

# Padrões de diversidade taxonômica e funcional de praias arenosas como subsídios para planos de conservação e manejo.

**Palavras-Chave:** Urbanização, Índices funcionais, Macrofauna.

**Thiago Martinez Garcia – Instituto de Biologia/Unicamp**

**Dr. Guilherme N. Corte – Instituto de Biologia/Unicamp e Instituto Oceanográfico/USP**

**Profa. Dra. Antônia Cecília Z. Amaral – Instituto de Biologia/Unicamp**

## 1. INTRODUÇÃO:

As praias arenosas fornecem bens e serviços ecossistêmicos essenciais, não apenas para nossa sociedade, mas também abrigam uma biota diversificada necessária para o bom funcionamento do ecossistema (Defeo et al., 2009). Entretanto, as praias estão sujeitas aos impactos da urbanização e das mudanças climáticas, comprometendo sua biodiversidade e serviços.

Para que o ecossistema de praia arenosa seja protegido com sucesso no longo prazo, as estratégias de conservação devem considerar o funcionamento adequado do ecossistema (Turra et al. 2013). Nesse contexto, torna-se fundamental o conhecimento dos padrões de biodiversidade taxonômica e funcional em diferentes tipos de praias, bem como a compreensão de como esses padrões podem ser influenciados pelas características ambientais e impactos antrópicos (Borja et al., 2016).

Neste projeto, foram pesquisadas a biodiversidade taxonômica e funcional de 30 praias arenosas ao longo da costa norte de São Paulo, com foco na macrofauna bêntica. A partir dessas investigações, foram analisadas como características ambientais e impactos antrópicos influenciam essa biodiversidade.

## 2. METODOLOGIA:

Para estudar a biodiversidade em diferentes tipos de praias arenosas, foram selecionadas 30 praias com diferentes características morfodinâmicas e graus de urbanização. Essas praias foram amostradas em cinco campanhas de coletas realizadas durante o primeiro semestre de 2019. A coleta dos parâmetros ambientais e macrofauna bêntica foi efetuada a partir de três setores em cada praia (extremidades e centro). Dentro de cada setor, foram delimitadas cinco zonas, desde as dunas ou área com vegetação, até a zona de surfe (Fig. 1). Mantendo um espaçamento mínimo de 10 m entre cada zona.

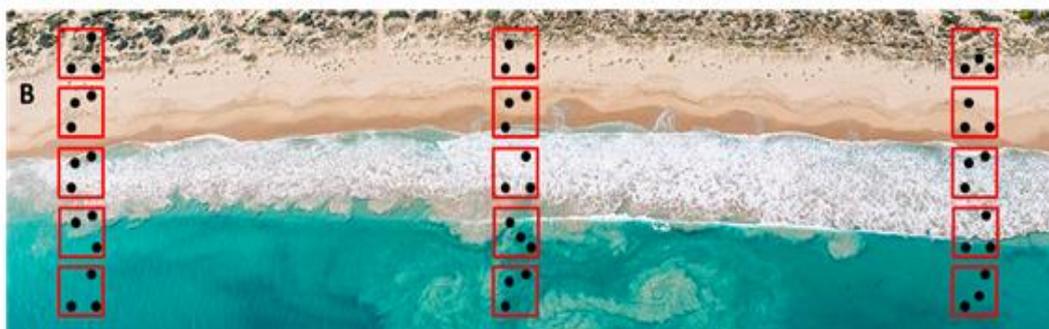


Figura 1. Esquema de amostragem da macrofauna bêntica utilizada no projeto. Cada quadrado representa uma das cinco zonas amostradas nos três setores de cada praia. Os pontos dentro dos quadrados representam amostras coletadas com o amostrador de 15 cm de diâmetro.

Para caracterização ambiental, foram medidos os parâmetros: declividade da praia, tipo de sedimento, microfítobentos, altura de ondas e grau de urbanização de cada praia. O declive da praia foi determinado pela medida do perfil (Emery, 1961). As análises dos parâmetros do sedimento foram feitas seguindo Suguio (1973) e as estatísticas dos sedimentos foram calculadas com o software SysGran, usando os parâmetros de Folk e Ward (1957). A biomassa do microfítobentos foi estimada a partir de concentrações de clorofila e feopigmentos). Altura de onda foi medida in situ. O nível de urbanização de cada praia foi calculado por meio do "Índice de urbanização" ('Urbanization index') o qual estima o nível de urbanização usando sete variáveis: (1) Proximidade a centros urbanos, (2) construção na areia, (3) limpeza de praia, (4) resíduos sólidos na areia, (5) tráfego de veículos na areia (6) qualidade do céu noturno e (7) frequência dos visitantes. Em cada zona de cada setor, três amostras de sedimento foram coletadas com um amostrador de 15 cm de diâmetro e outra amostra foi coletada com um quadrado de 0,5 m de lado. Todas as amostras foram coletadas até 20 cm de profundidade. Todas as amostras foram triadas em malhas de 0.5mm ou 1mm.

Os indivíduos coletados foram identificados em nível específico com o auxílio de chaves taxonômicas e artigos científicos e também foram classificados de acordo com características biológicas conhecidas por influenciar o papel funcional da espécie no ecossistema, cinco características foram selecionadas: Tamanho do corpo (comprimento máximo), comportamento (mobilidade), história de vida (tempo de vida), habitat ocupado (profundidade no sedimento) e modo de alimentação (grupo trófico). Essas cinco características foram, subdivididas em modalidades para representar o comprimento de variação para cada traço funcional. Após isso, através, "fuzzy coding" com valores de 0 a 3, cada táxon foi classificado de acordo com sua compatibilidade com cada tipo de traço funcional; onde 0 foi utilizado em casos sem nenhuma compatibilidade e 3 nos casos de compatibilidade plena.

A diversidade funcional foi avaliada com análise de características biológicas (Biological Traits Analysis, BTA; Bremner, 2008) e cálculo dos índices de Riqueza Funcional (Functional Richness, FRIC), Equabilidade Funcional (Functional Evenness, FEve), Divergência Funcional (Functional Divergence, FDiv) e Entropia Quadrática de Rao (Rao's Quadratic Entropy, Rao's Q). As medidas de diversidade funcional foram calculadas com base na matriz difusa das características funcionais com o pacote "FD" do ambiente R. Mudanças na abundância, riqueza de espécies e diversidade funcional em relação às características ambientais (ex., estado morfodinâmico e grau de urbanização) de diferentes tipos de praias foram investigadas por meio de Modelos Aditivos Generalizados (GAM).

### 3. RESULTADOS:

Sobre a caracterização ambiental, a declividade das 30 praias, num geral, se mostrou baixa, com uma média de 0,06 da escala de Emery, 1961, as maiores exceções foram as praias de Boiçununga, Capricórnio e Mococa. Com relação ao tipo de sedimentos, a média destes ficou em 2,21 em escala  $\phi$ , onde o grão mais fino está situado na praia de Barequeçaba (areia muito fina) e o mais grosso na praia de Capricórnio (areia grossa). Os microfítobentos apresentaram uma grande variação em proporção ao longo das praias, de maneira geral, praias com maior impacto urbano (UI), apresentaram um menor número de microfítobentos. As ondas apresentaram tamanhos médios de 63,38cm ao longo de todas as praias, apesar disso existe grande disparidade entre os valores de cada praia, inclusive ao longo de diferentes zonas de algumas praias como, por exemplo, na praia Cidade. O mesmo vale para o grau de urbanização das praias (UI), praias de acesso mais simples, como a praia Grande, apresentaram valores muito maiores de urbanização do que praias em áreas de reserva como Fazenda, por exemplo.

No total, foram identificadas 175 espécies da macrofauna bêntica de praias arenosas: 31 Crustacea (Malacostraca), 35 Hexapoda (Insecta), 21 Mollusca (14 Bivalvia, 7 Gastropoda), 6 Equinodermata (4 Ophiuroidea, 2 Echinoidea) e 73 Annelida (2 Oligochaeta, 70 Polychaeta, 1 Sipuncula), 3 Cnidaria (Anthozoa) e 2 Chelicerata (Araneae).

Os valores de riqueza funcional (FRic) apresentaram grande variação, em sua grande maioria entre 4~26, apenas duas praias saíram desse padrão Boiçucanga (0,6) e Capricórnio (2,65). Os valores de equabilidade funcional variaram entre 0,15 (Toque-Toque) e 0,81 (Mococa). A divergência funcional, na maioria das praias, foi acima de 0,6. Entropia quadrática de Rao, por sua vez, apresentou poucos valores abaixo de 10 a maior exceção é Toque-Toque (3,65). Os índices funcionais de FEve e FDiv demonstraram apenas uma variável significativa de impacto negativo, diâmetro de grãos e tamanho de ondas, respectivamente. Inclusive, a característica ambiental que mais demonstrou afetar a diversidade funcional das praias arenosas foi o Tamanho de Ondas (Waves), diminuindo Fdiv, Fric, Fdiv e Espécies singulares. FRic também sofreu impactos por influência de rios e RaoQ sofreu impactos por urbanização (Tabela 1).

**Tabela 1: Planilha de Ambiente-Diversidade de características funcionais**

Os valores em negrito determinam que o respectivo termo é significativo, dado  $\alpha=0.05$ ,  $df$ = grau de liberdade. E. Sing = espécies singulares, Fric = Riqueza Funcional, FEve = Equabilidade Funcional, Fdiv = Divergência Funcional, RaoQ = Entropia Quadrática de Rao, UI = índice de urbanização, Fitobent = fitobêntos, Mean = diâmetro do grão em escala  $\phi$ , Waves = tamanho das ondas, Lat/long = latitude e longitude, River = influência dos rios.

	Abundância		E.Sing		Fric		FEve		FDiv		RaoQ	
	Df	P	Df	P	Df	P	Df	P	Df	P	Df	P
UI	2	0.099	3	0.056	1	0.544	1	0.479	2	0.345	1	<b>0.006</b>
Fitobent	3	0.94	1	<b>0.043</b>	2	0.121	1	0.403	1	0.137	1	0.1
Mean	1	<b>&lt;0.001</b>	1	0.416	1	0.181	1	<b>0.036</b>	2	0.348	1	0.125
Waves	1	0.335	1	<b>&lt;0.001</b>	1	<b>0.015</b>	1	0.947	4	<b>0.014</b>	1	<b>0.001</b>
Lat/Longitude	10	<b>&lt;0.001</b>	15	<b>0.0001</b>	8	0.086	4	0.265	2	0.071	2	0.571
River	1	0.408	3	<b>0.01</b>	2	<b>0.029</b>	1	0.995	1	0.107	1	0.12

Outro ponto observado foi como o tamanho de ondas afetou levemente o tamanho de população de moluscos, porém mostrou afetar as populações de crustáceos positivamente e poliquetas negativamente (Fig 2). A declividade da praia também mostrou afetar negativamente populações de poliquetas, moluscos e crustáceos. (Fig 3).

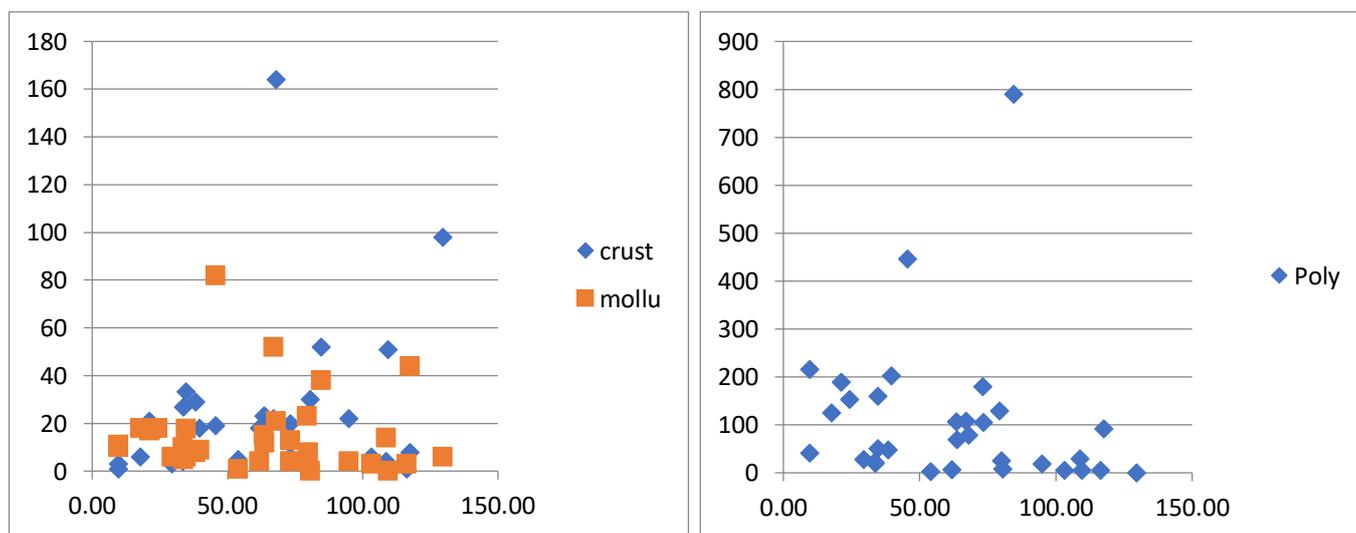


Figura 2: gráficos de dispersão entre números de indivíduos (y) e tamanho de ondas (x) dos respectivos grupos. Poliquetas foram separados devido a grande disparidade em seus números com relação aos outros grupos. Crust = crustáceos, Mollu = moluscos e poly = poliquetas.

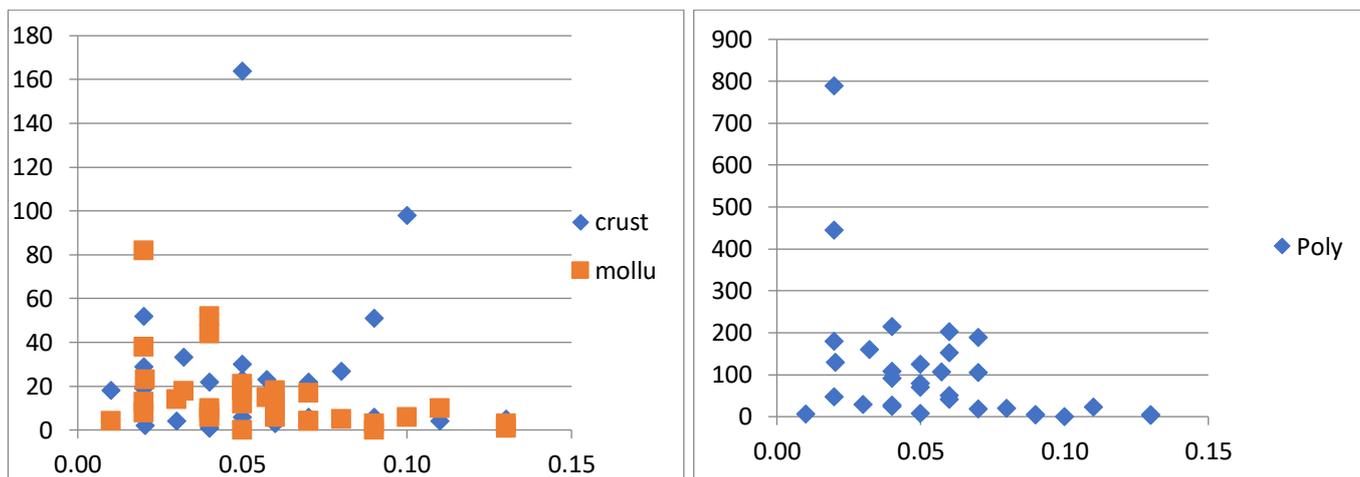


Figura 3: gráficos de dispersão entre números de indivíduos (y) e declividade (x) dos respectivos grupos. Poliquetas foram separados devido a grande disparidade em seus números com relação aos outros grupos. Crust = crustáceos, Mollu = moluscos e poly = poliquetas.

#### 4. DISCUSSÃO/CONCLUSÃO:

Durante esse trabalho, foi constatado que a altura de ondas apresenta ser um fator crucial para a diversidade funcional desses ecossistemas, afetando, de maneira significativa 5 dentre 7 índices funcionais que analisamos. Outra característica ambiental importante foi o UI (índice de urbanização), esta característica foi calculada a partir de 7 variáveis e representa o nível de urbanização das praias; essa característica mostrou afetar, de maneira significativa, tanto a dispersão funcional (FDis) quanto a entropia quadrática de Rao (RaoQ).

As características ambientais são um dos principais fatores que influenciam a fauna de praias arenosas. Dentre as características, as ondas mostram ser o principal fator atuante em praias arenosas, afetando diretamente na declividade, transporte de matéria orgânica e tipo de sedimento, ambientes com maior energia de ondas acabam selecionando espécies com melhores adaptações para escavação e/ou captação de alimento. O tipo de sedimento também influencia a fauna de praias arenosas, principalmente a infauna onde, as adaptações de cada organismo, para cada tipo de sedimento, são essenciais para que eles se desenvolvam no ambiente. A presença de rios, por sua vez, tem influência na composição da fauna, praias que sofrem maior ação de rios acabam alterando os níveis de salinidade e oxigenação (Amaral, et. Al., 2016) selecionando espécies que resistem melhor a essas mudanças.

Durante as análises funcionais das praias arenosas, constatamos como a variedade de tamanho das ondas afeta a diversidade funcional das praias, tendo impacto em quase todas as características de diversidade estudadas, corroborando ainda mais com essa afirmação. Já se é comprovado como o efeito de ondas afeta populações de peixes da zona de surf (Shah Esmaeili Y. et. al., 2021). Nossos dados apoiam essas comprovações e mostram que as ondas afetam não apenas peixes, como também todo o ecossistema das praias arenosas, se mostrando um importantíssimo fator para o equilíbrio desse ecossistema.

As análises sobre a riqueza funcional das praias (FRic) mostraram, em sua grande maioria, valores acima de 8, salvo duas exceções Boiçununga e Capricórnio, que ficaram muito abaixo da média (11,67), o que é bem preocupante. A riqueza funcional representa o alcance de características funcionais de determinado grupo, responsável por estimar o valor total de espaço funcional ocupado por determinados grupos de espécies (Mouchet et al. 2010) e, segundo nossos dados, mostrou sofrer fortes impactos por tamanho de ondas e pela influência de rios.

A praia de Toque-Toque, devido seu grande tamanho de ondas (109,36), junto de sua alta declividade e baixa diversidade de espécies e grupos (fauna composta majoritariamente por crustáceos apenas), apresentou o menor valor de divergência funcional (0,18). A divergência funcional representa a variedade de características funcionais dentro do ambiente, e mostrou sofrer impacto apenas pelo tamanho das ondas. Baixos valores de divergência funcional mostram um balanço sensível no ambiente, ou seja, nessas praias, caso alguma espécie desapareça isso pode acarretar em uma perda mais severa no funcionamento do ecossistema, uma vez que dificilmente outra espécie ira suprir a perda de funções da que desapareceu, tornando-se essencial o cuidado com impactos urbanos e ambientais nessas praias.

A equabilidade funcional (FEve) também seguiu esse padrão, apresentando poucos valores abaixo de 0.5. A equabilidade funcional se refere a regularidade em que as abundâncias de espécies são distribuídas em um espaço funcional, e mostrou sofrer impacto apenas do diâmetro de grãos. Pequenos valores de equabilidade

funcional demonstram que áreas do ambiente estudado apresentam um menor número de indivíduos (Mason, et. Al., 2005), mostrando uma maior concentração de indivíduos em determinadas áreas, isso torna problemático, por exemplo, a saída de esgotos em praias como, novamente, Toque-Toque uma vez que, caso a saída seja construída bem em uma região de grande concentração de indivíduos, isso pode acabar afetando o equilíbrio de todo ecossistema.

A entropia quadrática de Rao (RaoQ) é o índice de maior uso para quantificar diversidade funcional (Schleuter et al. 2010), ele atua de maneira complementar aos outros índices e sofreu impactos de urbanização e de tamanho de ondas. Os resultados apresentaram apenas 5 praias com valores abaixo de 10, indicando, que na maioria das praias, a diversidade funcional como um todo apresenta bons valores. Por ser uma medida geral e contínua, é importante estarmos atentos a praias com baixo valores de RaoQ, já que isso significa que essas, provavelmente, apresentam um ecossistema frágil em vários aspectos.

O índice de urbanização das praias mostrou afetar poucos dos índices funcionais analisados, tendo impacto apenas na entropia quadrática de Rao (RaoQ) e na dispersão funcional (FDIs). A abundância e o número de espécies únicas também chegaram bem próximos de apresentarem impactos significativos de urbanização (Tabela 1).

Concluindo, os resultados mostram que características de praias arenosas, como diâmetro de grãos, declividade de praia e, principalmente, altura de ondas, afetam a biodiversidade, tanto em abundância, como em características funcionais. Além disso, foi observado como a urbanização dos ambientes de praia arenosa do litoral norte do estado de São Paulo impacta no número de espécies distintas, na abundância dessas espécies e na diversidade funcional do ecossistema como um todo. Com isso em mente, as constantes urbanizações das regiões de praias arenosas ao redor de todo o mundo podem comprometer de maneira significativa, não apenas a biodiversidade, mas também todo o sistema de serviços que esses ambientes nos proporcionam.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Amaral, A. C. Z., Corte, G. N., Denadai, M. R., Colling, L. A., Borzone, C., Veloso, V., ... & Rosa, L. C. D. (2016). Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(SPE2), 5-16.
2. Borja A., Elliott M., Andersen J.H., Berg T., Carstensen J., Halpern B.S., Heiskanen A.-S., Korpinen S., Lowndes J.S.S. & Martin G. (2016) Overview of integrative assessment of marine systems: the ecosystem approach in practice. *Frontiers in Marine Science* 3, 20.
3. Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., & Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 1-12.
4. Emery K. (1961) A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography* 6, 90-3.
5. Folk R.L. & Ward W.C. (1957) Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*
6. Norman W. H. Mason, David Mouillot, William G. Lee, J. Bastow Wilson. (2005) Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity
7. Mouchet M.A., Villéger S., Mason N.W. & Mouillot D. (2010) Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology* 24, 867-76.
8. D. Schleuter, M. Daufresne, F. Massol, C. Argillier. (2010) A user's guide to functional diversity indices.
9. Shah Esmaili Y, Corte GN, Checon HH, Gomes TRC, Lefcheck JS, Amaral ACZ, Turra A (2021) Comprehensive assessment of shallow surf zone fish biodiversity requires a combination of sampling methods. *Mar Ecol Prog Ser* 667:131-144. <https://doi.org/10.3354/meps13711>
10. Suguio K. (1973) Introdução à sedimentologia.
11. Turra A., Croquer A., Carranza A., Mansilla A., Areces A.J., Werlinger C., Martinez-Bayon C., Gomes Nassar C.A., Plastino E., Schwindt E., Scarabino F., Chow F., Lopes Figueroa F., Berchez F., Hall-Spencer J.M., Soto L.A., Buckeridge M.S., Copertino M.S., Menezes de Szechy M.T., Ghilardi-Lopes N.P., Horta P., Coutinho R., Frascchetti S. & de Andrade Nery Leao Z.M. (2013) Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global Change Biology* 19, 1965-9.