eutrofização ambiental (JOUILI et al., 2016). O IM utiliza um valor

semi-quantitativo para indicar perturbações com base nas características de semelhança morfológica e funcional da comunidade (BONGERS, 1990; BONGERS et al., 1991; BONGERS et al., 1999). O IDT também utiliza um valor semi-quantitativo e é calculado com base na estrutura trófica dos nematódeos em que os gêneros são agrupados em quatro grupos de alimentação (WIESER, 1953). O índice de maturidade foi inicialmente desenvolvido para nematódeos de água doce, mas recentemente vem sendo utilizado para ambientes marinhos e estuarinos (NETTO & VALGAS, 2010; JOUILI et al., 2016).

Neste capítulo, foi testado se existe uma estruturação espacial e sazonal na distribuição da abundância da meiofauna com foco nas diversidades taxonômica e funcional da nematofauna e com a influência dos fatores ambientais, a exemplo da temperatura, salinidade, granulometria, oxigênio dissolvido e matéria orgânica. Os dados são inéditos para a região, considerando a carência de trabalhos locais, bem como em estuários tropicais no geral (SOMERFIELD et al., 2003; FONSECA & NETTO, 2014; VENEKEY & MELO, 2016) em consonância com a importância ecológica e taxonômica dos nematódeos (GIERE, 2009).

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estuário do Rio Mamanguape (ERM), é formado pelo encontro das águas continentais do Rio Mamanguape com as águas do Oceano Atlântico na Costa Nordeste do Brasil. Está situado em uma porção relativamente isolada do litoral setentrional do Estado da Paraíba no Distrito de Barra de Mamanguape, pertencente ao município de Rio Tinto (Figura 1).

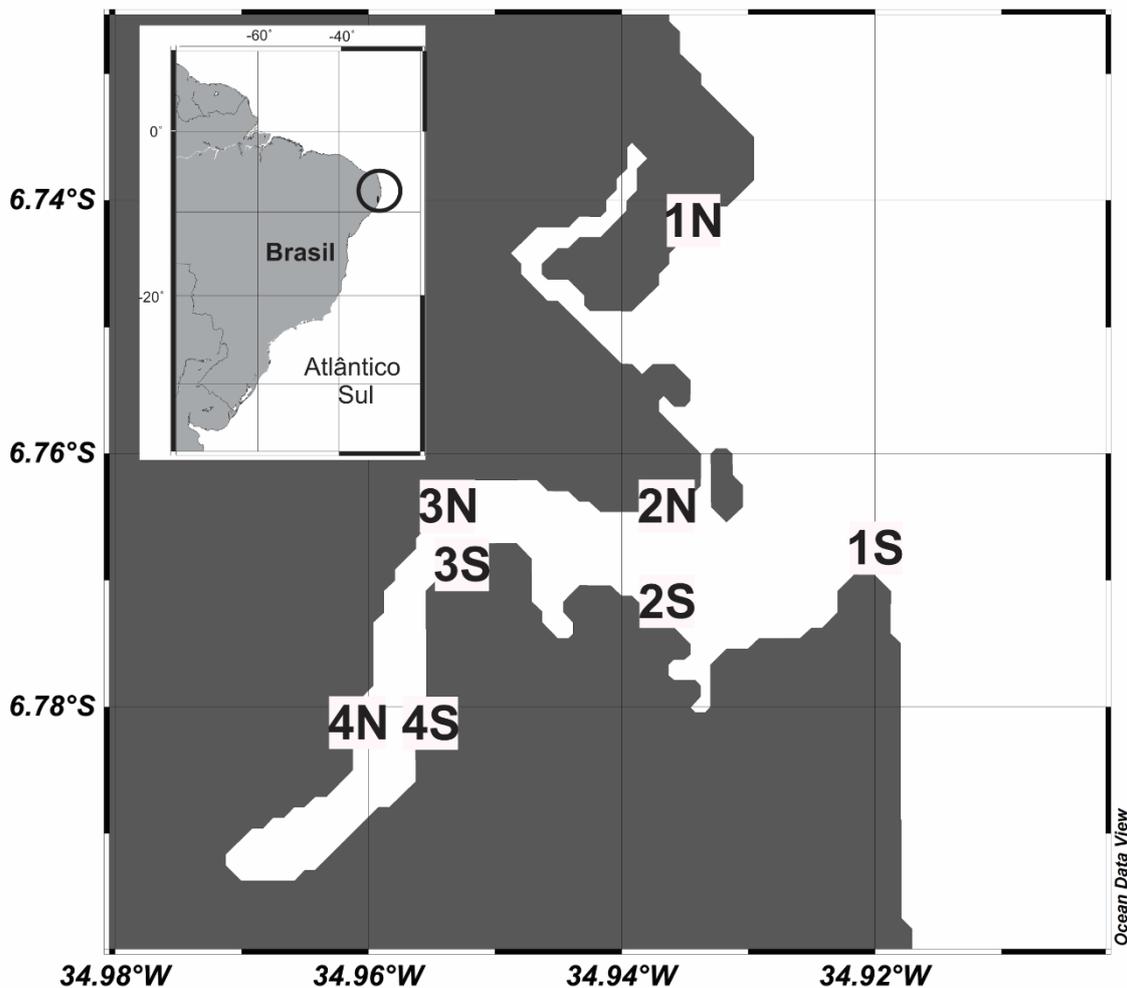


Figura 1. Mapa do estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. As estações de coleta foram identificadas de 1-4 e as letras são referentes às margens norte (N) e sul (S) (mapa construído usando o Ocean Data View, SCHLITZER, 2015).

O ERM está situado dentro da APA (Área de Proteção Ambiental) da Barra do Rio Mamanguape, criada pelo Decreto Federal nº 924 de 10 de setembro de 1993 com o objetivo de proteger os ecossistemas costeiros e a população de peixes-boi marinhos (*Trichechus manatus*) da região (OLIVEIRA, 2009). A APA tem aproximadamente 14.640 hectares, sua área abrange os Rios Mamanguape, Miriri e da Estiva e partes dos municípios de Rio Tinto, Marcação e Lucena (ROSA & SASSI, 2002). Trata-se de uma região que compreende remanescentes de Mata Atlântica, florestas de restinga e uma extensa porção de mangue com mais de 6.000 hectares (ROSA & SASSI, 2002).

O ambiente estuarino possui camboas (braços do rio principal, que adentram no manguezal), croas (bancos areno-lodosos) e apicuns (áreas desprovidas de vegetação de mangue) (NISHIDA et al., 2008). O ERM é relativamente prístino, com um tráfego de

embarcações escasso, ocorrendo com somente pequenos barcos com finalidade de pesca e turismo, e no geral, menos dejetos domésticos e industriais são despejados neste ecossistema em comparação com estuários situados em grandes centros urbanos (ADÃO et al., 2009). Os maiores impactos antropogênicos pelos quais o ERM vem sendo submetido ao longo dos anos são a drenagem de nutrientes inorgânicos e vinhoto provenientes das extensas plantações de cana-de-açúcar ao redor da APA e a atividade de carcinicultura (SILVESTRE et al., 2011), que juntos podem estar causando acentuado aumento do processo de eutrofização neste estuário especialmente em sua margem norte.

O ERM está localizado em uma região sujeita a duas estações anuais bem distintas, a estação seca, de setembro a fevereiro, e a estação chuvosa, que compreende o mês de março até agosto. A sua pluviosidade média corresponde a maior precipitação do estado (cerca de 1800 mm anuais) (AESA, 2009).

2.2 Solicitação de coleta em unidade de conservação federal

Em virtude do ERM estar situado dentro de uma unidade de conservação federal, foi necessário protocolar um pedido de licença (Nº 52379-1) ao Sistema de Atendimento à Distância do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (SISBio-ICMBio) para realização das coletas de material biológico.

2.3 Trabalho de campo

As amostras de sedimento destinadas ao estudo da meiofauna foram coletadas em abril (período chuvoso) e outubro (período seco) de 2016 sempre durante as marés baixas no médio litoral estuarino. Foram delimitados 4 pontos de coleta em cada margem (Figura 1). As estações foram definidas de acordo com o gradiente de salinidade a partir da foz do rio para porções mais internas. Em cada estação foram tomadas três réplicas de amostras bênticas totalizando 48 amostras nos dois períodos.

O material foi coletado com um tubo de PVC de 11 cm² de área interna, introduzindo-o a uma profundidade de 10 cm no sedimento. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos e fixadas com formol 4% ainda em campo para posterior análise em laboratório. Adicionalmente foram coletadas cerca de 300 g de sedimento oriundo de cada ponto de coleta para análise e cálculo do teor de matéria orgânica total e granulometria, dos quais 100 g foram utilizados para a análise granulométrica e 100 g para a análise de concentração da matéria orgânica.

2.4 Trabalho de laboratório

Para a triagem foi utilizada a metodologia de Boisseau (1957), de lavagem e, posteriormente, as amostras foram analisadas em placa de Dolffus sob um estereomicroscópio. Depois da identificação dos grandes grupos da meiofauna e retirada dos Nematoda com auxílio de agulhas (até 120 animais por ponto, 40 por réplica), os mesmos foram estocados para a confecção de lâminas permanentes. Os indivíduos foram diafanizados através da introdução em três soluções, contendo: **i)** 99% formoldeído a 4% mais 1% glicerina (em dessecador, por vinte e quatro horas); **ii)** 95% etanol mais 5% glicerina (aplicada a cada duas horas a temperatura ambiente com 5 repetições); **iii)** 50% etanol mais 50% glicerina (por duas horas a temperatura ambiente) (DE GRISSE, 1969). Após esta etapa, os animais foram depositados em lâminas permanentes (COBB, 1917).

Durante a montagem de cada lâmina permanente, foram colocados dez indivíduos distribuídos em duas gotas de glicerina (cinco animais por gota) centralizadas em dois círculos de parafina. Sobre os círculos, duas lamínulas foram adicionadas e depois levadas ao aquecimento para fixação (COBB, 1917). Após este processo, as lâminas foram levadas ao microscópio óptico para a identificação dos animais ao nível de gênero (WARWICK et al., 1998; DE LEY et al., 2006). Foi seguido o esquema de classificação de GUILINI et al. (2017).

O estudo granulométrico foi conduzido de acordo com Suguio (1973) através do peneiramento dos sedimentos secos (100 g) de cada estação com a utilização de um agitador de peneiras com batida intermitente (ROTAP). Para investigar o teor de matéria orgânica (MO) nos sedimentos, foram pesadas 100 g de material sedimentar previamente seco a 60°C na estufa. Em seguida, o material foi armazenado em cadinhos para ignição no forno mufla por um período de 12 horas a 450 graus (WALKLEY E BLACK, 1934). O sedimento sofreu uma nova pesagem pós-procedimento em mufla, e a diferença de peso demonstrou a quantidade de matéria orgânica de cada estação.

2.5 Dados pluviométricos

Os dados de precipitação foram retirados da estação meteorológica de João Pessoa (n° 82798) situada a <80 km de distância do estuário do Rio Mamanguape. O acesso aos mesmos foi feito através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);

<http://www.inmet.gov.br/portal/>). Foram considerados os valores acumulados de 20 dias antes das coletas.

2.6 Índice de diversidade trófica (IDT)

Para analisar a estrutura trófica da comunidade e calcular o índice de diversidade trófica (IDT), os gêneros foram agrupados em quatro grupos de alimentação (WIESER, 1953):

1A = comedores de depósito seletivos com cavidade bucal ausente ou muito pequena e sem dentes;

1B = comedores de depósito não seletivos portadores de cavidade bucal maior em comparação com o grupo 1A e também não possuem dentes;

2A = comedores de epístratos com cavidade bucal de tamanho médio e com dentes;

2B = predadores ou onívoros com cavidade bucal armada com grandes dentes e/ou mandíbulas.

O IDT foi calculado de acordo com Heip et al. (1985) em que $IDT = \sum \theta^2$, onde θ é a contribuição (%) de cada tipo de alimentação (WIESER, 1953). Os valores do IDT variam de 0,25 (maior diversidade trófica, ou seja, os quatro grupos tróficos representam 25% cada) a 1,0 (menor diversidade trófica, ou seja, um tipo de alimentação representa 100% do total) (JOUILI et al., 2016). Como os maiores índices de diversidade trófica são os valores mais baixos, uma modificação foi utilizada (1-IDT) para melhor visualizar as mudanças na diversidade funcional (maior diversidade trófica passa a ser 0,75 e a menor é 0) (NETTO & VALGAS, 2010).

2.7 Índice de maturidade (IM)

Para analisar as características da história de vida dos nematódeos e calcular o Índice de Maturidade (IM), os gêneros foram agrupados em 5 grupos (BONGERS, 1990; BONGERS et al., 1991; BONGERS et al., 1999) de espécies r-estrategistas (colonizadores ou c-p1) a espécies k-estrategistas (persistentes ou c-p5):

Colonizador-persistente 1 (cp1) = são nematódeos com um tempo de geração curto, que produzem muitos ovos pequenos, o que resulta em um explosivo crescimento populacional sob condições de enriquecimento orgânico. Eles formam larva “dauer” quando a atividade microbiana diminui.

Colonizador-persistente 2 (cp2) = são nematódeos com um tempo de geração curto e uma alta taxa de reprodução, mas não formam larva “dauer”. Eles ocorrem tanto em

enriquecimento orgânico quanto em ambientes pobres em recursos orgânicos, sendo muito tolerantes a poluentes e outros distúrbios.

Colonizador-persistente 3 (cp3) = são nematódeos com tempo de geração mais longo e relativamente sensíveis às perturbações ambientais.

Colonizador-persistente 4 (cp4) = são nematódeos que possuem um longo tempo de geração, a cutícula é permeável e sensível a poluentes.

Colonizador-persistente 5 (cp5). Grandes nematódeos da ordem Dorylaimida de vida longa, baixa taxa de reprodução; provavelmente baixa atividade metabólica. Eles produzem ovos relativamente grandes, em pequena quantidade e a mobilidade é baixa. Com cutícula permeável, são muito sensíveis aos poluentes e outros distúrbios.

O IM é calculado da seguinte forma: $IM = \sum v(i) * f(i)$, onde $v(i)$ é o valor $c-p$ do táxon e $f(i)$ é a abundância (%) do mesmo táxon na amostra (BONGERS, 1990; BONGERS et al., 1991; BONGERS et al., 1999).

2.8 Análise dos Dados

Uma análise permutacional multivariada de variância (PERMANOVA) foi usada para testar a hipótese nula de que a estrutura da nematofauna não varia de acordo com o período amostral, pontos de coleta e as margens do estuário, ponderando também possíveis interações entre estes três fatores. A significância ($p < 0,05$) foi estimada pela estatística pseudo-F e pelo teste de Monte Carlo, após 999 permutações (ANDERSON et al., 2008). Os dados foram transformados em raiz quarta.

Uma análise de agrupamento hierárquico (cluster) foi realizada com a meiofauna e nematofauna para avaliar os padrões de semelhança entre as amostras, após transformação dos dados por raiz quarta. O agrupamento foi gerado usando uma matriz de similaridade de Bray Curtis. Foram consideradas as três réplicas de cada ponto separadamente. As diferenças entre grupos de estações foram determinadas através da análise de percentual de similaridade (SIMPER). As densidades da meiofauna, nematofauna e diversidades taxonômica e funcional, bem como a estrutura populacional dos gêneros de nematódeos foram comparadas por meio de ANOVA tri-fatorial, considerando como fatores período do ano (dois níveis: seco e chuvoso), margem (dois níveis: norte e sul) e ponto (quatro níveis), após os dados terem sido transformados por $\log(x+1)$.

Com o objetivo de relacionar a distribuição dos táxons com as variáveis explicativas (salinidade, temperatura, granulometria, matéria orgânica e oxigênio dissolvido) foi utilizada uma análise de ordenação de gradiente direto. Para testar o comprimento do gradiente foi realizada uma DCA para saber se seria usado uma CCA ou RDA. Como o comprimento foi baixo (<3), foi realizada uma RDA. Especialmente para a análise dos gêneros de nematódeos, foram considerados aqueles com mais de 12% de frequência de captura. Aqui, os dados de abundância dos gêneros também foram transformados em raiz quarta e as variáveis explicativas foram centradas e estandardizadas (TER BRAAK & SMILAUER, 1998; LÈPS & SMILAUER, 2003).

As análises foram realizadas nos softwares PRIMER v. 6.0 (PERMANOVA, SIMPER, agrupamento hierárquico), STATISTICA v. 10 (anovas tri-fatoriais) e CANOCO v.4.5 (análises de ordenação).

3. Resultados

3.1 Fatores abióticos e matéria orgânica

A precipitação acumulada para o mês de abril (período chuvoso) foi de 348,3 mm enquanto que para o mês de outubro (período seco) foi de 7,7 mm.

Os pontos próximos à boca do estuário foram dominados por apenas duas frações granulométricas, areia grossa e média no ponto 1N no período seco e média e fina no 1S de ambos os períodos e 1N do chuvoso. A partir desses primeiros pontos no sentido montante (estuário a dentro), região de manguezal, ocorreu tendência de aumento da variabilidade de frações granulométricas com a ocorrência significativa também de areia muito fina, silte e argila (Figura 2).

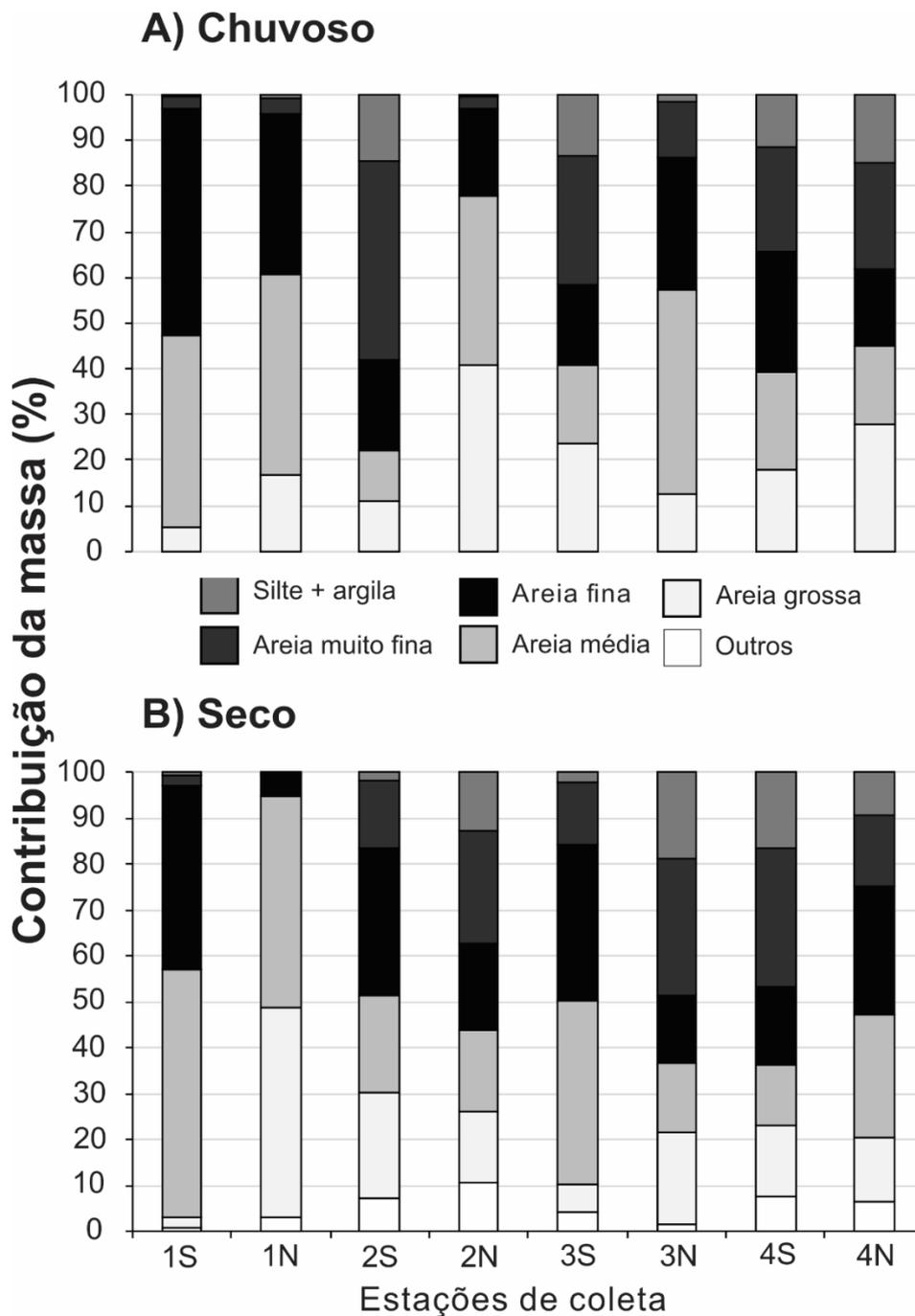


Figura 2. Variação espacial da composição granulométrica do sedimento nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Outros (cascalho e areia muito grossa).

A temperatura variou entre 33,4 e 26,9°C, com valores levemente maiores no período chuvoso. Praticamente não houve variação espacial, exceto pelo ponto 1N onde atingiu o valor máximo (Fig. 3A). Ocorreu uma ampla variação de salinidade (10-39). O gradiente salino foi bastante pronunciado no período chuvoso, variando de 32 na foz a 10 no ponto 4, e pouco expressivo no período seco quando a salinidade foi sempre superior

a 30 (Fig. 3B). O oxigênio dissolvido foi maior no ponto 1N de ambos os períodos com valores >9 mg l⁻¹ (Fig. 3C). A variação espacial da matéria orgânica foi pronunciada em ambos os períodos. Os menores valores ocorreram nos pontos 1S e 1N, oscilando entre 0,5 e 1%, aumentando a montante em direção às áreas de mangue especialmente na margem sul com maiores proporções de partículas finas no sedimento, onde atingiu o valor máximo de 23% no ponto 3S. Na margem norte apenas a estação 4N teve proporções expressivas (Fig. 3D).

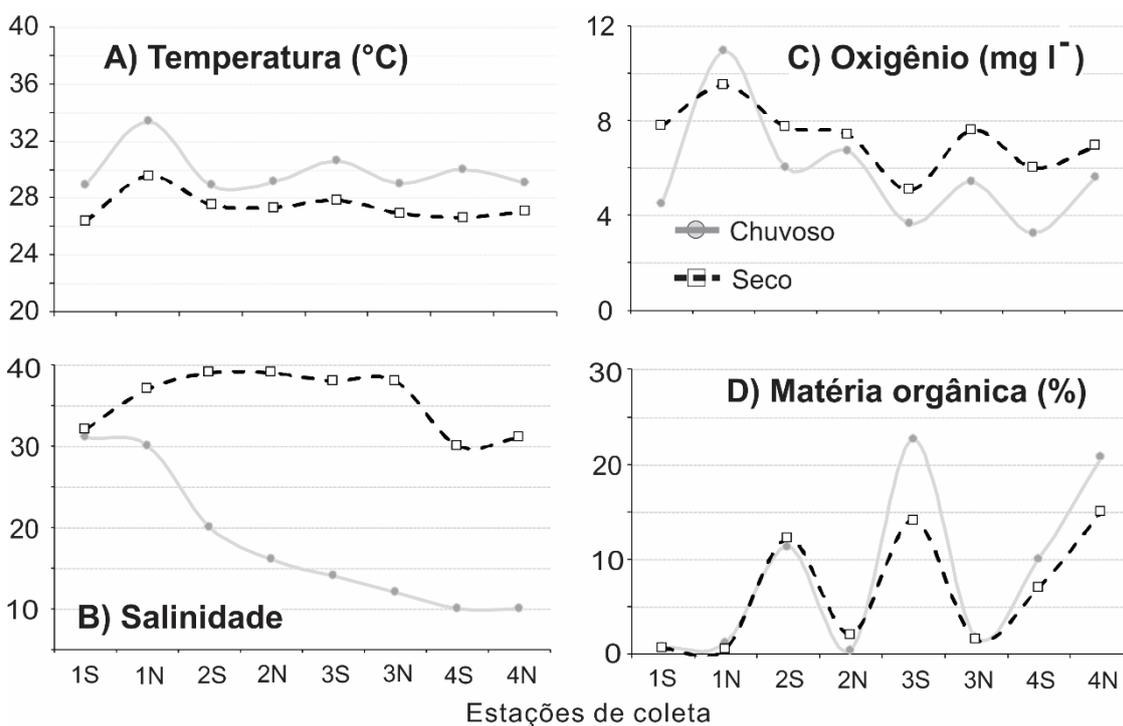


Figura 3. Variação espacial da temperatura (A), salinidade (B), oxigênio dissolvido (C) e matéria orgânica (D) nos períodos chuvoso e seco no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

3.2 Estrutura da meiofauna

Foram contabilizados 5862 organismos meiofaunais nas duas campanhas amostrais sendo 1722 no período chuvoso e 4140 no seco. Apesar das maiores densidades da meiofauna terem ocorrido no período seco, a estrutura espacial manteve-se similar independente do período amostral, com picos sempre nas estações 2S e 3S (Figura 4). Nas estações do período chuvoso, a meiofauna oscilou de $8,48 \pm 1,39$ inds.10 cm⁻² no ponto 1N até $148,48 \pm 99,02$ inds.10 cm⁻² no 3S (Figura 4A). As densidades médias no período seco variaram de $37,27 \pm 28,73$ inds.10 cm⁻² no ponto 2N até o máximo de 314,24

$\pm 168,67$ inds. 10 cm^{-2} no 2S (Figura 4B). No geral, ocorreram amplos desvios padrões, principalmente nos pontos com maiores densidades. Diferenças significativas foram observadas tanto considerando o mês quanto a margem bem como a interação entre margem e ponto (Tabela 1).

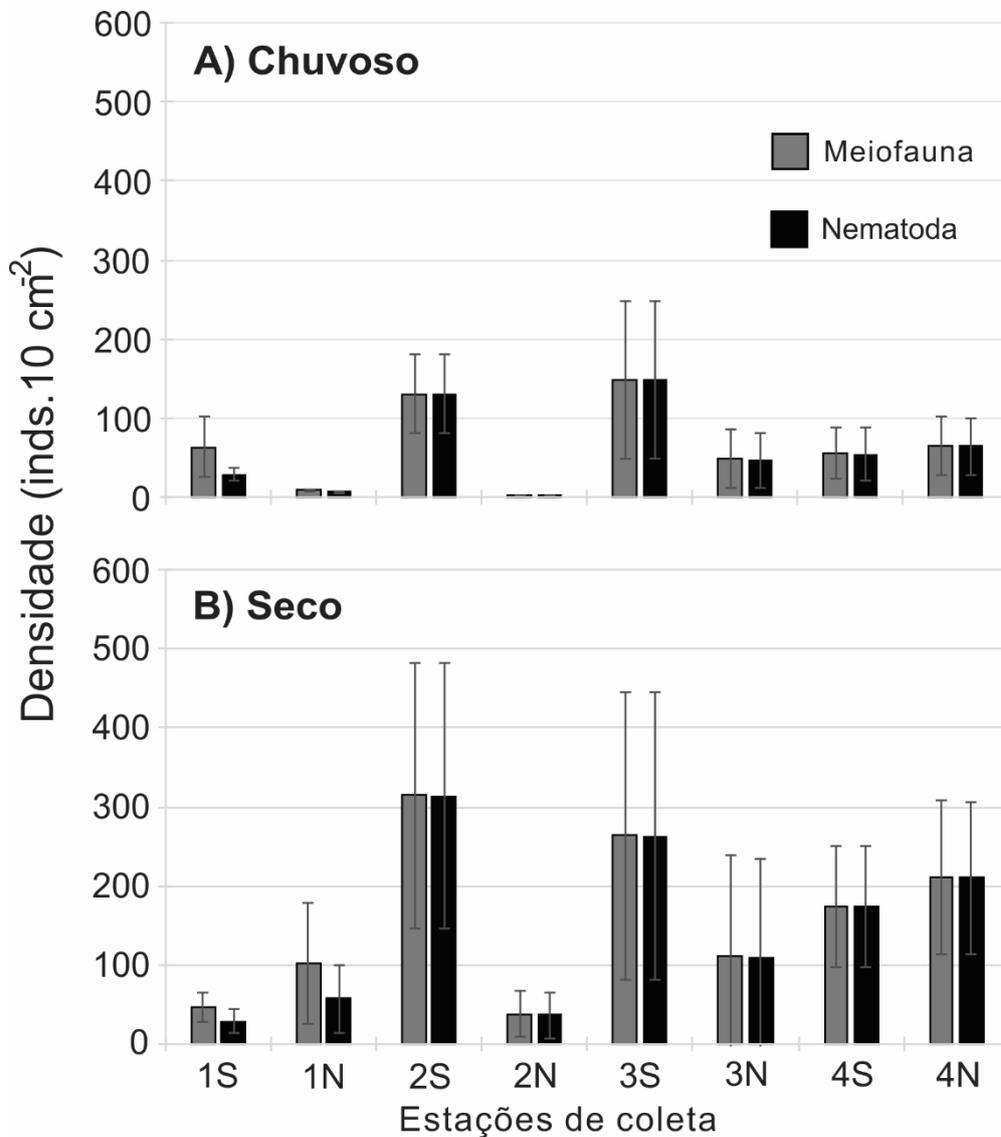


Figura 4. Distribuição espacial das médias da densidade total da meiofauna e dos Nematoda nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Barras de erros indicam o desvio padrão.

Tabela 1. Resultados da análise de variância (ANOVA) da abundância total da meiofauna no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando o período de coleta (seco-chuvoso), a margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4) como fatores. GL = graus de liberdade; SS = soma dos quadrados; MS = média dos quadrados; F = parâmetro do teste; p = probabilidade associada. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fator	GL	SS	MS	F	P
Período	1	101501,1	101501,1	13,79310	0,000777
Margem	1	70254,8	70254,8	9,54701	0,004124
Ponto	3	54029,3	18009,8	2,44737	0,081736
Período x margem	1	773,8	773,8	0,10516	0,747837
Período x ponto	3	14792,4	4930,8	0,67005	0,576680
Margem x ponto	3	102929,3	34309,8	4,66239	0,008185
Período x margem x ponto	3	27350,3	9116,8	1,23889	0,311804
Erro	32	235482,6	7358,8		
Total	47	607113,8			

Foram registrados 10 táxons meiofaunais nos dois períodos amostrais, sendo Nematoda o táxon dominante em todas as amostras representando entre 45 e 100% da meiofauna total (Figuras 4, 5). Outros grupos representativos incluem Copepoda no ponto 1N do período seco (43%), Turbellaria no 1S de ambos os períodos (19-36%), e náuplios no 4S do período seco (~25%). Todos os demais grupos não representaram mais que 15% em nenhum dos pontos de coleta (Figura 5).

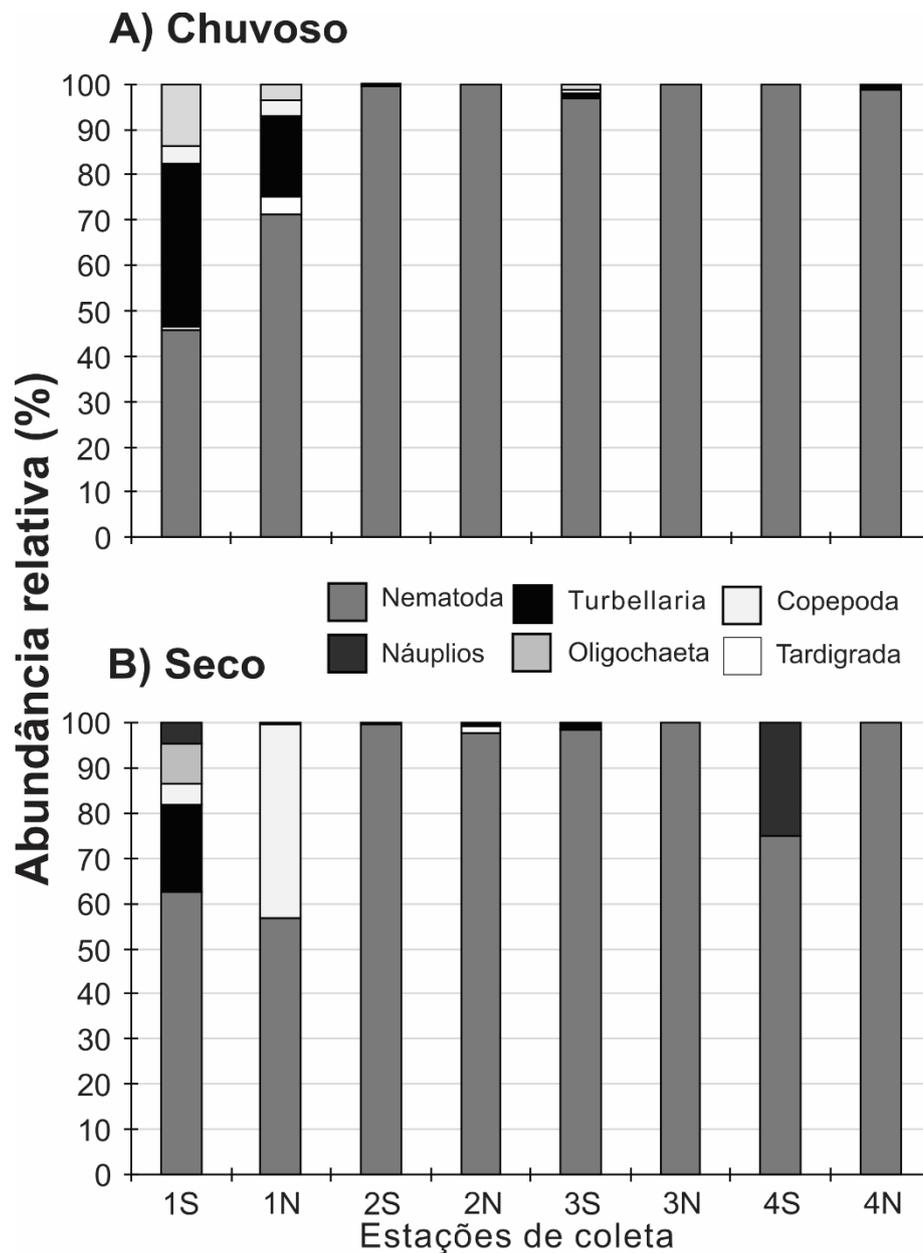


Figura 5. Variação espacial da abundância relativa (%) dos grandes grupos da meiofauna nos períodos chuvoso (A) e seco (B) do estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Ostracoda, Polychaeta, Gastrotricha e Acari não foram incluídos no gráfico, pois suas abundâncias somadas não ultrapassaram 1%.

No geral, de acordo com a análise de agrupamento amostral, no período chuvoso as amostras estiveram menos separadas em comparação com o período seco, porém, nos dois ocorreu tendência de separação dos pontos da boca do estuário daqueles situados nas áreas com manguezais (Figura 6). Na campanha chuvosa foram formados os grupos A (2N1, 2N2 e 2N3) e C (1S1, 1S2, 1S3, 2S1, 1N1 e 3N2) (Figura 6A) e no período seco formaram-se dois grupos A1 (1S1, 1S2 e 1S3) e A2 (1N1, 1N2 e 1N3) na boca do estuário

(Figura 6B). Nematoda foi quem mais contribuiu com as similaridades tanto no período chuvoso (Tabela 2) quanto no seco (Tabela 3), porém, neste último, além dos nematódeos, os Turbellaria também contribuíram fortemente no grupo A1 e os Copepoda no grupo A2.

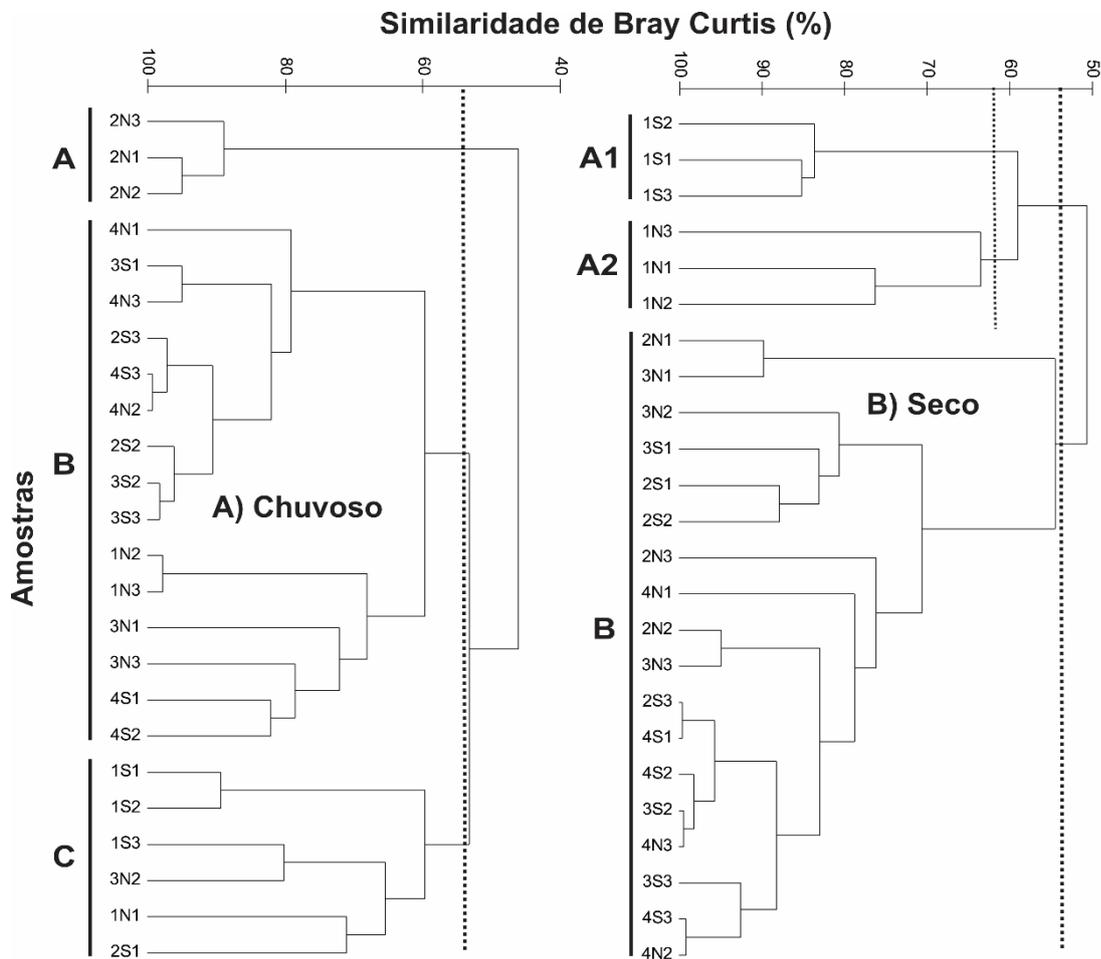


Figura 6. Agrupamento hierárquico das amostras de acordo com os grandes grupos da meiofauna no período chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. A, B e C são os grupos formados nas análises com $>50\%$ de similaridade. Notar que dentro do grupo A no período seco foram formados dois subgrupos A1 e A2 com $>60\%$ de similaridade. As amostras foram nomeadas de acordo com o ponto (1-4), a margem (N-S) e a réplica (1-3) respectivamente.

Tabela 2. Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para os grandes grupos da meiofauna, mostrando os táxons que mais contribuíram com a formação dos grupos do cluster da figura (6A) no período chuvoso no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Grupos	Similaridade Média (%)	Táxons	Contribuição (%)	Acumulado (%)
A	90,88	Nematoda	100	100
B	70,71	Nematoda	94,09	94,09
		Turbellaria	5,12	99,21
		Ostracoda	0,29	99,50
		Polychaeta	0,26	99,76
		Oligochaeta	0,24	100
C	65,24	Nematoda	54,04	54,04
		Copepoda	26,53	80,57
		Oligochaeta	9,23	89,79
		Turbellaria	6,29	96,08
		Tardigrada	3,92	100

Tabela 3. Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para os grandes grupos da meiofauna, mostrando os táxons que mais contribuíram com a formação dos grupos do cluster da figura (6B) no período seco no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Grupos	Similaridade Média (%)	Táxons	Contribuição (%)	Acumulado (%)
A1	84,14	Nematoda	34,48	34,48
		Turbellaria	25,69	60,17
		Náuplios	17,81	77,97
		Copepoda	17,10	95,07
		Oligochaeta	4,93	100
A2	67,72	Nematoda	55,17	55,17
		Copepoda	44,83	100
B	74,14	Nematoda	98,68	98,68
		Copepoda	0,86	99,54
		Tardigrada	0,29	99,83
		Turbellaria	0,17	100

3.2.1 Relação com fatores ambientais

De acordo com a análise de redundância, os quatro primeiros eixos canônicos explicaram 83,4% da variância dos táxons (Tabela 4). As relações foram significativas ($p = 0,02$) considerando todos os eixos, porém, não considerando apenas o primeiro (Monte Carlo; $p = 0,08$). O primeiro eixo explicou 45% e foi relacionado negativamente com matéria orgânica, areia muito fina e silte e argila. O segundo eixo explicou 21,4% e teve relação negativa forte com areia muito grossa e um pouco mais fraca com areia grossa e

positiva com a salinidade (Figura 7). Nematoda esteve mais associado negativamente ao eixo 1 e portanto relacionado à silte e argila, areia muito fina e matéria orgânica. Por outro lado, Oligochaeta e Turbellaria foram estreitamente relacionados positivamente com areia fina e areia média (Figura 7).

Tabela 4. Resumo da Análise de Redundância (ARD) entre as variáveis explicativas e abundâncias dos grandes grupos da meiofauna no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Resumo ARD	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Autovalores	0,450	0,214	0,159	0,011
Correlações táxons-ambiente	0,946	0,872	0,936	0,788
Explicação da variância (%)				
Táxons	45,0	66,4	82,3	83,4
Relações táxons-ambiente	53,4	78,7	97,5	98,8
Correlações com variáveis ambientais				
Oxigênio dissolvido (OD)	0,3192	-0,0724	0,4426	0,2838
Temperatura	0,3469	-0,3960	0,1295	-0,3633
Salinidade	-0,0686	0,4839	0,2709	-0,0632
Matéria orgânica	-0,7286	-0,1043	-0,2117	-0,0220
Cascalho	-0,2103	-0,2328	-0,0313	-0,3604
Areia muito grossa	-0,3305	-0,6832	-0,1878	-0,0466
Areia grossa	0,0383	-0,4966	0,7579	-0,1209
Areia média	0,7766	0,3605	0,2612	0,2899
Areia fina	0,5531	0,4059	-0,6160	-0,0513
Areia muito fina	-0,8849	-0,1009	-0,2716	-0,1310
Silte e argila	-0,8724	-0,0600	-0,1946	-0,0224

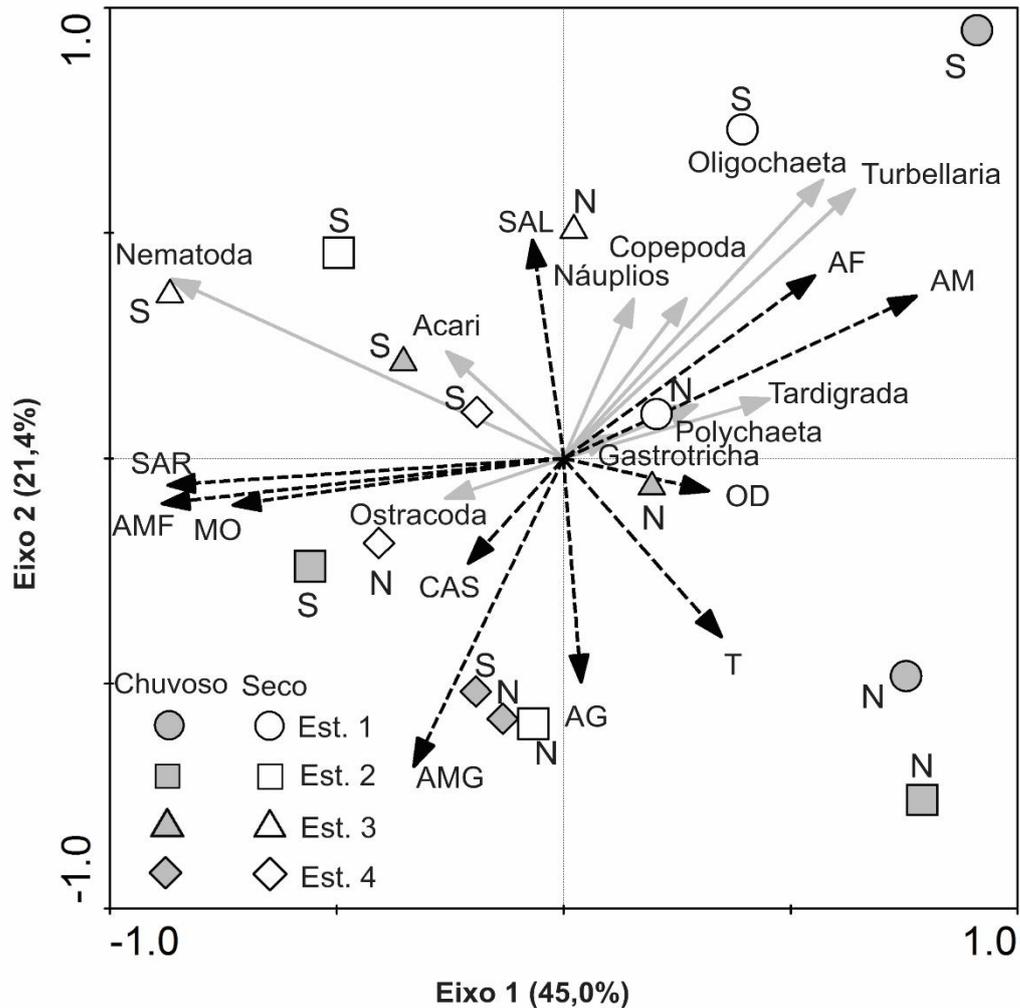


Figura 7. Gráfico do primeiro e segundo eixos canônicos da análise de redundância entre os grandes grupos da meiofauna (vetores cinza contínuos) e as variáveis explicativas (vetores escuros tracejados), junto com a distribuição das amostras (símbolos de acordo com a legenda). O percentual da variação dos dados explicados por cada um dos eixos é mostrado entre parênteses. Abreviações: **S** = margem sul; **N** = margem norte; **SAL** = salinidade; **MO** = matéria orgânica; **T** = temperatura; **OD** = oxigênio dissolvido; **CAS** = cascalho; **AMG** = areia muito grossa; **AG** = areia grossa; **AM** = areia média; **AF** = areia fina; **AMF** = areia muito fina e **SAR** = silte e argila.

3.3 Estrutura da nematofauna

As maiores densidades da meiofauna tanto no período chuvoso quanto no seco foram representadas quase absolutamente por Nematoda com picos sempre nas estações 2S e 3S, com maiores médias especialmente no período seco (Figura 4). No período chuvoso, as densidades médias dos nematódeos ficaram entre $1,81 \pm 0,90$ inds. 10 cm^{-2} no

ponto 2N e $148,48 \pm 99,02$ inds.10 cm⁻² no 3S (Figura 4A). As médias no período seco variaram de $28,48 \pm 15,49$ inds.10 cm⁻² no ponto 1S até $313,33 \pm 168,2$ inds.10 cm⁻² no 2S (Figura 4B). Diferenças significativas foram observadas tanto considerando o mês, a margem e o ponto quanto a interação entre margem e ponto (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados da análise de variância (ANOVA) da abundância total de Nematoda no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando o período de coleta (seco-chuvoso), a margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4) como fatores. GL = graus de liberdade; SS = soma dos quadrados; MS = média dos quadrados; F = parâmetro do teste; p = probabilidade associada. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fatores	GL	SS	MS	F	P
Período	1	94761,0	94761,0	13,59003	0,000838
Margem	1	69699,4	69699,4	9,99586	0,003423
Ponto	3	90982,4	30327,5	4,34938	0,011157
Período x margem	1	2866,1	2866,1	0,41104	0,526007
Período x ponto	3	19125,4	6375,1	0,91428	0,445020
Margem x ponto		104438,4	34812,8	4,99264	0,005936
Período x margem x ponto	3	18204,3	6068,1	0,87025	0,466651
Erro	32	223130,6	6972,8		
Total	47	623207,6			

Foram encontrados 60 gêneros, 44 no período chuvoso e 43 no seco. A diversidade não ultrapassou 14 gêneros em nenhuma das estações (Figura 8). No período chuvoso, os pontos 3N e 4N possuíram a maior diversidade com 14 e 12 gêneros, respectivamente (Figura 8A). No período seco, as máximas foram de 13 gêneros na estação 1N e 14 na 3N (Figura 8B). Diferenças significativas foram observadas tanto considerando os pontos de coleta quanto as interações entre período e margem e período, margem e ponto (Tabela 6).

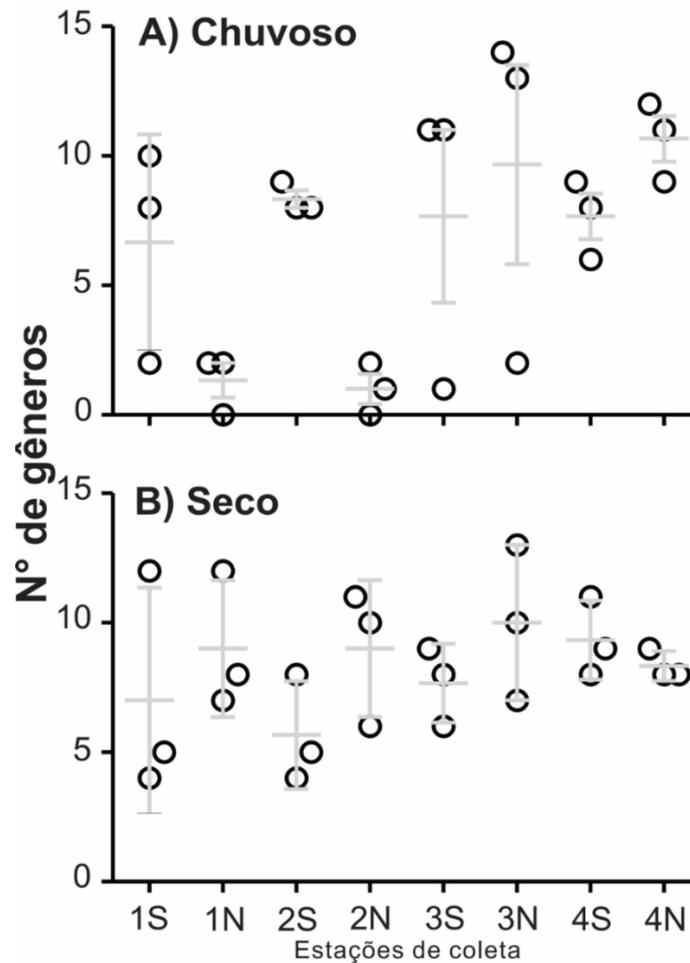


Figura 8. Variação espacial do número de gêneros nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

Entre os gêneros identificados em ambas as campanhas amostrais, *Daptonema* (8,19%), *Gomphonema* (6,48%), *Pseudolella* (19,28%), *Sabatieria* (8,53%), *Terschellingia* (19,45%) e *Sphaerolaimus* (8,87%) foram os mais abundantes no período chuvoso. No período seco, *Daptonema* (7,26%), *Gomphonema* (18,74%), *Pseudolella* (7,38%), *Sabatieria* (16,08%) e *Terschellingia* (15,72%) foram os mais abundantes (Tabela 7). Juntos, estes 6 gêneros representaram 70,81% da nematofauna total no período chuvoso e todos, exceto *Sphaerolaimus*, representaram 65,17% da nematofauna do período seco.

Tabela 6. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o número de gêneros no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando o período de coleta (seco-chuvoso), a margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4) como fatores. SS = soma dos quadrados; MS = média dos quadrados; F = parâmetro do teste; p = probabilidade associada. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fatores	GL	SS	MS	F	P
Período	1	33,333	33,333	3,2520	0,080758
Margem	1	0,083	0,083	0,0081	0,928717
Ponto	3	102,167	34,056	3,3225	0,031957
Período x margem	1	44,083	44,083	4,3008	0,046223
Período x ponto	3	40,500	13,500	1,3171	0,285920
Margem x ponto	3	35,750	11,917	1,1626	0,339226
Período x margem x ponto	3	98,083	32,694	3,1897	0,036764
Erro	32	328,000	10,250		
Total	47	682,000			

Tabela 7. Lista de gêneros em ordem alfabética e respectivas abundâncias relativas (%) nos períodos chuvoso e seco do estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Foram incluídos aqui os grupos tróficos e c-p valores de cada gênero.

Gêneros	Grupo Trófico	Valores c-p	Total Chuvoso	Abundância (%) chuvoso	Total Seco	Abundância (%) seco
<i>Axonolaimus</i>	1B	2	1	0,17	3	0,36
<i>Bathylaimus</i>	1B	2	9	1,54	0	0
<i>Bolbolaimus</i>	2A	3	5	0,85	0	0
<i>Bolbonema</i>	2A	3	0	0	1	0,12
<i>Cervonema</i>	1B	2	0	0	3	0,36
<i>Chromaspirinia</i>	2A	4	0	0	2	0,24
<i>Cobbia</i>	1B	3	1	0,17	0	0
<i>Daptonema</i>	1B	2	48	8,19	60	7,26
<i>Desmolaimus</i>	1B	2	4	0,68	0	0
<i>Diodontolaimus</i>	2A	4	0	0	3	0,36
<i>Dorylaimopsis</i>	2A	2	23	3,92	22	2,66
<i>Draconema</i>	1B	4	0	0	1	0,12
<i>Endeolophos</i>	2A	3	3	0,51	10	1,20
<i>Eleutherolaimus</i>	1B	2	0	0	1	0,12
<i>Eurystomina</i>	2B	4	0	0	1	0,12
<i>Filitonchus</i>	1A	2	2	0,34	0	0
<i>Gomphionema</i>	2A	2	38	6,48	155	18,74
<i>Halalaimus</i>	1A	4	0	0	1	0,12
<i>Hypodontolaimus</i>	2A	4	0	0	1	0,12
<i>Hopperia</i>	2A	2	7	1,19	1	0,12
<i>Laimella</i>	1B	2	9	1,54	3	0,36
<i>Linhomoeus</i>	2A	2	6	1,02	9	1,09
<i>Longicyatholaimus</i>	2A	3	1	0,17	0	0
<i>Marylynnia</i>	2A	3	3	0,51	11	1,33

<i>Mesacanthion</i>	2B	3	9	1,54	6	0,73
<i>Metachromadora</i>	2A	2	3	0,51	5	0,60
<i>Metacomesoma</i>	1B	2	0	0	1	0,12
<i>Metadesmolaimus</i>	1B	2	0	0	7	0,85
<i>Metasphaerolaimus</i>	2B	3	4	0,68	0	0
<i>Microlaimus</i>	2A	2	10	1,71	3	0,36
<i>Neotonchus</i>	2A	2	1	0,17	1	0,12
<i>Odontophora</i>	1B	2	4	0,68	0	0
<i>Omicronema</i>	1B	2	1	0,17	0	0
<i>Oncholaimellus</i>	2B	3	1	0,17	27	3,26
<i>Oncholaimus</i>	2B	4	2	0,34	0	0
<i>Oxystomina</i>	1A	4	2	0,34	5	0,60
<i>Paracomesoma</i>	1B	2	0	0	3	0,36
<i>Paracyatholaimoides</i>	2A	3	1	0,17	0	0
<i>Paracyatholaimus</i>	2A	2	9	0,54	36	4,35
<i>Polygastrophora</i>	2B	4	0	0	1	0,12
<i>Promonhystera</i>	1B	2	1	0,17	0	0
<i>Pseudochromadora</i>	2A	3	1	0,17	0	0
<i>Pseudolella</i>	1B	2	113	19,28	61	7,38
<i>Pseudosteineria</i>	1B	2	29	4,95	1	0,12
<i>Ptycholaimellus</i>	2A	3	1	0,17	4	0,48
<i>Retrotheristus</i>	1B	2	0	0	2	0,24
<i>Richtersia</i>	1B	3	1	0,17	0	0
<i>Rhynchonema</i>	1B	3	1	0,17	0	0
<i>Sabatieria</i>	1B	2	50	8,53	133	16,08
<i>Sphaerolaimus</i>	2B	3	52	8,87	24	2,90
<i>Spilophorella</i>	2A	2	0	0	3	0,36
<i>Spirinia</i>	2A	3	3	0,51	19	2,30
<i>Stylotheristus</i>	1B	2	1	0,17	0	0
<i>Terschellingia</i>	1A	3	114	19,45	130	15,72
<i>Thalassomonhystera</i>	1B	1	1	0,17	3	0,36
<i>Theristus</i>	1B	2	3	0,51	27	3,26
<i>Trefusia</i>	1A	4	3	0,51	9	1,09
<i>Trichotheristus</i>	1B	2	2	0,34	0	0
<i>Tricoma</i>	1A	4	0	0	1	0,12
<i>Viscosia</i>	2B	3	3	0,51	27	3,26
Destruídos / perdidos			48		50	

De acordo com a análise de agrupamento, houve maior separação das amostras no período seco em que foram formados 3 grupos e 4 subgrupos em comparação com os 4 do período chuvoso, mostrando que ocorreu uma tendência tanto de segregação entre os pontos da boca do estuário daqueles situados em áreas com manguezais quanto entre suas margens (Figura 9). O agrupamento para o período chuvoso indicou a separação completa do ponto 1 na margem sul da boca do estuário (grupo C), contudo, as réplicas 1S2 e 1S3 ficaram mais próximas entre si com mais de 40% de similaridade. Neste mesmo período, as réplicas 2N2 e 3N1 ficaram juntas formando o grupo A1 com mais de 40% de

similaridade e 1N1 e 1N2 (grupo A2) com cerca de 10% de similaridade (Figura 9A; Tabela 8). No período seco, o agrupamento amostral foi mais pronunciado separando as amostras do ponto 1 das margens sul e norte formando os grupos A e C, respectivamente. Ocorreu também a separação dos pontos 3S (B2), 2N (B3), e 3N (B4) (Figura 9B).

Tabela 8. Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para a estrutura da nematofauna, mostrando os gêneros que mais contribuíram com a formação dos grupos do cluster da figura (9A) no período chuvoso no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Grupos	Similaridade Média (%)	Gêneros	Contribuição (%)	Acumulado (%)
A1	47,74	<i>Laimella</i>	100	100
A2	33,33	<i>Sabatieria</i>	50	50
		<i>Spirinia</i>	50	100
B	51,41	<i>Terschellingia</i>	22,61	22,61
		<i>Daptonema</i>	16	38,62
		<i>Sphaerolaimus</i>	14,69	53,31
		<i>Pseudolella</i>	13,37	66,68
		<i>Gomphonema</i>	11,80	78,48
		<i>Dorylaimopsis</i>	7,11	85,58
		<i>Sabatieria</i>	6,39	91,97
		<i>Bolbolaimus</i>	1,74	93,72
		<i>Paracyatholaimus</i>	1,11	94,82
		<i>Hopperia</i>	1,07	95,89
		<i>Laimella</i>	1	96,89
		<i>Desmolaimus</i>	0,64	97,56
		<i>Microlaimus</i>	0,64	98,20
		<i>Pseudosteineria</i>	0,56	98,76
		<i>Endeolophos</i>	0,49	99,26
		<i>Metasphaerolaimus</i>	0,21	99,46
		<i>Odontophora</i>	0,20	99,66
		<i>Metachromadora</i>	0,19	99,85
		<i>Viscosia</i>	0,15	100
C	32,73	<i>Daptonema</i>	41,03	41,03
		<i>Pseudosteineria</i>	28,05	69,08
		<i>Mesacanthion</i>	11,53	80,61
		<i>Bathylaimus</i>	9,69	90,31
		<i>Trichotheistus</i>	9,69	100

No período chuvoso, os gêneros que mais contribuíram com as similaridades foram: *Laimella* (grupo A1); *Sabatieria* e *Spirinia* (grupo A2); *Terschellingia* e *Daptonema* (grupo B) e no grupo C, *Daptonema* e *Pseudosteineria* (Tabela 8). Os demais gêneros não passaram de 15% de contribuição. Para o período seco, o SIMPER mostrou que os gêneros que mais contribuíram com as similaridades foram: *Trefusia* e *Theristus*

(grupo A); *Gomphonema*, *Therschellingia* e *Pseudolella* (grupo B1); *Terschellingia*, *Pseudolella*, *Gomphonema*, *Sabatieria* e *Dorylaimopsis* (grupo B2); *Sabatieria*; *Daptonema*, *Terschellingia* e *Viscosia* (grupo B3), *Sabatieria* (B4) e *Oncholaimellus*, *Viscosia* e *Metadesmolaimus* (grupo C) (Tabela 9).

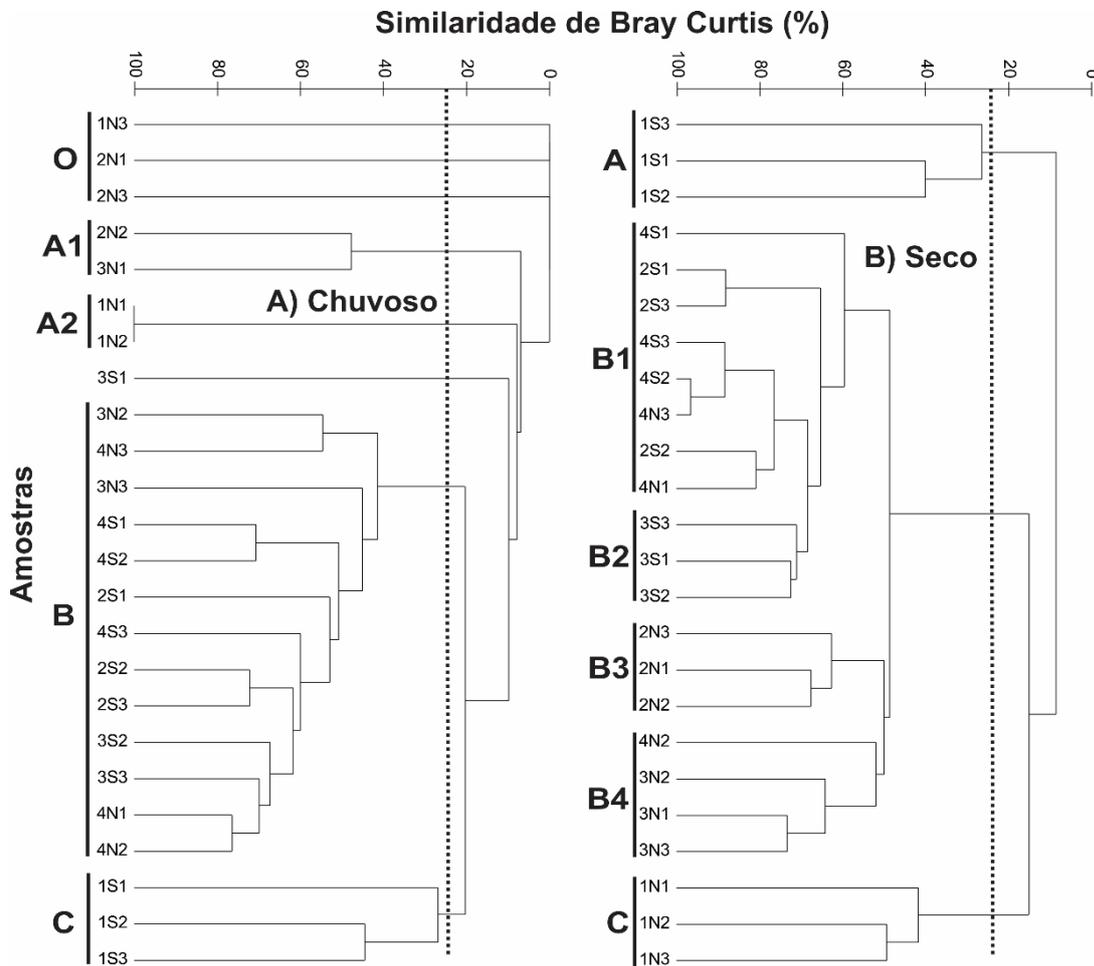


Figura 9. Agrupamento hierárquico das amostras de acordo com os gêneros da nematofauna no período chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Para o período chuvoso, grupos: A1, A2, B, C (>20% de similaridade) e O com 0% de similaridade (outliers). Para o período seco, grupos: A, B e C com >20% de similaridade. Notar que dentro do grupo B foram formados 4 subgrupos: B1, B2 e B3 (a partir de 60% de similaridade). As amostras foram nomeadas de acordo com o ponto (1-4), a margem (N-S) e a réplica (1-3) respectivamente.

Tabela 9. Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para a estrutura da nematofauna, mostrando os gêneros que mais contribuíram com a formação dos grupos do cluster da Figura (9B) no período seco no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Grupos	Similaridade Média (%)	Gêneros	Contribuição (%)	Acumulado (%)
A	30,97	<i>Trefusia</i>	45,07	45,07
		<i>Theristus</i>	18,41	63,49
		<i>Mesacanthiom</i>	13,99	77,48
		<i>Paracyatholaimus</i>	11,26	88,74
		<i>Spirinia</i>	11,26	100
B1	71,19	<i>Gomphonema</i>	23,37	23,37
		<i>Terschellingia</i>	20,88	44,25
		<i>Pseudolella</i>	16,27	60,53
		<i>Daptonema</i>	15,16	75,69
		<i>Sabatieria</i>	9,47	85,16
		<i>Sphaerolaimus</i>	6,95	92,11
		<i>Dorylaimopsis</i>	4,28	96,3
		<i>Paracyatholaimus</i>	2,44	98,83
		<i>Linhomoeus</i>	1,17	100
B2	71,44	<i>Terschellingia</i>	22,52	22,52
		<i>Pseudolella</i>	21,28	43,80
		<i>Gomphonema</i>	17,90	61,70
		<i>Sabatieria</i>	17,51	79,21
		<i>Dorylaimopsis</i>	16,02	95,23
		<i>Daptonema</i>	4,77	100
B3	57,48	<i>Sabatieria</i>	19,36	19,36
		<i>Daptonema</i>	17,14	36,50
		<i>Terschellingia</i>	17,09	53,60
		<i>Viscosia</i>	16,60	70,20
		<i>Paracyatholaimus</i>	10,89	81,09
		<i>Gomphonema</i>	8,94	90,03
		<i>Sphaerolaimus</i>	7,62	97,64
		<i>Linhomoeus</i>	2,36	100
B4	67,33	<i>Sabatieria</i>	17,79	17,79
		<i>Spirinia</i>	15,34	33,13
		<i>Daptonema</i>	14,93	48,06
		<i>Terschellingia</i>	13,03	61,09
		<i>Oncholaimellus</i>	12,30	73,39
		<i>Linhomoeus</i>	11,68	85,07
		<i>Paracyatholaimus</i>	11,68	96,76
		<i>Dorylaimopsis</i>	3,24	100
C	44,32	<i>Oncholaimellus</i>	31,08	31,08
		<i>Viscosia</i>	20,93	52,01
		<i>Metadesmolaimus</i>	19,86	71,86
		<i>Marylynnia</i>	8,30	80,17
		<i>Endeolophos</i>	6,76	86,93
		<i>Oxystomina</i>	6,76	93,69
		<i>Daptonema</i>	6,31	100

A análise de PERMANOVA indicou que a estrutura da nematofauna diferiu de acordo com todos os fatores testados e suas respectivas interações ($p < 0,05$), mostrando que as comunidades variaram de forma significativa tanto espacialmente (entre pontos de coleta e margens) quanto sazonalmente (entre períodos chuvoso e seco) no estuário (Tabela 10).

Tabela 10. Resultados da análise permutacional de variância (PERMANOVA) testando diferenças na estrutura da nematofauna no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando como fatores período de coleta (seco-chuvoso), margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4), bem como suas interações. **SS** = soma dos quadrados; **MS** = média dos quadrados; **F** = parâmetro do teste; **P** = probabilidade associada; **P(MC)** = probabilidade do teste de Monte Carlo. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fatores	GL	SS	MS	Pseudo-F	P (perm)	Perms	P (MC)
Período	1	5950,5	5950,5	4,5371	0,001	998	0,002
Ponto	3	26116	8705,2	6,6375	0,001	998	0,001
Margem	1	10305	10305	7,8574	0,001	999	0,001
Mês x ponto	3	11647	3882,3	2,9602	0,001	999	0,001
Mês x margem	1	3688,9	3688,9	2,8127	0,003	999	0,011
Ponto x margem	3	14070	4690	3,576	0,001	999	0,001
Per x marg x ponto	3	14340	4780	3,6446	0,001	998	0,001
Res	30	39346	1311,5				
Total	45	1,23295					

3.3.1 Índice de diversidade trófica

Os valores médios do IDT foram menores no período chuvoso variando de $0,25 \pm 0,35$ até $0,65 \pm 0,04$ com menor diversidade trófica no ponto 1 das margens sul e norte e no ponto 2 da margem norte com amplos desvios padrões (Figura 10A). No período seco, a diversidade trófica foi relativamente maior com valores médios do IDT não variando muito ao longo dos pontos e possuindo desvios pequenos (de $0,53 \pm 0,06$ a $0,65 \pm 0,04$) (Figura 10B). Diferenças significativas foram observadas entre os períodos de coleta (Tabela 11).

No geral, a composição da estrutura trófica não diferiu muito entre os dois períodos de coleta, havendo a dominância de detritívoros não seletivos 1B (*Daptonema*, *Pseudolella* e *Sabatieria*), seguidos de organismos raspadores 2A (*Gomphonema*). Ocorreu dominância do grupo trófico 1B em todas as estações do período chuvoso (47-67%) exceto na estação 1N em que foi codominante com 2A (50%) e 2S em que

predominaram os detritívoros seletivos (1A) (Figura 10A). No período seco ocorreram maiores dominâncias dos grupos tróficos 1B e 2A, onde 1B foi mais representativo nas estações 1S (49%), 3S (46%), 3N (53%), 4N (50%) e 2A predominou nas estações 2S (47%), 2N (58%) e 4S (42%). Nematódeos predadores/onívoros (2B) foram particularmente dominantes na estação 1N com 48% de contribuição (Figura 10B).

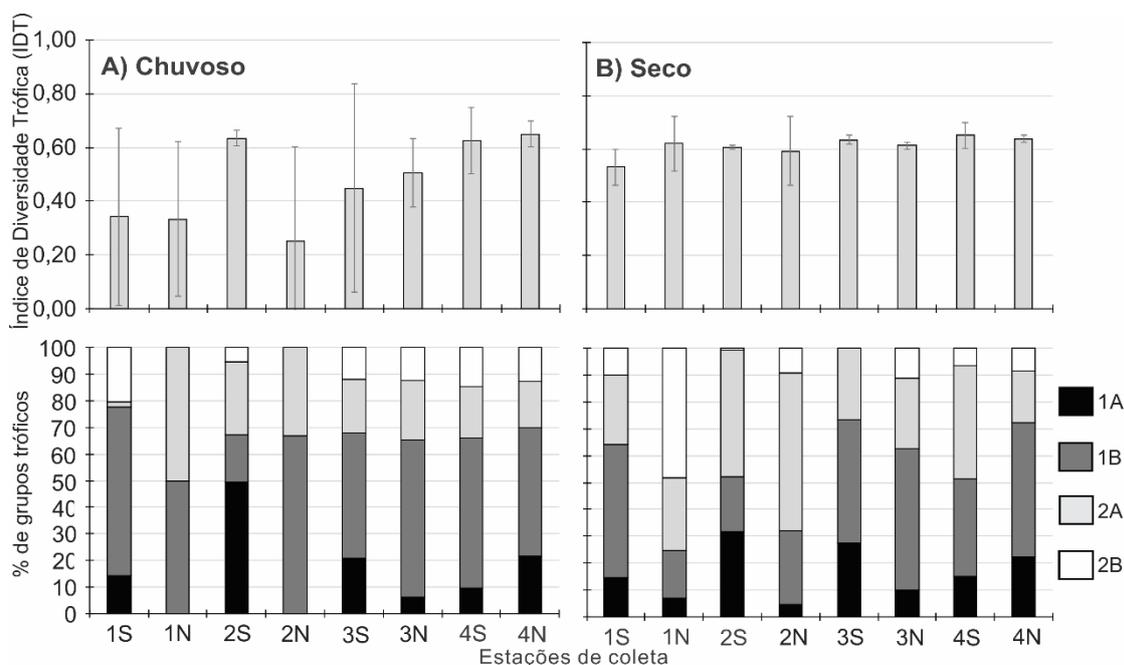


Figura 10. Variação espacial das médias (\pm desvio padrão) do índice de diversidade trófica e porcentagem de contribuição dos grupos tróficos nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Tabela 11. Resultados da análise de variância (ANOVA) do índice de diversidade trófica no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando o período de coleta (seco-chuvoso), a margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4) como fatores. **SS** = soma dos quadrados; **MS** = média dos quadrados; **F** = parâmetro do teste; **P** = probabilidade associada. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fatores	GL	SS	MS	F	P
Período	1	0,26198	026,198	8,4214	0,006660
Margem	1	0,02413	0,02,413	0,7755	0,385077
Ponto	3	0,22690	0,07563	2,4312	0,083191
Período x margem	1	0,03574	0,03574	1,1489	0,291805
Período x ponto	3	0,09149	0,03050	0,9803	0,414251
Margem x ponto	3	0,15551	0,05184	1,6663	0,193845
Período x margem x ponto	3	0,13225	0,04408	1,4171	0,255835
Erro	32	0,99547	0,03111		

3.3.2 Índice de maturidade

O IM apresentou médias menores no período chuvoso com amplos desvios padrões, oscilando entre $1,16 \pm 1,25$ e $2,58 \pm 0,09$, o que indica baixa qualidade ecológica especialmente nos pontos 1 e 2 da margem norte (Figura 11A). No período seco as médias indicaram boa qualidade ecológica em todas as estações variando entre $2,20 \pm 0,04$ e $2,80 \pm 0,26$ (Figura 11B). Não foram observadas diferenças significativas de acordo com os fatores testados (Tabela 12). Houve dominância dos gêneros c-p2 com 18-84% de contribuição (*Daptonema*, *Gomphonema* e *Sabatieria*) seguidos dos gêneros c-p3 (*Sphaerolaimus*, *Terschellingia* e *Endeolophos*) que foram particularmente dominantes nos pontos 1N e 2S (período chuvoso) e 1N (período seco) (Figura 11)

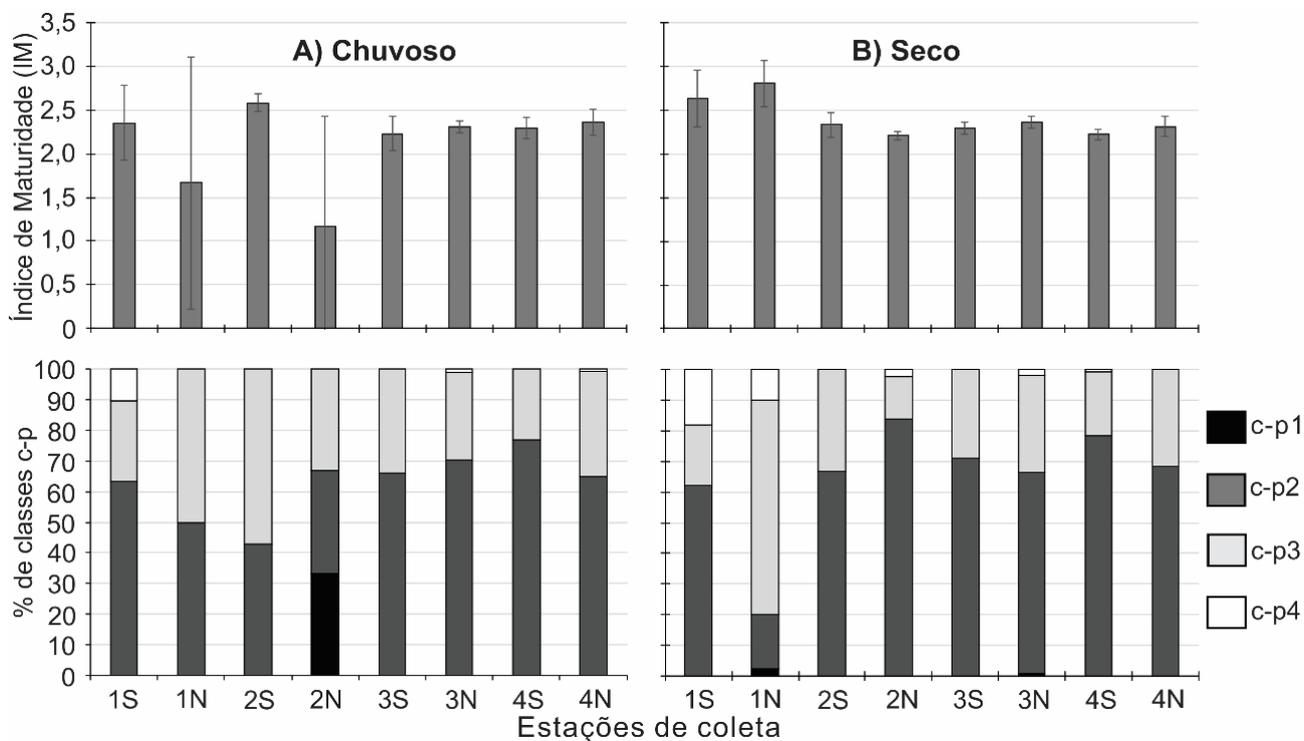


Figura 11. Variação espacial das médias do índice de maturidade (\pm desvio padrão) e porcentagem de contribuição das diferentes classes c-p nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Tabela 12. Resultados da análise de variância (ANOVA) do índice de maturidade no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, considerando o período de coleta (seco-chuvoso), a margem (norte-sul) e os pontos de coleta (1-4) como fatores. **SS** = soma dos quadrados; **MS** = média dos quadrados; **F** = parâmetro do teste; **P** = probabilidade associada. Considerado significativo se $p < 0,05$ (em negrito).

Fatores	GL	SS	MS	F	P
Período	1	0,9167	0,9167	3,5212	0,069734
Margem	1	0,5706	0,5706	2,1916	0,148546
Ponto	3	0,5846	0,1949	0,7484	0,531296
Período x margem	1	0,8761	0,8761	3,3652	0,075901
Período x ponto	3	1,0817	0,3606	1,3849	0,265161
Margem x ponto	3	1,4420	0,4807	1,8462	0,158665
Período x margem x ponto	3	0,9195	0,3065	1,1773	0,333754
Erro	32	8,3311	0,2603		

3.3.3 Relação com variáveis ambientais

Os quatro primeiros eixos canônicos explicaram 71,0% da variância dos táxons (Tabela 13; Figura 12). As relações foram significativas tanto considerando todos os eixos ($p = 0,003$) quanto apenas o primeiro ($p = 0,01$). O primeiro eixo explicou 43,1% e foi relacionado negativamente com matéria orgânica, silte e argila e areia muito fina. O segundo eixo explicou 11,3% e esteve relacionado negativamente com temperatura e positivamente com salinidade. Os gêneros *Terschellingia*, *Sphaerolaimus*, *Dorylaimopsis*, *Pseudolella* e *Gomphonema* ficaram estreitamente associados com matéria orgânica, areia muito fina e silte e argila, enquanto *Paracytholaimus* e *Axonolaimus* ficaram negativamente relacionados com temperatura e positivamente com salinidade. *Linhomoeus* e *Spirinia* foram positivamente relacionados com salinidade e areia fina e *Trefusia*, *Metadesmolaimus*, *Viscosia* e *Oncholaimellus* tiveram uma relação mais estreita com areia média, apesar de ter sido relativamente mais fraca (Figura 12).

3.3.4 Estrutura populacional

Para analisar a estrutura populacional da nematofauna foram considerados os gêneros mais representativos: *Daptonema*, *Gomphonema*, *Sabatieria*, *Pseudolella*, *Terschellingia* e *Sphaerolaimus* (Tabela 7). No geral, as densidades populacionais seguiram o mesmo padrão espacial de distribuição em ambos os períodos de coleta, aumentando a partir do primeiro ponto das margens sul e norte para aqueles situados em áreas com manguezais (2S, 2N, 3S, 3N, 4S e 4N) (diferenças entre os pontos foram significativas: $p < 0,05$). *Gomphonema*, *Pseudolella* e *Sphaerolaimus* não ocorreram na

boca do estuário em nenhum dos períodos de coleta e houve dominância de estágios juvenis em todas as populações.

Tabela 13. Resumo da Análise de Redundância (ARD) entre as variáveis ambientais e abundâncias de gêneros com mais de 12% de frequência de ocorrência no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Resumo ARD	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Autovalores	0,431	0,113	0,090	0,077
Correlações táxons-ambiente	0,972	0,917	0,952	0,900
Explicação da variância (%)				
Táxons	43,1	54,4	63,3	71,0
Relações táxons-ambiente	52,4	66,1	77,0	86,3
Correlações com variáveis ambientais				
Oxigênio dissolvido	0,5638	0,2323	0,5379	0,1371
Temperatura	0,2645	-0,5765	-0,1535	-0,0678
Salinidade	0,1589	0,4724	0,4350	0,2910
Matéria orgânica	-0,8473	-0,4313	-0,0023	0,0393
Cascalho	-0,1990	0,1824	0,5415	-0,3018
Areia muito grossa	-0,5318	-0,1219	0,0938	-0,2028
Areia grossa	0,1987	-0,3440	0,4698	0,4010
Areia média	0,8849	0,0764	-0,1066	0,0143
Areia fina	0,3465	0,4015	-0,4038	-0,5568
Areia muito fina	-0,8869	-0,0034	-0,0332	0,1426
Silte e argila	-0,9162	-0,2227	0,0625	0,1316

No período chuvoso as densidades médias de *Daptonema* em cada ponto variaram de $0,30 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 3S até $4,24 \pm 1,89$ inds.10 cm⁻² na 4N (Figura 13A), com maiores percentuais de juvenis nas estações 1S (60%), 2S (50%) e 3N (50%). Fêmeas foram representativas no ponto 3S com 100% de dominância, enquanto fêmeas grávidas foram os estágios menos abundantes, ocorrendo apenas nas estações 1S (20%) e 4N (7%) (Figura 13A). Não ocorreu nenhum indivíduo nos pontos 1N e 2N. No período seco, as densidades flutuaram de $0,90 \pm 0,90$ inds.10 cm⁻² na estação 1N até $5,75 \pm 1,04$ inds.10 cm⁻² na 4S (Figura 13B), com maior dominância de juvenis em todas as estações (63%-100%) exceto em 1S em que não ocorreu *Daptonema*. Machos foram mais abundantes (5-33%) do que fêmeas (9-21%) e fêmeas grávidas (11-13%) (Figura 13B). Diferenças significativas foram observadas tanto considerando os pontos de coleta ($p < 0,001$) quanto as interações entre margem e ponto ($p = 0,03$) e período, margem e ponto ($p < 0,001$).

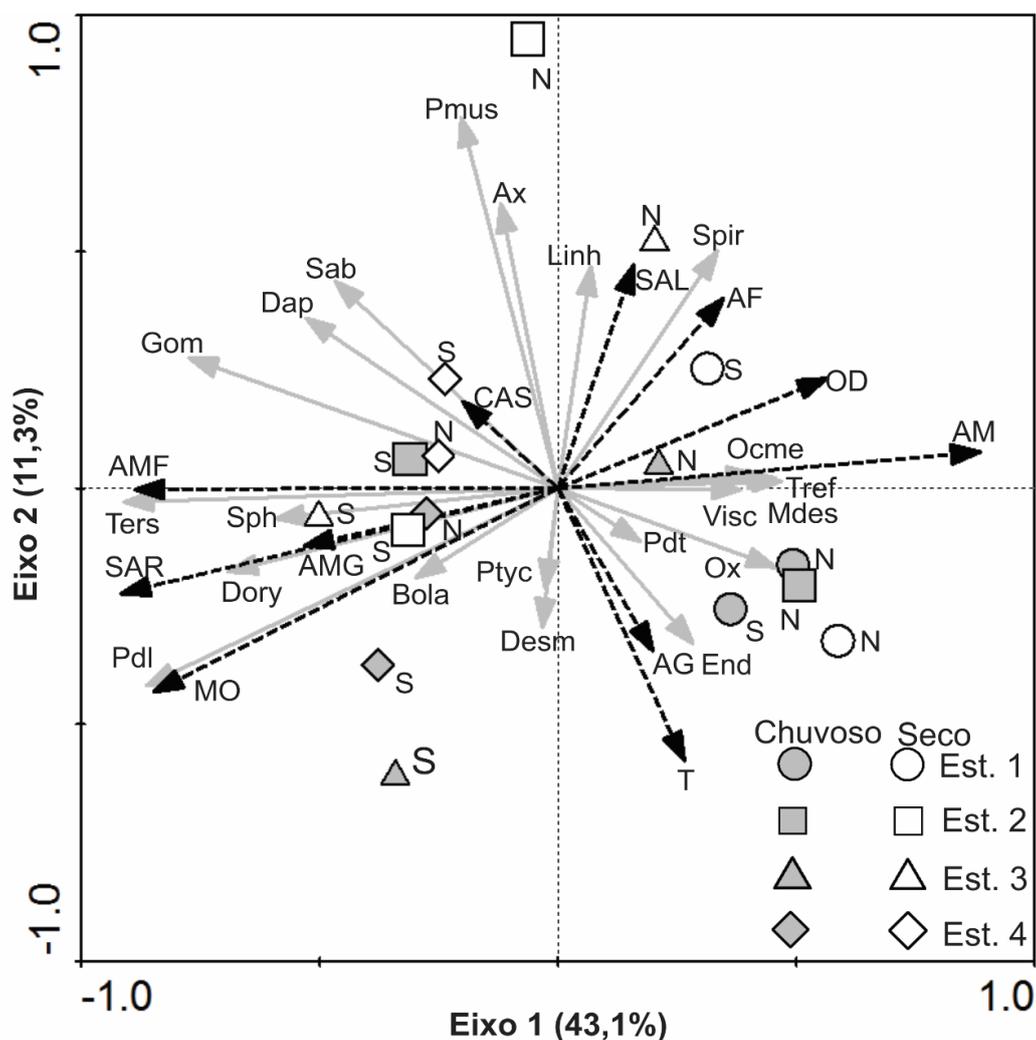


Figura 12. Gráfico do primeiro e segundo eixos canônicos da análise de redundância entre as abundâncias dos gêneros com mais de 12% de frequência de ocorrência (vetores cinza contínuos) e variáveis explicativas (vetores escuros tracejados), junto com a distribuição das amostras (símbolos de acordo com a legenda). O percentual da variação dos dados explicados por cada um dos eixos é mostrado entre parênteses. Abreviações: **Dapt** = *Daptonema*; **Gom** = *Gomphonema*; **Sab** = *Sabatieria*; **Pmus** = *Paracyatholaimus*; **Ax** = *Axonolaimus*; **Linh** = *Linhomoeus*; **Spir** = *Spirinia*; **Ocme** = *Oncholaimellus*; **Tref** = *Trefusia*; **Mdes** = *Metadesmolaimus*; **Visc** = *Viscosia*; **Ox** = *Oxystomina*; **Pdt** = *Pseudosteineria*; **End** = *Endeolophos*; **Desm** = *Desmolaimus*; **Ptyc** = *Ptycholaimellus*; **Bola** = *Bolbolaimus*; **Dory** = *Dorylaimus*; **Sph** = *Sphaerolaimus*; **Ters** = *Terschellingia* e **Pdl** = *Pseudolella*. **S** = margem sul; **N** = margem norte; **SAL** = salinidade; **MO** = matéria orgânica; **T** = temperatura; **OD** = oxigênio dissolvido; **CAS** = cascalho; **AMG** = areia muito grossa; **AG** = areia grossa; **AM** = areia média; **AF** = areia fina; **AMF** = areia muito fina e **SAR** = silte e argila.

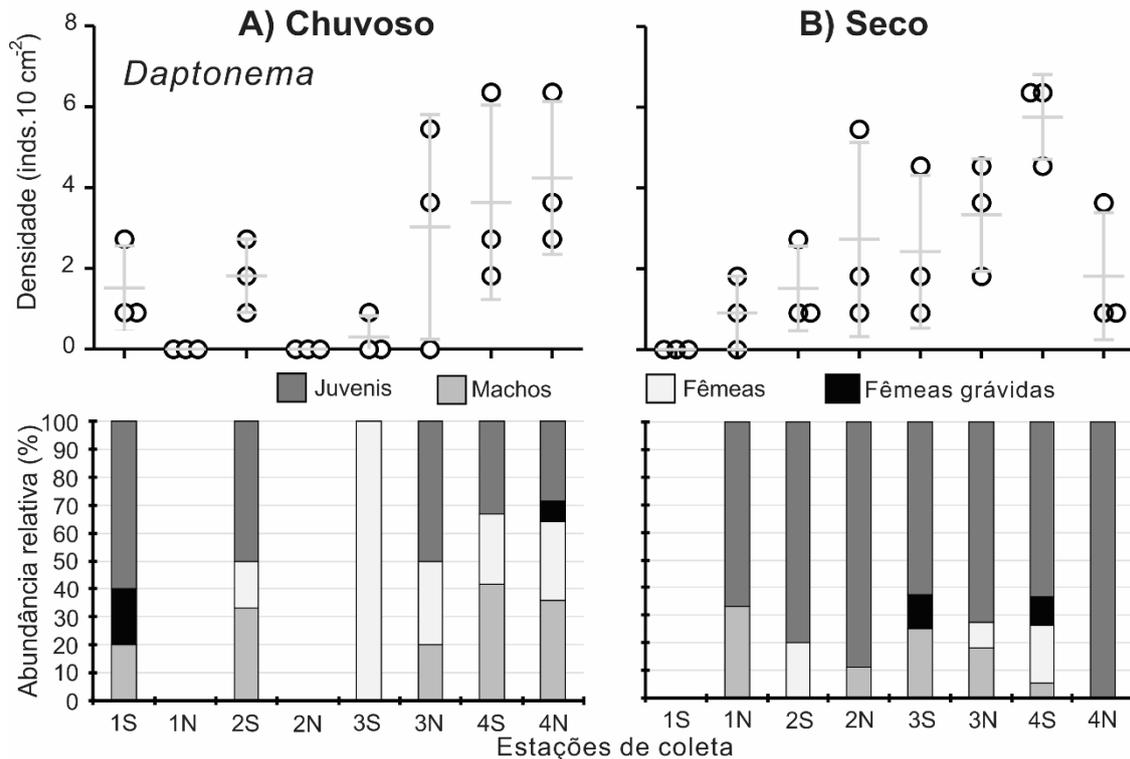


Figura 13. Variação espacial das densidades de *Daptonema* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

Na campanha chuvosa, as densidades médias do gênero *Gomphonema* variaram de $0,60 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 4N até $5,15 \pm 8,14$ inds.10 cm⁻² na 4S (Figura 14A), com dominância de estágios juvenis em todas as estações em que ocorreram (60-100%). Fêmeas foram mais abundantes (12-27%) do que fêmeas grávidas (9-24%) e machos (20%) (Figura 14A). No período seco, as densidades oscilaram de $0,60 \pm 1,04$ inds.10 cm⁻² na estação 3N até $17,87 \pm 2,92$ inds.10 cm⁻² na 2S (Figura 14B). Os juvenis foram o estágio dominante em todas as estações (49%-100%) exceto no ponto 2S onde fêmeas dominaram com 51% e em 1S e 1N, pontos em que não foi registrado nenhum indivíduo deste gênero. *Gomphonema* machos foram mais raros no período seco com apenas 2,5% na estação 4S (Figura 14B). Diferenças significativas foram observadas tanto considerando o período ($p < 0,001$), a margem ($p < 0,001$) e os pontos de coleta ($p < 0,001$), quanto a interação entre período e pontos ($p < 0,02$).

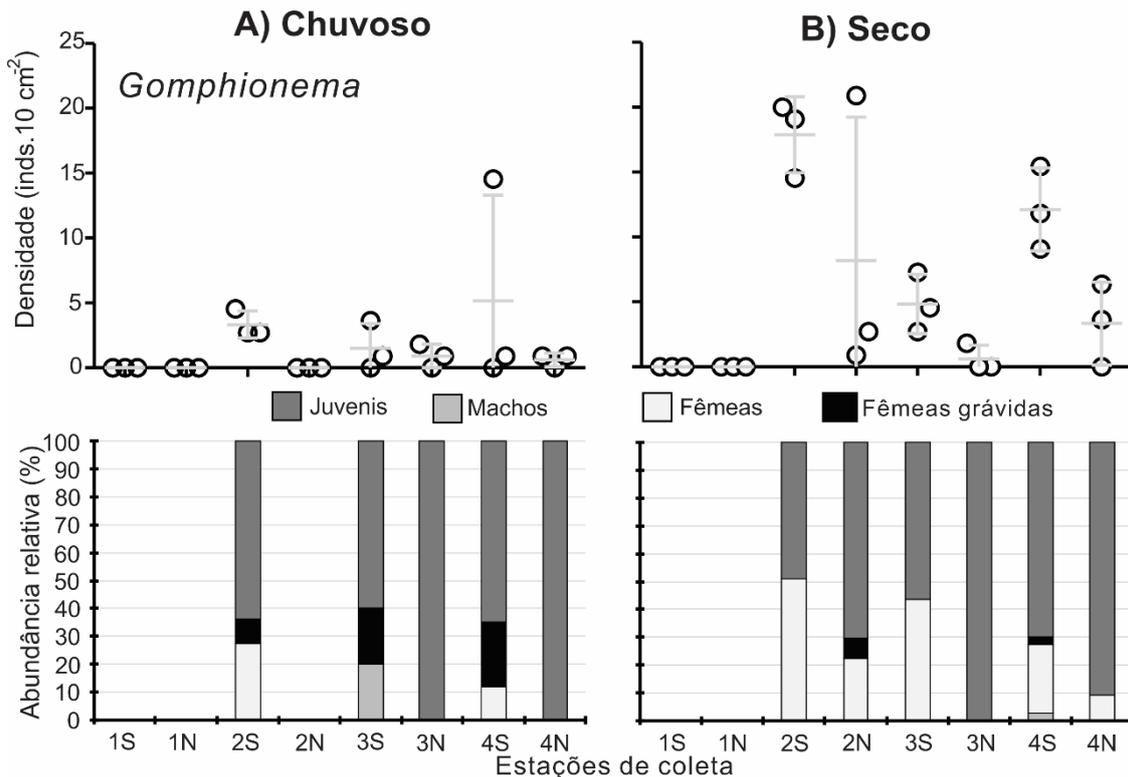


Figura 14. Variação espacial das densidades de *Gomphonema* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

No período chuvoso, as densidades médias de *Pseudolella* ficaram entre $1,81 \pm 1,57$ inds.10 cm⁻² na estação 2S e $16,36 \pm 13,75$ inds.10 cm⁻² na 3S (Figura 15A). Jovens de *Pseudolella* foram dominantes nas estações 2S (50%), 3S (44%), 4S (74%) e possuíram as maiores proporções juntamente com fêmeas na estação 4N (35,7%), enquanto machos variaram de 7,7% na estação 4S a 33% em 2S e fêmeas grávidas de 1,9% em 3S a 10% em 4S (Figura 15A). Nas estações 1S, 1N, 2N e 3N não ocorreu nenhum indivíduo do gênero. No período seco, as densidades médias foram de $0,30 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 3N até $9,09 \pm 3,63$ inds.10 cm⁻² na 3S (Figura 15B). Os juvenis foram o estágio dominante em todas as estações (41,6-100%) com exceção das estações 1S, 1N e 2N em que não ocorreu nenhum indivíduo para o gênero. Em seguida, machos foram mais abundantes (10-25%), depois fêmeas (6,6-16,6%) e fêmeas grávidas (6,6-16,6%) (Figura 15B). As diferenças entre as margens, pontos de coleta, bem como a interação entre estes dois fatores foram significativas ($p < 0,001$).

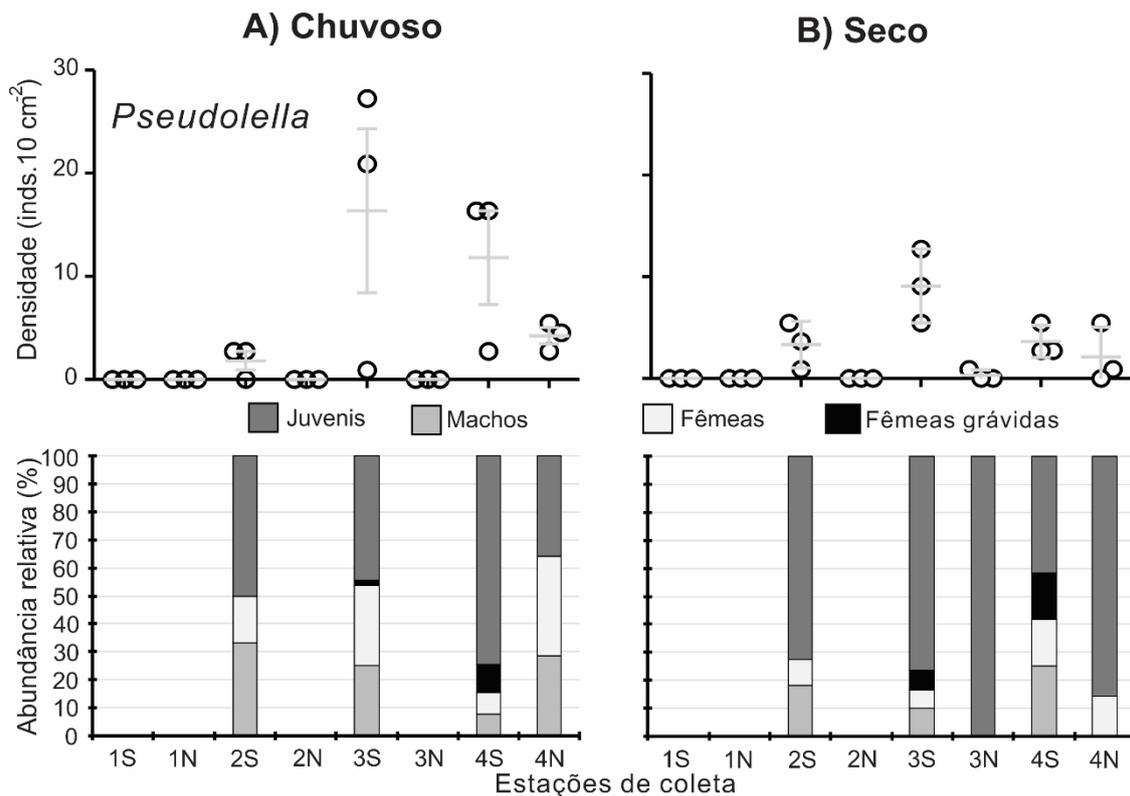


Figura 15. Variação espacial das densidades de *Pseudolella* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

Na campanha chuvosa, as densidades do gênero *Sabatieria* variaram de $0,60 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 1N até $6,36 \pm 6,36$ inds.10 cm⁻² na 4N (Figura 16A), com maiores percentuais de juvenis (20-100%), seguidos de fêmeas (7-60%), fêmeas grávidas (4-100%) e machos (7-33%) (Figura 16A). Na estação 2N não foi registrado nenhum indivíduo para o gênero. No período seco, as densidades oscilaram de $0,30 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 1N até $14,54 \pm 11,02$ inds.10 cm⁻² na 3N (Figura 16B). Os juvenis foram o estágio dominante em todas as estações (70-100%) com exceção da estação 1S em que não ocorreu nenhum indivíduo do gênero. Em seguida, fêmeas foram mais abundantes (7,8-21%), depois machos (4-16,6%) e fêmeas grávidas (5-10%) (Figura 16B). As variações foram significativas tanto sazonalmente ($p < 0,001$) quanto considerando os pontos de coleta ($p = 0,002$).

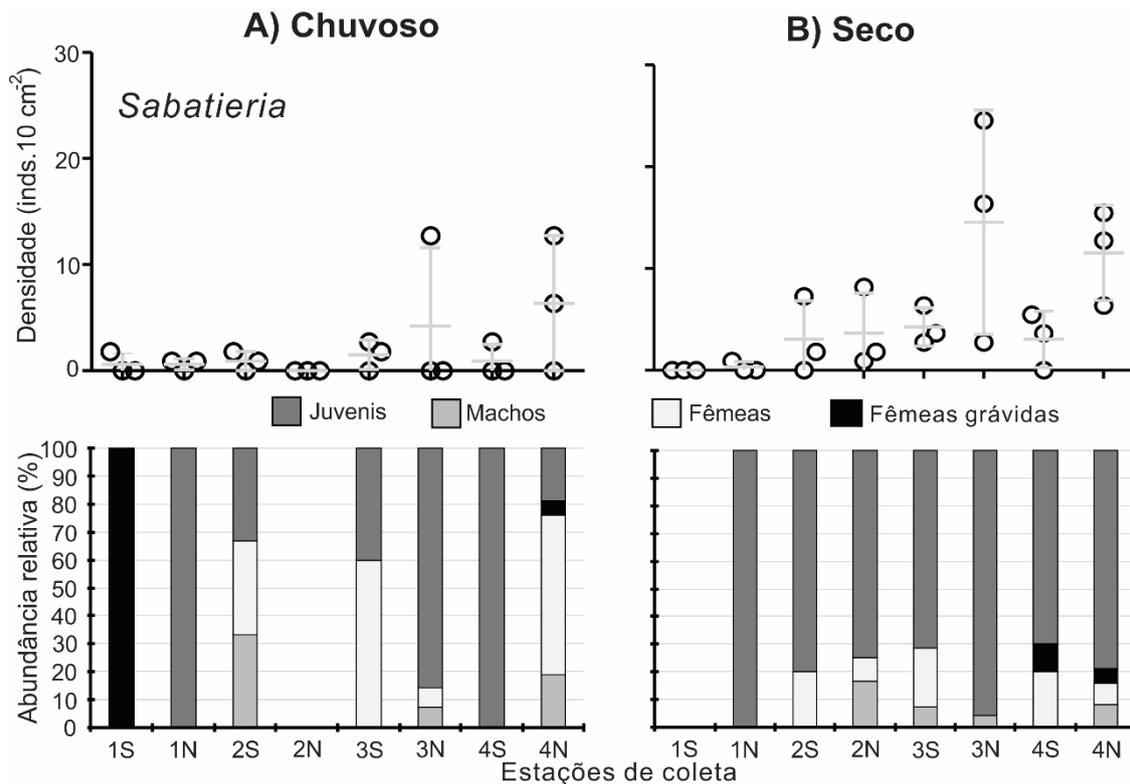


Figura 16. Variação espacial das densidades de *Sabatieria* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

Na campanha chuvosa, as densidades do gênero *Terschellingia* variaram de $0,90 \pm 1,57$ inds.10 cm⁻² na estação 1S até $13,63 \pm 0,90$ inds.10 cm⁻² na 2S (Figura 17A). Os maiores percentuais foram de juvenis (35,7-100%) seguidos de machos (20-34,7%), fêmeas (10-32%) e fêmeas grávidas (4-7%) (Figura 17A). Nos pontos 1N e 2N não foi registrado nenhum indivíduo do gênero. No período seco, as densidades oscilaram de $0,30 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 1S até $12,42 \pm 6,82$ inds.10 cm⁻² na 2S (Figura 17B). Ocorreu dominância de jovens em todas as estações (50-100%), seguidos de machos (6-27%), fêmeas (5,8-20%) e fêmeas grávidas (3-9%). No ponto 1N não ocorreram nematódeos deste gênero (Figura 17B). As diferenças entre as margens, pontos de coleta, bem como a interação entre estes dois fatores foram significativas ($p < 0,001$).

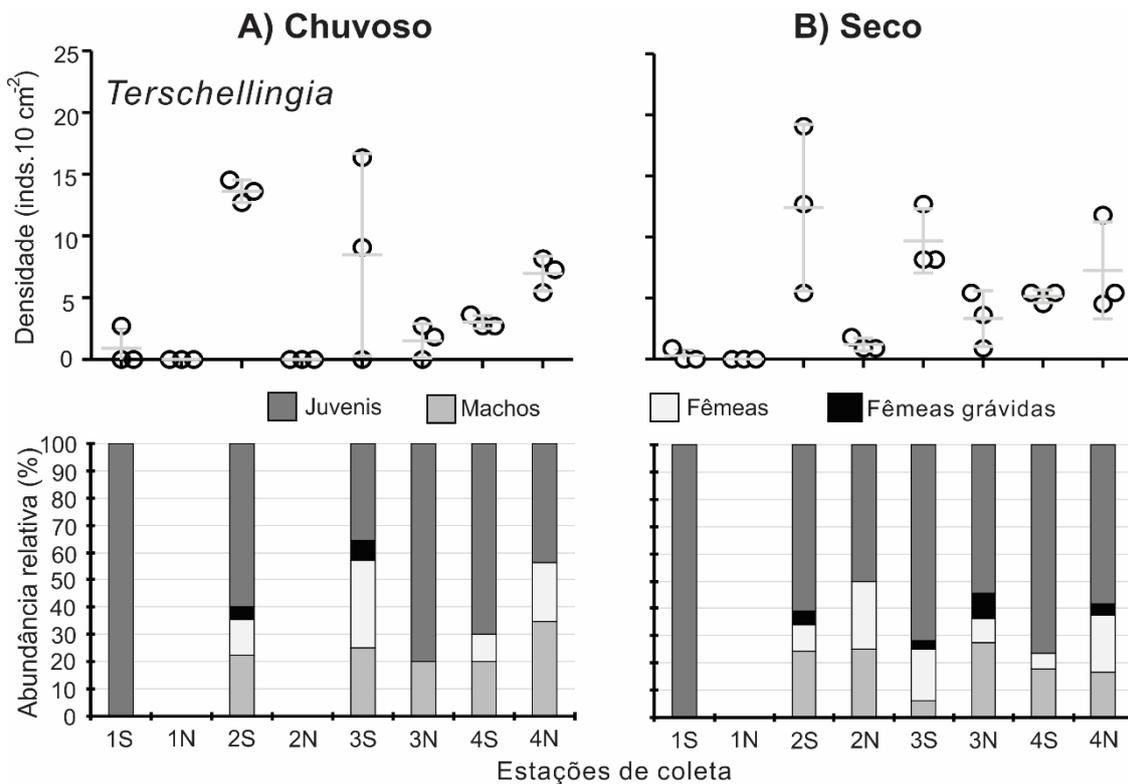


Figura 17. Variação espacial das densidades de *Terschellingia* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

Na campanha chuvosa, as densidades do gênero *Sphaerolaimus* variaram de $0,60 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 2S até $4,84 \pm 5,55$ inds.10 cm⁻² na 3S (Figura 18A). Fêmeas e juvenis foram codominantes no ponto 2S (50%) assim como machos e fêmeas na estação 3S (35%). Machos foram absolutamente dominantes em 3N (100%) e dominantes em 4N (57%) enquanto juvenis predominaram apenas no 4S (64%) (Figura 18A). No período seco, as densidades oscilaram de $0,30 \pm 0,52$ inds.10 cm⁻² na estação 2S até $2,42 \pm 1,89$ inds.10 cm⁻² na 4S (Figura 18B). Ocorreu dominância de jovens em todas as estações (67-100%) exceto no ponto 4S em que houve codominância com machos (50%). Nos pontos 1S, 1N e 3S não ocorreram nematódeos pertencentes a este gênero (Figura 18B). Diferenças significativas ocorreram somente entre os pontos de coleta ($p < 0,001$).

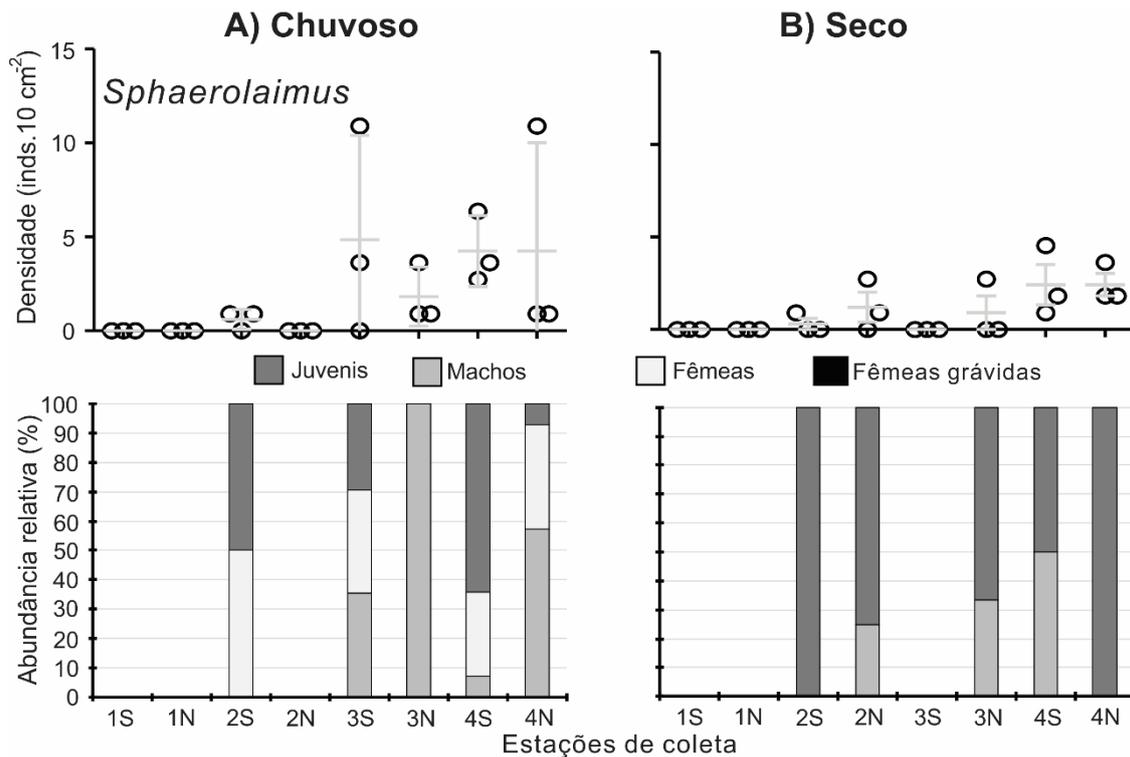


Figura 18. Variação espacial das densidades de *Sphaerolaimus* e sua estrutura populacional nos períodos chuvoso (A) e seco (B) no estuário do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. Cada círculo representa uma réplica e as linhas são a média e o desvio padrão.

4. Discussão

No período chuvoso, o elevado índice pluviométrico provocou um aumento da carga orgânica poluidora e um pronunciado gradiente de salinidade no estuário causando elevação no grau de eutrofização (MIRANDA et al., 2002). No presente estudo foi observada uma resposta clara da nematofauna tanto na abundância, quanto na diversidade taxonômica e funcional. Os resultados de granulometria influenciaram diretamente nas proporções da matéria orgânica, nos quais o aumento da variedade granulométrica e consequentemente de partículas mais finas esteve associado com os maiores percentuais da MO (Tabelas 4 e 13; Figuras 7 e 12), produzindo gradientes com valores aumentando da boca do estuário para as áreas de mangue em ambas as campanhas amostrais (Figura 3D). A meiofauna foi mais abundante no período seco e a diversidade dos Nematoda foi alta com um total de 60 gêneros. Não ocorreram variações sazonais na diversidade, mas diferenças significativas na composição e estrutura da comunidade. O índice de maturidade (IM) e o índice de diversidade trófica (IDT) indicaram que o ERM esteve

mais eutrofizado no período chuvoso. No geral, a meiofauna e a nematofauna estiveram mais estreitamente associadas com a granulometria e matéria orgânica. Na estrutura populacional dos nematódeos mais abundantes ocorreu a dominância de estágios juvenis em ambas as campanhas amostrais.

4.1 Fatores abióticos e matéria orgânica

O gradiente salino foi claro apenas no período chuvoso em que os valores foram significativamente distintos da boca do estuário à montante no rio e pouco pronunciado no período seco onde a salinidade manteve-se alta (≥ 30). Estes diferentes padrões de salinidade são esperados em um estuário relativamente simples formado por um único canal e ausência de irregularidades morfológicas em sua seção terminal (COOPER, 2001; ADÃO et al., 2009), o que pode permitir que a influência do mar se estenda por quilômetros a partir da foz do rio (PAULA et al., 2006), dependendo, entre outras coisas, das características locais de geomorfologia e de maré (COOPER, 2001). Os maiores valores de salinidade, temperatura e oxigênio (estação 1N) estão associados a formação de poças de maré em que ocorre maior evaporação da água. Com relação às máximas de oxigênio dissolvido nesta estação, este resultado pode ser explicado devido a maior transparência da água e pelas poças serem rasas (JOUILI et al., 2016).

As maiores proporções de areias média e fina na estação 1S (margem sul) de ambos os períodos de coleta são resultadas da baixa influência da ação das ondas e deposição de material sedimentar (GIERE, 2009), uma vez que a região da foz do Rio Mamanguape possui um cordão recifal de natureza arenítica que se estende paralelamente à boca do estuário por cerca 8,5 km de extensão (SILVA, 2002) e é formada por praias dissipativas, servindo de barreira de proteção contra a arrebentação das ondas (SILVA et al., 1997). Praias dissipativas possuem várias características peculiares, entre as quais: baixo teor de oxigênio no sedimento; o diâmetro dos grãos tende a ser menor (de areia média a areia fina); infiltração e velocidade da água nos interstícios são baixas; a camada de descontinuidade do potencial redox é pouco profunda e a meiofauna é abundante apenas nos primeiros centímetros na superfície do sedimento (MCLACHLAN, 1980).

Na boca do estuário, devido aos sedimentos serem mais grosseiros, existe uma tendência de que menos matéria orgânica seja acumulada em comparação com áreas em que as partículas são muito finas especialmente em locais com manguezais (LITTLE, 2000). Ou seja, o aumento da concentração da matéria orgânica é sempre proporcional ao aumento de percentuais de lama nos sedimentos (SEMPRUCCI et al., 2016; JOUILI et

al., 2016). Assim, no presente estudo, os maiores valores de MO foram sempre associados com maiores porcentagens de areia muito fina e silte e argila nas áreas com manguezais, especialmente na margem sul do estuário enquanto que os menores valores ocorreram nas estações 1S e 1N com maiores concentrações de areias média e grossa.

4.2 Estrutura da meiofauna

A meiofauna é a unidade ecológica mais diversificada e abundante entre os animais do bentos marinho, sendo constituída por cerca de 24 dos 35 filos de Metazoa conhecidos (SEMPRUCCI et al., 2016). No ERM ela foi caracterizada por 10 táxons: Nematoda, Tardigrada, Ostracoda, Turbellaria, Copepoda, Oligochaeta, náuplios, Gastrotricha, Acari e Polychaeta. A diversidade de grandes grupos foi considerável e semelhante às encontradas em outros estuários tropicais no Brasil, como 14 no estuário do Rio Formoso (VASCONCELOS et al., 2011) e no Canal de Santa Cruz, Pernambuco (GOMES et al., 2002). Em outros estuários do mundo, como por exemplo o Rio Mekong no Vietnã (QUANG et al., 2010), na Lagoa de Veneza na Itália (SEMPRUCCI et al., 2016) e no estuário de Mondego, Portugal (ALVES et al., 2009) foram encontrados 12 táxons.

Os resultados encontrados aqui indicam maiores abundâncias no período seco, corroborando os dados de outros estuários tropicais do Atlântico Sudoeste, como por exemplo o estuário do Rio Carrapicho (ALMEIDA, 1999; ALVES, 2009) e o Complexo Estuarino da Bacia do Pina (CASTRO, 2003). No geral, a meiofauna possuiu amplos desvios padrões especialmente nos pontos com maiores densidades o que sugere que as comunidades não estão distribuídas homogeneamente, e sim, de forma concentrada em determinados pontos. Diferenças significativas foram observadas tanto considerando o período amostral quanto a margem bem como a interação entre margem e ponto. Apenas em Nematoda ocorreram diferenças significativas entre as estações de coleta.

Os valores médios da meiofauna em sedimentos de praias arenosas pode variar entre 1000 e 2000 inds.10 cm⁻² (SILVA et al., 1997), sendo que em sedimentos estuarinos, ela pode ser ainda mais abundante apresentando até 10⁴ inds.10 cm⁻² (COULL, 1999). As densidades médias do meiobentos no ERM variaram entre 8,48 ± 1,39 e 148,48 ± 99,02 inds.10 cm⁻² no período chuvoso e entre 37,27 ± 28,73 e 314,24 ± 168,67 inds.10 cm⁻² no seco. Esses valores foram relativamente baixos em comparação com outros trabalhos, nos quais foram encontrados de 14 a 3168 inds.10 cm⁻² (ALONGI, 1987; SOETAERT et al., 1994; UDALOV et al., 2005; ALVES et al., 2009; QUANG et al., 2010).

A meiofauna é constituída por grupos heterogêneos que vivem integrados no ambiente intersticial. Suas adaptações convergiram sob as mesmas pressões seletivas, possibilitando que seu padrão de distribuição seja influenciado por uma complexa combinação de fatores (SILVA et al., 1997). Neste estudo, o padrão de distribuição dos táxons foi altamente influenciado pelo efeito sinérgico da granulometria e matéria orgânica. Estas tendências foram testadas através da análise de redundância indicando fortes associações entre Nematoda, silte e argila, areia muito fina e matéria orgânica e entre Oligochaeta e Turbellaria com areias fina e média (Tabela 4; Figura 7). Estes resultados foram semelhantes aos encontrados em (ALVES et al., 2009; INGELS et al., 2009; ARMENTEROS et al., 2009) que também mostraram que a disponibilidade de alimentos (MO) e granulometria explicaram as altas densidades da meiofauna.

As maiores relações entre os Oligochaeta e Turbellaria e frações finas e médias do sedimento, observadas aqui, são explicadas por estes animais possuírem planos corpóreos adaptados para viver nos interstícios mais grosseiros, com pouca umidade, uma vez que resistem bem a dessecação (SILVA et al., 1997) e em geral têm maiores tamanhos. Já os nematódeos podem até ultrapassar a camada de descontinuidade do potencial redox nas áreas lamacentas de mangue (SILVA et al., 1997) onde a disponibilidade de alimento parece ser um dos parâmetros mais fortes que explicam suas mudanças de densidade e alta diversidade trófica (HEIP et al., 1985), o que corrobora os dados levantados neste estudo.

O gradiente de salinidade, apesar de ter sido claramente detectado no período chuvoso, influenciou menos nos padrões de densidade da meiofauna e nematofauna no ERM, resultados contrários aos de outros trabalhos (AUSTEN & WARWICK, 1989; ADÃO et al., 2009; NETTO & FONSECA, 2017) que observaram forte relação da salinidade com a distribuição dos nematódeos. Os dados concordaram ligeiramente com os de Alves et al. (2009) em que além da matéria orgânica e silte e argila, conforme o observado aqui, a salinidade também foi determinante na distribuição espacial da meiofauna.

4.3 Estrutura da nematofauna

Geralmente os nematódeos têm as densidades mais altas (até 1000 inds.10 cm²) e maior diversidade entre os organismos da meiofauna em todos os ambientes aquáticos (GIERE 2009), especialmente na zona entremarés de estuários (SEMPRUCCI et al., 2016; JOUILI et al., 2016). De forma similar, os Nematoda foram os representantes quase

absolutos da meiofauna no ERM nos dois períodos de coleta (45-100%), atingindo picos de até 220 inds.10 cm⁻² no período chuvoso e 480 inds.10 cm⁻² no seco (Figuras 4 e 5). Suas maiores densidades ocorreram nas estações de mangue com maiores proporções de matéria orgânica e menores frações granulométricas, especialmente na margem sul do estuário no período seco, relações confirmadas pela análise de redundância (Figura 7; Tabela 4). Já foi bem documentado que estas elevadas densidades são fortemente influenciadas por uma complexa combinação de fatores, tais como: salinidade, temperatura, matéria orgânica, oxigênio dissolvido e granulometria (AUSTEN & WARWICK, 1989; MOENS & VINCX, 1999; NEIRA et al., 2001; ADÃO et al., 2009; PORTNOVA et al., 2017; NETTO & FONSECA, 2017). Entretanto, em regiões de mangue, as abundâncias podem ser altas e governadas pela granulometria e matéria orgânica (FONSECA et al., 2014), uma vez que os nematódeos que vivem neste ambiente possuem adaptações morfológicas e fisiológicas peculiares.

A composição da nematofauna foi altamente diversificada nos sedimentos mediolitorâneos do ERM e esteve representada por 60 gêneros, entre os quais, *Daptonema*, *Gomphonema*, *Pseudolella*, *Sabatieria*, *Terschellingia* e *Sphaerolaimus* foram mais representativos. No período chuvoso, ocorreram 44 gêneros e no seco, 43. Estes resultados corroboram os achados por Alves (2009) e Silva (2004), contudo, diferenças conspícuas na riqueza de gêneros foram observadas por Castro (2003) em que encontrou 27 gêneros no período seco e 15 no chuvoso. Para informações mais aprofundadas, reveja o capítulo 1 sobre a descrição da diversidade dos Nematoda.

Entre os gradientes físico-químicos, destacam-se os de salinidade, granulometria e matéria orgânica, variáveis ambientais determinantes na distribuição dos gêneros (ALVES et al., 2009; INGELS et al., 2009; ARMENTEROS et al., 2009; NETTO & FONSECA, 2017). De acordo com a análise de agrupamento, os resultados mostraram que as similaridades entre os pontos e os dois períodos de coleta sofreram mudanças, com tendência a ocorrer maior separação entre a boca do estuário e as áreas com manguezais e entre as margens do estuário especialmente no período seco. Estas tendências de maior separação foram observadas também com a meiofauna, porém, de forma mais clara com os gêneros de Nematoda. Variações significativas foram observadas considerando tanto a diversidade entre os pontos de coleta (ANOVA; $p < 0,05$), quanto a estrutura da nematofauna entre os períodos de coleta (PERMANOVA; $p < 0,05$) com todos os fatores e interações testados, sendo fortemente influenciadas pelos gradientes de granulometria e de matéria orgânica. Diferenças sazonais na diversidade não foram significantes.

A fraca separação das amostras no período chuvoso provavelmente seja provocada pelo transporte faunístico causado pela instabilidade hidrodinâmica do estuário em virtude das chuvas e conseqüentemente do aumento da drenagem continental, juntamente com a variação de marés ocasionando uma maior mistura dos táxons (NETTO & FONSECA, 2017). Por outro lado, a variação espacial na estrutura da comunidade observada aqui, majoritariamente separando os pontos da boca do estuário daqueles situados em áreas de manguezais, corrobora estudos anteriores que sugerem a influência direta do gradiente granulométrico e da MO (FONSECA et al., 2014; JOUILI et al., 2016).

No presente estudo, os gêneros tiveram distribuição mais relacionada com granulometria e matéria orgânica. Segundo Fonseca et al. (2014), o gradiente granulométrico pode influenciar significativamente nos padrões de segregação espacial da nematofauna e, considerando que as concentrações de matéria orgânica dependem da granulometria, quase sempre ocorre efeito sinérgico destes dois fatores na distribuição da comunidade. No presente estudo, este sinergismo foi claramente detectado em *Terschellingia*, *Sphaerolaimus*, *Dorylaimopsis*, *Pseudolella* e *Gomphonema* sendo mais relacionados com matéria orgânica, areia muito fina e silte e argila (Figura 12). As tendências mais fortes foram observadas com *Terschellingia* e *Pseudolella*, típicos de sedimentos lamacentos estuarinos (WARVICK et al., 1998), uma vez que o primeiro foi fortemente associado com areia muito fina e o segundo, com matéria orgânica. Sua estreita associação com frações granulométricas muito finas e MO pode ser explicada tanto pelas adaptações morfofisiológicas quanto por terem diferentes estratégias de alimentação (WIESER, 1953; HEIP et al., 1985). *Pseudolella* é comedor de depósito não seletivo (1B) (WIESER, 1953) e, portanto, generalista mais associado a MO e *Terschellingia*, comedor de depósito seletivo (1A) com exigências alimentares mais específicas e sua distribuição está fortemente associada a frações mais finas do sedimento (FONSECA et al., 2014), corroborando os dados observados no presente estudo.

4.3.1 Índices ecológicos

Em ambientes de transição como estuários, a diversidade trófica da nematofauna é maior (NETTO & FONSECA, 2017), sendo geralmente o grupo trófico 1B dominante especialmente em sedimentos lamacentos e ricos em detritos orgânicos (NETTO & VALGAS, 2010; JOUILI et al., 2016; PORTNOVA et al., 2017; NETTO & FONSECA, 2017). A diversidade trófica no presente estudo, assim como em outros estuários, foi alta.

Porém, comparando os períodos amostrais, maior diversidade foi observada no período seco. Nematódeos comedores de depósito não seletivos (1B) seguidos de raspadores ou herbívoros (2A) foram mais representativos. Comedores de depósito seletivos (1A) foram particularmente dominantes na estação 2S do período chuvoso em virtude da alta representatividade do gênero *Terschellingia* que esteve particularmente relacionado a areia muito fina (Figura 13). Predadores onívoros (2B) foram especialmente dominantes na estação 1N do período seco onde ocorreram altas abundâncias dos gêneros *Viscosia* (predadores facultativos cf. MOENS & VINCX, 1997), *Oncholaimellus* e *Sphaerolaimus*.

O IDT indicou que o ERM esteve mais eutrofizado no período chuvoso, e as diferenças foram significativas ($p < 0,05$) devido à dominância de nematódeos comedores de depósito não seletivos (1B) (*Daptonema*, *Pseudolella* e *Sabatieria*), onde os valores do IDT foram relativamente menores na maioria das estações. Netto & Fonseca (2017) discutiram sobre a relevância que os grupos de alimentação juntamente com o índice de diversidade trófica possuem em implicações diretas em planos de manejo e conservação de ambientes de transição, fornecendo respostas interessantes sobre a diversidade funcional da nematofauna estuarina.

Assim como o IDT, o IM também indicou maior grau de eutrofização do estuário no período chuvoso especialmente na sua margem norte que é mais impactada por ações humanas principalmente carnicultura e o vinhoto da cana-de-açúcar (SILVESTRE et al., 2011). Na campanha chuvosa, o IM indicou baixa qualidade ecológica na estação 2N onde ocorreu a maior representatividade da classe c-p1 principalmente em virtude da ocorrência do gênero *Thalassomonhystera* e melhor qualidade ecológica na estação 2S onde houve dominância da classe c-p3 principalmente devido aos maiores valores de *Sphaerolaimus* e *Terschellingia*. No período seco, o IM indicou baixa qualidade ecológica na estação 2N com a dominância da classe c-p2 (*Daptonema*, *Gomphonema* e *Sabatieria*) e qualidade ecológica relativamente alta na estação 1N em que os colonizadores intermediários (c-p3) dominaram (*Endeolophos*, *Oncholaimellus*, *Viscosia* e *Marylynia*).

É importante enfatizar que alguns autores discutem que o IM não reflete um efeito claro da atividade antropogênica em ambientes de transição como estuários (ARMENTEROS et al., 2009; SEMPRUCCI et al., 2016), o que pode estar diretamente relacionado com o Paradoxo da Qualidade Estuarina (ELLIOT & QUINTINO, 2007). Essa hipótese afirma que as características das comunidades submetidas ao estresse antrópico podem coincidir com aquelas expostas a flutuações de estressores naturais

como fatores físico-químicos, tornando as espécies tolerantes a esta sinergia de variações ambientais causadas tanto naturalmente quanto pela ação humana (ADÃO et al., 2009). Sendo assim, a alta capacidade de resiliência dessas comunidades às constantes flutuações ambientais em ecossistemas de transição pode falsear os resultados do IM invalidando o valor do mesmo para a detecção de impactos humanos (JOUILI et al., 2016), apesar de sua aplicabilidade para medir o grau de eutrofização (NETTO & VALGAS, 2010). No presente estudo, apesar das críticas negativas e positivas, o índice foi eficiente para medir o grau de eutrofização no ERM. No entanto, as diferenças sazonais não foram significativas devido aos altos desvios (Figura 11), sugerindo que a nematofauna é pouco homogênea e/ou que talvez seja necessária a retirada de maior quantidade de nematódeos das amostras para resultados mais robustos (reveja cap. 1).

4.3.2 Estrutura populacional

Indivíduos jovens predominaram em todos os gêneros analisados. Com exceção de *Terschellingia* que é considerado intermediário (cp3), os gêneros *Daptonema*, *Gomphonema*, *Sabatieria* e *Pseudolella* são constituídos por nematódeos r-estrategistas (cp2; BONGERS, 1990). Em populações r-estrategistas há geralmente maiores proporções de juvenis uma vez que são animais com tempo de geração curto e que produzem muitos ovos pequenos, resultando em explosivo crescimento em ambientes onde são submetidos a enriquecimento orgânico constante (BONGERS, 1990; BONGERS et al., 1991; BONGERS et al., 1999), como o estuário em questão. Ainda pouco se sabe sobre as estratégias reprodutivas dos gêneros e principalmente de espécies e os estudos experimentais sobre gerações de Nematoda através de seu cultivo em laboratório foram realizados com espécies de crescimento lento (ex. *Oncholaimus brachycercus* e *Viscosia viscosia*) que têm apenas duas ou três gerações anuais (MOENS & VINCX, 2000).

5. Considerações finais

O presente estudo representa um avanço significativo para o campo científico da meiobentologia, contribuindo com dados relevantes para o conhecimento da biodiversidade e ecologia da meiofauna e dos Nematoda de vida livre em estuários tropicais. Além disso, os resultados deste trabalho fornecerão subsídios para o biomonitoramento ambiental e servirão de base para pesquisas futuras. Foram testadas três hipóteses de que a meiofauna e nematofauna variam no estuário de acordo com os

gradientes de i) salinidade, ii) granulometria e iii) matéria orgânica. Os resultados sugeriram que tanto a meiofauna quanto a nematofauna possuíram uma estreita relação com os gradientes granulométrico e de matéria orgânica, sendo que a salinidade foi menos influente nos padrões de distribuição gerais da comunidade.

Adicionalmente, a eficiência dos índices de diversidade funcional da nematofauna para aferir o grau de eutrofização no ERM foi comprovada indicando maior estresse no período chuvoso. Isso destaca a necessidade de monitoramento periódico da sua qualidade ecológica. O estuário do Rio Mamanguape, apesar de estar inserido em uma área de proteção federal, é altamente vulnerável, sendo de suma importância que haja um biomonitoramento da sua saúde ecológica para a detecção de possíveis alterações. Assim, o status de qualidade ecológica do ERM pode ser definido como de alerta, principalmente na região próxima a entrada e na margem norte, considerando os valores relativamente baixos de ambos os índices testados.

6. Referências Bibliográficas

- ADÃO, H. et al. Spatial distribution of subtidal Nematoda communities along the salinity gradient in southern European estuaries. *Acta oecologica*, v. 35, n. 2, p. 287-300, 2009.
- AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). 2009. Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado da Paraíba – Ano hidrológico: 2008-2009. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia (SEMARH).
- ALMEIDA, Z. da S.; FÔNSECA-GENEVOIS, V. Análise quali-quantitativa da meiofauna na região de Itapissuma-PE. *Pesquisa em Foco*, v. 7, n. 9, p. 115-137, 1999.
- ALONGI, D. M. The influence of mangrove-derived tannins on intertidal meiobenthos in tropical estuaries. *Oecologia*, v. 71, n. 4, p. 537-540, 1987.
- ALVES, A.S. et al. Spatial distribution of subtidal meiobenthos along estuarine gradients in two southern European estuaries (Portugal). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 89, n. 8, p. 1529-1540, 2009.
- ALVES, T.N.C. Estrutura espaço-temporal da comunidade da nematofauna ao longo do estuário do rio carrapicho, litoral norte de Pernambuco – Brasil. 99 f, Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

- ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. Plymouth: primer-E; 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods, v. 214, 2008.
- ARMENTEROS, M. et al. Biodiversity patterns of free-living marine nematodes in a tropical bay: Cienfuegos, Caribbean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 85, n. 2, p. 179-189, 2009.
- AUSTEN, M. C.; WARWICK, R. M. Comparison of univariate and multivariate aspects of estuarine meiobenthic community structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 29, n. 1, p. 23-42, 1989.
- BALSAMO, M. et al. Meiofauna of the Adriatic Sea: present knowledge and future perspectives. *Chemistry and Ecology*, v. 26, n. S1, p. 45-63, 2010.
- BOISSEAU, J. P. Technique pour l'étude quantitative de La faune interstitielle des sables. C. R. Congr Soc sav. Paris Sect Sci. p. 117 - 119, 1957.
- BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, v. 83, n. 1, p. 14-19, 1990.
- BONGERS, T.; ALKEMADE, R.; YEATES, G.W. Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. *Marine Ecology Progress Series*, p. 135-142, 1991.
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 14, n. 6, p. 224-228, 1999.
- CASTRO, F. J. V. Variação temporal da meiofauna e da nematofauna em uma área mediterrânea da Bacia do Pina (Pernambuco, Brasil). 116 f, Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- COBB, N. A. Notes on Nemas. *Contributions to a Science of Nematology* V. 1917.
- COOPER, J. A. G. Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated South African coast. *Geomorphology*, v. 40, n. 1, p. 99-122, 2001.
- COULL, B.C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Austral Ecology*, v. 24, n. 4, p. 327-343, 1999.
- CREMER, M.J. et al. Diagnóstico ambiental da Baía da Babitonga. In: Diagnóstico ambiental da Baía da Babitonga. UNIVILLE, 2006.
- DE GRISSE, A.T. Redescription ou modifications de quelques technique utilis [a] es dan l'etude des n [a] ematodes phytoparasitaires. 1969.

- DE LEY, P.; DECRAEMER, W.; EYUALEM, A. Introduction: summary of present knowledge and research addressing the ecology and taxonomy of freshwater nematodes. In: *Freshwater nematodes: taxonomy and ecology*. CABI, 2006. p. 3-30.
- ELLIOTT, M.; QUINTINO, V. The estuarine quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin*, v. 54, n. 6, p. 640-645, 2007.
- ESTEVES, A, M, Nematofauna da planície de maré de Coroa Grande, Baía de Sepetiba. RJ, Rio de Janeiro. 117 p. Tese (Doutorado em Zoologia). UFRJ, 2002.
- FERREIRA, R. C. et al. Responses of estuarine nematodes to an increase in nutrient supply: an in situ continuous addition experiment. *Marine pollution bulletin*, v. 90, n. 1, p. 115-120, 2015.
- FONSECA, G.; NETTO, S.A. Macroecological patterns of estuarine nematodes. *Estuaries and coasts*, v. 38, n. 2, p. 612-619, 2014.
- FONSECA, G., et al. Testing for nematode-granulometry relationships. *Marine Biodiversity*, v. 44, p. 435-443, 2014.
- GIERE, O. *Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Springer Science & Business Media, 2008.
- GOMES, C.A.A. et al. Variação temporal da meiofauna em área de manguezal em Itamaracá-Pernambuco. *Atlântica*, v. 24, n. 2, p. 89-96, 2002.
- GUILINI, K. et al. NeMys: World Database of Free-Living Marine Nematodes. 2017. Accessed at <http://nemys.ugent.be/aphia.php?p=taxdetails&id=799> on 2017-05-30.
- HEIP, C.; VINCX, M.; VRANKEN, G. *The ecology of marine nematodes*. Aberdeen University Press, 1985.
- INGELS, J. et al. Nematode diversity and its relation to the quantity and quality of sedimentary organic matter in the deep Nazaré Canyon, Western Iberian Margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 56, n. 9, p. 1521-1539, 2009.
- JOUILI, S. et al. Environmental quality assessment of El Bibane lagoon (Tunisia) using taxonomic and functional diversity of meiofauna and nematodes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, p. 1-11, 2016.
- LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge university press, 2003.
- LITTLE, C. *The biology of soft shores and estuaries*. Oxford University Press, 2000.

- MARE, M.F. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 25, n. 3, p. 517-554, 1942.
- MCLACHLAN, A. The definition of sandy beaches in relation to exposure-a simple rating system. *South African Journal of Science*, v. 76, n. 3, p. 137-138, 1980.
- MIRANDA, L.B. de; CASTRO, B.M. de; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: EDUSP, v. 414, 2002.
- MOENS, T.; VINCX, M. Observations on the feeding ecology of estuarine nematodes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 77, n. 1, p. 211-227, 1997.
- MOENS, T.; VINCX, M. Temperature and salinity constraints on the life cycle of two brackish-water nematode species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 243, n. 1, p. 115-135, 2000.
- NEIRA, C. et al. Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 48, n. 11, p. 2453-2472, 2001.
- NETTO, S.A.; FONSECA, G. Regime shifts in coastal lagoons: Evidence from free-living marine nematodes. *PloS one*, v. 12, n. 2, p. e0172366, 2017.
- NETTO, S.A.; VALGAS, I. The response of nematode assemblages to intensive mussel farming in coastal sediments (Southern Brazil). *Environmental monitoring and assessment*, v. 162, n. 1, p. 81-93, 2010.
- NISHIDA, A.K.; NORDI, N.; ALVES, R.R.N.. Aspectos socioeconômicos dos catadores de moluscos do litoral paraibano, Nordeste do Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 8, n. 1, 2008.
- OLIVEIRA, I.S. Uso do conhecimento tradicional dos catadores de caranguejo-uçá *Ucides cordatus*, (LINNAEUS, 1763) para a identificação dos principais locais de catação, no Estuário do Rio Mamanguape-PB. 94 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Prodem) - Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2009.
- PAULA, J. et al. The use of artificial benthic collectors for assessment of spatial patterns of settlement of megalopae of *Carcinus maenas* (L.) (Brachyura: Portunidae) in the lower Mira Estuary, Portugal. *Issues of Decapod Crustacean Biology*, p. 69-77, 2006.

- PORTNOVA, D. A. et al. Meiobenthos and nematode community in Yenisei Bay and adjacent parts of the Kara Sea shelf. *Oceanology*, v. 57, n. 1, p. 130-143, 2017.
- QUANG, N.X. et al. Meiobenthos assemblages in the mekong estuarine system with special focus on free-living marine nematodes. *Ocean Science Journal*, v. 45, n. 4, p. 213-224, 2010.
- ROSA, R.S.; SASSI, R. Estudo da biodiversidade da Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape. Relatório Final do Projeto apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 37p, 2002.
- SCHLITZER, R. Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2015. Acessado em maio de 2017.
- SEMPRUCCI, F.; BALSAMO, M.; SANDULLI, R. Assessment of the ecological quality (EcoQ) of the Venice lagoon using the structure and biodiversity of the meiofaunal assemblages. *Ecological Indicators*, v. 67, p. 451-457, 2016.
- SILVA, M.C. Meiofauna como estoque alimentar para peixes juvenis (Gobiidae e Gerridae) do Canal de Santa Cruz, Itamaracá, Pernambuco com ênfase aos Nematoda livres. Recife: UFPE. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- SILVA, V.M.A.P. GROHMANN, P.A. ESTEVES, A.M. Aspectos gerais do estudo da meiofauna de praias arenosas. *Oecologia*. Volume III: Ecologia de Praias Arenosas no Litoral Brasileiro, p. 67-92. 1997.
- SILVA, G.R. Estrutura da assembleia de peixes de poças de maré em Barra de Mamanguape, Rio Tinto, Paraíba, Brasil. 79 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2002.
- SILVESTRE, L.C. et al. Diagnóstico dos impactos ambientais advindo de atividades antrópicas na APA da Barra do Rio Mamanguape. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-11, 2011.
- SOETAERT, K. et al. Spatial patterns of Westerschelde meiobenthos. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 39, n. 4, p. 367-388, 1994.
- SOMERFIELD, P.J. et al. Factors affecting meiofaunal community structure in the Pina Basin, an urbanized embayment on the coast of Pernambuco, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 83, n. 6, p. 1209-1213, 2003.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. Edgard Bliicher. São Paulo, 317p.

- TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4). Centre for Biometry, 1998.
- UDALOV, A.A.; MOKIEVSKII, V.O.; CHERTOPRUD, E.S. Influence of the salinity gradient on the distribution of meiobenthos in the Chernaya River Estuary (White Sea). *Oceanology C/C of Okeanologiya*, v. 45, n. 5, p. 680, 2005.
- VASCONCELOS, D.M.; DOS SANTOS, P.J.P.; TRINDADE, R.L. Distribuição espacial da meiofauna no estuário do Rio Formoso, Pernambuco, Brasil. *Atlântica (Rio Grande)*, v. 26, n. 1, p. 45-54, 2011.
- VEENEKEY, V.; MELO, T.P.G.. Nematodes as indicators of shrimp farm impact on an amazonian estuary (Curuçá, Pará, Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, n. 1, p. 75-87, 2016.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. Armstrong. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.
- WARWICK, R. M.; PLATT, H. M. & SOMERFIELD, P. J. 1998. Free-living marine Nematodes part III (Monohysterid). The Linnean Society of London and The Estuarine and Coastal Sciences Association, 296p.
- WIESER, W. Die Beziehung zwischen Mundhöhlengestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. Eine ökologisch-morphologische Studie. *Arkive für Zoologi* 4, 439-484. 1953.
- ZEPPILLI, D. et al. Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts? *Marine Biodiversity*, v. 45, n. 3, p. 505-535, 2015.

Conclusões Gerais

Espero que este trabalho tenha contribuído consideravelmente para o conhecimento da diversidade e ecologia dos Nematoda de vida livre. Nossas perguntas foram satisfatoriamente respondidas: (i) a diversidade da nematofauna foi alta, subestimada nos dois estuários estudados, e além de ter sido maior em um estuário prístino, estuário do Rio Mamanguape (ERM), foi também a segunda maior riqueza já registrada no mundo (60 gêneros); (ii) a estrutura da nematofauna no ERM variou espacial e sazonalmente e sua distribuição parece estar mais relacionada com granulometria e matéria orgânica; (iii) o índice de diversidade trófica e o índice de maturidade são indicadores eficazes para aferir o grau de eutrofização estuarina e indicaram alto grau de eutrofização em pontos específicos do ERM principalmente no período chuvoso e na margem norte da entrada do estuário e (iv) a estrutura populacional dos gêneros mais abundantes foi dominada por estágios juvenis.