

Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil *

Assessment of heavy metal concentrations in sediment, water and organs of *Nycticorax nycticorax* (Black-crowned Night Heron) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil

Aldo Pacheco Ferreira^{@,1}, Marco Aurélio P. Horta¹,
Cynara de Lourdes Nóbrega da Cunha²

RESUMO

O acúmulo de alguns metais pesados como cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) em Garça-da-noite (*Nycticorax nycticorax*), água e sedimentos coletados em sete estações ao longo da Baía de Sepetiba foi estudado. Esta baía recebe descargas de efluentes de áreas altamente industrializadas e regiões densamente povoadas. Amostras de água, sedimentos e Garça-da-noite foram processadas e analisadas para metais pesados e os resultados mostraram que a concentração de metais pesados no sedimento foi maior que da água, e que a exposição aos metais seja pela água ou na cadeia ecológica pode estar levando ao acúmulo destes nos órgãos da população pesquisada de Garça-da-noite. Os dois compartimentos analisados com mais um representante da avifauna local demonstrou a elevada exposição e da persistência de metais pesados no local estudado. Estes resultados indicam que a Baía de Sepetiba apresenta níveis preocupantes de metais, evidenciando potencial poder de generalização adversa de efeitos biológicos e mutagênicos em níveis tróficos e, por conseguinte, sinalizando risco para a saúde humana.

Palavras-chave: cádmio, zinco, cobre, chumbo, cromo, níquel, fígado, rim, bioacumulação

[@] Autor correspondente: Aldo Pacheco Ferreira <aldoferreira@ensp.fiocruz.br>

¹ Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rua Leopoldo Bulhões, 1480, 21041-210, Mangueiras, Rio de Janeiro, Brasil. E-mails: aldoferreira@ensp.fiocruz.br e mborta@ensp.fiocruz.br

² Laboratório de Estudos em Modelagem e Monitoramento Ambiental, Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19100, 81531-990, Centro Politécnico UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: cynara@ufpr.br.

ABSTRACT

The accumulation of some heavy metals such as chromium (Cr), cadmium (Cd), zinc (Zn), copper (Cu), nickel (Ni) and lead (Pb) in Black-crowned Night Heron (Nycticorax nycticorax), water and sediment collected from seven stations along Sepetiba Bay was assessed. This bay receives effluents discharges from heavily industrialized and highly populated settlements. Samples of water, sediment and Black-crowned Night Heron were processed and analyzed for heavy metals and the results showed that the sediment concentrated more heavy metals than the water while the Black-crowned Night Heron population researched, accumulated a significant level of these metals. The two compartments analyzed with representative of local seabird showed the high exposure and the persistence of heavy metals in the studied area. These results indicate that Sepetiba Bay shows worrying levels of metals, showing potential power of widespread biological and mutagenic adverse effects in trophic levels, and therefore, signalling risk to human health.

Keywords: cadmium, zinc, lead, chrome, copper, nickel, liver, kidney, bio-accumulation

1. INTRODUÇÃO

Os principais fatores para a contaminação de sistemas aquáticos são as descargas de efluentes domésticos ou industriais, a lixiviação de pesticidas em áreas agrícolas, dentre outras (Förstner & Wittmann, 1981). Sendo assim, as regiões costeiras e estuarinas recebem esses efluentes, na maioria das vezes sem tratamento adequado, ficando contaminadas por metais pesados, compostos químicos orgânicos e nutrientes, expondo, por conseguinte toda a vida marinha. Nesse contexto insere-se a baía de Sepetiba, que juntamente com suas áreas de mangue e zonas estuarinas constitui criadouro natural para as diversas espécies de aves, moluscos, crustáceos e peixes (Machado, 1996).

Como processo indutivo da contaminação hídrica destaca-se o gradativo aumento da industrialização e expansão urbana potencializando a introdução de quantidades indesejáveis de poluentes no ambiente (Moraes & Jordão, 2002). Além do processo de expansão industrial, a Baía de Sepetiba está submetida a outras pressões ambientais, como: esgotos domésticos, efluentes da atividade agropecuária e atividade de extração de areia (Copeland *et al.*, 2003). Porém, essas atividades têm menor relevância quando comparadas aos riscos potenciais de contaminação que são gerados pela atividade industrial, que afetam a qualidade dos ecossistemas dessa região, oferecendo riscos potenciais aos organismos e a uma parte importante da população local que depende dos recursos pesqueiros como fonte de renda e de alimentação (Coimbra, 2003).

Os seres vivos necessitam de pequenas quantidades de alguns desses metais, incluindo

cobalto, cobre, manganês, molibdênio, vanádio, estrôncio, e zinco, para a realização de funções vitais no organismo. Porém níveis excessivos desses elementos podem ser extremamente tóxicos. Outros metais pesados como o mercúrio, chumbo e cádmio não possuem nenhuma função dentro dos organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos. Quando lançados como resíduos industriais, na água, no solo ou no ar, esses elementos podem ser absorvidos pelos vegetais e animais das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo da cadeia alimentar (Pereira & Ebecken, 2009).

Em suma, metais pesados são aqueles cuja densidade relativa apresenta-se maior que quatro; estando relacionados à contaminação e a alto caráter tóxico. Nos últimos anos, efeitos tóxicos de metais pesados em organismos vivos, principalmente como resultado da sua contínua mobilização antropogênica no ambiente, têm atraído considerável atenção mundial (Seebaugh *et al.*, 2005; Schmitt-Jansen *et al.*, 2008).

Os ecossistemas marinhos são altamente complexos, dinâmicos e sujeitos a muitos relacionamentos internos e externos que estão factíveis a mudanças ao longo do tempo. Os poluentes que entram nas águas costeiras e estuários criam problemas graves que causam sérios prejuízos para a vida e as atividades marinhas. Como ponto de investigação, as aves vêm sendo usadas como indicadores da condição ambiental porque são particularmente sensíveis a mudanças de origem antrópica (Bost & Lemaho, 1993). Segundo Dale & Beyeler (2001), se apresentam como excelentes

ferramentas para avaliação de perturbações em diversos ambientes porque sua ligação com o ambiente e outros táxons é bem conhecida, além de se encontrarem em diferentes níveis da pirâmide ecológica. A garça-da-noite, *Nycticorax nycticorax* (Linnaeus, 1758), vive nas florestas de várzea que habitam a faixa costeira do leste do Brasil, de Alagoas ao Estado de Santa Catarina (Branco & Fracasso, 2005).

Consequências relacionadas a altos níveis de contaminação têm sido demonstradas em muitas aves aquáticas. A literatura registra que o fígado e o rim são substratos mais amplamente empregados no diagnóstico de contaminação ambiental por metais pesados (Furness & Camphuysen, 1997; Diamond & Devlin, 2003). Organismos aquáticos podem absorver e integrar metais diretamente ou indiretamente através da cadeia alimentar. O progressivo e irreversível acúmulo de tais compostos em vários órgãos de organismos marinhos conduz a doenças relacionadas, a longo prazo, devido à sua toxicidade, pondo assim em risco a biota aquática e de outros organismos na cadeia alimentar (Wanless *et al.*, 2005). Metais essenciais como o zinco são fundamentais para a manutenção orgânica, porém muitos outros não têm aparente função essencial, como o alumínio, cádmio e chumbo. No entanto, ambos os metais essenciais e não essenciais podem ser tóxicos quando presentes acima de certas concentrações limiar. A toxicidade varia entre os organismos, com as propriedades físico-químicas de cada metal e fatores ambientais. Destaca-se dentre os efeitos tóxicos dos metais o rompimento da integridade da membrana celular, acarretando falência de órgãos (Gadd, 1993). Em ambientes aquáticos, organismos podem ser expostos não apenas para um único produto químico, mas também a uma mistura de diversas substâncias, ao mesmo ou quase ao mesmo tempo, e isso pode afetar as comunidades bióticas e os processos ecológicos de uma forma não-previsível (Ross & Birnbaum, 2003).

A ocorrência de elevados níveis de metais-traço em especial nos sedimentos pode ser uma boa indicação de poluição e elevados níveis de metais pesados podem muitas vezes ser atribuídos a influências antropogênicas, ao invés de um enriquecimento natural dos sedimentos geológicos por intemperismo (Jesus *et al.*, 2004). Os sedimentos,

por outro lado, integram os contaminantes ao longo do tempo e estão em constante fluxo sobrejacente com a coluna d'água. A análise dos metais pesados nos sedimentos permite a detecção de poluentes que podem até estarem ausentes ou em baixas concentrações na coluna d'água e sua distribuição nos sedimentos costeiros fornece um registro da história espacial e temporal da poluição em uma determinada região ou ecossistema (Davies *et al.*, 2006).

O acúmulo de metais a partir da água sobrejacente ao sedimento depende de uma série de fatores ambientais externos, tais como pH, força iônica, o tipo e concentração de ligantes orgânicos e inorgânicos e da superfície disponível para adsorção causada pela variação da granulometria (Davies *et al.*, 2006; Bonai *et al.*, 2009). A concentração de metais pesados na coluna d'água pode ser relativamente baixa, mas pode a longo prazo aumentar a concentração nos sedimentos como resultado do acúmulo de poluentes (Bonai *et al.*, 2009); uma vez que os metais pesados que são descarregados nas águas costeiras e estuarinas associam-se a partículas e são incluídos na parte inferior dos sedimentos (Balkis & Cagatay, 2001).

O presente estudo tem por objetivo analisar a distribuição geoquímica de metais pesados na coluna d'água e no sedimento em diferentes estações do ano e avaliar a relação entre os teores de metais encontrados e a bioacumulação em amostras de garça-da-noite, um possível indicador da avifauna local dado suas características de predador. O estudo busca obter e avaliar os níveis de metais pesados; possibilitando uma melhor compreensão da baía de Sepetiba e fornecer subsídios para mitigar as possíveis contaminações provocadas pelas atividades industriais, a urbanização sem planejamento adequado e sistemas de esgoto.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A baía de Sepetiba localiza-se no Estado do Rio de Janeiro, entre as latitudes 22°55' e 23°05'S e as longitudes 43°40' e 44°40'W, com área de aproximadamente 450 km². Apresenta forma alongada, limitando-se a norte e a leste pelo continente, ao sul pela Restinga de Marambaia e a oeste pela Baía de Ilha Grande. Seu maior

comprimento é de 42,5 km no sentido leste-oeste e sua maior largura é de 17,2 km no sentido norte-sul, com perímetro de 122 km.

A bacia hidrográfica contribuinte à baía de Sepetiba tem duas origens: a vertente da serra do Mar e uma extensa área de baixada, recortada por inúmeros rios, composta de 22 sub-bacias. Os principais rios da região hidrográfica da Baía de Sepetiba são os rios Guandu (chamado de canal de São Francisco na porção final, próximo à baía), da Guarda, canal do Itá (interligado com o rio Guandu-Mirim), Piraquê, Portinho, Mazomba e Cação. Os demais rios são cursos d'água com bacias bem menores, com baixíssimas vazões. O rio Guandu é o mais importante da bacia de contribuição. Responsável pelo abastecimento de água para várias cidades forma o principal manancial da cidade do Rio de Janeiro. As vazões médias dos rios citados são: 89.0 m³.s⁻¹, 6.8 m³.s⁻¹, 3.3 m³.s⁻¹, 2.5 m³.s⁻¹, 8.8 m³.s⁻¹, 0.5 m³.s⁻¹ e 1.1 m³.s⁻¹, respectivamente.

Atualmente, a bacia da baía de Sepetiba possui uma população estimada de 1.295.000 habitantes, os quais geram uma produção de esgotos sanitários da ordem de 286.900 m³/dia. A grande parte dos municípios, compreendidos nesta bacia não conta com serviços de coleta de resíduos sólidos e mais precária ainda, é a situação de disposição final desses resíduos, sendo comum o lançamento em lixões, que em grande parte estão localizados às margens dos rios e em encostas e próximos a aglomerações urbanas, resultando em uma grave degradação ambiental. O aumento desordenado da população, sem a correspondente ampliação da infra-estrutura de saneamento adequada, o grande volume de resíduos industriais e o uso, ainda que moderado, de agrotóxicos nas atividades agrícolas, representam fontes poluidoras para as águas da bacia. Pode-se considerar uma concentração populacional, localizada principalmente na área urbana, de cerca de 1,7 milhões de habitantes.

Foram definidas sete estações de coleta abrangendo a área da baía de Sepetiba com suas coordenadas registradas com o auxílio de um aparelho de GPS: P1 - 23°00'42"S / 43°79'45"W, P2 - 23°01'51"S / 43°50'33"W, P3 - 22°56'22"S / 43°53'22"W, P4 - 22°56'42"S / 43°57'01"W, P5 - 22°57'20"S / 43°62'35"W, P6 - 22°58'41"S /

43°69'18"W (local de obtenção das aves) e P7 - 22°55'30"S / 44°38'03"W (Fig. 1). Foram coletadas amostras de água superficial e sedimento em três diferentes estações do ano, nos meses de setembro de 2008 (Estação 1), dezembro de 2008 (Estação 2), e no mês de maio de 2009 (Estação 3), para todos os pontos de coleta anteriormente identificados. Para avaliar a qualidade da água foi realizado a medição dos seguintes parâmetros físicos e químicos temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez, todos com auxílio de uma sonda (HORIBA® mod. U-22 / Water Quality-Checker), calibrada previamente a cada coleta. Leituras foram feitas a profundidade de 1,0 m.

2.2 Coletas de amostras

Para análise de metais na água, utilizou-se garrafa de Van Dorn para coleta de água, em seguida, as amostras foram acondicionadas em gelo e transportadas até o laboratório. Precedeu-se a filtragem das amostras d'água em filtro Millipore tipo ME 25/21 (0,45 µm), com o uso de bomba a vácuo. Em seguida foram retirados 100 ml de cada amostra, adicionando-se 20 ml de ácido nítrico P.A. e levando ao aquecimento em chapa até evaporar 60 ml da solução. Após atingir a temperatura ambiente, foram adicionados 40 ml de água-régia (HNO₃ e HCl, na proporção de 1:3, em volume), a fim de obter uma solução final de 100 ml de amostra.

Para análise de metais no sedimento, as amostras foram coletadas com um amostrador pontual (busca-fundo) do tipo Van Veen. Foram identificadas, colocadas em sacos plásticos previamente descontaminados, e armazenados em geladeira até processamento, que consistiu no peneiramento úmido do sedimento (com o auxílio de água deionizada) em telas de náilon de 63 µm, centrifugação e secagem em estufa a 80°C por 24 h. As amostras foram liofilizadas e a estocagem final foi feita em frascos plásticos herméticos, ao abrigo do calor e luz até o início das análises laboratoriais.

Carcaças de garça-da-noite foram coletadas, identificadas e posteriormente armazenadas para uso nesta pesquisa, encontradas a partir de 2007, no sítio de amostragem (P6), que é a área de manguezal de Coroa Grande, baía de Sepetiba, característica região de habitat de várias espécies da avifauna local. Neste

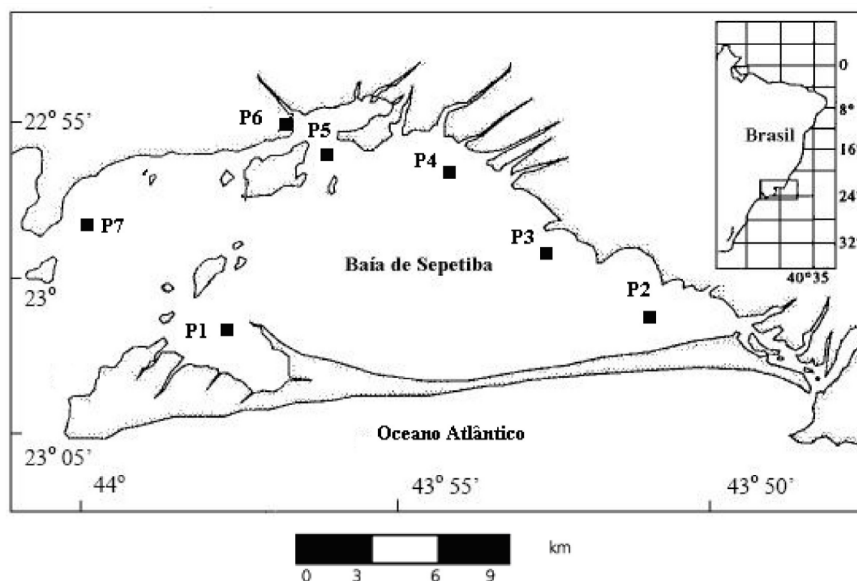


Figura 1. Área de estudo (Baía de Sepetiba), com pontos de amostragem em destaque
Figure 1. Study Area (Sepetiba Bay), with sampling points highlighted

experimento foram selecionadas somente aves adultas. Para análise dos órgãos das aves, foram coletados o fígado e o rim, pesados e mantidos congelados (-20°C). No laboratório, foram preparadas amostras dos órgãos coletados, de peso de 15 g cada. Cada amostra de órgão foi direcionada para análise laboratorial. As concentrações parciais dos metais foram obtidas a partir da digestão da amostra seca, digeridas em erlenmeyers de 125 ml, fechadas com dedo frio, contendo 20 ml de água-régia diluída (50%) em banho-maria na faixa de $70 - 80^{\circ}\text{C}$, por 2 horas (Carvalho *et al.*, 2008).

2.3 Determinação do teor de metais nas amostras

A determinação dos elementos (cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco e cádmio) foi realizada pelo método de espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry, ICP) com chama física de argônio. Para definição dos comprimentos de onda no ICP, foram testadas, inicialmente, todas as possibilidades disponibilizadas pelo aparelho, tanto no plano de visão axial quanto no plano radial. Procedeu-se então, para cada elemento, ao traçado do espectro de uma solução contendo apenas a espécie química a ser determinada, a fim de identificar e ajustar o pico de emissão do elemento.

Os comprimentos de onda dos metais pesquisados foram: Cr 267,716 nm; Cu 324,754 nm; Ni 231,604 nm; Pb 220,353 nm; Zn 213,856 nm e Cd 226,502 nm. Posteriormente, fez-se a leitura do branco, de uma amostra e do ponto máximo da curva de calibração, a fim de verificar possíveis interferências espectrais e, se possível, minimizá-las, fazendo-se ajustes nas linhas de base, delimitando a área do pico. Após esses ajustes, fez-se a leitura da curva de calibração, selecionando-se os comprimentos de onda que apresentaram o coeficiente de determinação do modelo linear (R^2) mais próximo de 1 e com o mínimo de interferência espectral.

Para a validação do método empregado nos tecidos, realizou-se o teste de recuperação dos analitos, utilizando-se como material de referência, DORM-2 National Research Council of Canadá (NRCC). Para a validação do método empregado em água sedimento foi utilizado como material de referência, Standart Reference Material 1640 TRACE ELEMENTS IN WATER U.S Department of Commerce National Institute of Standards and Technology GAITHERS BURG MD 20899. Para a validação do método empregado em sedimento foi utilizado como material de referência, STANDART REFERENCE MATERIAL 2711 MONTANA SOIL ,Baseline Trace Elements Concentrations.

2.4 Análise estatística

Uma One-way Anova foi realizada para verificar diferenças entre as 3 estações amostradas em relação os valores obtidos para as concentrações dos metais encontrados na água e no sedimento e para os parâmetros físico-químicos avaliados. Da mesma forma, foi usada uma one-way Anova objetivando verificar se há diferença entre os sete pontos de amostragem em relação aos teores de metais na água e no sedimento e os parâmetros físico-químicos. Uma análise de regressão foi usada para obtenção de modelos lineares simples tendo o teor de metal no rim e no fígado como variáveis dependentes em modelos separados e as concentrações de metal na água e no sedimento em cada das estações de coleta como variáveis independentes. A análise foi realizada para se verificar se há relação entre o teor de metais na água e no sedimento e aqueles encontrados no fígado e rim das aves. O teste de Kolmogorov-Smirnoff foi usado para verificar a normalidade dos dados. Os testes estatísticos foram realizados no pacote Statistica® 7.0.

3. RESULTADOS

Os valores de condutividade, temperatura, pH e turbidez se mostraram dentro da faixa preconizada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Tabela 1). Porém, contrastando com os parâmetros anteriores, os dados obtidos de oxigênio dissolvido (OD), os pontos P3, P4 e P5, mostraram-se com razoável oxigenação, mas já caminhando para níveis preocupantes. O ponto de coleta P6 mostrou-se ligeiramente na faixa durante os períodos de chuva, mas apresentou nível mais baixo no período de estiagem. As perdas deste elemento ocorrem devido aos processos de consumo durante a oxidação da matéria orgânica; às perdas para a atmosfera; à respiração dos organismos e à oxidação de íons metálicos.

Em relação às concentrações dos metais pesados (Cd, Zn, Cu, Pb, Cr, Ni) nas amostras de águas, nota-se que algumas concentrações se encontram acima dos valores recomendados para águas de classe 2, segundo a resolução N°357/2005 (Tabela 2). Os teores de Cd apresentaram-se satisfatórios nos pontos P1, P6 e P7, e ligeiramente comprometido no ponto P2 e acima dos níveis preconizados nos pontos P3, P4 e P5. Os teores de Zn apresentaram-se satisfatórios

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos medidos nos pontos de coleta na Baía de Sepetiba

Tabel 1. Physical-chemical parameters measured at different sampling stations in Sepetiba Bay

Pontos de coleta	Condutiv. ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)			Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			Turbidez (UNT)			pH			OD (mg/L)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
P1	19,11	17,33	18,81	24,5	25,5	24,0	6,1	7,2	7,9	6,5	6,6	6,9	9,5	10,6	10,1
P2	15,78	17,34	19,66	25,0	26,5	25,0	9,4	7,9	8,3	7,6	7,8	7,8	7,1	7,8	6,9
P3	17,30	17,68	11,22	24,5	27,0	25,0	12,3	13,7	16,8	8,1	8,2	7,9	4,3	5,7	5,1
P4	16,11	17,62	10,44	25,5	27,0	25,0	16,6	15,4	16,3	8,7	8,5	8,3	4,9	5,0	4,2
P5	17,30	17,68	16,71	25,5	26,5	25,5	16,2	14,3	13,4	8,2	8,1	7,8	4,6	4,5	4,2
P6	17,24	18,08	12,20	26,0	26,5	25,5	15,6	15,4	16,1	7,7	7,4	7,6	6,4	5,9	4,7
P7	18,90	17,96	15,11	24,5	25,5	24,5	8,9	9,3	10,3	6,8	6,9	6,9	7,9	8,1	8,0

E1-estação 1-setembro de 2008 / E2-estação 2-dezembro de 2008 / E3-estação 3-março de 2009
 Teores máximos ($\mu\text{g.L}^{-1}$), Conama 357/2005: Cd - 1; Zn - 180; Cu - 20; Pb - 30; Cr -50; Ni - 25

Tabela 2. Níveis de metais pesados em amostras de água coletadas na Baía de Sepetiba ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Tabel 2. Heavy metal levels in water samples collected at Sepetiba Bay ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Pontos	Cd			Zn			Cu			Pb			Cr			Ni		
coleta	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
P1	0,1	-	0,3	140,1	108,5	82,9	6,4	3,6	8,2	11,2	6,7	10,1	-	-	3,2	4,4	-	6,7
P2	0,8	1,2	1,4	268,5	401,2	361,5	11,5	9,7	16,6	9,3	5,6	8,9	12,3	14,5	22,4	11,2	12,3	33,6
P3	2,1	2,2	1,8	354,5	345,4	253,4	16,3	15,7	19,5	13,4	9,6	10,4	45,4	33,3	41,2	13,5	34,3	26,4
P4	5,7	9,8	11,3	419,2	283,4	605,9	34,5	36,4	49,6	15,5	12,3	10,2	33,4	53,2	56,3	29,8	28,6	45,3
P5	1,5	2,4	2,6	541,1	338,7	609,6	21,0	19,6	45,8	10,1	16,1	11,6	67,8	45,6	77,1	24,5	19,9	28,0
P6	0,5	0,6	0,7	436,0	326,7	229,2	13,3	9,8	17,6	17,2	6,5	13,3	18,9	11,2	19,5	11,1	10,3	18,3
P7	0,2	0,2	0,4	118,8	52,8	98,2	6,5	6,2	7,3	4,2	7,7	10,9	2,4	3,8	1,2	3,3	6,6	5,5

E1-estação 1-setembro de 2008/ E2-estação 2-dezembro de 2008 / E3-estação 3-março de 2009

Teores máximos ($\mu\text{g.g}^{-1}$) - Conama 344/2004: Cd - 1,2; Zn - 150; Cu - 34; Pb - 46,7; Cr -81; Ni - 20,9

nos pontos P1 e P7, e acima dos níveis preconizados nos pontos P2, P3, P4, P5 e P6. Os teores de Cu apresentaram-se satisfatórios nos pontos P1, P2, P3, P6 e P7, e acima dos níveis preconizados nos pontos P4 e P5. Os teores de Pb apresentaram-se satisfatórios em todos os pontos. Os teores de Cr apresentaram-se satisfatórios nos pontos P1, P2, P3, P6 e P7, e ligeiramente comprometidos em algumas coletas nos pontos P4 e P5. Os teores de Ni apresentaram-se satisfatórios nos pontos P1, P6 e P7, e ligeiramente comprometidos em algumas coletas nos pontos P2, P3, P4 e P5.

Os resultados de metais em suspensão foram mais elevados do que os resultados nos sedimentos. Segundo Manahan (1999), tal diferença de comportamento entre os metais presentes na água e no sedimento se fundamenta na diferença de mobilidade desses elementos nesses ecossistemas, dentre as quais se podem destacar impulsionadores desta diferença, as condições químicas e físicas como: pH, substâncias orgânicas, ácidos húmicos e fúlvicos.

Quanto às concentrações dos metais pesados nas amostras de sedimento, os teores de Cd apresentaram-se ligeiramente menores no ponto P1, e com níveis maiores nos pontos P2, P3, P4, P5, P6 e P7. Os teores de Cu, Pb, Cr, Ni e Zn apresentaram níveis abaixo do preconizado, segundo a resolução CONAMA N°344/2004 (Tabela 3).

Apesar da variação nos teores de metais obtidos na água e sedimento e nas variáveis físico-químicas, não foi verificada diferença significativa entre as três estações de coleta amostradas para todas estas variáveis amostradas, com exceção da temperatura. A variável temperatura mostrou-se diferente entre as três estações de coleta ($F=21,76$; $p=0,0004$) com valores médios de 25,07°C, 26,35°C e 24,92°C para as estações 1, 2 e 3 respectivamente.

Os pontos de coleta mostraram-se significativamente diferentes entre si para a maioria das variáveis amostradas. As variáveis que apresentaram diferenças ($p<0,05$) em seus valores para os pontos de coleta foram as seguintes: turbidez ($F=30,21$), pH ($F=48,54$), OD ($F=44,72$), Cd água ($F=20,19$), Zn água ($F=7,38$), Cu água ($F=10,06$), Cr água ($F=17,18$), Ni água ($F=5,3$), Cd sedimento ($F=7,73$), Zn sedimento ($F=9,53$), Pb sedimento ($F=3,9$), Cr sedimento ($F=26,59$) e Ni sedimento ($F=7,98$).

Algumas estatísticas descritivas das concentrações de metais nos órgãos (rim e fígado) são apresentadas na Tabela 4. Diferenças nos órgãos pesquisados denotaram uma grande variação na concentração média dos metais. As concentrações de Zn foram maiores em todos os órgãos analisados, e as de Cr foram claramente mais baixas. A concentração média de Cu nos órgãos variaram entre 45,32 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (fígado)

Tabela 3. Níveis de metais pesados em amostras de sedimento coletadas na Baía de Sepetiba ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco)
Tabel 3. Heavy metal levels in sediment samples collected at Sepetiba Bay ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight)

Pontos	Cd			Zn			Cu			Pb			Cr			Ni		
de coleta	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
P1	0,03	0,04	0,09	2,32	5,12	4,43	<0,01	<0,01	0,12	3,41	4,34	2,33	0,34	0,45	0,67	0,03	0,04	<0,01
P2	4,22	6,25	6,04	9,60	8,74	7,89	0,02	<0,01	0,23	3,12	2,32	5,67	9,61	6,14	5,58	1,07	2,07	4,11
P3	12,12	10,39	16,85	5,69	9,24	9,01	1,05	0,07	0,64	2,02	4,66	2,34	31,02	25,33	44,17	0,96	1,57	2,0
P4	16,4	22,3	45,65	11,41	7,84	11,25	1,0	0,06	0,41	19,38	17,4	35,54	24,37	22,09	24,56	2,23	3,21	5,08
P5	14,02	9,82	18,73	19,93	18,07	33,24	1,0	0,06	0,38	6,93	5,67	42,07	20,02	18,1	20,23	4,12	8,09	7,07
P6	2,27	2,11	5,41	8,11	8,68	16,72	2,0	1,02	0,22	15,64	24,31	31,23	5,04	9,37	12,66	1,0	5,02	3,12
P7	0,09	0,06	1,02	3,42	2,61	3,32	<0,01	2,04	0,17	0,94	0,73	1,23	1,62	2,36	3,62	0,03	0,06	0,06

E1-estação 1-setembro de 2008/ E2-estação 2-dezembro de 2008 / E3-estação 3-março de 2009

Teores máximos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) - Conama 344/2004: Cd - 1,2; Zn - 150; Cu - 34; Pb - 46,7; Cr -81; Ni - 20,9

para 63,272 g g^{-1} (rim). As concentrações médias de Cd variaram entre 6,08 g g^{-1} (rim) e 7,6 g g^{-1} (fígado). As concentrações de Pb foram entre 42,15 g g^{-1} (fígado) para 43,31 g g^{-1} (rim), enquanto as concentrações de Zn variaram entre 60,66 g g^{-1} (fígado) e 76,06 g g^{-1} (rim). As concentrações de Ni foram entre 7,39 g g^{-1} (rim) e 7,75 g g^{-1} (fígado). Em geral, as concentrações de Zn e Cu foram sempre superiores aos de Cd, Cr, Ni e Pb. Isso pode ser porque os dois primeiros metais são essenciais, tendo uma função biológica, enquanto os últimos são os metais não essenciais que não têm biológicas. O *t-test* mostra que Zn ($p = 0,001$) e Cu ($p = 0,01$) foram os dois únicos metais que mostraram diferença significativa em seus níveis entre os dois órgãos. Os níveis de chumbo forma muito mais elevados do que os Cd em todos os órgãos, refletindo a sua abundância como um poluente urbano local.

A ordem de acumulação dos metais no rim e no fígado pode ser colocada respectivamente com: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cr}$ e $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cr}$.

Modelos bivariados foram gerados tendo como variável dependente o teor de metal no fígado e no rim das aves (Tabela 5). Somente para o fígado foram encontrados modelos significativos, sendo que para o rim não foram encontrados significâncias estatísticas. Com exceção de um modelo, todas as correlações foram encontradas para os teores de

metais encontrados na água, sendo que o cádmio foi o metal com maior numero de correlações positivas significativas entre seu teor na água e no fígado da ave.

4. DISCUSSÃO

Os dados obtidos nesta pesquisa, em relação ao sedimento, mostraram altos teores somente para Cd. Como apresentado na Tabela 6, a média ou faixa de concentrações mundiais de metais pesados em sedimentos superficiais ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) denotam níveis e Cd que variaram de 0,01 - 7,8 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, contrastando com a faixa de Cd encontrada que foi de 0,02 - 45,65 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Quanto ao Pb os níveis variaram de 1,6 - 264,2 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, superiores a faixa encontrada (0,73 - 35,54 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Quanto ao Cu os níveis variaram de 0,75 - 128 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, superiores a faixa encontrada (0,02 - 2,0 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Quanto ao Zn os níveis variaram de 24,0 - 388,1 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, superiores a faixa encontrada (2,32 - 33,24 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Quanto ao Cr os níveis variaram de 5,0-112,9 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, superiores a faixa encontrada (0,34 - 31,02 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Quanto ao Ni os níveis variaram de 27,5-347,0 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, superiores a faixa encontrada (0,03 - 8,09 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Em relação a água, foi evidenciado altos teores para todos os metais pesquisados. Como apresentado na Tabela 7, a média ou faixa de concentrações mundiais de metais pesados em água ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) denotam níveis e Cd que variaram de 0,04 - 3,3 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tabela 4. Estatística descritiva das concentrações de metais pesados em ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* coletados no manguezal de Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ. Os valores representam médias das amostras $\pm$ desvio padrão. Os valores mínimos e máximos são mostrados entre parênteses

Table 4. Descriptive statistics of heavy metal concentrations in ($\mu\text{g.g}^{-1}$ dry weight) in organs of *Nycticorax nycticorax* from Coroa Grande Mangrove, Sepetiba Bay, RJ. Values represent means of samples $\pm$ standard deviation. Minimum and maximum values are shown in parentheses

Elemento	Órgão	
	Rim	Fígado
Cd	6,08 $\pm$ 1,41	7,60 $\pm$ 2,66
	4,41 – 7,82	4,43 – 12,81
Zn	76,06 $\pm$ 6,03	60,66 $\pm$ 3,76
	81,98 – 78,91	56,49 – 64,86
Cu	63,27 $\pm$ 12,93	45,32 $\pm$ 2,82
	45,1 – 78,4	42,15 – 49,7
PB	43,31 $\pm$ 5,99	42,15 $\pm$ 4,60
	34,3 – 50,03	37,72 – 49,85
Cr	2,65 $\pm$ 0,54	2,22 $\pm$ 0,76
	1,9 – 3,31	1,31 – 3,4
Ni	7,39 $\pm$ 1,75	7,75 $\pm$ 0,85
	5,7 – 10,8	6,15 – 8,7

1, contrastando com a faixa de Cd encontrada que foi de 0,1 - 11,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Quanto ao Pb os níveis variaram de 0,025 - 2,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e a faixa encontrada foi de 4,2 - 17,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Quanto ao Cu os níveis variaram de <0,077 - 2,8 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e a faixa encontrada foi de 3,6 - 49,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Quanto ao Zn os níveis variaram de 0,13 - 2,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e a faixa encontrada foi de 52,8 - 609,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Quanto ao Cr os níveis variaram de 0,021 - 5,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e a faixa encontrada foi de 0,0 - 77,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Quanto ao Ni os níveis variaram de 0,022 - 9,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e a faixa encontrada foi de 0,0 - 34,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Os dados obtidos neste estudo mostram uma alta concentração de todos os metais avaliados. Comparando os níveis dos metais no rim e no fígado das aves, o rim apresentou maior concentração, principalmente de Zn e Cu. Resultados semelhantes foram obtidos por Kim & Koo (2007) utilizando a mesma espécie de ave, onde foram detectados níveis altos de Zn e Cu.

O Cd foi o metal com maior numero de correlações entre seus teores na água e no fígado das aves. Sua grande capacidade de bioacumulação poderia ser um fator preponderante na explicação deste fenômeno. A ação sobre a fisiologia na cadeia trófica é semelhante às do níquel, zinco e chumbo (Monteiro *et al.*, 1998). Apesar de não significativa, observou-se diferença entre os níveis de Cd no rim e fígado, da mesma forma que Lucia e colaboradores (2010) quando pesquisou metais pesados em *Cairina moschata*. Furness & Camphuysen (1997) sinalizam que elevadas concentrações de Cd poderiam resultar em danos ao rim de aves expostas.

O Zn apresentou uma correlação positiva entre seus teores na água e no fígado das aves, sendo é um elemento essencial para o crescimento e sua presença é comum nas águas naturais. Da mesma forma, o Pb, cuja análise de regressão apresentou uma relação positiva significativa entre suas concentrações na água e no fígado dos animais.

Os resultados mostraram diferenças significativas entre os pontos de coleta amostrados neste estudo. Os pontos P1 e P7, por estarem posicionados mais distantes das fontes de entrada das águas continentais na baía de Sepetiba, eram esperados que apresentassem valores de seus metais e de seus parâmetros físico-químicos diferentes em relação aos outros pontos de coleta. E foi exatamente o que análise de cluster mostrou, colocando-os separados dos outros pontos de coleta. Nestes pontos de coleta P1 e P7, onde se observa um maior fluxo da entrada de maré que possibilita um maior poder de dissolução e ausência de vazão de rios e entrada de lixiviação de origem antrópica, os teores de metais apresentaram-se em algumas análises não detectadas e/ou em níveis insignificantes. Observação correspondente se deu no ponto P6 que é área de manguezal de Coroa Grande na baía de Sepetiba, onde se detectou níveis maiores que os anteriores por conta da proximidade

de áreas de vazão hídrica da bacia e carreamento de alguns compostos metálicos, potencializando comprometimentos a fauna local pela exposição desta na área de convívio e reprodução. Os pontos seguintes (P2, P3, P4 e P5) estão localizados nas encostas de vazão de rios importantes dos municípios componentes da bacia hidrográfica que deságua na baía de Sepetiba, que como relatado anteriormente, por não apresentar melhores condições de saneamento, lixivia teores importantes a baía, impactando significativamente o meio ambiente. Como esses compostos são persistentes e sem termos políticas públicas claras e imediatas de recuperação

dos ambientes marinhos, vemos que de forma silenciosa e preocupante o grau de complexidade dos nossos ecossistemas, problematizando a saúde pública.

O estudo mostra que os metais podem ser bioacumulados e biomagnificados via teia alimentar e, finalmente, alcançar organismos de topo de cadeia, como o *Nycticorax nycticorax*, uma vez que elas buscam alimento a poucos quilômetros de sua colônias, de forma que as concentrações dos metais nos órgãos avaliados refletem a contaminação local, particularmente o ecossistema local.

Tabela 5. Regressão significativa entre as variáveis amostradas (água, sedimento) e níveis de metais pesados em *Nycticorax nycticorax*

Table 5. Significant regression between sampled variables (water, sediment) and heavy metal levels in *Nycticorax nycticorax*

Variável dependente	Variável independente	Beta	R ²	F	p
Cd fígado	Cd água E1	0.83	0.7	11.78	0.01
	Cd água E3	0.83	0.69	11.36	0.01
	Cd sedimento E3	0.75	0.57	6.69	0.04
Zn fígado	Zn água E3	0.84	0.71	12.25	0.01
Cu fígado	Cu água E3	0.74	0.57	6.71	0.04

Tabela 6. Média ou faixa de concentrações mundiais de metais pesados nos sedimentos (g.g-1)

Table 6. Average or range of heavy metals global concentrations in sediments (g.g-1)

Área geográfica / Padrões	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Referencia
Lagoa de Maricá, Rio de Janeiro, BR	-	20-45	22,8-120	47,4-120	-	84,4-347	Fernandez (1994)
Rio Capivari, Rio de Janeiro, BR	-	13-53	4-29	24-142	5-23	54-342	Fernandez, (1994)
Rio Snake, USA	0.69	23.75	-	-	-	-	Clark & Maret (1998)
Lagoa Guaíba, Rio Grande do Sul, BR	0,01-1,08	31,9-92,8	34,9-100,6	69,6-388,1	31,5-112,9	-	Laybauer (2002)
Rio Delta, China	7.2-7.8	166.7-264.2	49.3-69.0	-	-	-	Cheung <i>et al.</i> (2003)
Rio Danúbio, Hungria	1.2	46.3	65.7	-	-	-	Woitke <i>et al.</i> (2003)
Lagoa Huizache-Caimanero, México	0.1-0.9	21.7-69	6.4-24	-	-	-	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2004)
Lagoa Mirim, Rio Grande do Sul, BR	0,01-0,12	1,6-6,5	5,6-18,7	24,8-99,0	8,7-19,6	27,5-57,5	Santos <i>et al.</i> (2004)
Rio Hugli, Índia	0.1	17.2	35.9	-	-	-	Sarkar <i>et al.</i> (2004)
Lago Uluabat, Turquia	0.078	1.42	0.75	-	-	-	Barlas <i>et al.</i> (2005)
Golfo Pérsico	2.89	90.48	-	-	-	-	Pourang <i>et al.</i> (2005)
Rio Saricay, Turquia	6	29	128	-	-	-	Levent Tuna <i>et al.</i> (2007)

Tabela 7. Média ou faixa de concentrações mundiais de metais pesados na água (g.L-1)
 Table 7. Average or range of heavy metals global concentrations in water (g.L-1)

Área geográfica / Padrões	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Referência
Bacia do ribeirão Cambé, Londrina, Paraná, BR	3,3	2,1	2,8	2,2	5,6	9,7	Yabe & Oliveira (1998)
Lago Shkodra, Montenegro	<0,1	0,8	1,4	1,64	1,5	1,9	Bekteshi & Mijovic (2003)
Lago Uluabat, Turquia	0.04	0.025	0.141	0.13	0.021	0.022	Elmaci <i>et al.</i> (2007)
Bacia do Tarumã-Açu, Manaus, Amazonas, BR	-	-	<0,077	0,21	0,10	-	Santana & Barroncas (2007)

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- Balkis, N. & Cagatay, M.N. (2001) - Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environment International*, 27:1-13. [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00044-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00044-7).
- Barlas, N., Akbulut, N. & Aydogan, M. (2005) - Assessment of heavy metal residues in the sediment and water samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74: 286–293. <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-004-0582-y>.
- Bekteshi A. & Mijovic S. (2003) - Preliminary data on the concentration of metals in the Shkodra Lake. *Bul. Shk. Univ. Shkodra*, 53: 293-34.
- Bonai, N.C.; Souza-Franco, G.M.; Fogolari, O.; Mocelin, D.J.C. & Dal Magro, J. (2009) - Distribution of metals in the sediment of the Itá Reservoir, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 21(2): 245-250. Disponível em <http://www.sblimno.org.br/pdf/v21n2a210204.pdf>
- Bost, C.A. & Lemaho, Y. (1993) - Seabirds as bio-indicators of changing marine ecosystems - new perspectives. *Acta Oecologica*, 14(3): 463-470.
- Branco, J.O. & Fracasso, H.A. A. (2005) – Ocorrência e abundancia de *Nycticorax nycticorax* (Linnaeus) no litoral de Santa Catarina, Brasil. *Rev. Bras. Zoologia*, 22(2):424-429. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbzool/v22n2/25146.pdf>
- Carvalho, C.E.V.; Di Benedetto, A.P.M., Souza, C.M.M.; Ramos, R.M.A. & Rezende, C.E. (2008) - Heavy metal distribution in two cetacean species from Rio de Janeiro State, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(6): 1117–1120. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315408000325>
- Cheung, K.C.; Poon, B.H.T.; Lan, C.Y. & Wong, M.H. (2003) - Assessment of metal and nutrient concentrations in river water and sediment collected from the cities in the Pearl River Delta, South China. *Chemosphere*, 52: 1431–1440. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00479-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00479-X).
- Clark, G.M. & Maret, T.R. (1998) - Organochlorine compounds and trace elements in fish tissue and bed sediments in the lower Snake River basin, Idaho and Oregon. *Water Resources Investigations Report 98-4103*, 35p., US Geological, Reston, Virginia, U.S.A.
- Coimbra, A.G. (2003) - Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e da Enseada das garças, Baía de Sepetiba, RJ. 73p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.
- CONAMA – Comissão Nacional do Meio Ambiente (2004) - Resolução CONAMA 344 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2004.
- CONAMA – Comissão Nacional do Meio Ambiente (2005) - Resolução CONAMA 357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, , 53, seção 1, 58-63, Brasília, DF, Brasil.
- Copeland, G.; Monteiro, T.; Couch, S. & Borthwick,

- A. (2003) - Water quality in Sepetiba Bay, Brazil. *Marine Environmental Research*, 55: 385–408. ([http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00289-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00289-1))
- Dale, V.H. & Beyeler, S.C.. (2001) - Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1(1): 3-10. ([http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00003-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6))
- Davies, O.A.; Allison M.E. & Uyi, H.S. (2006) - Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus var radula*) from the Elechi Creek, Niger Delta. *African Journal of Biotechnology*, 5(10):968-973. Disponível em [http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2006/16May/Davies et al.pdf](http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2006/16May/Davies%20et%20al.pdf)
- Diamond, A.W. & Devlin, C.M. (2003) - Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88: 153-175. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1025560805788>
- Elmaci, A.; Teksoy, A.; Topaç, F.O.; Özengin, N.; Kurto, S. & Bakaya, H.S. (2007) - Assessment of heavy metals in Lake Uluabat, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 6(19): 2236-2244. Disponível em [http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2007/4Oct/Elmaci et al.pdf](http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2007/4Oct/Elmaci%20et%20al.pdf)
- Fernandez, M.A.S. (1994) - Geoquímica de metais pesados na Região dos Lagos, RJ: proposta para um estudo integrado. Dissertação de Mestrado em Geociências, 179p., Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.
- Förstner, U.E. & Wittmann, G.T.W. (1981) - *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 486p. Springer-Verlag, Berlin. ISBN-10: 0387093079
- Frías-Espéricueta, M.G.; Osuna-López, J.I.; López-Saenz, P.J.; López-López, G. & Izaguirre-Fierro, G. (2004) - Heavy metals in surface sediments from Huizache-Caimanero Lagoon, Northwest Coast of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73: 749–755. <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-004-0489-7>.
- Furness, R.W. & Camphuysen, C.J. (1997) - Seabirds as monitors of the marine environment. *Ices Journal of Marine Science*, 54(4): 726-737. Disponível em <http://icesjms.oxfordjournals.org/cgi/reprint/54/4/726>
- Gadd, G.M. (1993) - Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytologist*, 124: 25-60. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03796.x>
- Jesus, H.C.; Costa, E.A.; Mendonça, A.S.F. & Zandonade, E. (2004) - Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. *Química Nova*, 27(3): 378-386. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n3/20162.pdf>
- Kim, J. & Koo, T-H. (2007) – Heavy metal concentrations in diet and livers of Black-crowned Night Heron *Nycticorax nycticorax* and Grey Heron *Ardea Cinerea* chicks from Pyeongtaek, Korea. *EcoToxicology*, 16(5):411-416. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-007-0143-3>
- Laybauer, L. (2002) - Estudo do risco ambiental e da dinâmica sedimentológica e geoquímica da contaminação por metais pesados nos sedimentos do Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado em Geociências, 253p., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil.
- Levent Tuna, A., Yilmaz, F., Demirak, A. & Ozdemir, N. (2007) - Sources and distribution of trace metals in the Saricay stream basin of southwestern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125: 47–57. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-006-9238-1>.
- Lucia, M.; Andre, J.N.; Gonzalez, P.; Baudrimonte, M.; Bernadet, M.D.; Gontier, K.; Maury-Brachet, R.; Guy, G. & Davail, S. (2010) – Effect of dietary cadmium on lipid metabolism and storage of aquatic birds *Cairia moschata*. *Ecotoxicology* 19:163-170. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-009-0401-7>
- Machado, J.C.V. (1996) - Estudo do grau de contaminação por hidrocarbonetos nos sedimentos da Baía de Todos os Santos. Dissertação de Mestrado, 136p., Universidade Federal da Bahia, Bahia, Brasil.
- Manahan, S.E. (1999) - *Environmental Chemistry*. 7 ed. Lewis Publishers, Boca Raton, 898pp.
- Monteiro, L.R.; Granadeiro, J.P. & Furness, R.W. (1998) - Relationship between mercury levels and diet in Azores seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 166: 259-265. Disponível em <http://www.int-res.com/articles/meps/166/m166p259.pdf>
- Moraes, D.S.L. & Jordão, B.Q. (2002) - Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista de Saúde Pública*, 36(3): 370-374. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n3/10502.pdf>

- Pereira, G.C. & Ebecken, N.F.F. (2009) - Knowledge discovering for coastal waters classification. *Expert Systems with Applications*, 36(4): 8604 – 8609. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.009>)
- Pourang, N., Nikouyan, A. & Dennis, J.H. (2005) - Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*, 109:293–316. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-005-6287-9>.
- Ross, P. S., Birnbaum, L. S. (2003) - Integrated human and ecological risk assessment: A case study of Persistent Organic Pollutants (Pops) in humans and wildlife. *Human and Ecological Risk Assessment*, 9(1): 303-324.
- Santana, G.P. & Barroncas, P.S.R. (2007) - Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). *Acta Amazonica*, 37(1): 111 - 118. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/aa/v37n1/v37n1a13.pdf>
- Santos, I.R.; Baisch, P.; Lima, G.T.N.P. & Silva-Filho, E.V. (2004) - Nutrients in surface sediments of Mirim Lagoon, Brazil-Uruguay border. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16(1): 85-94.
- Sarkar, S.K., Bilinski, S.F., Bhattacharya, A., Saha, M. & Bilinski, H. (2004) - Levels of elements in the surficial estuarine sediments of the Hugli River, northeast India and their environmental implications. *Environment International*, 30: 1089– 1098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2003.10.009>.
- Schmitt-Jansen, M.; Veit, U.; Dudel, G. & Altenburger, R. (2008) - An ecological perspective in aquatic ecotoxicology: Approaches and challenges. *Basic and Applied Ecology*, 9(4): 337-345. . (<http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2007.08.008>)
- Seebaugh, D.R.; Goto D. & Wallace, W.G. (2005) - Bioenhancement of cadmium transfer along a multi-level food chain. *Marine Environmental Research*, 59(5): 473–491. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2004.07.003>)
- Wanless, S.; Harris, M. P.; Redman, P. & Speakman, J.R. (2005) - Low energy values of fish as a probable cause of a major seabird breeding failure in the North Sea. *Marine Ecology-Progress Series*, 294: 1-8. Disponível em <http://www.int-res.com/articles/feature/m294p001.pdf>
- Woitke, P.; Wellmitz, J.; Helm, D.; Kube, P.; Lepom, P. & Litheraty, P. (2003) - Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51: 633–642. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00217-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00217-0).
- Yabe, M.J.S. & Oliveira, E. (1998) - Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*, 21(5): 551-556. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/qn/v21n5/2922.pdf>