



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

CÉSAR AUGUSTO RODRIGUES CASTILHO

**Distribuição espacial de nematódeos marinhos em praias arenosas de
micromarés: testando a Hipótese do Distúrbio Intermediário**

RECIFE

2023

CÉSAR AUGUSTO RODRIGUES CASTILHO

Distribuição espacial de nematódeos marinhos em praias arenosas de micromarés: testando a Hipótese do Distúrbio Intermediário

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Dr. André Morgado Esteves

Coorientadora: Dra. Tatiana Fabricio Maria

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Castilho, César Augusto Rodrigues.

Distribuição espacial de nematódeos marinhos em praias arenosas de micromarés: testando a Hipótese do Distúrbio Intermediário / César Augusto Rodrigues Castilho. - Recife, 2023.

47, tab.

Orientador(a): André Morgado Esteves

Cooorientador(a): Tatiana Fabrício Maria

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2023.

1. Meiofauna. 2. Nematódeos. 3. Hipótese do distúrbio intermediário. 4. Ecologia. I. Esteves, André Morgado. (Orientação). II. Maria, Tatiana Fabrício. (Coorientação). IV. Título.

590 CDD (22.ed.)

César Augusto Rodrigues Castilho

Distribuição espacial de nematódeos marinhos em praias arenosas de micromarés: testando a Hipótese do Distúrbio Intermediário

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em: ____/____/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Morgado Esteves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Adriane Pereira Wandeness
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro Ivo Simões
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. André Esteves pela generosidade e oportunidade.

À Profa. Tatiana Maria, pela paciência, carinho e profissionalismo. Sua conduta profissional é um exemplo para todos nós.

Aos meus colegas de turma pelo convívio e encorajamento.

Aos Professores Marco Katzenberger e Luciana Iannuzzi pela amizade e pelo carinho.

À minha esposa Virgínia por acreditar nas minhas e nas nossas loucuras.

RESUMO

Neste trabalho a aplicabilidade da Hipótese do Distúrbio Intermediário (IDH) em praias arenosas de micro marés foi investigada, investigando-se os padrões de distribuição espacial dos nematódeos marinhos de vida-livre. Com base na IDH, a maior diversidade taxonômica é esperada ocorrer na região média do entre marés. Para atingir esse objetivo, três praias do estado do Rio de Janeiro (Praia de Copacabana, Praia da Barra e Restinga da Marambaia) foram estudadas. A IDH foi ampliada, levando-se em consideração ainda as diversidades morfológica e funcional. A diversidade taxonômica foi avaliada a partir da abundância, riqueza genérica, diversidade de Shannon e equitabilidade enquanto a diversidade funcional foi estudada através de cinco características morfofuncionais: morfologia da cavidade bucal, tipo de cutícula, formato da cauda, estratégia de vida e tipo de anfídeo. Uma série de índices funcionais foram calculados a partir dessas características. As análises de PERMANOVA desses índices mostraram que a IDH pode explicar parcialmente os resultados da maior diversidade taxonômica e/ou funcional em alguns momentos do ano em duas das praias estudadas; entretanto os resultados indicam fortes evidências de que outros fatores devem explicar a riqueza e diversidade da assembleia de nematódeos. Como consequência, verificou-se que a caracterização funcional da assembleia de nematoides foi suficiente para a determinação dos mesmos padrões obtidos via identificação taxonômica, indicando assim a possibilidade do uso da caracterização funcional para estudos diversos sobre a ecologia dos nematoides marinhos de vida livre em praias arenosas. Os resultados aqui gerados ampliam o conhecimento ecológico sobre a biota dominante das praias arenosas de micro-marés e poderão servir como uma ferramenta para o gerenciamento costeiro brasileiro, uma vez que haverá uma melhor compreensão dos padrões e processos ecológicos que ocorrem em praias arenosas.

Palavras-chave: Ecologia, Meiofauna, Comunidades.

ABSTRACT

In this work, the IDH is applied to study the spatial distribution patterns of free-living marine nematodes in micro tidal sandy beaches. According to the IDH, the taxonomical diversity of nematode assemblages should occur at the middle level of the beach. The IDH was generalized to also take into consideration the morphological and functional diversity. To test this hypothesis, data from three beaches (Barra da Tijuca, Copacabana and Restinga da Marambaia) of Rio de Janeiro state, Brazil was studied. Taxonomical diversity was assessed by density (abundance), richness, Shannon diversity and equitability (Pielou index). Functional diversity was determined through five attributes: life history strategy (c-p), trophic group, amphideal fovea shape, cuticle ornamentation and tail shape. Many univariate indexes were calculated. A PERMANOVA analyses of the calculated indexes showed that the IDH can partially explain the observed levels of diversity during some seasons for two studied beaches. However, other factors suggested to be responsible for the observed levels of richness and diversity of the nematode assemblages. As a byproduct, the analysis showed that the functional characterization of the assemblage, produced the same patterns as obtained through the morphological characterization, indicating the possibility of using only the functional traits to study the ecological patterns of the free-living sandy beach nematodes. These results increase the ecological understanding about the processes and patterns influencing the dominant biota of the sandy beach meiofauna.

Keywords: Ecology, Meiofauna, Communities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Ilustração dos diferentes tipos de cavidade bucal, de acordo com a classificação trófica de Wieser (1953).	16
Figura 2 –	Ilustração dos diferentes tipos de cauda de acordo com a revisão proposta por Thistle et al. (1995).	17
Figura 3 –	Ilustração dos diferentes tipos de anfídeos utilizados na classificação.	17
Figura 4 –	Ilustração dos diferentes tipos de cutículas utilizadas na classificação.	18
Figura 5 –	Resultado dos índices de diversidade taxonômica das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005.	23
Figura 6 –	Resultado dos índices de maturidade das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005.	29
Figura 7 –	Resultado dos índices de dispersão dos atributos estudados para as três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005.	31
Figura 8 –	Resultado dos índices funcionais das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Relevância Ecológica das características morfofuncionais usadas para o cálculo da diversidade funcional.	19
Tabela 2 –	Barra da Tijuca – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA.	24
Tabela 3 –	Copacabana – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA.	25
Tabela 4 –	Copacabana – Atributos taxonômicos: Resultados dos testes de comparação par a par.	26
Tabela 5 –	Restinga da Marambaia – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA.	27
Tabela 6 –	Restinga da Marambaia – Atributos taxonômicos: Resultados dos testes de comparação par a par.	28
Tabela 7 –	Barra da Tijuca – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA	34
Tabela 8 –	Barra da Tijuca – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par.	35
Tabela 9 –	Copacabana – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA.	36
Tabela 10 –	Copacabana – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par.	37
Tabela 11 –	Restinga da Marambaia – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA.	38
Tabela 12 –	Restinga da Marambaia – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BT	Barra da Tijuca.
CP	Copacabana.
RM	Restinga da Marambaia.
C-P	Índice de estilo de vida (Colonizer-Persistent).
MCB	Morfologia da cavidade bucal.
FI-CP	Índice de dispersão funcional do c-p (índice de diversidade trófica).
FI-MCB	Índice de dispersão funcional das cavidades bucais MCB.
FI-anfídeos	Índice de dispersão funcional dos anfídeos.
FI-cutícula	Índice de dispersão funcional da cutículas.
FI-caudal	Índice de dispersão funcional das caudas.
FE	Número de entidades funcionais.
FRED	Redundância funcional.
FVULN	Vulnerabilidade funcional.
FORED	Sobre redundância funcional.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	METODOLOGIA	15
3	RESULTADOS	22
3.1	Diversidade Taxonômica	22
3.2	Diversidade Funcional	29
4	DISCUSSÃO	40
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas estão entre os ecossistemas amplamente distribuídos no mundo. Caracterizam-se pela presença de substrato inconsolidado, formado por depósitos de areia e representam cerca de dois terços dos ambientes costeiros do planeta (MCLACHLAN e DEFEO, 2017). Prestam diversos serviços ecológicos e sócio econômicos e ecossistêmicos, tais como estabilização da linha do litoral, controle de erosão, pesca, esporte, lazer entre outros. Caracterizando-se como uma área de transição entre o meio terrestre e o marinho, as praias arenosas são ambientes dinâmicos, sendo influenciadas por diversos fatores como ventos, ondas, correntes marinhas, regime de marés, granulometria, composição do sedimento entre outros (MCLACHLAN e DEFEO, 2017). As combinações desses elementos determinam as características morfodinâmicas das praias que variam desde praias refletivas, com declives acentuados e areia grossa a praias dissipativas com declives leves e areia fina (MCLACHLAN e ERASMUS, 2013).

Praias arenosas suportam um amplo conjunto de habitats que são o abrigo de diversos representantes de uma fauna bentônica composta por invertebrados. Esses organismos podem ser classificados de acordo com o seu modo de vida: a epifauna, organismos que vivem sobre o sedimento, e a infauna, organismos que vivem enterrados (ou em galerias) no sedimento; ou ainda de acordo com o seu tamanho: macrofauna (organismos retidos em uma malha de 500µm), meiofauna (organismos que passam por uma malha de 500µm e são retidos por uma malha de 32 µm (GIERE, 2008) e microfauna (organismos microscópicos).

Um dos filos mais abundantes da meiofauna, e objeto desse trabalho, é o filo Nematoda, que domina o ambiente meiofaunístico tanto em abundância quanto em biomassa (GIERE, 2008), chegando a representar de 60% a 90% da totalidade dos animais da meiofauna (COULL, 1999).

Os nematoides desempenham importantes funções ecológicas como a transferência de energia da microfauna para a macrofauna, a ciclagem de nutrientes e a mineralização de matéria orgânica (GIERE, 2008; SCHRATZBERGER e INGELS, 2018; SEMPRUCCI et al., 2022). Dado seu importante papel, a descrição de sua distribuição espacial ao longo das praias arenosas constitui-se em elemento essencial para uma melhor compreensão dos processos ecológicos desse ecossistema.

A distribuição das assembleias de nematoides é influenciada por diversos fatores como perturbações antrópicas, precipitação, disponibilidade de matéria orgânica, temperatura, concentração de oxigênio disponível, salinidade e características granulométricas do sedimento (BONGERS e FERRIS, 1999; FONSECA et al., 2014; GHESKIERE et al., 2005).

Fatores ambientais e físicos, determinam diferentes zonas nas praias (DEFEO e MCLACHLAN, 2005) o que por sua vez, condiciona a distribuição espacial da meiofauna. De acordo com McLachlan e Jaramillo (1995) quatro tipos de padrões de distribuição espacial são identificados: indistinto, duas zonas delimitadas pela linha de detritos, três zonas (supra litoral, meio litoral e infralitoral (DAHL, 1952)) e finalmente quatro zonas diferenciadas pela disponibilidade de água segundo Salvat, 1964: zona seca, zona de retenção de água, zona de ressurgência e zona de saturação. As características dissimilares das diferentes zonas refletem os padrões variáveis de distribuição tanto da macrofauna (DEFEO e MCLACHLAN, 2005) quanto da meiofauna (RODRIGUEZ et al., 2001; KOTWICKI et al., 2005; MORENO et al., 2006) e em particular na distribuição espacial e na formação das comunidades (assembleia) de nematoides (GHESKIERE et al., 2005; GINGOLD et al., 2010; MARIA et al. 2013).

De forma geral, a maior diversidade da meiofauna ocorre na região onde há um balanço ótimo entre disponibilidade de matéria orgânica e oxigenação (HUSTON, 1979). Pelo acima exposto, pode-se inferir que a diversidade da meiofauna em geral, e a dos nematoides em particular, tende a ser maior na região média da praia. Tal hipótese foi confirmada por alguns autores, por exemplo, Armonies e Reise 2000, Gheskiere et al. 2004, Gingold et al. 2010 e e Maria et al. 2013. Entretanto, outros estudos não corroboram esses resultados, fazendo com que haja um amplo debate acadêmico em relação à existência de um padrão sobre a maior diversidade na região média do entre-marés. Por exemplo, Baia e Venekey, 2019 encontraram um pico de diversidade de nematoides na região baixa do entre-marés. Já Gheskiere et al. (2005) mostraram, para duas praias de micro-marés na região do mediterrâneo, que a diversidade de nematoides é maior na região superior da praia. Finalmente McLachlan (1980) observa que o pico de riqueza de nematoides não é determinado pela distância dos pontos de amostragem em relação a linha d'água, mas sim pelas regiões diferenciadas pelo seu conteúdo de água (SALVAT, 1964).

Uma das hipóteses que visa explicar a alta diversidade da meiofauna e dos nematódeos na região média do entre-marés é a Hipótese do Distúrbio Intermediário

(IDH) (CONNEL, 1978). Essa hipótese, formulada para explicar a densidade de árvores em florestas tropicais e de organismos marinhos em ambientes tropicais, tornou-se um dos paradigmas atuais em ecologia e baseia-se no fato de que, distúrbios físicos, ao alterarem o ambiente, criam condições favoráveis para espécies colonizadoras invadirem o ambiente, iniciando assim um processo de sucessão ecológica. Com um nível intermediário de perturbação a comunidade se torna um mosaico de fragmentos, com cada fragmento em um estágio sucessional diferente. Dessa forma, o mosaico conteria toda a sequência de espécies da sequência sucessional maximizando assim a possível diversidade (CATTFORD et al., 1999, RICKLEFS et al, 2014, WILKINSON 1999).

Dado os efeitos de maré, as condições ambientais em uma praia arenosa flutuam periodicamente, gerando um gradiente de perturbações que aumenta na direção do litoral: na região inferior do entre-marés, o turbilhonamento causado pelas ondas é alto devido a fortes fluxos hidrodinâmicos. Já a região superior do entre-marés, seria pouco perturbada pelos efeitos de maré. Dessa forma, a região média do entre-marés seria a região onde o distúrbio seria intermediário e, como sugerido pela IDH, a região de maior diversidade taxonômica.

O objetivo deste trabalho é identificar padrões de diversidade de nematódeos marinhos de vida livre em praias de micro marés. Com base na IDH, a maior diversidade taxonômica é esperada ocorrer na região média do entre marés. Embora a IDH faça uma afirmação sobre a diversidade taxonômica, neste trabalho seu escopo será ampliado incluindo-se nas análises a diversidade funcional da assembleia de nematoides. Em resumo, testaremos a seguinte hipótese: A região média do entre marés abriga as maiores diversidades taxonômicas e funcionais da assembleia de nematoides?

Para testar essa hipótese, três praias do estado do Rio de Janeiro (Praia de Copacabana, Praia da Barra e Restinga da Marambaia) foram estudadas. Como padrões de distribuição espacial são influenciados, tanto por perturbações antrópicas quanto por características sedimentares como salinidade, carbono orgânico disponível, seleção, entre outros (DATTA e BERTOCCI, 202); as praias foram individualmente analisadas, de forma a singularizar, caso existam, efeitos causados por possíveis diferenças em cada praia.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho dados obtidos a partir de coletas realizadas em três praias oceânicas da costa do estado do Rio de Janeiro foram analisados. Os dados foram coletados em março (verão) e agosto (inverno) de 2015 na praia da Barra da Tijuca - BT (23°01'S, 43°32'W), Copacabana - CP (22°97'S, 43°18'W) e Restinga da Marambaia (23°03'S, 43°34'W) - RM. As três praias são classificadas como praias de micro marés, expostas e com baixa declividade. BT e CP estão localizadas em regiões populosas e são constantemente usadas para recreação durante todo o ano, apresentando picos de densidade humanas de 0.76 ind./100m² - CP e 0.66 ind./100m² – BT (SANTOS et al., 2019) durante o verão. RM está localizada dentro de uma área militar, é fechada para visitação pública encontrando-se vazia pela maior parte do ano. A largura da zona entre marés medida foi de 20.7m na praia de Copacabana, 30.4m para a praia da Barra da Tijuca e 51.2m para a praia da Restinga.

As coletas foram realizadas durante maré de sizígia de acordo com os procedimentos descritos em (SANTOS et al. 2019). De forma sucinta, três transectos equidistantes entre si por 60m foram feitos. Em cada transecto, 10 estações de coletas equidistantes foram definidas e ordenadas positivamente no sentido da região infralitoral para a região supra litoral. Em cada estação três amostras de sedimento foram coletadas para análise da meiofauna. Para este trabalho, as amostras da primeira estação foram descartadas, totalizando-se assim 27 amostras para cada praia. As nove estações de cada transecto foram agrupadas em três conjuntos disjuntos de acordo com a sua zona entre marés: baixa (L), média (M) e alta (U).

As amostras foram coletadas com um coletor de plexiglass de 10 cm² de área introduzido à profundidade de 10 cm. A fixação do material biológico coletado foi feita com formaldeído à 4% tamponado com bórax em uma proporção de 9:1. As amostras de meiofauna foram lavadas e passadas por uma peneira de 38 µm e os organismos foram extraídos por decantação com o uso de sílica com gravidade específica de 1.18 (GIERE, 2008). Após contagem, 120 nematoides foram aleatoriamente retirados de cada amostra e montados em lâminas seguindo a metodologia de De Grisse, 1969. Foram identificados com o uso de um microscópio estereoscópico até o nível de gênero usando as chaves de Platt et al., 1983, Platt e Warwick, 1988 e Warwick et al., 1998.

A diversidade de nematoides por amostra foi estimada via densidade de gêneros (ind. /10 cm²) e foi utilizada para calcular os diversos atributos de diversidade. Riqueza (número de gêneros por amostra), índice de Shannon e equitabilidade (índice de Pielou). Foram atribuídas características morfológicas e funcionais para cada gênero.

- 1) Estilo de vida (classes c-p, colonizadores-persistentes) foram atribuídos de acordo com a classificação de Bongers, 1990. O índice c-p, representa uma escala numérica ordenada que varia de r-estrategistas extremos (valor 1) a K-estrategistas (valor 5).
- 2) A morfologia da cavidade bucal (MCB) foi atribuída de acordo com a classificação das categorias tróficas indicadas por Wieser, 1953: comedores seletivos de depósitos, que se alimentam de bactérias e pequenas partículas orgânicas e possuem boca pequena e sem dentes (1A), comedores não seletivos de depósitos, que se alimentam de partículas orgânicas de tamanhos maiores e possuem boca grande e sem dentes (1B), comedores de epistrato, com boca pequenas com dentes (2A) e predadores/onívoros com bocas grandes com dentes e/ou mandíbulas (2B).

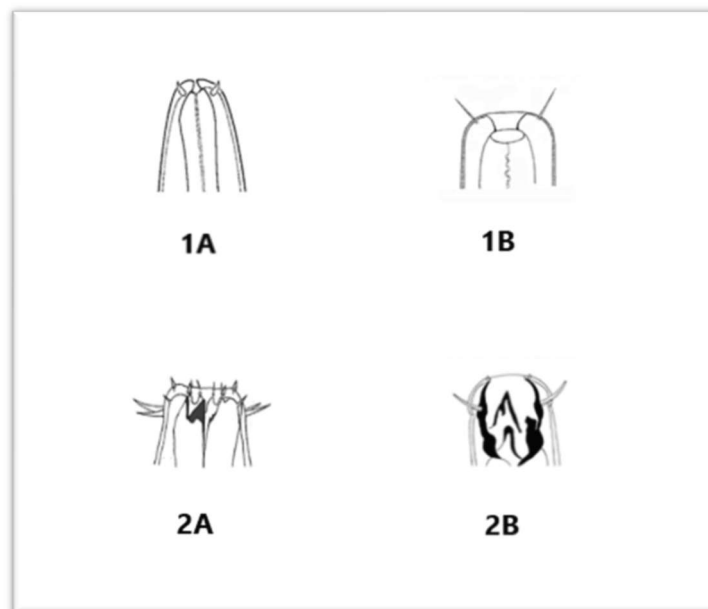


Figura 1: Ilustração dos diferentes tipos de cavidade bucal, de acordo com a classificação trófica de Wieser (1953). Fonte: (SEMPRUCCI, GRASSI, BALSAMO; 2022).

- 3) O formato da cauda foi classificado de acordo com a revisão proposta por Thistle et al. (1995) em quatro categorias: pequena/arredondada; longa/filiforme; cônica; e clavada/cônica-cilíndrica (Fig. 2).

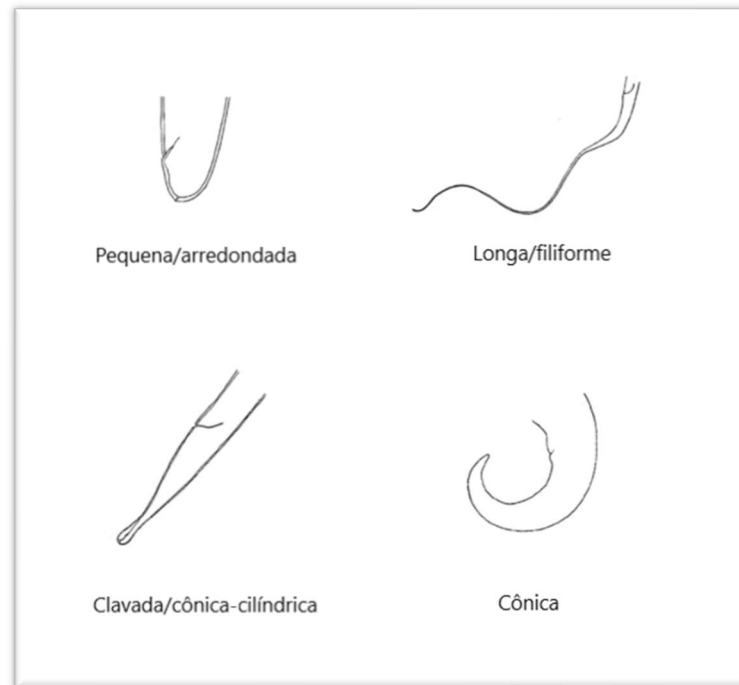


Figura 2: Ilustração dos diferentes tipos de cauda de acordo com a revisão proposta por Thistle et al. (1995). Fonte: (SEMPRUCCI, GRASSI, BALSAMO; 2022).

- 4) Os anfídeos, que são órgãos quimiorreceptores localizados na lateral do corpo do animal, foram divididos em seis classes: espiral, circular, laço, taça, fenda e indistinto (Fig. 3).

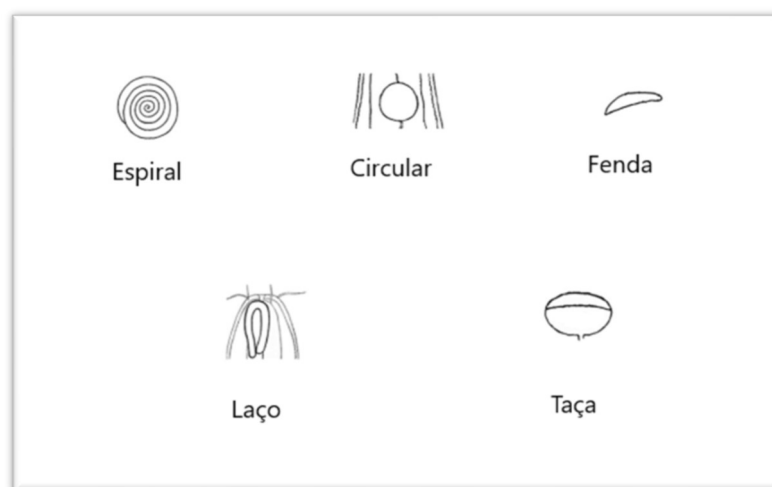


Figura 3: Ilustração dos diferentes tipos de anfídeos utilizados na classificação. Fonte: (SEMPRUCCI, GRASSI, BALSAMO; 2022).

- 5) Para a cutícula utilizou-se cinco classes: lisa, estriada, pontuada, estriada e pontuada e estriada com fileiras transversais (Fig. 4).



Figura 4: Ilustração dos diferentes tipos de cutículas utilizadas na classificação.
Fonte: (SEMPRUCCI, GRASSI, BALSAMO; 2022).

A tabela 1, adaptada de JUSTINO et al., 2023, destaca a relevância ecológica de cada uma das características usadas.

Tabela 1: Relevância Ecológica das características morfofuncionais usadas para o cálculo da diversidade funcional.

	Característica	Relevância Ecológica
Funcional	CP	Indica a capacidade de persistência em um ambiente perturbado. A dominância de persistentes indica ambientes pouco perturbados; a dominância de colonizadores indica ambientes muito perturbados.
	MCB	A morfologia da cavidade bucal está associada com o lugar ocupado na cadeia trófica. A diversidade do hábito alimentar permite a exploração de diversos habitats.
Morfológica	Anfídeo	Usado para busca de alimentos e parceiros sexuais. Existem evidências de capacidades fotosensora e olfatória e sensibilidade ao Ph e a íons. A adaptação a ambientes extremos exige anfídeos maiores.
	Cutícula	Relacionado a hidrodinâmica e a granulometria. Ornamentos ajudam na estabilização em situações dinâmicas. Também oferece proteção a elementos tóxicos.
	Cauda	Relacionada a locomoção, alimentação e reprodução.

Fonte: (JUSTINO et al., 2023)

Diversos índices foram calculados a partir das características morfológicas e funcionais atribuídas:

O estilo de vida cp foi utilizado para se calcular o índice de maturidade (MI) da comunidade (BONGERS, 1999). Tal índice é definido através da fórmula

$$MI = \sum c-p(i) \theta(i),$$

onde o somatório estende-se sobre o número de gêneros presente na amostra, $c-p(i)$ é o índice c-p do táxon i e $\theta(i)$ é a frequência relativa do táxon i na amostra. Para todas as outras características funcionais, calculou-se um índice de dispersão que representa uma generalização do índice de diversidade trófica (ITD) como definido e utilizado em Heip et al. (HEIP et al., 1985). O ITD é definido para cada categoria utilizada como sendo

$$ITD = \sum \theta^2(i),$$

com o somatório estendendo-se sobre o número de classes da categoria utilizada e $\theta(i)$ é a frequência relativa do tipo funcional i na amostra. Para uma categoria com N tipos funcionais (ou categorias) o IFD assumirá valores entre seu valor mínimo $1/N$ e

seu valor máximo 1. O valor mínimo $IFD=1/N$ representa uma comunidade onde todos os tipos funcionais estão igualmente representados, já o valor máximo $IFD=1$ representa uma comunidade onde apenas um dos tipos funcionais está representado. Dessa forma, o IFD é um índice que mede a dispersão da comunidade pelas classes da categoria utilizada. Como exemplo, consideremos a categoria “trato bucal”. Essa categoria possui quatro classes, portanto $N=4$. Nesse caso, o valor mínimo de IFD é 0,25, e uma comunidade com esse valor teria exatamente 1/4 da comunidade representada em cada uma das classes utilizadas. O valor máximo 1 representa uma comunidade onde todos os gêneros dessa comunidade teriam exatamente o mesmo trato bucal. Quanto menor o IFD de uma comunidade, mais heterogênea essa comunidade é em relação a característica considerada. Reciprocamente, quanto maior o IFD, mais homogênea a comunidade será. Dessa, o menor valor de IFD para CP é 0,2; para as cutículas é 0,2; para as caudas é 0,25 e finalmente para os anfídeos é 0,17.

Para caracterizarmos a diversidade funcional de cada região, foi construída uma guilda com as cinco características. Quatro índices funcionais foram calculados para a guilda construída, a saber:

- 1) FE – O número de entidades funcionais presente na amostra.
- 2) FRED – A redundância funcional, definida como o número médio de gêneros por entidade funcional.
- 3) FVULN – A vulnerabilidade funcional, definida como o número de entidades funcionais compostas por um único gênero.
- 4) FORED – A sobre redundância funcional, definida como a proporção de gêneros em FE com número de gêneros maior que a média em FE.

Os cálculos desses índices foram feitos com o pacote mFD (MAGNEVILLE et al., 2022) da linguagem R.

Diferenças nas diversidades taxonômica e funcional foram testadas a partir de uma Análise Multivariada Permutacional (PERMANOVA) de dois fatores (região da praia e estação do ano), para cada uma das praias individualmente. A matriz de similaridade baseada na distância euclidiana foi utilizada para os dados univariados. Em caso de diferenças significativas, para os fatores analisados, testes a posteriori foram realizados para indicar quais pares de amostras diferiram significativamente entre si. Cabe ressaltar que a análise de PERMANOVA pode detectar “falsas

diferenças” no caso em que as variâncias das distâncias dos diferentes grupos em relação aos seus centroides sejam significativamente diferentes entre si. Para detectar essa possibilidade, em todos os casos em que diferenças significativas foram observadas, uma PERMANOVA das distâncias aos centroides foi calculada. Caso as dispersões tenham sido diferentes entre os grupos, e a análise de pares tenha indicado estatisticamente a inexistência de um grupo diferente em relações aos demais, a diferença foi desconsiderada.

Os cálculos numéricos foram realizados utilizando-se o algoritmo Adonis proposto em (ANDERSON, 2001) e como implementado no pacote Vegan (OKSANEN et al., 2007) disponível na linguagem R (R CORE TEAM et al., 2022).

3. RESULTADOS

A partir da classificação morfofuncional feita, os diversos índices foram calculados e seus valores são exibidos, para cada praia, sempre agrupados por região da praia e por estação do ano. Para as futuras discussões, no referenciaremos aos dados com a seguinte ordem: praia, região, estação do ano. Dessa forma RM, LW representa os dados referentes a praia da Restinga da Marambaia, coletados na região baixa da praia, no inverno.

3.1 Diversidade Taxonômica

A densidade de nematoides variou de $58,22 \pm 14,30$ ind/cm² em BT, US a $628,80 \pm 219,94$ ind/cm² em RM, MW. A riqueza de gêneros variou de 4,78 em RM, US a $15,56 \pm 0,53$ em RM, LW. O índice de Shannon atingiu seu mínimo $0,81 \pm 0,14$ em CP, LS e seu máximo em $1,99 \pm 0,09$ RM, LW. O índice de equitabilidade variou de $0,51 \pm 0,06$ em CP, LS a $0,78 \pm 0,03$ em RM, UW. (Fig. 5)

Na BT, a maior densidade foi no inverno, enquanto a equitabilidade foi maior no verão independentemente do ponto de amostragem (Fig. 5, Tab. 2). Os valores de riqueza e diversidade não apresentaram diferença significativa entre os fatores isolados ou combinados.

Na praia de CP, a densidade de nematoides atingiu seus maiores valores significativos nas regiões baixa e média do entre marés no verão (Fig. 5, Tab. 3,4). A riqueza de gêneros teve seu valor significativamente mais alto no LW enquanto a diversidade de Shannon e a equitabilidade tiveram o valor significativamente menor no LS.

Para a praia da RM, a densidade de nematoides não variou entre as diferentes regiões do entre marés e a estação do ano (Fig. 5, Tabs. 5,6). A maior riqueza de gêneros foi encontrada no inverno independente da região do entre-marés amostradas, sendo os valores significativamente maiores encontrados na parte inferior da região do entre-marés. Já a menor diversidade de Shannon foi encontrada no US e os maiores valores de equitabilidade no LW, MS e UW.

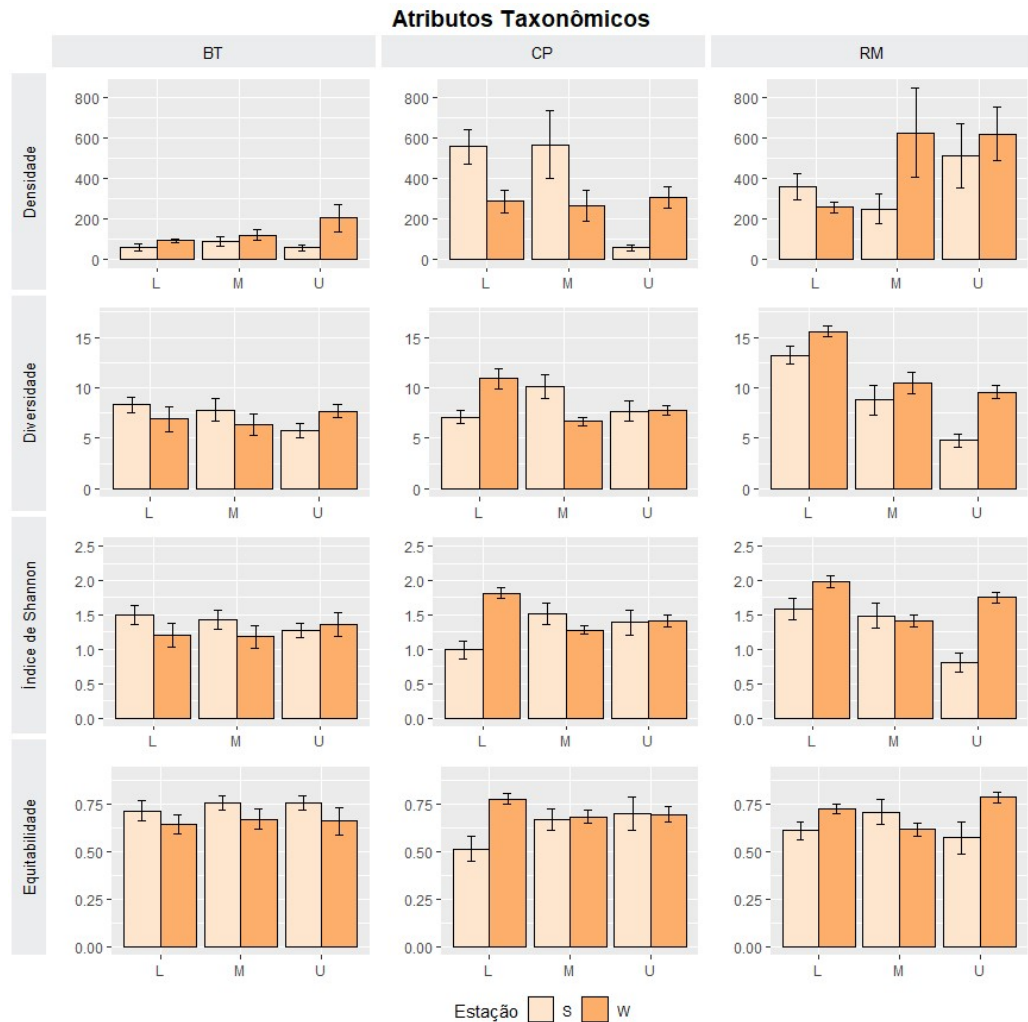


Figura 5: Resultado dos índices de diversidade taxonômica das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005. Os valores médios (N=9) são apresentados de acordo com as diferentes regiões do entre-marés (L: baixa, M: média, U: alta). A barra de erros indica o erro-padrão.

Tabela 2: **Barra da Tijuca** – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito. Atributos taxonômicos

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Taxonômica	Densidade	2	26148	0.044	1.380	0.268	1	66500	0.113	7.017	0.003	2	40880	0.069	2.157	0.118
	Riqueza	2	7.26	0.017	0.442	0.646	1	1.500	0.003	0.183	0.667	2	33.33	0.076	2.030	0.144
	Shannon	2	0.015	0.001	0.038	0.962	1	0.317	0.030	1.553	0.216	2	0.374	0.036	0.916	0.407
	Pielou	2	0.013	0.010	0.266	0.764	1	0.098	0.077	4.078	0.047	2	0.002	0.001	0.035	0.964

Tabela 3: **Copacabana** – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito.

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Taxonômica	Densidade	2	681720	0.134	4.814	0.001	1	159942	0.031	2.259	0.141	2	855777	0.168	6.043	0.003
	Riqueza	2	14.70	0.035	1.224	0.310	1	0.30	0.001	0.049	0.817	2	117.37	0.279	9.773	<0.001
	Shannon	2	0.001	<0.001	0.003	0.997	1	0.575	0.057	4.097	0.049	2	2.792	0.277	9.955	<0.001
	Pielou	2	0.023	0.015	0.458	0.636	1	0.112	0.067	4.057	0.049	2	0.198	0.119	3.593	0.034

Tabela 4: **Copacabana** – Atributos taxonômicos: Resultados dos testes de comparação par a par. Apenas diferenças significativas entre os diferentes fatores indicados.

Fator	Índice	Par	F	p
Altura x Estação	Densidade	LW X LS	7.1810	0.013
		LW X US	16.1400	0.001
		MW X LS	6.5512	0.024
		MW X US	9.9670	0.008
		UW X LS	6.4407	0.027
		UW X US	20.1226	0.001
		LS X US	33.4989	0.001
		MS X US	9.1758	0.001
	Diversidade	LW X MW	16.6936	0.007
		LW X UW	8.8838	0.017
		LS X MS	5.1519	0.042
		LW X LS	10.9573	0.009
		LW X US	5.4610	0.036
		MW X MS	7.8449	0.008
	Pielou	LW X MW	4.4235	0.049
		LW X LS	14.2134	0.001
		MW X LS	5.4333	0.037
		UW X LS	5.8287	0.039
	Shannon	LW X MW	29.7496	0.001
		LW X UW	11.6180	0.003
		LW x LS	30.9422	0.002
		LW X US	4.5311	0.035
		UW X LS	7.8630	0.016
		LS X MS	6.7172	0.020

Tabela 5: **Restinga da Marambaia** – Atributos taxonômicos: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito.

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Taxonômica	Densidade	2	603224	0.070	1.980	0.149	1	220502	0.025	1.447	0.119	2	519164	0.06	1.702	0.195
	Riqueza	2	485.780	0.482	30.573	<0.001	1	115.570	0.115	14.548	<0.001	2	24.150	0.024	1.520	0.228
	Shannon	2	2.357	0.165	7.899	0.001	1	2.410	0.169	16.152	<0.001	2	2.325	0.163	7.790	0.001
	Pielou	2	0.003	0.002	0.062	0.939	1	0.082	0.057	3.422	0.071	2	0.213	0.146	4.418	0.018

Tabela 6: **RESTINGA DA MARAMBAIA** – Atributos taxonômicos: Resultados dos testes de comparação par a par. Apenas diferenças significativas entre os diferentes fatores indicados.

Fator	Índice	Par	F	p
Altura x Estação	Shannon	LW x MW	21.3286	0.001
		MW X UW	7.9739	0.017
		LW X LS	5.2329	0.041
		LW X MS	5.7753	0.022
		LW X US	51.6263	0.001
		MW X US	13.5065	0.005
		UW X US	34.3837	0.001
		LS X US	14.0934	0.003
		MS X US	8.4511	0.018
	Pielou	LW X UW	6.4979	0.028
		MW X UW	14.8115	0.003
		LW X LS	4.2739	0.047
		UW X LS	9.6860	0.005
		UW X US	5.7390	0.040

3.2 Diversidade Funcional

O índice de maturidade MI variou de $2,02 \pm 0,01$ em CP, LS a $3,34 \pm 0,15$ em CP, UW. (Fig. 6). Não houve diferença significativa entre os valores de MI encontrados em BT independente da estação do ano ou da região do entre-marés amostrada. Na RM, o MI foi significativamente mais alto na região média do entre marés e o menor valor significativo de MI foi encontrado no LS da praia de CP.

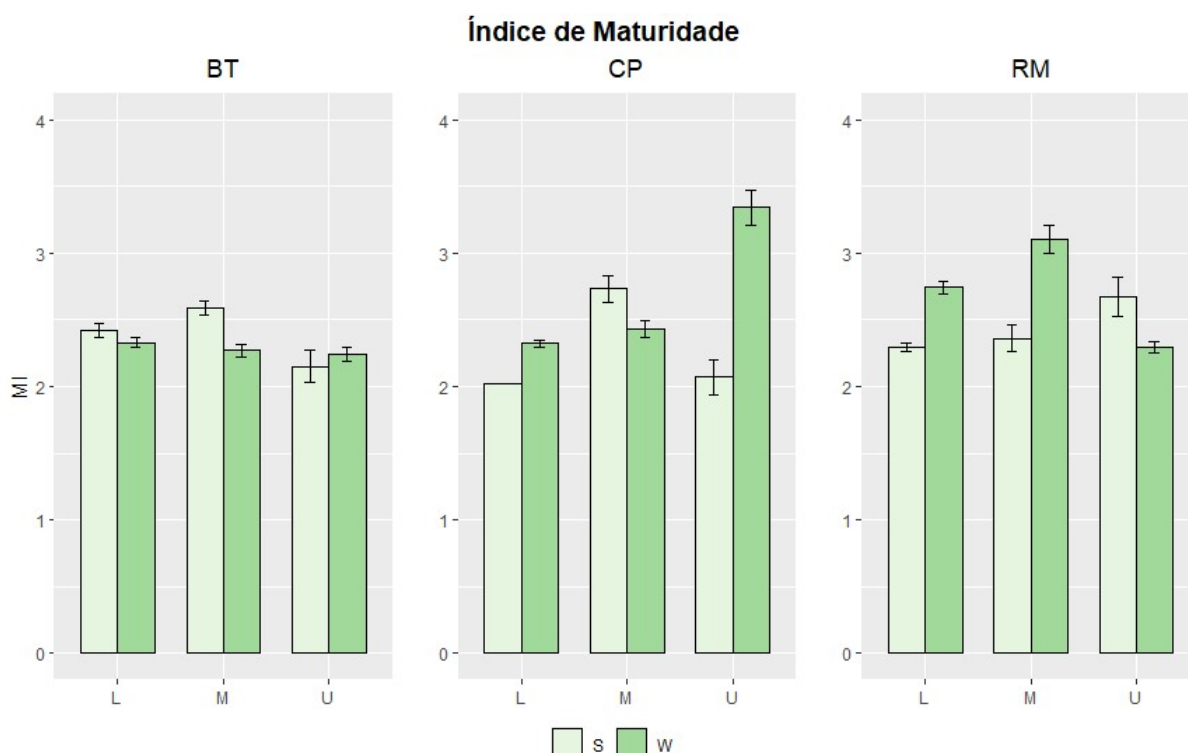


Figura 6: Resultado dos índices de maturidade das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005. Os valores médios (N=9) são apresentados de acordo com as diferentes regiões do entre-marés (L: baixa, M: média, U: alta). A barra de erros indica o erro-padrão.

O índice de dispersão funcional FI-CP variou de $0,41 \pm 0,02$ em BT, US a $0,97 \pm 0,01$ em CP, LS. (Fig.7). Para a praia BT, o menor valor significativo de FI-CP ocorreu em US (Fig. 7, Tab. 7,8). Para a praia de CP, o menor valor significativo de FI-CP ocorreu em LS (Fig. 7, Tab. 9,10). Na praia de RM os maiores valores significativos do índice ocorreram na região baixa do entre-marés (Fig. 7, Tab. 11).

O índice FI-MCB (ou ITD) variou de $0,38 \pm 0,01$ RM, LW a $0,69 \pm 0,04$ CP, LS. (Fig.7). Para a praia BT, os valores do índice foram estatisticamente iguais independente do fator considerado (Fig. 7, Tab. 7). Para a praia de CP o maior valor

significativo de FI-MCB ocorreu no LS (Fig. 7, Tab. 9). Já na praia RM, os menores valores significativos de FI-MCB ocorreram em LW e UW (Fig. 7, Tab. 11).

O índice FI-Anfídeo variou de $0,39 \pm 0,03$ em CP, UW a $0,96 \pm 0,01$ em CP, LS (Fig. 7). Tanto para a praia BT quanto para a praia CP, o índice FI-Anfídeo apresentou diferença significativa para o fator interação (Fig. 7, Tab. 7 e Tab. 9). No entanto, os maiores valores significativos desse índice apresentaram diferenças nessas duas praias, em BT os maiores valores ocorreram no MS e US já em CP o maior valor significativo ocorreu em LS. Na praia da RM, os valores do índice FI-Anfídeo variaram de acordo com a estação do ano e a região entre marés de forma independente, sendo os maiores valores encontrados no verão e na região inferior do entre-marés (Fig. 7, Tab. 9).

O índice FI-Cutícula foi significativamente diferente somente na praia de CP apresentando o valor significativamente menor no LW ($0,41 \pm 0,02$) e significativamente maior no LS ($0,91 \pm 0,02$) (Fig. 7, Tab. 9).

O índice FI-CAUDA atingiu seu mínimo de $0,44 \pm 0,01$ em BT, MS e seu máximo de $0,92 \pm 0,01$ em CP, LW (Fig. 7). Tanto para a praia BT e CP, o índice FI-CAUDA apresentou diferença significativa para o fator interação (Fig. 7, Tab. 7 e Tab. 9). No entanto os maiores valores significativos desse índice apresentaram diferenças nessas duas praias, em BT o menor valor ocorreu no MS já em CP o maior valor significativo ocorreu em LW. Na praia da RM, os valores do índice FI-CAUDA variaram somente em relação a região do entre-marés independente da estação do ano, sendo o menor valor encontrado na região inferior do entre-marés (Fig. 7, Tab. 9).

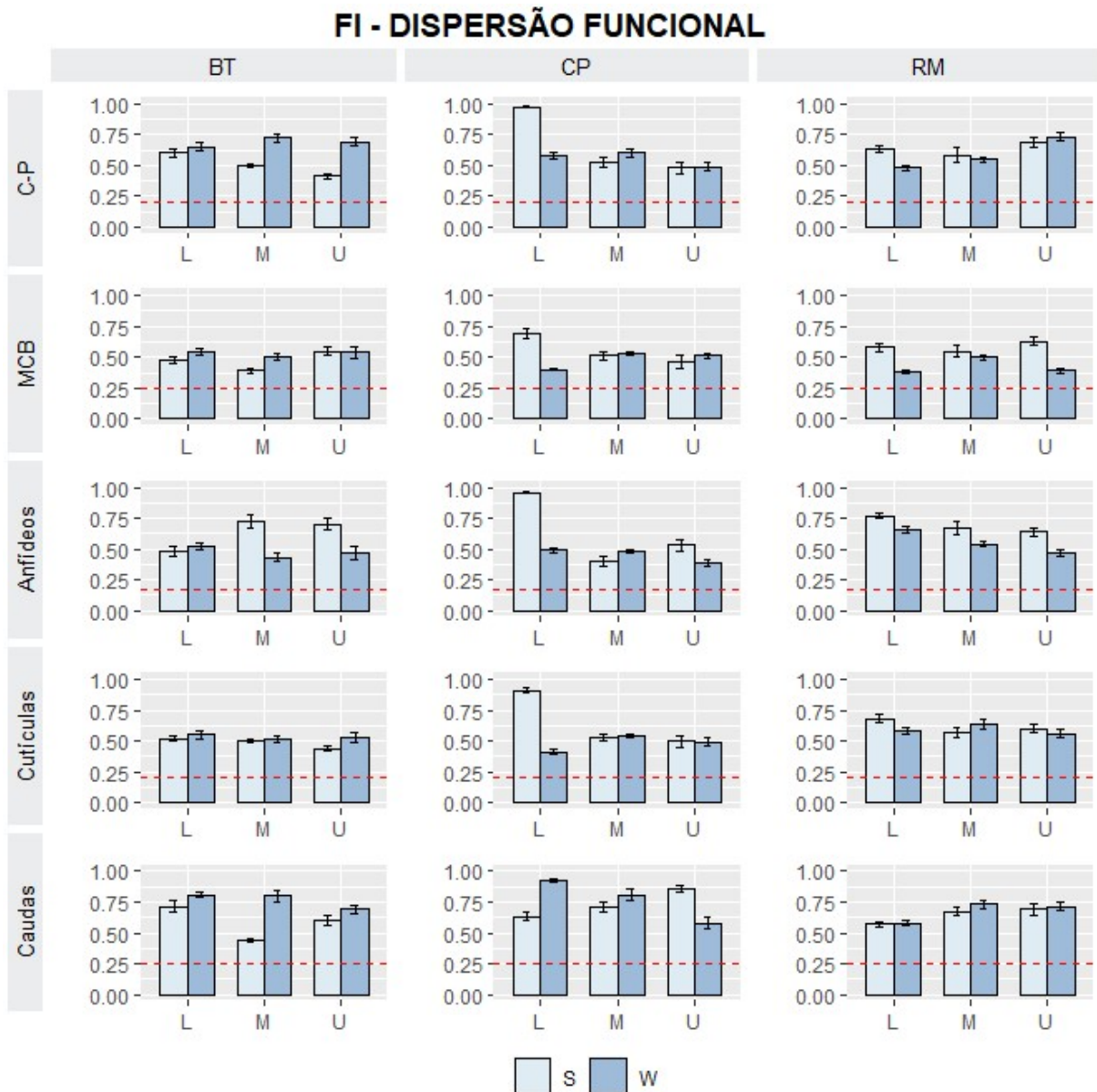


Figura 7: Resultado dos índices de dispersão dos atributos estudados para as três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005. Os valores médios (N=9) são apresentados de acordo com as diferentes regiões do entre-marés (L: baixa, M: média, U: alta). A barra de erros indica o erro-padrão. As linhas pontilhadas vermelhas representam o menor valor possível do índice, que por sua vez indica a maior homogeneidade possível da comunidade em relação à característica sendo analisada.

O índice de riqueza funcional FE variou de $4,56 \pm 0,56$ em RM, US a $14,56 \pm 0,47$ em RM, LW (Fig. 8). Para a praia BT, os valores de FE foram estatisticamente iguais para todos os fatores (Fig. 8, Tab. 7,8). Para a praia de CP, os índices FE alcançaram seus maiores valores significativos em LW e MS (Fig. 8, Tab. 9,10). Para RM, os maiores valores significativos ocorreram na região baixa do entre-marés, independentemente da estação e no inverno, independente da região do entre-marés (Fig. 8, Tab. 11,12).

O índice FRED apresentou uma pequena variação de $1,00 \pm 0$, a $1,10 \pm 0,03$ (Fig. 8). Para a praia BT, os valores de FRED não apresentaram diferença significativa (Fig. 8, Tab. 7). Enquanto na praia CP, os maiores valores significativos de FRED ocorreram na região inferior do entre marés (Fig. 8, Tab. 9). Para a praia de RM o maior valor significativo de FRED ocorreu na região inferior do entre marés (Fig. 8, Tab. 11).

O índice FVULN atingiu seu mínimo $0,90 \pm 0,03$ em CP, LS e seu máximo $1,00 \pm 0,00$ em vários locais e momentos (por exemplo BT - LS, MS e CP - MW, UW, MS) (Fig. 8). Para a praia BT, os valores FVULN não variaram de forma significativa em relação a nenhum dos fatores analisados (Fig. 8, Tab. 7,8). Para a praia da RM o maior valor significativo do índice ocorreu na região superior do entre marés (Fig. 8, Tab. 11,12).

O FORED variou de $0,0 \pm 0,0$ em diversos locais e momentos de amostragem (incluindo BT - LS, MS, UW e CP - MS, MW, US) a $0,07 \pm 0,02$ em CP, LS (Fig. 8). Para a praia BT, os valores FORED não variaram de forma significativa em relação a nenhum dos fatores analisados (Fig. 8, Tab. 7,8). Para a praia de CP, o maior valor significativo de FORED ocorreu no verão, independente da região da praia sendo que o maior valor ocorreu na região inferior do entre marés (Fig. 8, Tab. 9,10). E por fim, para a praia da RM, o maior valor significativo de FORED ocorreu na região inferior do entre marés independente da estação do ano (Fig. 8, Tab. 11,12).

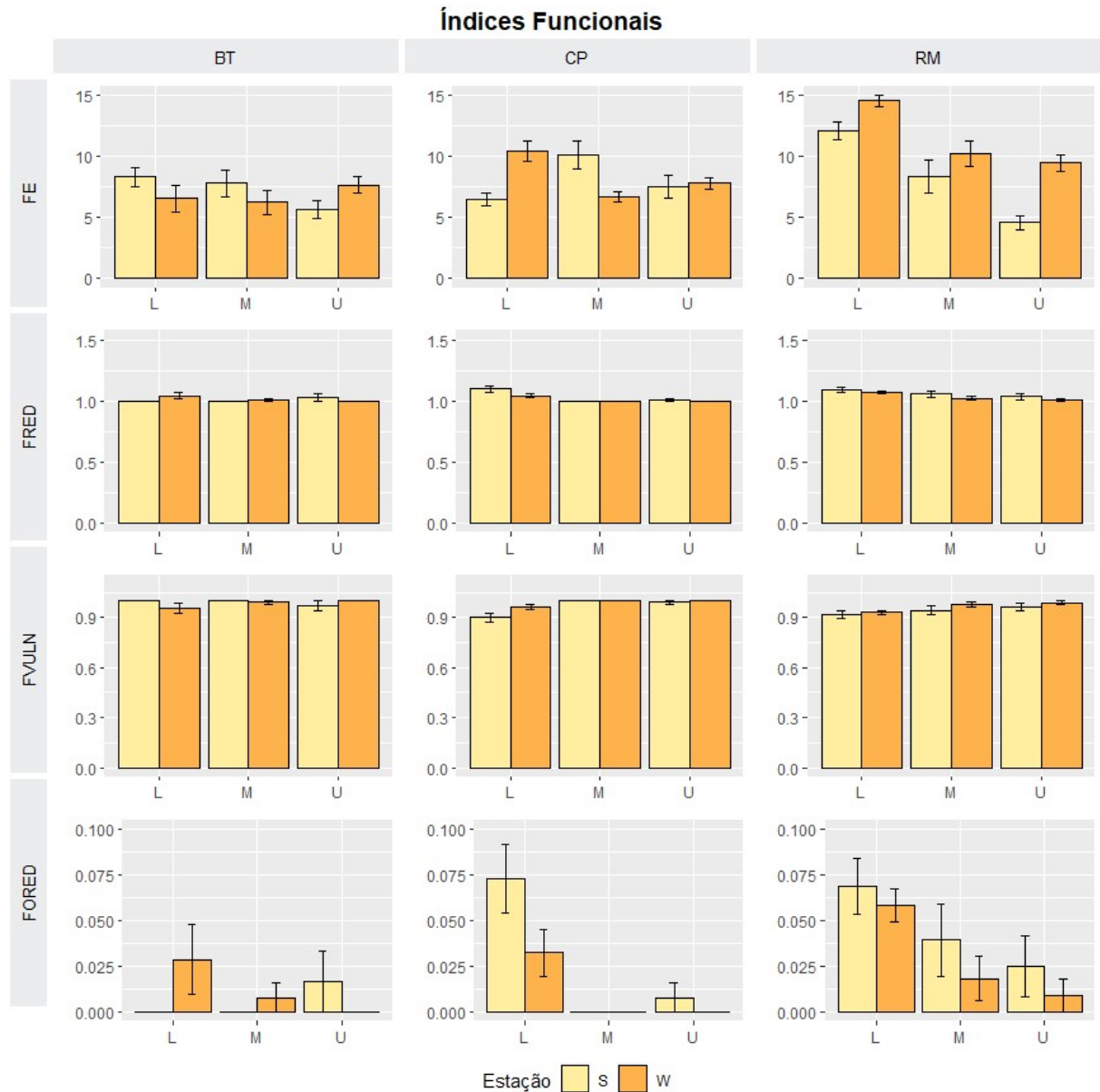


Figura 8: Resultado dos índices funcionais das três praias estudadas no verão(S) e inverno(W) de 2005. Os valores médios (N=9) são apresentados de acordo com as diferentes regiões do entre-marés (L: baixa, M: média, U: alta). A barra de erros indica o erro-padrão. FE: número de entidades funcionais, FRED: redundância funcional, FVULN: vulnerabilidade funcional e FORED: sobre redundância funcional.

Tabela 7: **BARRA DA TIJUCA** – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito.

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Morfo/Funcional	MI	2	0.5452	0.111	3.413	0.042	1	0.154	0.031	1.927	0.167	2	0.377	0.077	2.360	0.101
	FI-CP	2	0.0516	0.036	1.4917	0.233	1	0.4438	0.3072	25.666	< 0.001	2	0.119	0.082	3.445	0.039
	FI-MCB	2	0.089	0.084	2.3741	0.104	1	0.0434	0.0409	2.3156	0.1338	2	0.030	0.028	0.7941	0.457
	FI-Anfideo	2	0.079	0.033	1.139	0.330	1	0.3600	0.1496	10.44	0.002	2	0.313	0.130	4.544	0.017
	FI-Cutícula	2	0.025	0.035	0.943	0.401	1	0.0294	0.0409	2.1741	0.149	2	0.016	0.022	0.580	0.564
	FI-Caudal	2	0.209	0.102	4.309	0.020	1	0.451	0.222	18.63	< 0.001	2	0.214	0.105	4.417	0.019
	FE	2	5.480	0.013	0.360	0.696	1	2.670	0.006	0.350	0.543	2	40.440	0.098	2.657	0.081
	FRED	2	0.002	0.019	0.503	0.723	1	0.001	0.006	0.350	0.521	2	0.011	0.083	2.246	0.119
	FVUL	2	0.002	0.019	0.503	0.726	1	0.001	0.006	0.347	0.523	2	0.011	0.084	2.246	0.127
	FORED	2	0.001	0.018	0.473	0.721	1	0.001	0.011	0.568	0.519	2	0.005	0.082	2.212	0.126

Tabela 8: **BARRA DA TIJUCA** – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par. Apenas diferenças significativas entre os diferentes fatores indicados.

Fator	Índice	Par	F	p
Altura x Estação				
	FI-CP	LS X US	10.5485	0.007
		MS X US	5.2030	0.040
		LW X MS	7.7177	0.015
		LW X US	18.1445	0.005
		MW X MS	11.4862	0.006
		MW X US	21.8107	0.001
		UW X MS	12.5471	0.002
		UW X US	24.9611	0.001
	FI-Anfídeos	LS X MS	6.5883	0.027
		LS X US	6.2014	0.021
		LW X MS	5.6289	0.042
		LW X US	5.3161	0.039
		MW X MS	11.1352	0.010
		MW X US	11.4172	0.006
		UW X MS	6.4972	0.020
		UW X US	6.5883	0.019
	FI-Caudal	LS X MS	15.4035	0.003
		MS X US	7.3131	0.012
		LW X US	10.2223	0.007
		MW X US	4.8320	0.040
		UW X MS	23.8651	0.001
		LW X MS	112.9561	0.001

Tabela 9: **Copacabana** – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito.

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Morfo/Funcional	IM	2	2.841	0.156	9.497	<0.001	1	2.487	0.137	16.631	<0.001	2	5.651	0.311	18.894	<0.001
	FI-CP	2	0.809	0.325	19.82	<0.001	1	0.132	0.053	6.451	0.014	2	0.566	0.227	13.871	<0.001
	FI-MCB	2	0.034	0.025	0.872	0.426	1	0.074	0.054	3.771	0.057	2	0.316	0.230	7.990	<0.001
	FI-Anfideo	2	0.923	0.328	28.555	<0.001	1	0.425	0.151	26.277	<0.001	2	0.688	0.245	21.288	<0.001
	FI-Cutícula	2	0.269	0.129	9.1274	<0.001	1	0.361	0.173	24.428	<0.001	2	0.747	0.358	25.338	<0.001
	FI-CaudaL	2	0.030	0.016	0.674	0.526	1	0.016	0.008	0.687	0.401	2	0.731	0.387	15.767	<0.001
	FE	2	6.78	0.017	0.633	0.536	1	0.91	0.002	0.169	0.690	2	124.70	0.320	11.640	<0.001
	FRED	2	0.054	0.372	17.468	<0.001	1	0.007	0.051	4.787	0.033	2	0.010	0.067	3.139	0.050
	FVUL	2	0.054	0.372	17.467	<0.001	1	0.007	0.051	4.787	0.035	2	0.067	0.067	3.139	0.049

Tabela 10: **COPACABANA** – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par. Apenas diferenças significativas entre os diferentes fatores indicados.

Fator	Índice	Par	F	p
Altura x Estação				
	MI	LW X UW	28.0674	0.001
		MW X UW	18.5468	0.001
		LS x MS	24.3351	0.001
		MS X US	8.0911	0.009
	FI-CP	LS x MS	55.9320	0.001
		LS X US	47.5208	0.001
	FI-MCB	LS x MS	55.9320	0.001
		LS X US	47.5208	0.001
	FI-Anfídeos	LS x MS	107.0380	0.001
		LS X US	41.5273	0.001
	FI-Cutículas	LW x MW	17.3948	0.003
		LS x MS	59.1747	0.001
		LS X US	35.8347	0.001
	FI-CaudaL	LW X UW	28.6887	0.001
		MW X UW	7.1202	0.017
		LS X US	12.4805	0.003
	FE	LW x MW	16.0000	0.005
		LW X UW	7.7838	0.014
		LS x MS	8.2656	0.014
		LW X LS	15.9018	0.003
		LW X US	5.2505	0.045
		MW X MS	7.8449	0.010
	FRED	MW X LS	14.2616	0.006
		UW X LS	14.2617	0.007
		LS X US	10.4400	0.014
	FVULN	LS x MS	14.2617	0.009
		LS X US	10.4400	0.011
		MW X LS	14.2617	0.014
		UW X LS	14.2617	0.007
Altura				
	FORED	L x M	18.8854	0.002
		L X U	14.6438	0.001

Tabela 11: **RESTINGA DA MARAMBAIA** – Atributos funcionais: Resultados da PERMANOVA para os fatores região entre-marés, estação do ano e região entre-marés x estação do ano. Valores significativos ($p < 0.05$) em negrito.

Diversidade		Região entre-marés					Estação do Ano					Estação do Ano x Região entre-marés				
		df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p	df	MeanSqs	R2	F	p
Morfo/Funcional	MI	2	0.673	0.059	2.365	0.108	1	0.969	0.084	6.808	0.013	2	3.036	0.264	10.658	<0.001
	FI-CP	2	0.267	0.172	5.457	0.007	1	0.032	0.021	1.313	0.256	2	0.077	0.050	1.582	0.217
	FI-MCB	2	0.015	0.012	0.434	0.649	1	0.358	0.274	20.360	<0.001	2	0.089	0.068	2.542	<0.001
	FI-Anfídeo	2	0.243	0.175	6.583	0.003	1	0.251	0.1818	13.629	<0.001	2	0.011	0.008	0.306	0.738
	FI-Cutícula	2	0.017	0.014	0.365	0.693	1	0.008	0.006	0.3241	0.574	2	0.066	0.055	1.423	0.249
	FI-Caudal	2	0.190	0.173	5.140	0.010	1	0.014	0.012	0.738	0.398	2	0.008	0.007	0.213	0.797
	FE	2	370.480	0.438	27.349	<0.001	1	127.570	0.151	18.835	<0.001	2	22.930	0.027	1.692	0.197
	FRED	2	0.030	0.145	4.295	0.019	1	0.009	0.042	2.515	0.118	2	<0.001	0.002	0.060	0.944
	FVUL	2	0.026	0.130	3.766	0.030	1	0.007	0.036	2.092	0.153	2	<0.001	0.004	0.130	0.878
	FORED	2	0.021	0.187	5,762	0.005	1	0.003	0.003	1.876	0.176	2	<0.001	0.002	0.069	0.933

Tabela 12: **RESTINGA DA MARAMBAIA** – Atributos funcionais: Resultados dos testes de comparação par a par. Apenas diferenças significativas entre os diferentes fatores indicados.

Fator	Índice	Par	F	p
Altura x Estação				
	MI	LW X UW	27.1610	0.001
		MW X UW	24.8394	0.002
		LW X MW	4.9380	0.041
		LW X LS	3.6483	0.001
		LW X MS	6.3307	0.020
		MW X LS	26.7554	0.001
	FI-MCB	LW x MW	10.3258	0.009
		MW X UW	5.6401	0.037
		LW X LS	17.1743	0.001
		LW X MS	5.5203	0.039
		LW X US	22.3414	0.001
		UW X LS	11.9748	0.005
		UW X MS	4.2783	0.048
		UW X US	16.2727	0.002
Altura				
	Diversidade	L X M	19.7010	0.001
		L X U	58.9451	0.001
	FI-Anfídeos	L X M	5.2457	0.045
		L X U	12.4576	0.003
	FI-Caudal	L x M	10.3725	0.003
		L X U	8.8892	0.007
	FE	L x M	15.9467	0.002
		L X U	50.7190	0.001
	FRED	L x M	3.7987	0.060
		L x U	9.8434	0.003
	FVULN	L X U	8.8505	0.007
	FORED	L X M	5.7611	0.002
		L X U	13.2003	0.001

4. DISCUSSÃO

Encontrar padrões de distribuição espacial para a meiofauna em geral, e para nematoides em particular, é uma tarefa difícil, dada a diversidade de fatores que determinam essa distribuição: variam desde variáveis ambientais ligadas aos ciclos de marés, como a dessecação, até perturbações antrópicas como o pisoteamento do litoral (MARIA et al., 2012). Shea et al. (2004) propõe que o nível de perturbação física causado pelas marés é um dos possíveis fatores a atuar na composição e distribuição das comunidades de nematoides em praias arenosas. Embora as três praias estudadas, apresentem semelhanças morfodinâmicas (CORRÊA, 2017; SANTOS et al., 2019) algumas diferenças podem ser destacadas, como variabilidade da extensão das regiões entre-marés e o nível de utilização humana. Além disso, o impacto causado pela densidade humana tende a ser maior em CP, médio em BT e menor em RM devido a seus níveis de uso e ocupação humana (SANTOS, 2019).

Como visto, as três praias apresentam padrões distintos em relação a distribuição horizontal da assembleia de nematoides no que diz respeito a densidade e diversidade de nematoides e algumas hipóteses podem ser levantadas.

A baixa densidade de nematódeos na praia da Barra da Tijuca, se reflete no cálculo dos diversos índices utilizados causando uma subestimativa da diversidade/riqueza. Índices de diversidade são sensíveis ao tamanho da amostra (BARRANTES e SANDOVAL, 2009) e, portanto, dependentes das densidades amostradas (PEET, 1975; GREEN, 1979). Já a praia de Copacabana, apresenta o maior nível de impacto associado ao uso intenso como ambiente recreativo em relações as demais. A alta e constante oferta de nutrientes e matéria orgânica pode facilitar as altas densidades e riquezas como já observado por Moreno; Albertelli e Fabia, 2009. O alto e constante nível de pisoteamento, por sua vez, diminuiria as densidades principalmente nas regiões alta e média do entre-marés, causando assim, a forte diferenciação da região baixa do entre-marés. em relações as demais regiões (GHESKIERE et al., 2004). Ainda, como os pontos de coleta na praia de Copacabana estão mais próximos entre si, a coleta é mais sensível aos efeitos de qualquer flutuação estocástica em torno de valores médios. E, por fim, a praia da Restinga da Marambaia foi a que possuiu a maior extensão da região entre marés, a menos poluída e menos pisoteada entre todas, apresentando os maiores índices de riqueza,

tanto taxonômica quanto funcional. Mas, como as demais, não apresentou gradientes de diversidade definidos na região média do entre-marés.

Nas praias da BT e da RM, alguns índices indicaram uma tendência de aumento de diversidade na parte média da região entre-marés, como previsto pela IDH. Nessas duas praias também se observou um aumento do índice de maturidade (MI) na região do entre-marés refletindo um aumento na diversidade ecológica da assembleia de nematoides (BONGERS, ALKEMADE e YEATES, 1991). De forma, análoga, observou-se um aumento da diversidade de Shannon na região média do entre marés durante o verão indicando tendência de aumento da diversidade da assembleia de nematoides durante essa estação. Esses aumentos apontam na direção de um aumento de diversidade na região média da praia.

A avaliação da diversidade funcional corrobora com essa tendência, uma vez que o índice FE aumentou na região média do entre marés na praia de Copacabana assim como o índice de maturidade, também aumentou nessa região para a praia da Restinga da Marambaia durante a estação do inverno. No entanto, de forma geral, o índice de maturidade em todas as praias e nas diferentes localidades se manteve em torno de 2 indicando a predominância de colonizadores em todos os pontos amostrados nas três praias (SEMPRUCCI et al., 2018), sugerindo um forte indicativo dos efeitos das perturbações constantes a qual as praias estão expostas, através da ação constante de ondas e ciclo de marés semidiurnal.

Os dois índices funcionais FE (número de entidades funcionais) e FRED (número médio de gêneros por entidade funcional) provocam importantes questionamentos. As variações observadas dos valores de FE refletem as variações observadas da riqueza (e do índice de Shannon), o que por sua vez se manifesta nos valores observados de FRED; todos muito perto de um. Como já suscitado por Semprucci et al., 2022 a diversidade funcional tende a espelhar a diversidade taxonômica. Os resultados aqui obtidos indicam que a caracterização funcional possibilita a determinação dos mesmos padrões obtidos via identificação taxonômica. Dessa forma, estudos ecológicos em praias arenosas poderiam demandar somente uma caracterização funcional, já que essa é baseada somente na observação de caracteres morfológicos e funcionais tornando o levantamento de dados mais rápido e simples, não havendo a necessidade de um taxonomista para realização da identificação genérica e/ou específica. Warwick (1988) apontou que diversos padrões

biológicos dos nematoides poderiam ser visualizados utilizando escalas menores de identificação, i.e., a identificação em nível de família e gêneros, o que já diminuiria o tempo requerido para uma identificação específica de organismos de tamanhos diminutos. No entanto, os resultados aqui obtidos mostram que o esforço de identificação pode ser diminuído ainda mais a partir de cálculos de diversidade funcional.

Embora as assembleias de nematoides apresentem perfis diferentes para cada praia, os resultados não corroboram exclusivamente a IDH, já que a região média do entre-marés não apresentou um pico de diversidade de nematódeos, seja através da utilização de índices baseados em taxonomia tradicional, morfologia ou funcionalidade nas três praias estudadas. Entretanto como destacado pelos índices de Shannon e FE nas praias de Copacabana e da Restinga da Marambaia, a IDH pode explicar parcialmente os resultados da maior diversidade taxonômica e/ou funcional em alguns momentos do ano. Portanto, os resultados aqui encontrados indicam fortes evidências de que outros fatores devem explicar a riqueza e diversidade da assembleia de nematódeos.

5. CONCLUSÃO

Os resultados desse trabalho mostram que a região do meio entre-marés não apresentou maior diversidade taxonômica, morfológica ou funcional maior que as demais como previsto pela IDH. Entretanto, o aumento dos índices de Shannon e FE i nas praias de Copacabana e da Restinga da Marambaia indicam que a IDH pode ser um dos fatores a explicar a maior diversidade taxonômica e/ou funcional em alguns momentos do ano. Entretanto, este trabalho encontrou fortes evidências de que outros fatores além da IDH, devem explicar a riqueza e diversidade da assembleia de nematódeos.

Um outro ponto importante, verificado a partir do resultado foi que, para a guilda construída, a diversidade funcional espelhou a diversidade taxonômica, evidenciando-se assim a possibilidade de se usar, somente as características funcionais para esse tipo de análise.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Marti J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral ecology**, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001.
- ARMONIES, Werner; REISE, Karsten. Faunal diversity across a sandy shore. **Marine Ecology Progress Series**, v. 196, p. 49-57, 2000.
- AUSTEN, Melanie C.; WIDDICOMBE, Stephen; VILLANO-PITACCO, Nicoletta. Effects of biological disturbance on diversity and structure of meiobenthic nematode communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 174, p. 233-246, 1998.
- BAIA, Erivaldo; VENEKEY, Virag. Distribution patterns of meiofauna on a tropical macrotidal sandy beach, with special focus on nematodes (Caixa d'Água, Amazon Coast, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 67, 2019.
- BARRANTES, Gilbert; SANDOVAL, Luis. Conceptual and statistical problems associated with the use of diversity indices in ecology. **Revista de biología tropical**, v. 57, n. 3, p. 451-460, 2009.
- BONGERS, Tom. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, v. 83, p. 14-19, 1990.
- BONGERS, Tom; ALKEMADE, Rob; YEATES, Gregor 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, Tom. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. **Plant and soil**, v. 212, p. 13-22, 1999.
- BONGERS, Tom; FERRIS, Howard. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 14, n. 6, p. 224-228, 1999.
- BRUSTOLIN, M. C.; THOMAS, M. C.; LANA, P. C. A functional and morphological approach to evaluate the vertical migration of estuarine intertidal nematodes during a tidal cycle. **Helgoland Marine Research**, v. 67, n. 1, p. 83-96, 2013.
- CATFORD, Jane A. et al. The intermediate disturbance hypothesis and plant invasions: Implications for species richness and management. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, v. 14, n. 3, p. 231-241, 2012.
- CONNELL, Joseph H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. **Science**, v. 199, n. 4335, p. 1302-1310, 1978.

CORRÊA, R.V.; **Nematódeos como bioindicadores ambientais em praias arenosas do estado do Rio de Janeiro**. Orientadora: Tatiana F. Maria. 2017. 56 f. TCC (Graduação) Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

COULL, Bruce C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. **Australian Journal of Ecology**, v. 24, n. 4, p. 327-343, 1999.

DAHL, Erik. Some aspects of the ecology and zonation of the fauna on sandy beaches. **Oikos**, v. 4, n. Fasc. 1, p. 1-27, 1952.

DATTA, Tridip Kumar; BERTOCCI, Iacopo. Integrating spatial and temporal patterns of free-living nematodes with physical and chemical environmental traits: implications for coastal ecological monitoring. *Hydrobiologia*, v. 850, n. 6, p. 1355-1391, 2023.

DEFEO, Omar; MCLACHLAN, Anton. Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. **Marine ecology progress series**, v. 295, p. 1-20, 2005.

FONSECA, G. et al. Testing for nematode–granulometry relationships. **Marine Biodiversity**, v. 44, n. 3, p. 435-443, 2014.

GHESKIÉRE, Tom et al. Horizontal zonation patterns and feeding structure of marine nematode assemblages on a macrotidal, ultra-dissipative sandy beach (De Panne, Belgium). **Journal of Sea Research**, v. 52, n. 3, p. 211-226, 2004.

GHESKIÉRE, Tom et al. Nematodes from wave-dominated sandy beaches: diversity, zonation patterns and testing of the isocommunities concept. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 62, n. 1-2, p. 365-375, 2005.

GIÉRE, Olav. **Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments**. Springer Science & Business Media, 2008.

GINGOLD, Ruth et al. The role of habitat heterogeneity in structuring the community of intertidal free-living marine nematodes. **Marine Biology**, v. 157, p. 1741-1753, 2010.

GREEN, Roger H. **Sampling design and statistical methods for environmental biologists**. John Wiley & Sons, 1979.

GRISSE, De. Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nématodes phytoparasitaires. **Mededelingen van de Rijks Faculteit Landbouwwetenschappen Gent**, v. 34, p. 351, 1969.

HALL, Stephen J. Physical disturbance and marine benthic communities: life in unconsolidated sediments. **Oceanography and Marine Biology: an annual review**, 1994.

HEIP, C. H. R.; HERMAN, R.; VINCX, M. Variability and productivity of meiobenthos in the Southern Bight of the North Sea. **Rapports et procès-verbaux des Hr unions/Conseil permanent international pour l'exploration de la mer**, v. 183, p. 51-56, 1984.

HUSTON, Michael. A general hypothesis of species diversity. **The American Naturalist**, v. 113, n. 1, p. 81-101, 1979.

JUSTINO, Juci lia Ten rio et al. A functional perspective of nematode assemblages as proxy of quality in tropical estuarine tidal flats. **Marine Environmental Research**, v. 186, p. 105922, 2023.

KOTWICKI, Lech et al. Horizontal and vertical distribution of meiofauna on sandy beaches of the North Sea (The Netherlands, Belgium, France). **Helgoland marine research**, v. 59, n. 4, p. 255-264, 2005.

MAGNEVILLE, Camille et al. mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. **Ecography**, v. 2022, n. 1, 2022.

MARIA, Tatiana F. et al. The importance of biological interactions for the vertical distribution of nematodes in a temperate ultra-dissipative sandy beach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 97, p. 114-126, 2012.

MARIA, Tatiana F. et al. Tidal exposure or microhabitats: what determines sandy-beach nematode zonation? a case study of a macrotidal ridge-and-runnel sandy beach in Belgium. **Marine Ecology**, v. 34, n. 2, p. 207-217, 2013.

MARIA, Tatiana F. et al. Sandy beaches: state of the art of nematode ecology. **Anais da Academia Brasileira de Ci ncias**, v. 88, p. 1635-1653, 2016.

MCLACHLAN, Anton. Intertidal zonation of macrofauna and stratification of meiofauna on high energy sandy beaches in the Eastern Cape, South Africa. **Transactions of the Royal Society of South Africa**, v. 44, n. 2, p. 213-223, 1980.

MCLACHLAN, A., & Brown, A. C. 2006. 7 - Benthic Macrofauna Communities. In *The Ecology of Sandy Shores* (Second Edition) (pp. 125–161).

MCLACHLAN, Anton; ERASMUS, Theuns (Ed.). **Sandy Beaches as Ecosystems: Based on the Proceedings of the First International Symposium on Sandy Beaches, Held in Port Elizabeth, South Africa, 17–21 January 1983**. Springer Science & Business Media, 2013.

MCLACHLAN, A.; JARAMILLO, E. Zonation on sandy beaches. **Oceanography and Marine Biology: an annual review**, 1995.

MCLACHLAN, Anton; DEFEO, Omar. **The ecology of sandy shores**. Academic press, 2017.

MORENO, M. et al. Across shore variability and trophodynamic features of meiofauna in a microtidal beach of the NW Mediterranean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 66, n. 3-4, p. 357-367, 2006.

MORENO, M.; ALBERTELLI, G.; FABIANO, M. Nematode response to metal, PAHs and organic enrichment in tourist marinas of the Mediterranean Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1192-1201, 2009.

OKSANEN, Jari et al. The vegan package. **Community ecology package**, v. 10, n. 631-637, p. 719, 2007.

PEET, Robert K. Relative diversity indices. (**Ecology**, v. 56, n. 2, p. 496-498, 1975.

PEREIRA, Tiago José et al. Patterns of spatial variation of meiofauna in sandy beaches of northwestern Mexico with contrasting levels of disturbance. **Thalassas: An International Journal of Marine Sciences**, v. 34, p. 53-63, 2018.

PLATT, Howard M. et al. **Freeliving marine nematodes. Part 1: British enoplids. Pictorial key to world genera and notes for the identification of British species.** Cambridge University press, for the Linnean Society of London and the estuarine and brackish-water sciences association, 1983.

PLATT, H. M.; WARWICK, R. M. Free-living marine nematodes. Part II. British Chromadorids. Synopsis of the British fauna (new series) no. 38. 1988.

R CORE TEAM, A. et al. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. 2022.

RICKLEFS, Robert E.; RELYEA, Rick; RICHTER, Christoph. **Ecology: the economy of nature.** New York: WH Freeman, 2014.

RODRIGUEZ, J. GERMÁN; LOPEZ, JESÚS; JARAMILLO, EDUARDO. Community structure of the intertidal meiofauna along a gradient of morphodynamic sandy beach types in southern Chile. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 74, n. 4, p. 885-897, 2001.

SALVAT, B. Les conditions hydrodynamiques interstitielles des sédiments meubles intertidaux et la répartition verticale de la faune endogée. **COMPTES RENDUS HEBDOMADAIRES DES SEANCES DE L ACADEMIE DES SCIENCES**, v. 259, n. 8, p. 1576-1579, 1964.

SANDERS, Howard L. Marine benthic diversity: a comparative study. **The American Naturalist**, v. 102, n. 925, p. 243-282, 1968.

SANTOS, G. H. C.; **Meiofauna como bioindicadores em praias do Rio de Janeiro: aplicabilidade da razão nematoda/copepoda.** Orientadora: Tatiana F. Maria. 2016. 45 f. TCC (Graduação) Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, G. H. C.; CARDOSO, R. S.; MARIA, T. F. Bioindicators or sediment relationships: Evaluating ecological responses from sandy beach nematodes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 224, p. 217-227, 2019.

SHEA, Katriona; ROXBURGH, Stephen H.; RAUSCHERT, Emily SJ. Moving from pattern to process: coexistence mechanisms under intermediate disturbance regimes. **Ecology letters**, v. 7, n. 6, p. 491-508, 2004.

SCHRATZBERGER, Michaela; INGELS, Jeroen. Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic ecosystems. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 502, p. 12-25, 2018.

SEMPRUCCI, F. et al. Do the morphological and functional traits of free-living marine nematodes mirror taxonomical diversity? **Marine environmental research**, v. 135, p. 114-122, 2018.

SEMPRUCCI, Federica; GRASSI, Eleonora; BALSAMO, Maria. Simple is the best: An alternative method for the analysis of free-living nematode assemblage structure. **Water**, v. 14, n. 7, p. 1114, 2022.

THISTLE, D.; LAMBSHEAD, P. D.; SHERMAN, K. M. Nematode tail-shape groups respond to environmental differences in the deep sea. **Vie et Milieu/Life & Environment**, p. 107-115, 1995.

WARD, A. R. Studies on the sublittoral free-living nematodes of Liverpool Bay. II. Influence of sediment composition on the distribution of marine nematodes. **Marine Biology**, v. 30, p. 217-225, 1975.

WARWICK, R. M. The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 19, n. 6, p. 259-268, 1988.

WARWICK, R. M.; PLATT, H. M.; SOMERFIELD, P. J. Free-living marine nematodes. Part III. British Monhysterida. **Field Studies Council, Shrewsbury, UK**, 1998.

WIESER, Von W. Die Beziehungen zwischen Mundhohlengestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. **Arkiv for zoologi (Ser. 2)**, v. 4, p. 439-484, 1953.

WILKINSON, David M. The disturbing history of intermediate disturbance. **Oikos**, v. 84, n. 1, p. 145-147, 1999.