



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Distribuição de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em Sedimentos de Fundo Da Lagoa de Marapendi, Rio De Janeiro (RJ)

Domynique da Silva Santos¹; Ricardo Gonçalves Cesar^{1,2}; Celeste Yara dos Santos Siqueira³; Gustavo Teixeira Koifman^{1,4}; Yan Ribeiro de Almeida Fernandes^{1,5}; Pedro de Almeida Zanetti Lavinias¹, Thairine Lima dos Santos³, Katia de Cássia Barbosa Alexandre⁵, Tácio Mauro de Campos⁶, Andrey Linhares Bezerra de Oliveira⁵.

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Instituto de Geociências, IGEO. Departamento de Geografia. Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. Email: ricardogc.geo@gmail.com, contato.pedrolavinias@gmail.com, domyniques@yahoo.com, yan.ralfer@gmail.com. ²UFRJ. Instituto de Geociências, IGEO. Departamento de Geologia. Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. ³Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Química. Avenida Athos da Silveira Ramos, 149, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. Email: celesteiara@gmail.com, thairine@gmail.com. ⁴Universidade Federal Fluminense, UFF. Departamento de Geoquímica. Alameda Barros Terra, 57 - São Domingos, Niterói - RJ. Email: gustavo.laranjeiras@gmail.com. ⁵Centro de Tecnologia Mineral, CETEM. Avenida Pedro Calmon, 900. Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. Email: katiab@cetem.gov.br, andreylinhares@gmail.com. ⁶Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio. Departamento de Engenharia Civil. Rua Marquês de São Vicente, 225. Rio de Janeiro, RJ. tacio@puc-rio.br

Artigo recebido em 29/10/2024 e aceito em 29/03/2025

RESUMO

A Lagoa de Marapendi (LM - Rio de Janeiro) sofre com impactos da urbanização intensa de seu entorno, resultando em anomalias de substâncias potencialmente tóxicas em sedimentos, incluindo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Este trabalho consiste na avaliação da distribuição espacial de HPAs em sedimentos de fundo da LM. Foram coletadas 23 amostras de sedimento superficial ao longo de toda a LM levando-se em consideração sua morfologia costeira e conexão com canais. A caracterização dos sedimentos incluiu a determinação granulométrica, do carbono orgânico total (COT) e de HPAs, cujas concentrações foram comparadas aos limites da resolução 454 do CONAMA. A origem dos compostos (petrogênica, pirolítica ou mista) foi avaliada com base nas razões fenantreno/antraceno e fluoranteno/pireno. A granulometria sedimentar é predominantemente arenosa, à exceção de áreas de reduzida hidrodinâmica associada à morfologia lagunar (como enseadas) e/ou sob influência de manguezais. Os teores de COT exibiram correlação positiva e significativa com o percentual de lama, sendo as maiores concentrações encontradas próximo a áreas de manguezais bem preservados. A área entre o Canal de Marapendi e sua desembocadura na LM corresponde à zona mais crítica de HPAs. Além da desembocadura ser uma área de baixa hidrodinâmica em função da mudança brusca da geomorfologia lagunar, essa zona crítica coincide com a área de mais intenso tráfego de embarcações e ampla urbanização. Nesta área, observou-se uma amostra cujos HPAs são predominantemente petrogênicos (atrelados ao derramamento de combustível). Nas demais áreas da LM, constatou-se a predominância de HPAs de origem mista, indicando influência de fontes atmosféricas.

Palavras-chave: Contaminação; Canal de Marapendi; Morfologia lagunar; Granulometria.

Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bottom Sediments of Marapendi Lagoon, Rio de Janeiro (RJ)

ABSTRACT

The Marapendi Lagoon (LM - Rio de Janeiro), is highly impacted by intense urban growth in its surroundings, resulting in anomalies of potentially toxic substances in sediments, including Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). This study consists of the evaluation of spatial distribution of PAHs in bottom sediments across the LM, taking into consideration its coastal morphology and connection to canals. Sediment characterization included grain size, total organic carbon (TOC) and PAH determination, whose concentrations were compared to the limits defined by 454 resolution (CONAMA). The origin of PAH compounds were assessed by using phenanthrene/anthracene and fluoranthene/pyrene ratios. Sediment texture is predominantly Sandy, except in areas exhibiting reduced hydrodynamic

201

Santos; D. S.; Cesar; R. G.; Siqueira; C. Y. S.; Koifman; G. T.; Fernandes; Y. R. A.; Lavinias, P. A. Z.; Santos, T. L.; Alexandre, K. C. B.; Campos, T. M.; Oliveira. A. L. B.

associated with lagoon morphology (such as embayments) and/or under the influence of mangroves. The contents of TOC revealed positive and significant correlation with mud percentage and the highest TOC concentrations were found close to well-preserved mangrove areas. The area between the Marapendi Channel and its mouth at the LM corresponds to the most critical zone of PAHs. In addition to the mouth being an area of low hydrodynamics due to the sudden change in lagoon geomorphology, this critical zone coincides with the area of the most intense vessel traffic and extensive urbanization. In this area, a sample was observed whose PAHs are predominantly petrogenic (linked to fuel spills). In other areas of the LM, there was a predominance of PAHs of mixed origin, indicating a greater influence of atmospheric sources.

Keywords: Contamination; Marapendi Canal; Lagoon morphology; Texture.

Introdução

O crescimento urbano desordenado, sobretudo em grandes cidades costeiras brasileiras, tem causado perturbações de ordem antrópica sobre sistemas fluviais e estuarinos, dentre elas o assoreamento, a eutrofização e contaminação por substâncias/elementos tóxicos (de Souza Costa et al., 2021). Esta realidade é particularmente dramática no estado do RJ, tendo em vista seu grande número de lagunas costeiras (o maior dentre os estados da federação) cujo estado de degradação é crítico. Dentre os impactos que acometem esses ecossistemas, destacam-se eventos de mortandade massiva de peixes, proliferação de macrófitas aquáticas e florações descontroladas de cianobactérias hepatotóxicas, além da contaminação industrial/urbana que induz anomalias na concentração de metais tóxicos, hidrocarbonetos, microplásticos, hormônios, dentre outros contaminantes (Souza e Azevedo, 2020; da Silva e Nascimento, 2021). Neste contexto, medidas de remediação, que podem incluir a dragagem de sedimentos de fundo, são urgentes à manutenção do modo de vida de populações tradicionais e outros importantes serviços ecossistêmicos, tais como a pesca, a navegação, o ecoturismo, prática de esportes aquáticos, balneabilidade de praias, comércio de praia, etc. No caso do RJ, é crítica a situação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá (de Mendonça Ochs et al., 2023), da Região dos lagos (Alves et al. 2024), Lagoa Rodrigo de Freitas (Vezone et al., 2021) e sistema lagunar Itaipu/Piratininga (Cunha et al., 2021), para além dos rios urbanos que drenam para estas lagoas.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) são contaminantes comuns em estuários urbanos, e as principais fontes antrópicas de contaminação estão intrinsecamente associadas à expansão da malha urbana (Pilková et al., 2022). Isso decorre do crescimento das cidades e do consequente aumento do *runoff* urbano, tráfego intenso de embarcações e acentuada queima de combustíveis fósseis resultante do incremento do

tráfego de veículos (Patel et al., 2020). Estas últimas fontes em especial podem (i) gerar HPAs de origem pirolítica para a atmosfera, que *a posteriori* podem ser depositados sobre as lagoas; e (ii) provocar contaminações a partir do derramamento direto de combustíveis (gasolina, diesel, querosene, etc). A queima de lixo doméstico e pneus também figura uma importante fonte de poluição de HPAs, sobretudo em comunidades carentes do entorno das lagoas, onde a coleta de lixo geralmente é deficiente (Netto et al., 2022; Ye et al., 2022). Fontes naturais de contaminação podem incluir as erupções vulcânicas e incêndios florestais (Abdel-Shafy e Mansour, 2016), porém estas fontes costumam ser de menor relevância, sobretudo nas zonas urbanas brasileiras.

Os HPAs são substâncias geralmente cancerígenas, mutagênicas, teratogênicas e neurotóxicas, capazes de causar danos relevantes à saúde humana e à biota. Em humanos, segundo Mallah et al. (2022), a exposição crônica a estes compostos pode induzir anomalias fisiológicas e o consequente surgimento de tumores (neoplasias malignas) em diversos órgãos, tais como pulmão, pele, pâncreas, esôfago, bexiga, cólon e na mama feminina. Além disso, patologias de ordem cardiovascular por exposição à HPAs também são reportadas pela literatura, e englobam trombose, aumento da pressão arterial e infarto do miocárdio (Cortello, 2013). Em peixes, os HPAs podem causar danos importantes no desenvolvimento das bexigas natatórias, alterações hematológicas e supressão do sistema imunológico (Reynaud e Deschaux, 2006; Price e Mager, 2020; McGruer et al. 2021). Efeitos tóxicos em mamíferos e aves marinhas também são frequentemente apontados, sendo os HPAs indicados como carcinogênicos (Honda e Suzuki, 2020) e podendo, no caso das aves, provocar danos nos embriões (King et al. 2021).

O comportamento biogeoquímico e a distribuição espaço-temporal de HPAs em solos e sedimentos aquáticos é fundamentalmente condicionada às propriedades físicas, químicas e

mineralógicas desses materiais. Tais propriedades podem incluir a textura, o teor de matéria orgânica, a mineralogia das argilas, o pH, dentre outros (Skic *et al.*, 2023; Teixeira *et al.*, 2023). O reconhecimento e detalhamento destes processos é de extrema importância para (i) o delineamento de áreas críticas de contaminação, incluindo a hierarquização de zonas prioritárias para recuperação; (ii) a identificação de substâncias-chave a serem consideradas em programas de monitoramento e mitigação da poluição; e (iii) o reconhecimento das espécies ameaçadas e/ou mais vulneráveis em função da distribuição geográfica da contaminação. Este tipo de informação é crucial a quaisquer tipos de planejamento que envolvam gestão de saúde pública e gerenciamento sustentável da biodiversidade.

No Brasil, inexistia legislação específica voltada à qualidade de sedimentos aquáticos. Atualmente a maior parte dos trabalhos que avaliam a contaminação de sedimentos empregam os valores orientadores da resolução 454 do CONAMA (2012) para qualidade de sedimentos dragados, como Cavalcante (2021), Alvernaz *et al.* (2024) e Tureck *et al.* (2024). Contudo, tais valores foram compilados da legislação canadense para dragagem de sedimentos portuários (Canadian Council, 2001) e, dessa forma, não atendem as características particulares das regiões tropicais. Além disso, os sistemas aquáticos brasileiros que demandam por dragagem com frequência são altamente eutrofizados e impactados por poluição industrial e doméstica, ou seja, uma realidade distinta dos portos canadenses. Neste sentido, o monitoramento da contaminação por HPAs em sedimentos lagunares brasileiros é imperativo e urgente, pois, além de escassa, pode subsidiar a revisão e adequação da legislação supracitada.

A Laguna de Marapendi (LM - Rio de Janeiro, RJ) é um típico estuário urbano fortemente impactado pelo despejo de esgoto doméstico, assoreamento e substâncias potencialmente perigosas. Em função das Olimpíadas de 2016, obras de dragagem foram prometidas visando melhorar a qualidade das águas e sedimentos, porém estas operações não foram executadas (Masterplan, 2015). No início de 2024, iniciou-se a dragagem do Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ, do qual a LM faz parte), neste cenário, a possibilidade de ressuspensão para a coluna d'água de contaminantes enterrados no sedimento desperta preocupação, tornando urgente a identificação de possíveis contaminantes tóxicos

ali presentes (Trigueiro, 2024). Além disso, ainda devido às Olimpíadas, houve um adensamento de infraestruturas urbanas nos arredores do CLJ, resultando no incremento potencial de fontes de HPAs para a LM. Atualmente a situação é crítica, sendo mortandades massivas de peixes e a liberação de odores pútridos frequentemente noticiados (Castro, 2023). Esta realidade é comum em lagunas costeiras brasileiras, cujo monitoramento da qualidade dos sedimentos de fundo é escasso, tornando extremamente relevante a execução de trabalhos voltados a este tema.

Em todo o litoral do país, as cidades dominam a paisagem e crescem de maneira incessante, aumentando as fontes de hidrocarbonetos para as águas e atmosfera (Arias *et al.*, 2022). Dessa forma, mostra-se essencial a realização de estudos voltados a identificar e quantificar concentrações de HPAs no sedimento das lagunas. O presente trabalho tem como objetivo investigar a distribuição espacial da contaminação por HPAs nos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi, como subsídio ao zoneamento de áreas críticas de poluição. As principais hipóteses do trabalho são: (i) A contaminação por HPAs nos sedimentos da LM é relevante e excede os valores legais estipulados para a qualidade de sedimentos dragados; (ii) sedimentos finos e ricos em matéria orgânica possuem maior capacidade de sequestro de HPAs e, dessa forma, exercem papel de suma relevância na distribuição espacial de HPAs; e (iii) a geomorfologia costeira lagunar influencia as características físicas e químicas dos sedimentos e, consequentemente, a distribuição espacial de HPAs.

Material e métodos

Área de estudo

A LM é a mais externa dentre as lagoas do CLJ, e tem sua gênese ligada à oscilação quaternário do nível do mar (Pereira *et al.*, 2012). Suas águas são separadas do mar apenas por um delgado cordão arenoso, conhecido localmente como Praia da Reserva (parte integrante da Área de Proteção Ambiental de Marapendi), localizado entre as praias da Barra e do Recreio dos Bandeirantes. Embora delimite a porção sul da lagoa, essa faixa de areia permite a passagem de água do mar (via cunha salina subterrânea) para seu interior, o que representa uma de suas fontes de troca e renovação hídrica (Moura, 2019). Além desta dificultada ligação com o oceano, o Canal de Marapendi (em sua margem leste) conecta a LM

à lagoa da Tijuca, que por sua vez, é o sumidouro final de todo o CLJ, através da conexão do Canal da Joatinga com o mar. A LM também está ligada à oeste à pequena Lagoa das Taxas, por um canal de mesmo nome (Figura 1), fortemente impactado

pelo despejo de esgoto doméstico e zonas urbanizadas em suas adjacências. Não há sistemas fluviais que desemboquem diretamente na LM, tornando-a um sistema mais fechado em comparação às demais lagunas do CLJ.



Figura 1 – Localização da Lagoa de Marapendi (contorno em vermelho) e de outras lagoas e canais do complexo lagunar.

A planície costeira de Jacarepaguá (PCJ) está inserida no bioma da Mata Atlântica, que nesta área inclui ecossistemas de restingas e manguezais que abundam nos arredores da LM. Tais ecossistemas têm sido fortemente degradados pela rápida e desordenada expansão urbana, bem como pela disposição inadequada de resíduos tóxicos (lixo, por exemplo) e contaminação por esgoto doméstico e resíduos industriais (Meireles, 2014).

Amostragem

As amostras de sedimento superficiais de fundo ($n = 19$) foram coletadas usando uma draga *Van Veen* em pontos distribuídos ao longo da LM (figura 2). Adicionalmente, no Canal de Marapendi foram coletadas duas amostras (P1 e P2) e duas amostras no Canal das Taxas (P21 e P22). A distribuição dos pontos visou representar as

variações espaciais da morfologia costeira lagunar e suas resultantes hidrodinâmicas, incluindo áreas de espriamento, afunilamento, reentrâncias nas margens e conexão com os canais que se ligam à LM. A coleta foi feita durante o inverno (julho de 2022), estação na qual os contaminantes encontram-se mais concentrados em função do menor volume de chuvas, isto é, o pior cenário de contaminação (Monte *et al.*, 2018).

As amostras coletadas foram acomodadas em recipientes metálicos para prevenir a contaminação com resíduos plásticos durante o transporte e armazenamento (figura 4). Em laboratório, as amostras foram congeladas e enviadas para análise do teor de HPAs no Instituto de Química da UFRJ.

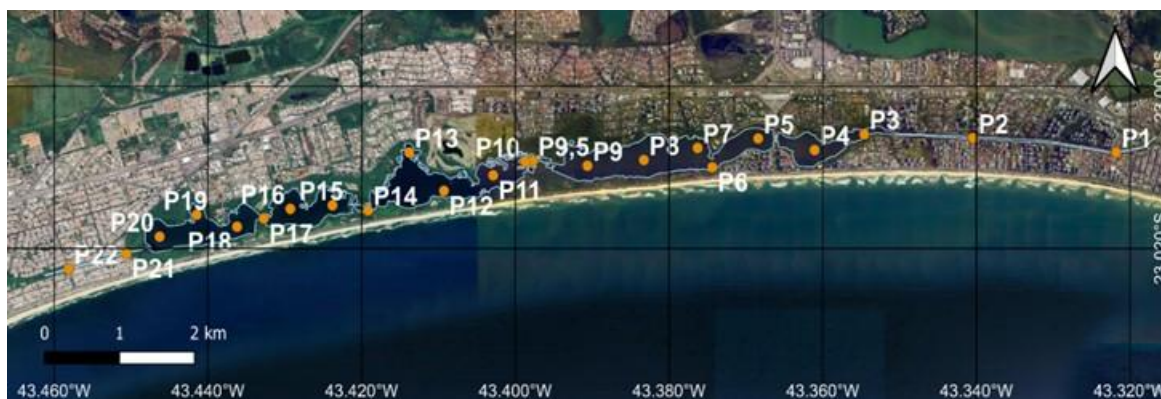


Figura 2 – Mapa de distribuição dos pontos de coleta na Lagoa de Marapendi (RJ).



Figura 3 – Uso da draga Van Veen para coleta dos sedimentos superficiais do fundo.



Figura 4 – Sedimento recém-coletado e ainda úmido sendo armazenado nos recipientes.

Caracterização física e química

A determinação granulométrica das amostras de sedimentos foi realizada com base no método de pipetagem estabelecido em manual da EMBRAPA (1997), assim como a determinação de pH (na proporção de 1g de sedimento em 25mL de água destilada). A concentração de carbono orgânico total (COT) foi determinada a partir de análise elementar com uso do instrumento LECO-SNS. O método prevê a pirólise de amostras de 20g de material previamente descarboxilado em lavagem com HCl (1 mol) (EMBRAPA, 1997).

Determinação de HPAs

O procedimento para determinação dos HPAs consistiu na extração desses compostos a

partir de um volume de 5g de sedimento usando diclorometano e aparelho de ultrassom. A solução extraída passou então por rota-evaporador para ficar mais concentrada e submetida a secagem sob fluxo de N_2 . Os extratos foram fracionados por cromatografia líquida e obteve-se as frações de hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e dos compostos orgânicos voláteis. As frações foram separadas e após a evaporação do solvente, e pesadas para determinação de massa. As frações de hidrocarbonetos aromáticos foram então analisadas por cromatografia gasosa com detector por ionização em chama (CG-DIC) e cromatografia gasosa por espectrometria de massas (CG-EM). Na preparação das amostras adicionou-se 100 μ L de solução a 1 ng/ μ L do padrão de pireno deuterado, também adicionado na solução-padrão. A leitura

foi feita a partir de uma alíquota de 1 µL em cromatógrafos com colunas DB-5 ((5%-fenil)-dimetilpolisiloxano na fase estacionária), H₂ como fase móvel em CG-DIC, e He em CG-EM. Os compostos determinados foram o acenafteno (ACE), acenaftileno (ACT), antraceno (ANT), benzo[a]antraceno (BaA), benzo[a]pireno (BaP), (NAF) e pireno (PIR).

A partir das concentrações de PHE e ANT foi possível estimar a contribuição de fontes pirolíticas e petrogênicas desses compostos. Isto é feito através das seguintes razões: FEN/ANT < 10 = origem pirolítica e FEN/ANT > 10 = origem petrogênica (Yunker, 2002). Outra possibilidade é o cálculo da razão FLR/PIR < 1 = origem pirolítica e FLR/PIR > 1 = origem petrogênica. Quando uma das razões aponta para origem pirolítica e outra para a origem petrogênica, entende-se que a origem dos HPAs é mista (ou seja, simultaneamente petrogênica e pirolítica).

A resolução 454 do CONAMA (2012) foi utilizada como parâmetro para avaliar o risco associado às concentrações de HPAs nos sedimentos. A referida resolução estabelece níveis 1 e 2 para a intensidade de contaminação, indicando baixa e alta probabilidade de efeitos tóxicos à biota aquática, respectivamente.

1.1 Tratamento estatístico

A análise estatística desses dados se deu através da integração dos resultados de análise física, química e a concentração de HPAs que, por sua vez, subsidiou a interpretação da distribuição geográfica dos níveis de contaminação. Para identificar relações e possíveis causalidades entre os parâmetros analisados foram empregadas as ferramentas de Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Cluster. A correlação de Pearson foi aplicada na elaboração de matrizes que mostram a interação entre pares de variáveis. Todas as análises foram feitas utilizando o software livre Past3.

Resultados e discussão

Determinação granulométrica

A distribuição espacial do percentual de lama (silte + argila) nos sedimentos está demonstrada nas figuras 5 e 6. Os valores médios percentuais de lama e areia estão demonstrados na tabela 1. Os resultados indicam que os sedimentos

benzo[b]fluoranteno (BbF), benzo[e]pireno (BeP), benzo[g,h,i]perileno (BghiP), benzo[j]fluoranteno (BjF), benzo[k]fluoranteno (BkF), criseno (CHR), dibenzo[a,h]antraceno (DahA), fenantreno (FEN), fluoranteno (FLT), fluoreno (FLU), indeno[1,2,3]pireno (I123P), naftaleno

no interior da LM são predominantemente arenosos (média $63,13 \pm 35,04\%$), assim como os canais das Taxas e de Marapendi (P1, P2, P21 e P22). No que concerne aos canais, vale destacar que ambos foram retelinizados, o que tende a aumentar a energia cinética das águas e sua competência no transporte de sedimentos (Simon e Rinaldi, 2006). No caso do Canal de Marapendi, a oscilação de maré e consequente contribuição de sedimentos marinhos pode contribuir para a ocorrência de sedimentos mais grosseiros. Em todo caso, a PCJ conta com depósitos arenosos de origem marinha associados à oscilação quaternária do nível do mar (Pereira *et al.*, 2012) e, nesse sentido, a ampla ocorrência de sedimentos arenosos era esperada.

A distribuição espacial da lama e da areia foi fortemente influenciada pela morfologia costeira lagunar, retelinização dos canais e oscilações de maré. Neste contexto, os dados sugerem que:

(i) A retelinização dos canais das Taxas e de Marapendi parece induzir o aumento da hidrodinâmica, resultando no aumento do teor de areia nessas áreas. No caso específico do Canal de Marapendi, a contribuição de sedimentos marinhos arenosos também exerce papel relevante no incremento dos teores de sedimentos grosseiros.

(ii) A porção mais central da LM, entre os pontos 7 e 14, consiste em um grande bolsão de areia de idade quaternária. Trata-se do setor lagunar de maior largura e menos influenciado pelos canais, resultando em uma área de menores perturbações de ordem hidrodinâmica;

(iii) as zonas de estrangulamento/afunilamento da morfologia, via de regra, delimitam diferentes setores granulométricos. A área compreendida entre a foz do Canal das Taxas e o ponto P14 mostra-se uma zona de deposição de finos em função de menores contribuições marinhas, e da ocorrência de mangues mais preservados e do fluxo preferencial de águas do Canal das Taxas para o mar. A única exceção deste setor é a amostra P18, um provável bolsão de areia quaternária.

(iv) A área da LM compreendida entre as amostras P3 e P6 tende a acumular finos. Este fato provavelmente decorre da retificação do Canal de Marapendi, de forma que a energia cinética das águas em direção à LM é bruscamente reduzida em função da mudança abrupta da morfologia costeira, sobretudo nas marés de sizígia, quando o fluxo das águas marinhas em direção à LM se incrementa. Essa diminuição de energia permite a deposição de sedimentos de menor granulometria.

(v) Quando se compara as duas grandes áreas de deposição de finos dentro da LM (uma entre P3 e P6 e outra entre P14 e P20), constata-se que a área mais próxima ao Canal das Taxas (entre P14 e P20) e, portanto, menos

influenciada pelo mar exibiu teores maiores de finos em função de condições hidrodinâmicas mais brandas.

(vi) As amostras que exibiram os maiores teores de finos foram P3, P13, P15, P16, P19 e P20. No caso da amostra P3, a acumulação dos finos parece ser resultado da influência do Canal de Marapendi. No caso de P19 e sobretudo de P13, a ocorrência de pequenas ensedas dentro da lagoa (sacos) parecem induzir uma redução da hidrodinâmica e consequente incremento de finos. Em todo caso, P15, P16, P19 e P20 se encontram na área de menor hidrodinâmica da lagoa, o que justifica a referida ampla predominância de finos (figura 5).



Figura 5 – Distribuição espacial da lama (silte + argila) nos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Complexo Lagunar de Jacarepaguá – Rio de Janeiro, RJ).

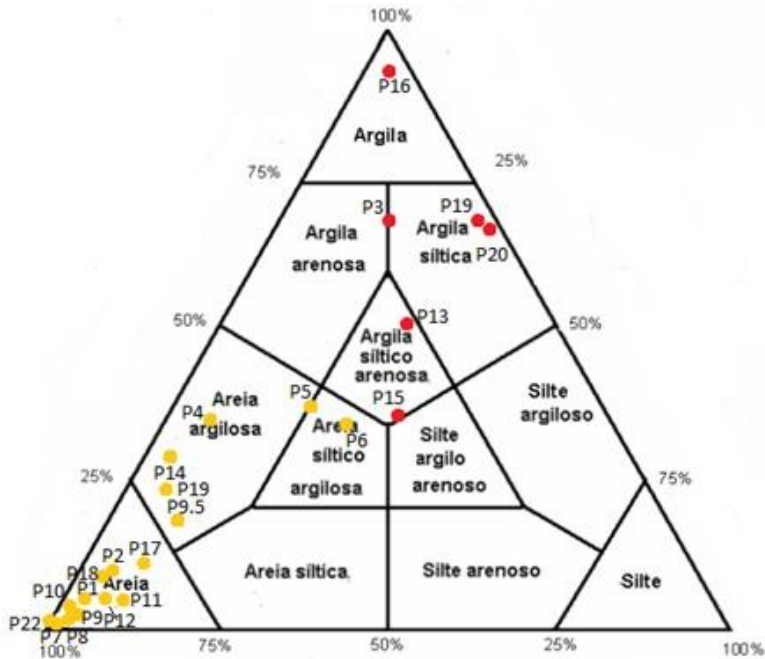


Figura 6 – Triângulo de Shepard com a demonstração dos percentuais de areia, silte e argila das 23 amostras de sedimentos coletados na Lagoa de Marapendi (Complexo Lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, RJ). Em amarelo = amostras arenosas. Em vermelho = amostras argilosas.

Os teores de areia na LM ($63,13 \pm 35,04\%$) quando comparados à Lagoa da Tijuca (a mais degradada de todo o CLJ, com $32,20 \pm 36,9\%$ de areia) exibe médias maiores e similares aos da Lagoa de Jacarepaguá ($64,80 \pm 34,28\%$). Ribeiro (2024) sugeriu que a Lagoa de Jacarepaguá exibia sedimentos predominantemente grosseiros em função de bolsões de areia formados a partir da oscilação quaternária do nível do mar, com exceção de poucas áreas de sacos. A LM também foi influenciada por este mesmo processo, além de estar mais próxima ao mar, ser geomorfologicamente mais recortada e ter sua formação mais recente em relação às demais lagunas do CLJ (Pereira *et al.*, 2012). A Lagoa da Tijuca, por outro lado, apresenta dois setores bem definidos em função da geomorfologia lagunar, o que resulta em uma ampla deposição de finos em boa parte da área da lagoa (Teixeira *et al.* 2022).

Tabela 1 – Comparação entre os teores de lama, areia, valores de pH, concentrações de carbono orgânico total (COT) e do somatório de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Σ HPA) em sedimentos superficiais de fundo de distintas lagunas costeiras da cidade do Rio de Janeiro.

Área de estudo	Lama (%)	Areia (%)	COT	Σ HPA	Ref.
Lagoa de Marapendi (n = 19)	42,26 ± 36,08	57,74 ± 36,08	6,72 ± 9,21	126,35 ± 269,99	Este estudo
Lagoa da Tijuca (n = 23)	67,80 ± 36,09	32,20± 36,9	3,86 ± 2,70	795,42 ± 1146,2	Teixeira et al. (2022)
Lagoa de Jacarepaguá (n = 16)	35,19 ± 34,27	64,80 ±34,28	-	86,09± 144,81	Ribeiro (2024)

Determinação do COT

A distribuição geográfica dos teores de COT e suas concentrações médias na LM estão demonstradas na figura 7 e tabela 1. Para as amostras P3 e P9, não foi possível determinar o COT em função da massa disponível de sedimento. De modo geral, a referida distribuição está positivamente correlacionada aos percentuais de lama nos sedimentos (figura 8), refletindo a relação direta entre o aumento da superfície específica de contato de grãos finos e a fixação da matéria orgânica (Zhao *et al.*, 2023). A distribuição espacial do COT parece estar condicionada à(s):

- (i) Granulometria predominantemente grosseira no Canal das Taxas e de Marapendi que, por sua vez, resulta em concentrações muito baixas de COT, para além da ausência de manguezais nessas áreas;
- (ii) amostras com maiores teores de finos (P3, P13, P15, P16, P19 e P20) que exibiram,

como o esperado, as maiores concentrações de COT; Neste sentido, Lee *et al.* (2021) também constataram uma forte correlação entre percentuais de argila e silte e o aumento no sequestro de carbono por sedimentos de áreas costeiras na Coréia do Sul. Os autores argumentam que a textura do sedimento pode ser usada como um proxy confiável e de baixo custo para medir o potencial de fixação de carbono em sedimentos costeiros.

(iii) amostras localizadas nas áreas de mais baixa hidrodinâmica lagunar e fortemente influenciadas por manguezais bem preservados, o que favorece o acúmulo de altos teores de matéria orgânica. De fato, neste sentido os manguezais são conhecidos por prestar diversos serviços ecossistêmicos, dentre os quais se destaca o sequestro de carbono (Alongi, 2012). Yin, Wang e Zeng (2023) identificaram um alto volume de pesquisas voltadas ao papel dos manguezais na retenção de carbono na última década. Os autores também apontam que dentre as publicações, há grande atenção voltada a possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre esses ambientes. Por apresentar os manguezais mais bem preservados do CLJ, a área mais interna da lagoa chega a atingir valores máximos de COT próximos à 30%, muito superior ao valor médio encontrado para todo o CLJ (tabela 1).

(iv) área delimitada entre as amostras P3 e P6, que sofre influência do canal de Marapendi e, a despeito de exibir teores consideráveis de finos, tende a apresentar percentuais baixos de COT. Este dado sugere uma possível influência da constante entrada e saída de água do mar devido à variação de maré na retenção de carbono nos sedimentos de fundo. Além de provocar o revolvimento constante do sedimento, o nível mais alto de oxigênio dissolvido nestas águas é capaz de promover a degradação mais eficiente da matéria orgânica e consequente diminuição dos teores de COT (Liu *et al.*, 2022). Além disso, nesta área o estado de conservação dos manguezais é aparentemente mais frágil se comparado às demais áreas da lagoa (sobretudo próximo ao Canal das Taxas).

Determinação das concentrações de HPA

A distribuição espacial e os valores médios, mínimos e máximos dos teores de HPAs em sedimentos estão demonstrados na figura 9 e tabela 2. De modo geral, os dados apontam que:

(i) As amostras P1, P2, P4, P6 e P9.5 exibem HPAs de origem predominantemente

mista. As amostras P3 e P5 são as únicas a exibirem HPAs fundamentalmente petrogênicos e pirolíticos respectivamente. As amostras P9, P12 e P14 acusaram teores de FEN e/ou ANT abaixo do limite mínimo de detecção (0,02 ng/g) e, dessa forma, não foi possível calcular a razão FEN/ANT. Porém, para essas últimas amostras a razão FLR/PYR indica uma origem predominantemente pirolítica para P9 e P14 e petrogênica para P12, muito embora uma origem mista não possa ser totalmente descartada. A amostra P7, por outro lado, exibe concentrações de FLR e PYR abaixo do limite de detecção (0,01 ng/g) e neste sentido, a razão FEN/ANT indica uma origem intrinsecamente petrogênica embora novamente, uma origem mista também possa ocorrer. Por fim, as demais amostras apresentam teores muito baixos e/ou abaixo do limite de detecção para pelo menos um dos compostos de FEN, ANT, FLR e PYR, resultando na impossibilidade da estimativa da origem de HPAs.

(ii) A principal fonte de contaminação por HPAs se concentra na área próxima ao Canal de Marapendi e, principalmente, na porção da LM delimitada entre o contato com o Canal e um estrangulamento da morfologia lagunar, indicado pela amostra P5. Neste sentido, aparentemente esta área da LM funciona como um bolsão de acúmulo preferencial de HPAs, o que pode ser decorrência do intenso tráfego de embarcações nesta área.

(iii) Embora o Canal de Marapendi seja impactado por tráfego de embarcações e por áreas fortemente urbanizadas em seu entorno, a elevada hidrodinâmica do Canal (associada à ocorrência de sedimentos grosseiros) inibe a acumulação de HPAs na área, mobilizando-os em direção à LM. Uma constatação que apoia esta premissa é a ocorrência de HPAs predominantemente petrogênicos na amostra P3, o que sugere uma contribuição relevante do tráfego de embarcações (associado ao derrame de combustível) nos níveis de contaminação por HPAs nesta área da LM.

(iv) Não foi constatada quaisquer correlações significativas ($p < 0,05$; $R^2 < 0,5$) entre os compostos analisados (incluindo seu somatório) com as concentrações de COT e percentuais de lama. Neste sentido, os dados apontam que a distribuição espacial de HPAs está mais substancialmente associada à posição geográfica de fontes de contaminação, isto é, o Canal de Marapendi e sua área de contato com a LM.



Figura 7 – Distribuição espacial do percentual de carbono orgânico total (COT) nos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Complexo Lagunar de Jacarepaguá – Rio de Janeiro, RJ).

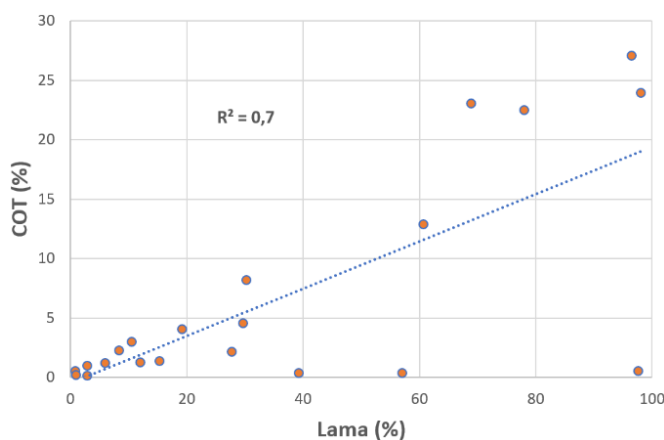


Figura 8 – Relação positiva e significativa entre o percentual de lama e o carbono orgânico total (COT) nos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Complexo Lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro - RJ).

(v) A origem predominantemente pirolítica de HPAs no ponto P5 pode estar atrelada ao intenso tráfego de veículos nesta área (associada a uma ponte que alberga a Avenida Ayrton Sena - 23°00'24.1"S 43°21'57.8"W), para além de possíveis contribuições atmosféricas do Terminal

Rodoviário Alvorada, localizado nas imediações (23°00'01.4"S; 43°21'57.1"W). Resultado similar foi observado por Azcune *et al.* (2024) ao constatarem um pico na concentração de HPAs no sedimento de fundo de uma lagoa no Uruguai após a construção de uma ponte nas proximidades e a realização de obras em uma estrada de acesso.

(vi) Toda a área no centro e interior da LM (a partir do ponto P6) apresenta níveis de HPAs abaixo do limite de detecção. Robin e Marchand (2022) ressaltam que a literatura sobre a dinâmica dos HPAs em manguezais ainda é escassa e pontos com alta concentração destes contaminantes sempre estiveram associados à proximidade de atividades antropogênicas e lançamento de efluentes industriais. Segundo Billah *et al.* (2022) a maior parte dos casos de contaminação de sedimentos neste ecossistema são classificados com intensidade baixa a moderada. Entre os parâmetros associados a maiores concentrações estão a textura fina do sedimento e a presença de matéria orgânica. Apesar de apresentar teores mais altos de sedimentos finos e carbono orgânico, a área mais interna da lagoa está sob influência da APA Marapendi e conta com manguezais bem preservados, resultando na redução expressiva do tráfego de embarcações, já que não há transporte de passageiros para esta área. A maior preservação da

vegetação das margens nesta porção da LM também afasta as vias circundantes onde ocorrem intenso tráfego de automóveis. Tais fatores podem explicar os níveis extremamente baixos de contaminação.

(vii) Alguns compostos de maior peso molecular (tais como PIR e BbF – tabela 2) exibiram as maiores concentrações médias para toda a LM. Tais compostos, via de regra, são de difícil degradação no meio ambiente e, por esta razão, tendem a ser mais facilmente acumulados nos sedimentos (Zhao *et al.*, 2015, Montuori *et al.*, 2016).

(viii) Nenhum dos compostos de HPAs determinados nas amostras ultrapassou os limites estabelecidos na resolução 454 do CONAMA de 2024 para qualidade de sedimentos dragados, dessa forma, os níveis de contaminação podem ser considerados baixos, mesmo na área do Canal de Marapendi e seu contato com a LM.

Análise estatística de HPAs em sedimentos

A análise de PCA está demonstrada na figura 10 e revelou que as componentes 1 e 2

explicam 42,4% e 22,7% dos dados, respectivamente. A análise de cluster está apresentada na figura 11 e, juntamente com a análise de PCA, indicam:

(i) A ausência de relações significativas entre os teores de COT e percentual de finos com as concentrações de HPAs, o que fortalece a constatação de que a posição das áreas-fonte é o principal fator na distribuição desses contaminantes na LM.

(ii) Via de regra, compostos de peso molecular semelhantes tendem a se correlacionar segundo a PCA, em função provavelmente do seu grau de degradabilidade no meio ambiente.

(ix) As amostras P2, P3 e P4 aparecem agrupadas no cluster por estarem localizadas na área de mais elevada concentração de HPAs, conforme inclusive aponta a figura 9. As amostras P1 e P5, embora não estejam agrupadas com P2, P3 e P4, são também um grupo à parte no cluster, por exibirem altas concentrações de HPAs e por delimitarem uma zona mais crítica de HPAs.

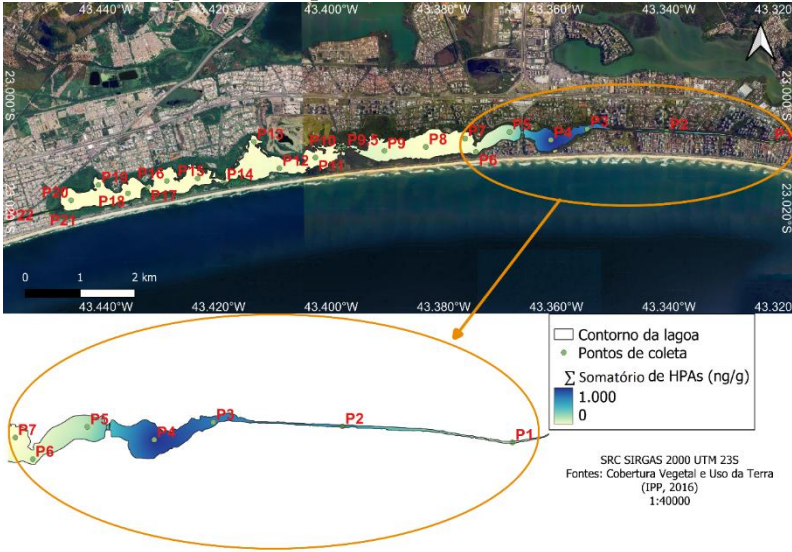


Figura 9 – Distribuição espacial das concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Complexo Lagunar de Jacarepaguá – Rio de Janeiro, RJ).

Tabela 2 – Concentrações médias, mínimas e máximas (em ng/g) de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), incluindo valores em função da textura dos sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Complexo lagunar de Jacarepaguá, Rio de Janeiro – RJ).

AMOSTRAS		
----------	--	--

				AMOSTRAS ARENOSAS (N = 17)	AMOSTRAS LAMOSAS (N = 6)
	Média	Mínimo	Máximo	Média	
NAF	0,44	0,01	1,29	0,202	0,335
ACE	0,19	0,01	0,59	0,092	0,010
ACT	0,74	0,01	1,48	0,010	0,255
FLU	2,75	0,01	9,33	0,268	1,563
FEN	30,29	0,02	110,21	9,566	18,385
ANT	2,14	0,02	5,67	1,046	0,020
FLT	80,29	0,02	281,16	35,882	32,195
PIR	104,35	0,01	402,66	25,428	67,118
BaA	17,22	0,01	55,73	4,060	0,010
CRI	26,20	0,06	86,67	6,891	2,490
BbF	81,00	0,07	284,05	19,113	0,070
BKF	6,09	0,06	9,01	0,598	1,552
BAP	14,52	0,12	78,86	6,346	1,687
I123P	23,57	0,13	86,94	6,576	1,400
DaHA	2,6	0,03	2,6	0,181	0,030
BghiP	30,95	0,02	123,83	10,546	1,128
Σ HPA	126,35	0,01	1003,01	2139,27	766,89

(iii)

(iv) Excluindo os grupos formados pelas amostras entre P1-P5, as demais amostras estão agrupadas em um único grande grupo pelo cluster e correspondem àquelas cujas concentrações de HPAs foram as mais baixas em toda a LM, inclusive com teores frequentemente abaixo dos limites de detecção.

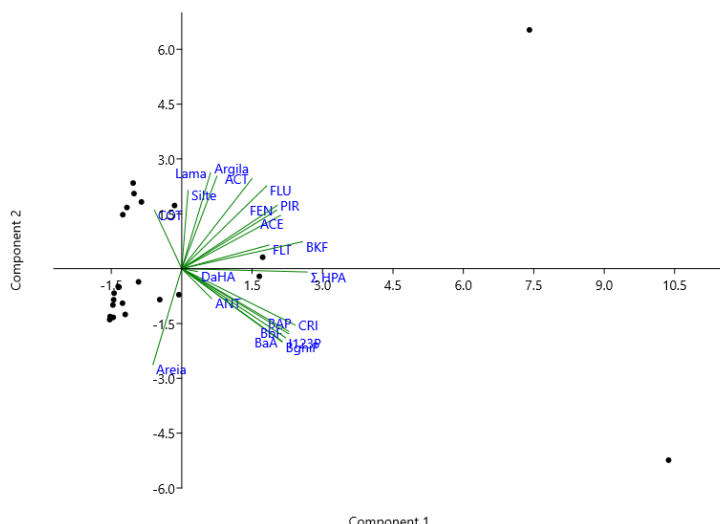


Figura 10 - Análise de componentes principais (PCA) integrando as concentrações de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), os percentuais de finos e teores de carbono orgânico total (COT) em sedimentos de fundo da Lagoa de Marapendi (Rio de Janeiro, RJ).

(v)

As amostras P6 e P9.5, que integram a zona de concentrações mais baixas de HPAs, aparecem agrupadas em um subgrupo no cluster por marcarem mudança brusca na morfologia costeira lagunar, ou seja, neste caso zonas de estrangulamento que tendem a provocar perturbações na hidrodinâmica.

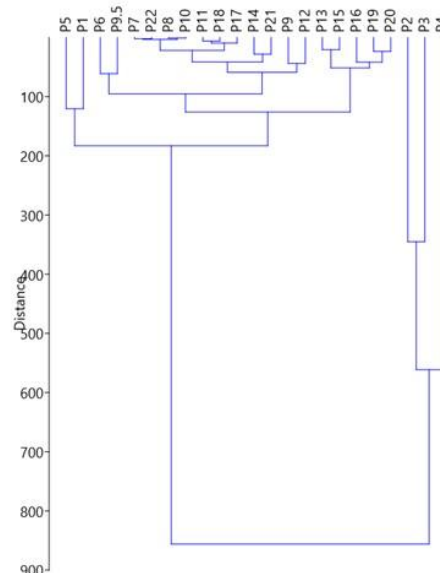


Figura 11 - Análise de cluster mostrando as correlações entre os pontos de amostragem de sedimentos da lagoa de Marapendi (Rio de Janeiro, RJ) a partir da integração dos dados de percentual de lama, areia, carbono orgânico total (COT) e

concentração de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs).

Conclusão

A avaliação da distribuição espacial de HPAs nos sedimentos da LM indicou que a área compreendida entre o Canal de Marapendi e sua desembocadura na lagoa corresponde à zona mais crítica de HPAs em sedimentos. Isto, por sua vez, provavelmente decorre do tráfego de embarcações (apoiado pela origem predominantemente petrogênica de HPAs na desembocadura do canal), bem como pela intensa urbanização das áreas adjacentes.

As concentrações de HPAs foram baixas quando comparadas aos limites preconizados pela lei brasileira de qualidade de sedimentos dragados, indicando baixos níveis de contaminação (mesmo na referida zona mais crítica de HPAs). A distribuição geográfica da granulometria dos sedimentos está, como esperado, positivamente correlacionada aos teores de COT. Tais parâmetros, por sua vez, exibem distribuição fortemente condicionada pelas contribuições marinhas, morfologia costeira da LM e presença de manguezais bem preservados.

Não foram constatadas relações significativas entre os teores de HPAs com o percentual de lama e /ou de COT. A distribuição de HPAs, neste caso, parece estar mais intrinsecamente ligada ao posicionamento geográfico de fontes de poluição próximas ao Canal de Marapendi e seu entorno intensamente urbanizado. Em trabalhos futuros, outros poluentes ambientais, como metais pesados, serão estudados. Além disso, testes ecotoxicológicos com organismos estuarinos e terrestres serão realizados para avaliação do nível ecológico potencial associado a eventuais contaminações.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e ao CNPq pelas bolsas concedidas a Ricardo Cesar (PQ-CNPq), Lara Filgueira (IC-CNPq), Pedro Zanetti (IC-CNPq), Gustavo Koifman (IC-CNPq) e Domynique Santos (Doutorado-CAPES).

Referências

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. 2016. A review on polycyclic aromatic

hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian journal of petroleum*, 25(1), 107-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>

Alvernaz, R. N., da Rocha, R. T., de Almeida Viana, L. C., do Valle Machado, W. T., & Soares, R. 2024. Avaliação do Risco Ambiental em Sedimentos Contaminados por Metais de Atividades Industriais no Complexo Portuário de Niterói, Baía da Guanabara, Rio de Janeiro. *Revista Virtual de Química*, 16(4). <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20240017>

Alongi, D. M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon management*, 3(3), 313-322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>

Alves, L., Nepomuceno, A., Cerda, M., Vogel, V., da Silveira Lobo, M. A., Barrozo, V., & Lamego, F. 2024. The eutrophication process in the lagoon systems of eastern Rio de Janeiro investigated through the analysis of sedimentary phosphorus and historic of basin occupation. *Regional Studies in Marine Science*, 71, 103394. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103394>

Arias, A. H., Pozo, K. A., Álvarez, M. B., Pribylová, P., & Tombesi, N. B. 2022. Atmospheric PAHs in rural, urban, industrial and beach locations in Buenos Aires Province, Argentina: sources and health risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01031-9>

Azcune, G., Del Puerto, L., Blasi, A., Castiñeira, C., Pérez, L., Inda, H., ... & Fornaro, L. 2024. Paleoenvironmental characterization and historical trends of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of Nutrias Lagoon, Uruguay. *Chemosphere*, 367, 143617. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143617>

Billah, M. M., Bhuiyan, M. K. A., Amran, M. I. U. A., Cabral, A. C., & Garcia, M. R. D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in mangrove ecosystems: global synthesis and future research directions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(3), 747-

770. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09625-0>
- CANADIAN COUNCIL (MINISTERS OF THE ENVIRONMENT). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Winnipeg, 2001. Disponível em: <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>.
- Castro, N. Milhares de peixes aparecem mortos na Lagoa de Marapendi, na Barra da Tijuca. G1, Rio de Janeiro, 13 jan. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2023/01/13/milhares-de-peixes-aparecem-mortos-nesta-sexta-feira-na-lagoa-de-marapendi-na-barra-da-tijuca.ghtml>
- Cavalcante, A. M. S., & Santos, R. N. do E. S. dos. (2021). Determinação de metais pesados (Fe, Mn, Cd, Cu, Co, Cr, Ni, Zn e Pb), matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento de áreas de manguezal NO Município de Vigia De Nazaré, NE – PA. *Holos Environment*, 21(1), 105–123. <https://doi.org/10.14295/holos.v21i1.12416>
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2012. Resolucao454. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/composent/legislacao/?view=legislacao&legislacao=128537>. Accessed 16 Jul. 2024.
- Costello, S., Garcia, E., Hammond, S.K., Eisen, E.A. 2013. Ischemic heart disease mortality and PM(3.5) in a cohort of autoworkers Am. J. Ind. Med., 56, p. 317-325. <https://doi.org/10.1002/ajim.22152>
- Cunha, D., Muylaert, S., Nascimento, M., Felix, L., de Andrade, J. J. D., Silva, R., ... & da Fonseca, E. M. 2021. Concentration and toxicity assessment of contaminants in sediments of the Itaipu–Piratininga lagoonal system, Southeastern Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 46, 101873. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101873>
- Da Silva, J. F.; Cassiano N. L F. 2021. A ação do homem sobre as lagoas de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. LexCult: revista eletrônica de direito e humanidades, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 15-30. <https://doi.org/10.30749/2594-8261.v5n2p15-31>,
- De Mendonça Ochs, S., Souza, T. M., de Lima Sobrinho, R., de Oliveira, R. B., Bernardes, M. C., & Netto, A. D. P. 2023. Simultaneous evaluation of benzotriazoles, benzothiazoles and benzenesulfonamides in water samples from the impacted urban Jacarepaguá Lagoon System (Rio de Janeiro, Brazil) by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Science of The Total Environment*, 858, 160033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160033>
- De Moura, Felipe Pereira. "Utilização de isótopos estáveis e radiogênicos na determinação de aportes hídricos em sistemas lagunares costeiros - Estudo de caso: Lagoa de Marapendi, Rio de Janeiro, RJ, Brasil." PhD diss., PUC Rio, 2019.
- De Sousa Costa, A. R., de Aragão, R. M., de Sousa Junior, P. M., Alves, M. H. D., da Silva Gonçalves, A. C., Teixeira, O. M. M., ... & Faial, K. D. C. F. 2021. Impacto da urbanização nas águas superficiais de uma microbacia urbana no município de Capanema/PA, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(2), p. 203-215. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0020>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq). 1997. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p.
- Honda, M.; Suzuki, N. 2020. Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animals. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 4, p. 1363. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041363>
- King, M. D.; Elliott, J. E.; Williams, T. D. 2021. Effects of petroleum exposure on birds: A review. *Science of The Total Environment*, v. 755, p. 142834. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142834>
- Lee, J., Kim, B., Noh, J., Lee, C., Kwon, I., Kwon, B. O., Ryu, J., Park, J., Hong, S., Lee, S e Khim, J. S. 2021. The first national scale evaluation of organic carbon stocks and sequestration rates of coastal sediments along the West Sea, South Sea, and East Sea of South Korea. *Science of the Total Environment*, 793, 148568.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148568>
- Liu, S., He, G., Fang, H., Xu, S., & Bai, S. 2022. Effects of dissolved oxygen on the decomposers and decomposition of plant litter in lake ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133837>
- MASTERPLAN - Consultoria de projetos e meio ambiente. 2015. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) das Obras de Prolongamento do enrocamento (molhe) existente na entrada do canal da Joatinga e as melhorias da circulação hidrica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/eia-rima-2015>> Acessado em: 16 jul. 2024
- McGruer, V., Tanabe, P., Vliet, S. M., Dasgupta, S., Qian, L., Volz, D. C., & Schlenk, D. 2021. Effects of phenanthrene exposure on cholesterol homeostasis and cardiotoxicity in zebrafish embryos. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(6), 1586-1595. <https://doi.org/10.1002/etc.5002>
- Monte, C., Cesar, R., Rodrigues, A.P., Siqueira, D., Serrano, A., Abreu, L., Teixeira, M., Vezzone, M., Polivanov, H., Castilhos, Z., de Campos, T., Machado, G.G.M., Souza, W.F., Machado, W. 2018. Spatial variability and seasonal toxicity of dredged sediments from Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil): acute effects on earthworms. *Environmental and Science Pollution Research*, v. 25, p. 34496-34509. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3338-7>
- Montuori, P., Aurino, S., Garzonio, F., Sarnacchiaro, P., Nardone, A., & Triassi, M. 2016. Distribution, sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediments from Tiber River and estuary, Italy. *Science of the Total Environment*, 566, 1254-1267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.183>
- Netto, A. A., de Souza, P. F., da Silva Lima, L., Vieira, K. S., de Freitas Delgado, J., Menezes, C. R., ... & da Fonseca, E. M. 2022. Dinâmica de distribuição e fontes potenciais de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos para sedimentos de superfície e bivalves de um estuário altamente antropizado. *Sistemas & Gestão*, v. 17 (1). <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2022.v17n1.1790>
- Patel, A. B., Shaikh, S., Jain, K. R., Desai, C., & Madamwar, D. 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, toxicity, and remediation approaches. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 562813. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>
- Pereira, E., Braga, P.M.C., Mendes, C.T., Bergamaschi, S. 2012. Sedimentação Quaternária na planície costeira de Jacarepaguá e Guaratiba (Estado do Rio de Janeiro). In: Rodrigues, M.A., Pereira, S.D., Santos, S.B. (eds), *Baía de Sepetiba: estado da arte*. Rio de Janeiro, Corbã, p. 63-82.
- Pilková, Z., Hiller, E., Filová, L., & Jurkovič, Ľ. 2022. Sixteen priority polycyclic aromatic hydrocarbons in roadside soils at traffic light intersections (Bratislava, Slovakia): Concentrations, sources and influencing factors. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01122-7>
- Price, E. R.; Mager, E. M. 2020. The effects of exposure to crude oil or PAHs on fish swim bladder development and function. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 238, p. 108853. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108853>
- Reynaud, S.; Deschaux, P. 2006. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: A review. *Aquatic Toxicology*, 77(2), p. 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.10.018>
- Robin, S. L., & Marchand, C. 2022. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove ecosystems: A review. *Environmental Pollution*, 311, p. 119959. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119959>
- Simon, A., e Rinaldi, M. 2006. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79(3-4), 361-383. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.037>

- Skic, K., Boguta, P., Klimkowicz-Pawlas, A., Ukalska-Jaruga, A., & Baran, A. 2023. Effect of sorption properties on the content, ecotoxicity, and bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 442, p. 130073. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130073>
- Souza, F. P. D., & Azevedo, J. P. S. 2020. Panorama das lagoas urbanas no Rio de Janeiro: aspectos relevantes na gestão das Lagoas Rodrigo de Freitas, Araruama e Complexo Lagunar de Jacarepaguá. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(1), p. 197-204. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020147571>
- Teixeira, M., Cesar, R., Abessa, D., Siqueira, C., Lourenço, R., Vezzone, M., ... & Castilhos, Z. 2023. Ecological risk assessment of metal and hydrocarbon pollution in sediments from an urban tropical estuary: Tijuca lagoon (Rio de Janeiro, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), p. 184-200. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22214-6>
- Trigueiro, A. Começa dragagem das lagoas da Barra e de Jacarepaguá; volume de lodo a retirar encheria quase mil piscinas olímpicas. G1, Rio de Janeiro, 26 abr. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/04/26/comeca-dragagem-das-lagoas-da-barra-e-de-jacarepagua-volume-de-lodo-a-retirar-encheria-quase-mil-piscinas-olimpicas.ghtml>
- Tureck, C. R., Haak, L., Cunha, S. M. B. da, Destefani, A., Vieira, C. V., Mi Kim, B. S., ... Figueira, R. 2024. Qualidade de sedimentos na Baía Babitonga e sua implicação na reabertura do Canal do Linguado (SC), Brasil. *Acta Biológica Catarinense*, 11(1), 46–61. <https://doi.org/10.21726/abc.v11i1.2173>
- Vezzone, M., Dos Anjos, R. M., Cesar, R. G., Muniz, M., Cardoso, R., Felizardo, J. P., ... & Polivanov, H. 2021. Using stable isotopes to discriminate anthropogenic impacts of the sedimentary organic matter pollution in the Rodrigo de Freitas Lagoon (RJ, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 4515-4530. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10835-8>
- Ye, W., Xu, X., Zhan, M., Huang, Q., Li, X., Jiao, W., & Yin, Y. (2022). Formation behavior of PAHs during pyrolysis of waste tires. *Journal of Hazardous Materials*, 435, 128997. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128997>
- Yin, S., Wang, J., & Zeng, H. 2023. A bibliometric study on carbon cycling in vegetated blue carbon ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), 74691-74708. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27816-2>
- Yunker, M.B.; Macdonald, R.W.; Vingarzan, R.; Mitchell, H.; Goyette, D.; Sylvestre, S. 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic geochemistry*, v. 33, n. 4, p. 489-515. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5)
- Zhao, X., Qiu, H., Zhao, Y., Shen, J., Chen, Z., e Chen, J. 2015. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water from the upper reach of the Yellow River, Northwestern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, p. 6950-6956. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3846-z>
- Zhao, T., Xu, S., & Hao, F. 2023. Differential adsorption of clay minerals: Implications for organic matter enrichment. *Earth-Science Reviews*, 104598. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104598>