

# Avaliação ecotoxicológica de água e sedimento de um reservatório de água urbano e costeiro do nordeste brasileiro

Ecotoxicological evaluation of water and sediment of an urban and coastal water reservoir in northeastern Brazil

Thiago Farias Nobrega<sup>1</sup>  
Raquel Franco Souza<sup>2</sup>(\*)  
Guilherme Fulgêncio Medeiros<sup>3</sup>

## Resumo

A Lagoa de Extremoz, localizada na zona metropolitana de Natal, Nordeste do Brasil, é um importante reservatório urbano que contribui para abastecimento de aproximadamente 300 mil pessoas. Devido à importância desse corpo hídrico para manutenção e desenvolvimento das atividades humanas, é importante conhecer como a qualidade da água e sedimento deste ambiente varia ao longo do tempo e do espaço. Em 2013 foram realizadas quatro coletas, duas quando o nível de água da lagoa era inferior a 45% de sua capacidade (abril e maio) e, depois, quando o nível de água da lagoa estava no máximo de sua capacidade (julho e agosto), sempre em dois pontos na Lagoa de Extremoz e um no Rio Guajiru. Essas amostragens foram necessárias para avaliar as concentrações de metais (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Fe, Ni) no sedimento superficial, e sua relação aos resultados de testes ecotoxicológicos realizados em água e sedimentos. A extração dos metais foi realizada por solução mista ( $\text{HCl } 0,5 \text{ mol.L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,012 \text{ mol.L}^{-1}$ ) e analisada por Espectrometria de Absorção Atômica (EAA). Os ensaios ecotoxicológicos crônicos usaram *Ceriodaphnia dubia* e *C. silvestrii* para análise da toxicidade da água e *Hyaella azteca* para sedimento. Foram realizadas análises no sedimento para determinar os teores de matéria orgânica - MO (incineração em mufla a 600 °C), de carbonato (solubilização com ácido acético a 4%) e a granulometria (peneiramento simples). Os resultados sugerem riscos às comunidades de crustáceos bentônicos e, conseqüentemente, a todo o ecossistema da lagoa, atribuídos principalmente ao aporte antropogênico de Zn, Cu, Pb e Cd, à correlação positiva de MO,  $\text{CaCO}_3$  e porção siltico-argilosa, bem como à frequência de amostras com efeito tóxico crônica ao *Hyaella azteca*.

**Palavras-chave:** *Ceriodaphnia dubia*; *Ceriodaphnia silvestrii*; *Hyaella azteca*; metais; geoquímica ambiental.

1 Graduado em ciências biológicas; Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente no Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFRN; Endereço: Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59064-741; E-mail: thiagofnbio@gmail.com

2 Dra.; Engenharia de Recursos Naturais; Professora Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN; Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59064-741. Campus Universitário-CCET-Departamento de Geologia-Laboratório de Geoquímica, LAGOA NOVA. CEP: 59072970 - Natal, RN. E-mail: francodesouza.raquel@gmail.com

3 Dr.; Bioquímica/Biologia Molecular; Professor Associado III da UFRN; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Departamento de Oceanografia e Limnologia. Praia de Mae Luiza, s/n, Via Costeira, CEP: 59014-100 - Natal, RN - Brasil E-mail: seuguila@gmail.com

Recebido para publicação em 17/11/2014 e aceito em 01/05/2017

## Abstract

The Extremoz Lake located in the metropolitan area of Natal, Northeast Brazil, is an important reservoir that helps to supply approximately 300,000 people. Due to the importance of this water body for maintenance and development of human activities, it is important to know how the quality of the water and sediment of this environment varies over time and space. Four samples were taken in 2013, two when the level of the water was less than 45% of capacity (april and may) and then when it reached the full capacity (july and august), always in two points in Extremoz Lake and one in Guajiru River. These samplings were needed to evaluate the concentrations of metals (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Fe, Ni) in the surface sediment, and its relationship to the results of ecotoxicological tests on water and sediment. The metals extraction was performed by mixed solution ( $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0.012 \text{ mol L}^{-1}$ ) and analyzed by Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The chronic ecotoxicological tests used *Ceriodaphnia dubia* and *C. silvestrii* to analyze the toxicity of the water and *Hyalella Azteca* for sediment. Analyses were performed in the sediment to determine the levels of organic matter (incineration in muffle furnace at  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ), carbonate (solubilization with acetic acid 4%) and particle size (single sieving). The results suggest risks to the benthic crustaceans communities and consequently to the entire ecosystem of the lagoon, attributed mainly to anthropogenic contribution of Zn, Cu, Pb and Cd, to the positive correlation of MO,  $\text{CaCO}_3$  and to siltic-clay portion, as well as the frequency of samples with chronic toxic effect to *Hyalella azteca*.

**Key words:** *Ceriodaphnia dubia*; *Ceriodaphnia silvestrii*; *Hyalella azteca*; Metals; Environmental Geochemistry.

## Introdução

Os lagos são ecossistemas aquáticos inestimáveis, por serem importantes reservatórios de água superficial, repositores de águas subterrâneas, abrigo de várias espécies, por terem influência sobre o clima local, elevado potencial paisagístico e alternativas para o lazer. Estes corpos hídricos são considerados ecossistemas versáteis. Processos antropogênicos, em especial a expansão dos polos industriais, assentamentos humanos e atividades agrícolas, vêm pondo em risco a manutenção da qualidade da água de vários mananciais (ARAÚJO et al., 2006; KALWA et al., 2012; HOU et al., 2013).

Vários contaminantes dissolvidos na água se associam aos particulados suspensos preexistentes no ambiente, através da adsorção, complexação e precipitação, e consequentemente, decantam e passam a compor o sedimento (RAND et al., 1995). Esse processo é comum a compostos hidrofóbicos, como é o caso dos poluentes orgânicos persistentes (POPs) e os metais, compostos que persistem no ambiente principalmente por se associarem ao sedimento e à matéria orgânica (COLES et al., 2012; NOWELL et al., 2013), podendo acarretar efeitos agudos e crônicos para as comunidades que vivem ou entram em contato com o sedimento e acumulam-se em concentrações superiores àquelas encontradas no meio aquoso (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). Portanto, o estudo do sedimento de um corpo hídrico é tão importante quanto a análise da água superficial.

A emissão difusa de compostos químicos antropogênicos afeta as concentrações dos metais pesados no ambiente. As fontes mais comuns desses contaminantes são resíduos doméstico, animal e industrial; a queima de combustíveis, lubrificantes, pneus, e outros materiais plásticos (SINDERN et al., 2007). Metais como chumbo, cádmio, zinco, cromo e cobre são poluentes muito agressivos aos ecossistemas de lagos, devido sua persistência no meio ambiente, toxicidade e capacidade de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar (YANG et al., 2014).

Na bacia hidrográfica do rio Doce, Rio Grande do Norte, Brasil, está localizada a Lagoa de Extremoz. Esse corpo hídrico está próximo a uma área de expansão urbana e industrial na região metropolitana de Natal (Figura 1). Dentre outros benefícios, esta lagoa é um importante reservatório que atende cerca de 70% da população da zona norte do município, fornecendo água para uso doméstico, industrial, recreativo, agrícola, entre outras atividades (MELO et al 2012). Segundo a classificação de Koppen e Geiger (2006), a região da lagoa de Extremoz está sob o domínio climático Equatorial do tipo savana com verão seco (As).

Ao longo dos anos, devido a sua importância, esse ecossistema é alvo de pesquisas científicas que buscam compreender e diagnosticar a qualidade da água deste reservatório. O estudo realizado na Lagoa de Extremoz, por Araujo et al. (2000), avaliou a relação de fatores abióticos (temperatura, pH, transparência, alcalinidade, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, DBO), nutrientes inorgânicos (nitrato, amônia e ortofosfato) e as comunidades fitoplanctônicas no período entre fevereiro de 1996 e janeiro de 1997. A autora concluiu que as variáveis se comportam de maneira semelhante ao observado em outros ambientes oligotróficos do Brasil.

Em outro trabalho conduzido na Lagoa de Extremoz, Barbosa et al. (2010) indicaram efeitos genotóxicos associados ao nível de cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco. Esses metais encontravam-se acima do permitido pela legislação brasileira, o que segundo os autores contribuiu para o aumento na frequência de anomalias cromossômicas no meristema de raiz de *Allium cepa* e no nível de quebras de DNA nos eritrócitos do sangue de *Oreochromis niloticus* (Perciformes, Cichlidae).

No estudo realizado por Oliveira (2006), os parâmetros N amoniacal, DBO, P total, teor de óleos e graxas, Ferro (Fe) e Chumbo (Pb), nas águas da Lagoa de Extremoz, não atendem aos limites estabelecidos pela RESOLUÇÃO CONAMA nº 357 de 2005 para águas doces de classe 2. Dentre esses, o teor de óleos e graxas estava alterado em todas as amostras. Outro resultado importante desse trabalho é que a temperatura da água e do ar, o pH e o oxigênio dissolvido assim como HCO<sub>3</sub>, K, Cl, Mg, Ca e Na, apresentaram valores homogêneos nas diferentes estações amostradas. Nessa mesma pesquisa, constatou-se que as águas da lagoa são consideradas cloretadas sódicas e que isso se deve provavelmente às características geológicas e estruturais da região.

Por outro lado, no trabalho de Jerônimo & Souza (2013), a qualidade da água foi considerada de boa a ótima, em análises físico-químicas e biológicas, em amostras de água superficial provenientes da Lagoa de Extremoz, no período entre janeiro de 2011 e agosto de 2012.

A hipótese deste trabalho é que as águas e sedimentos da Lagoa de Extremoz apresentam qualidade variável em função da precipitação pluviométrica, do uso e ocupação de seu entorno e da qualidade dos mananciais superficiais que a abastecem (Rio Guajiru e Rio Doce). O objetivo deste trabalho foi o estudo da Lagoa de Extremoz e do rio Guajiru nos aspectos geoquímicos e da ecotoxicologia de água e sedimento, buscando informações sobre variações mensais e/ou sazonais dos teores de matéria orgânica, carbonato, metais, granulometria e da toxicidade para com os organismos teste *Ceriodaphnia dubia*, *C. silvestrii* e *Hyalella azteca*.

## Metodologia

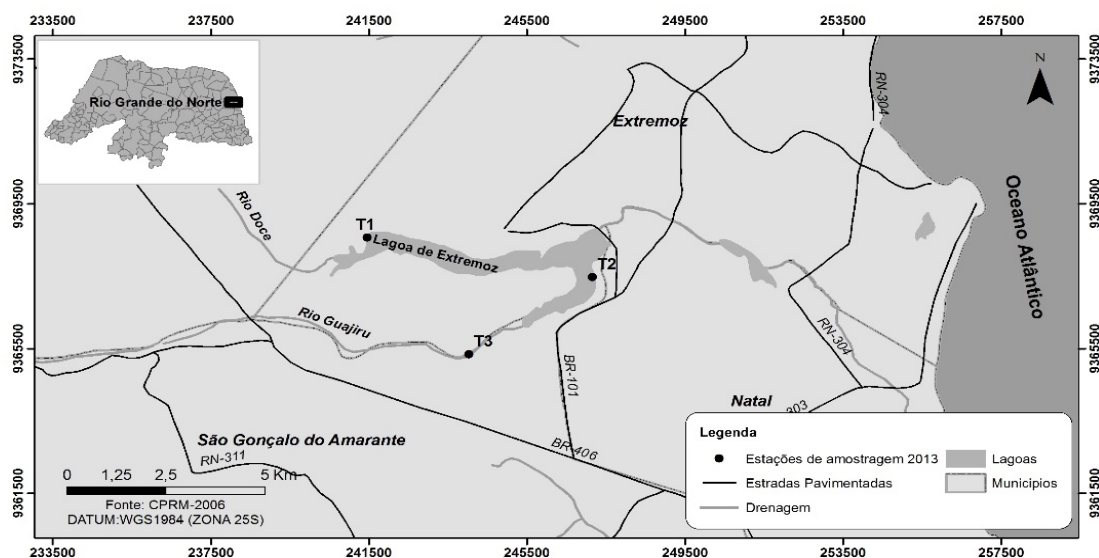
### Área de Estudo

A Lagoa de Extremoz (Figura 1) está localizada no extremo norte da região metropolitana de Natal, Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, na região limítrofe entre as cidades de Extremoz, São Gonçalo e os bairros Nossa Senhora da Apresentação e Lagoa Azul (Natal). Pode represar 14.659.848 m<sup>3</sup> de água, ocupando uma superfície total de 4,28 km<sup>2</sup>, correspondente ao seu espelho d'água. Sua profundidade média encontra-se em torno de 4,2 metros, atingindo até 9,3 metros (SEMARH, 2014).

As amostragens de água e sedimento superficial foram realizadas em quatro momentos de 2013: em dois meses, quando o nível de água da lagoa era inferior a 45% (abril e maio), doravante designado de período seco e em outros dois meses, quando o nível da lagoa estava na sua capacidade normal (julho e agosto), chamado período de cheia, para efeito deste trabalho.

As estações de amostragem T1, T2 (Lagoa de Extremoz) e T3 (Rio Guajiru), conforme a figura 1, foram pré-estabelecidas, levando em consideração a viabilidade de acesso e buscando uma distância adequada de empreendimentos antrópicos, pois estes poderiam influenciar no resultado das análises.

**Figura 1** Localização da área de estudo. Áreas de Drenagem, estradas pavimentadas, municípios e estações de amostragem (T1, T2 e T3).



Fonte: CPRM, 2006.

A estação T1 encontrava-se próxima à desembocadura do Rio do Doce, no braço sul da lagoa (241454.00mE e 9368563.00mS); a paisagem do entorno é caracteristicamente rural e a estrada principal mais próxima está localizada a 600m de distância. O ponto T2 (247155.00mE e 9367468.00mS) está localizado em área de granjas particulares; a 300m de distância do local de

coleta, no sentido leste, existe uma ferrovia ativa; em aproximadamente 350m há uma indústria de bebidas alcoólicas; no sentido sudoeste, a 400m, encontra-se uma estação de coleta de água para abastecimento público na região. A estação T3 (244029.00mE e 9365337.00mS) está localizada nas margens do rio Guajiru, em uma zona periurbana.

Para as coletas, usou-se equipamento de proteção individual como macacão impermeável, luvas e galochas. As amostragens aconteceram nas primeiras horas da manhã, preferencialmente em dias sem chuva. Garrafas e potes plásticos com tampa, atóxicos e descontaminados foram usados para coleta de água e sedimento respectivamente.

As garrafas tinham capacidade de 2L e eram preenchidas com água da zona epipelágica, até no máximo 1m de profundidade, tal como se apresentava no ambiente. Os potes tinham capacidade para 1L, sendo o sedimento coletado com o auxílio de pás plásticas, na região litorânea da lagoa, em locais com profundidade inferior a 70 cm; para coletar apenas porções da camada superior de aproximadamente 10cm de profundidade no sedimento, e manter a representatividade da amostra, foram realizados deslocamentos laterais sucessivos, até o preenchimento do pote.

## **Análises químicas do sedimento**

O sedimento encaminhado ao Laboratório de Geoquímica foi distribuído em bandejas de vidro e levado à estufa, mantido a 100°C durante 24 horas para secagem. Então, a amostra foi destorroada suavemente em almofariz de porcelana (caso aglomerados se formassem), triada (para remoção de fragmentos indesejados), quarteadada, e separada em porções de 30g, para análise de matéria orgânica, teor de carbonato, metais pesados e granulometria.

Para determinação do teor de matéria orgânica (M.O.), foi utilizado o método descrito em Lima et al. (2006). Nesse método, 10g de amostras foram colocados em cadinhos de cerâmica e levados à mufla por 5 horas a 600°C. O valor perdido após esse evento é a quantidade de matéria orgânica que foi incinerada, deixando apenas os minerais presentes no sedimento. O teor de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) é obtido a partir da reação de 10g de sedimento com ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) a 4%. Nesse procedimento, a diferença entre a massa inicial e a perda corresponde ao carbonato solubilizado (HERRMANN, 1975).

A extração dos metais dos sedimentos foi realizada por solução mista ( $\text{HCl}$  0,5 mol.L<sup>-1</sup> +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,012mol.L<sup>-1</sup>). A concentração de metais pesados foi analisada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (EAA) e aferiu os teores de Fe, Cu, Cd, Zn, Cr, Ni e Pb na fração <5mm em aproximadamente 5g de sedimento.

A caracterização granulométrica consistiu no peneiramento simples a seco de alíquotas de 30g das amostras de sedimento, em agitador automático durante 15 minutos. Nesse peneiramento, foram utilizadas peneiras de aço inoxidável com malhas que dividiram o sedimento, respectivamente em: Cascalho (>2mm), areia grossa e muito grossa (>0,6mm), areia média (>0,3mm), areia fina e muito fina (>0,063mm) e silte e argila (<0,063mm) segundo a escala de Wentworth (1922). O peso retido em cada peneira é aferido e a porção com a maior massa indica a predominância granulométrica da amostra de sedimento.

## Ensaio ecotoxicológico de água

Adultos de *Ceriodaphnia dubia* e *C. silvestrii* foram mantidos sob as mesmas condições no laboratório, utilizando água obtida em reservatório com características naturais e com pouca influência da ação antrópica. No laboratório, a água foi filtrada e, depois, permaneceu em aeração constante por, no mínimo, uma hora antes de ser utilizada. No máximo, 50 matrizes de cladocera foram mantidas em béqueres de 1L. Diariamente cada béquer recebeu 3mL de extrato liquefeito de ração de peixe e 3mL de alga (*Scenedesmus obliquuos*) como alimento. Os neonatos foram retirados dos béqueres matrizes, para controle da idade dos organismos; semanalmente procedeu-se à renovação e limpeza desses aquários.

Foram usados como indicadores de toxicidade de água superficial neonatos de *C. dubia* e *C. silvestrii*, com idades entre 6 e 24h. Esses organismos foram expostos, em frascos individuais, a 15mL das amostras a serem testadas. O procedimento utilizado foi um teste crônico semi-estático com duração de 7 dias e 10 réplicas por amostra. Nesse método, em 72 e 120h, ocorreram renovações de água, remoção dos neonatos e alimentação dos organismos com uma gota de extrato orgânico e duas de alga; ao final do teste (168h), é contabilizado o total de sobreviventes. O teste é considerado válido quando a taxa de sobrevivência no controle é igual ou maior que 80% (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014).

## Ensaio ecotoxicológico de sedimento

Para avaliar a toxicidade das amostras de sedimento, utilizou-se o anfípoda *Hyalella azteca*, cultivado em recipientes plásticos atóxicos (aquários) com volume máximo de 12L. Água mineral comercial foi usada como água de cultivo e folhas de bananeira desidratadas foram utilizadas como substrato. Os aquários matrizes continham 300 organismos adultos ou juvenis, sem pareamento. Para manter o controle das idades dos organismos, a cada sete dias, os neonatos foram retirados desses aquários e relocados para outros recipientes para maturação até estarem com idade para os ensaios (7-14 dias). As renovações e limpeza dos aquários ocorreram a cada 14 dias. Diariamente, os organismos eram alimentados com 10 mL de mistura contendo extrato de ração para peixes, complexo vitamínico e óleo de primula.

Nos ensaios, para cada amostra de sedimento preparam-se 4 réplicas, que consistiam em recipientes com capacidade de 1L, contendo 100mL de amostra de sedimento previamente homogeneizado e 200mL de água do cultivo. O regime de teste crônico semi-estático foi adotado e expôs 10 neonatos (7 a 14 dias) por réplica. As renovações aconteceram em 72, 144 e 192h, momento em que se retiravam 120mL de água do recipiente e, em seguida, a mesma quantidade de água do cultivo era repostada; os organismos foram alimentados com 3mL de mistura. Ao final do teste (240h), o total de sobreviventes foi contabilizado. O teste foi considerado válido quando a taxa de sobrevivência no controle foi igual ou maior que 80% (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014).

## Análise de dados

Para analisar a toxicidade, nos ensaios ecotoxicológicos crônicos, foi efetuado o teste t de student o qual testa a hipótese de que a média de sobrevivência dos organismos no controle é igual à média de sobrevivência dos organismos em cada tratamento (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). Quando o valor de p foi menor que 0,05, a amostra foi considerada tóxica, indicada por um asterisco.

Os valores das análises do teor de matéria orgânica, carbonato, metais e granulometria foram tratados estatisticamente usando correlação. O coeficiente de correlação amostral (r) mediu a intensidade com que se manifesta uma associação linear entre duas variáveis.

O fator de enriquecimento, obtido a partir da formula 1 (YONGMING et al., 2006), foi usado para analisar quais metais têm concentrações maiores do que o esperado para o local estudado e, assim, diferenciar os metais originários de atividades humanas e os provenientes de processo natural de intemperismo, classificando-os de acordo com a tabela 1.

$$FE = \left( \frac{\left( \frac{Cm}{Cvrl} \right) Amostra}{\left( \frac{Bm}{Bvrl} \right) VRL} \right) \quad (1)$$

Onde:

*Cm*- Concentração de determinado elemento no local de interesse;

*Cvrl*- Concentração do elemento de referência no local de interesse;

*Bm*- Valor de referência do elemento de estudo (background);

*Bvrl*- Valor de referência local do elemento de referência (background).

Ainda em relação ao fator de enriquecimento, o Fe foi usado como elemento de referência, devido sua baixa mobilidade no meio ambiente (HOLLAND; TUREKIAN, 2004). O valor de referência local (background) foi estabelecido como a média dos resultados analíticos obtidos para amostras coletadas por Soares (2006), na mesma bacia hidrográfica, em locais com influência antrópica pouco significativa, no Rio do Doce e Rio Guajiru. Assim, as concentrações dos metais estudados eram de origem geogênica, atribuídas ao intemperismo natural das rochas do embasamento.

Os resultados de Soares (2006) apresentam, para os elementos cádmio e cromo, valores abaixo do limite de detecção (ALD) da técnica analítica empregada. Sendo assim, foram usados para os cálculos do Fator de Enriquecimento os valores 0,20 mg.kg<sup>-1</sup> e 1mg.kg<sup>-1</sup> para o Cd e Cr respectivamente; que correspondem ao limite de detecção mínimo para a análise desses elementos por EAA (AZEVEDO FILHO et al., 2012).

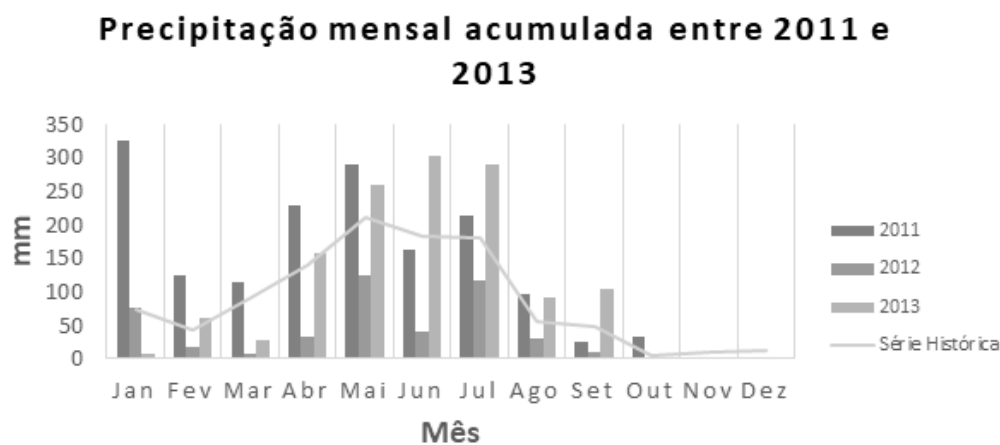
**Tabela 1- Classificação do fator de enriquecimento (FE)**

FE<2	Deficiência de enriquecimento
FE=2-5	Enriquecimento moderado*
FE=5-20	Enriquecimento significativo**
FE=20-40	Enriquecimento muito alto***
FE>40	Enriquecimento extremamente alto****

## Resultados

A bacia de drenagem da lagoa de Extremoz esteve submetida a um período de estiagem durante janeiro de 2012 até março de 2013 (Figura 2); a precipitação acumulada nesses 17 meses foi de 965,4mm, valor que corresponde a pouco mais da metade (1610,5mm) do que foi observado para todo ano de 2011 (EMPARN, 2014). A partir de abril de 2013, a precipitação mensal acumulada foi semelhante à série histórica registrada no mesmo local.

**Figura 2 - Precipitação mensal acumulada no município de Extremoz/RN, Brasil, nos anos de 2011, 2012 e 2013.**



Fonte: os autores.

## Análises Químicas e físicas do sedimento

Na tabela 2, são apresentados os percentuais de matéria orgânica e carbonato, o teor dos metais pesados (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd) em  $\text{mg.kg}^{-1}$  e a caracterização granulométrica (também em porcentagem). Esses valores são referentes às amostragens em duas estações na Lagoa de Extremoz (T1 e T2) e um ponto no Rio Guajiru (T3), em abril, maio, julho e agosto (2013). Ainda é possível observar o teor médio para cada parâmetro tanto na estação chuvosa, quanto na seca.



Em abril e maio, o nível da lagoa estava baixo (abaixo de 45% de sua capacidade); verificam-se os maiores teores de M.O., com o máximo 15,6% em abril e o mínimo 0,4% em maio. No período em que o nível da lagoa estava normal, o valor máximo foi 4,3% em agosto e o mínimo 0,1% em julho.

Ao exemplo da M.O. as concentrações de  $\text{CaCO}_3$  foram maiores em abril e maio, cuja média nesse período foi 1,68% e em julho e agosto a concentração média observada foi 0,72%.

Esse mesmo comportamento foi observado para os metais estudados. Os teores médios em abril e maio foram  $353,36 \text{ mg.kg}^{-1}$  Fe;  $5,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  Zn;  $0,29 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cu;  $0,91 \text{ mg.kg}^{-1}$  Pb;  $0,85 \text{ mg.kg}^{-1}$  Ni;  $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cr e  $0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cd, maiores que as observações:  $106,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  Fe;  $1,06 \text{ mg.kg}^{-1}$  Zn;  $0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cu;  $0,86 \text{ mg.kg}^{-1}$  Pb;  $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$  Ni;  $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cr e  $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cd, em julho e agosto. Para todo o período estudado as concentrações mínimas e máximas foram, respectivamente, 13,63 e  $1633 \text{ mg.kg}^{-1}$  Fe; 0,46 e  $12,84 \text{ mg.kg}^{-1}$  Zn; 0,6 e  $0,65 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cu; 0,41 e  $1,97 \text{ mg.kg}^{-1}$  Pb; 0,03 e  $2,79 \text{ mg.kg}^{-1}$  Ni; 0,01 e  $1,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cr e para Cd o valor mínimo foi 0,01 e máximo  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Em relação à granulometria, verifica-se que as maiores porções de sedimento encontram-se na fração areia fina e muito fina ( $>0,063$ ), areia grossa e muito grossa ( $>0,6\text{mm}$ ) e areia media ( $>0,3\text{mm}$ ) respectivamente.

## Resultados Ecotoxicológicos de água e sedimento

A taxa de sobrevivência observada ao fim dos ensaios ecotoxicológicos é apresentada na tabela 3. Em síntese, a menor taxa de sobrevivência foi 30% verificada na amostra T1 (maio) para *Ceriodaphnia dubia*; 70% em T3 (abril) para *Ceriodaphnia silvestrii* e 40% em T1 (maio) para *Hyalella azteca*.

Em todos os ensaios, a taxa de sobrevivência no controle foi maior que 80%, sendo aceitável a comparação entre as amostras coletadas (T1, T2 e T3) e o controle. Na tabela 4, verificam-se quais amostras foram consideradas tóxicas, indicadas por um asterisco. Não foi detectada toxicidade para *C. silvestrii*, enquanto que T1 e T3 (abril) mostraram-se tóxicas para *C. dubia*. Nas análises de sedimento, as amostras T1 e T3 (abril), T1 (maio) e T2 e T3 (agosto) apresentaram toxicidade para os *H. azteca*.

**Tabela 2 – Teores de matéria orgânica, carbonato, concentração de metais (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr e Cd) e caracterização granulométrica do sedimento superficial das estações de amostragem T1, T2 e T3, no período de amostragem abril, maio, julho e agosto de 2013 e os valores médios destas variáveis no período seco e no de cheia**

Período e estações de amostragem	Abril			Maio			Média	Julho			Agosto			Média
	T1	T2	T3	T1	T2	T3		T1	T2	T3	T1	T2	T3	
CaCO <sub>3</sub> (%)	1,86	0,30	3,25	0,69	0,34	3,67	1,68	0,30	0,83	1,45	0,26	0,50	0,98	0,72
M.O.	2,90	0,80	15,60	0,90	0,40	12,00	5,43	0,30	2,00	2,10	0,10	1,30	4,30	1,68
Fe	1633,00	35,18	356,00	19,53	13,63	62,80	353,36	84,30	34,78	299,78	28,93	37,95	150,53	106,05
Zn	3,98	0,80	12,84	4,03	0,46	8,50	5,10	1,07	0,50	1,62	0,46	0,53	2,17	1,06
Cu	0,22	0,22	0,65	0,19	0,08	0,36	0,29	0,63	0,07	0,18	0,06	0,12	0,17	0,21
Pb (m g . kg <sup>-1</sup> )	1,11	N/D	1,97	0,70	1,00	0,71	1,10	1,70	N/D	N/D	N/D	0,46	0,41	0,86
Ni	2,79	0,22	0,63	0,58	0,21	0,69	0,85	0,03	0,18	0,32	N/D	N/D	0,06	0,15
Cr	1,90	N/D	0,15	N/D	N/D	0,07	0,71	N/D	N/D	N/D	N/D	0,01	0,18	0,10
Cd	0,08	0,05	0,10	0,03	0,03	0,08	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01	N/D	N/D	0,02
>2mm	8,54	0,52	0,93	4,38	0,56	1,86	2,80	0,17	0,20	12,35	0,28	0,76	10,10	3,98
>0,6mm	30,99	12,72	31,25	27,56	9,13	33,71	24,23	0,24	11,54	18,81	0,36	18,78	32,32	13,67
>0,3mm (%)	10,29	29,53	17,27	10,43	22,44	16,77	17,79	2,10	27,84	18,56	5,72	32,81	17,39	17,40
>0,063mm	49,42	55,78	37,94	56,42	66,21	39,14	50,82	96,74	56,67	45,43	93,33	44,96	33,11	61,71
<0,063mm	0,75	1,46	12,61	1,21	1,66	8,52	4,37	0,76	3,75	4,86	0,31	2,69	7,07	3,24

<sup>1</sup>Frações granulométricas, >2mm (Cascalho), >0,6mm (Areia grossa e muito grossa), >0,3mm (Areia média), >0,063 (Areia fina e muito fina) e <0,063mm (Silte e argila). N/D (não detectado).

**Tabela 3- Sobrevivência de Ceriodaphnia silvestrii, C. dubia e Hyalella azteca, em relação ao controle, em amostras coletadas nas estações de amostragem (T1, T2, T3) em abril, maio, julho e agosto de 2013.**

Período e estações de amostragem (%)	Sobrevivência			
	<i>C. silvestrii</i>	<i>C. dubia</i>	H. azteca	
Abril	Controle	100	90	100
	T1	100	100	65*
	T2	100	100	100
	T3	70	80	78*
Maio	Controle	100	100	93
	T1	100	30*	35*
	T2	100	100	88
	T3	80	100	93
Julho	Controle	100	90	93
	T1	100	80	95
	T2	100	80	73
	T3	80	60*	88
Agosto	Controle	100	100	100
	T1	100	100	100
	T2	100	100	48*
	T3	100	100	73*

\*Amostras que apresentaram toxicidade

## Discussão

Os lagos e represas são indispensáveis para o desenvolvimento industrial e socioeconômico. Contudo essas mesmas atividades têm impactos negativos a tais ecossistemas. O monitoramento dos corpos hídricos, em especial do sedimento, é muito importante para gestão adequada da água. Isso se deve à comprovada capacidade do sedimento em acumular compostos, caracterizando-o como um verdadeiro testemunho da contaminação de ecossistemas aquáticos continentais (ESTEVES et al. 2011).

A concentração dos metais no ambiente pode ser de origem antrópica e geogênica. Existem várias maneiras para avaliar a contaminação causada por metais. Nesta discussão foram comparados os teores aqui aferidos em relação às diretrizes apresentadas pelos órgãos de gestão ambiental e às concentrações disponibilizadas nos trabalhos de outros autores.

Na tabela 4, observam-se os teores máximos e mínimos dos metais aferidos no sedimento da Lagoa de Extremoz e os limites permissivos da ANZECC, NOAA e CMME, órgãos de gestão ambiental da Austrália, Estados Unidos e Canadá, respectivamente. As pesquisas de Oliveira (2006), Azevedo Filho et al. (2012), Sindern et al., (2007), Santos et al. (2012), Uluturhan et al. (2011) e Wang et al. (2014), apresentam a, concentrações de metais aferidas no sedimento da lagoa de Extremoz, Estuário do Rio Jundiá Potengi, Lagoa Mirim, Lagoa Homa e Lago Dianchi, na tabela 5.

Dentre os fatores que influenciam a adsorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas, destaca-se o tamanho das mesmas. Quanto menores as partículas, maiores as concentrações de nutrientes e contaminantes químicos adsorvidos. Essa tendência primária se deve ao fato de as pequenas partículas apresentarem elevadas áreas superficiais específicas, o que favorece adsorção e ocasional fixação do que se encontra disponível em meio aquoso (Murray et al. 2002, Lima et al. 2006).

A maior capacidade de adsorção e retenção de contaminantes em partículas menores, explica por que as concentrações dos metais aferidos nesta pesquisa são inferiores aos valores limites dos órgãos de controle ambiental ANZECC, NOAA e CCME, apresentados na tabela 4, e inferiores aos resultados mostrados na tabela 5, para os trabalhos de Oliveira (2006) Azevedo Filho et al. (2012), Santos et al. (2012), Uluturhan et al. (2011) e Wang et al. (2014).

Nas tabelas 4 e 5, os dados correspondem a pesquisas que analisaram a concentração de metais na porção siltico-argilosa do sedimento, ao contrário da presente pesquisa que realizou a análise do sedimento tal como se apresentava no ambiente, ou seja, sem a seleção prévia de determinada fração granulométrica.

**Tabela 4- Concentrações máximas e mínimas de metais, aferidas no sedimento da Lagoa de Extremoz, em relação às concentrações padrões de órgãos ambientais internacionais.**

mg.kg <sup>-1</sup>	Lagoa de Extremoz/RN <sup>1</sup>	ANZECC. <sup>2</sup>		NOAA. <sup>3</sup>		CCME. <sup>4</sup>	
	Max. -Min.	ERL. <sup>5</sup>	ERM. <sup>6</sup>	ERL.	ERM.	TEL. <sup>7</sup>	PEL. <sup>8</sup>
<b>Fe</b>	1633,00-13,63	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
<b>Zn</b>	12,84-0,46	200	410	150	410	123	315
<b>Cu</b>	0,65-0,06	65	270	34	270	36	197
<b>Pb</b>	1,97-0	50	218	46,7	218	35	91,3
<b>Ni</b>	2,79-0	21	51,6	20,9	51,6	-	-
<b>Cr</b>	1,90-0	80	370	81	370	37	90
<b>Cd</b>	0,08-0	1,5	9,6	1,2	9,6	0,6	3,5

(Legenda tabela 6) <sup>1</sup>Presente estudo, concentração (mg.kg<sup>-1</sup>) mínima (Min.) e máxima(Max.) de Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr e Cd em amostras de sedimento da Lagoa de Extremoz/RN, Brasil; <sup>2</sup>ANZECC, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council; <sup>3</sup>NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration; <sup>4</sup>CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment; <sup>5</sup>ERL, Effect Range Low; <sup>6</sup>ERM, Effect Range Median; <sup>7</sup>TEL, Threshold Effect Level; <sup>8</sup> PEL, Probable Effects Level. N/I (Não Informado)

Além da granulometria das amostras, outras variáveis devem ser consideradas quando da avaliação da degradação de um corpo hídrico, como por exemplo o nível de influência antrópica em seu entorno. Em estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Potengi, sob domínio geológico semelhante ao da Lagoa de Extremoz, Sindern *et al.*, (2007) analisaram metais em sedimentos com granulometria < 0,5 mm. Segundo os autores, as concentrações de metais eram mais elevadas quanto maior fosse a influência das atividades antrópicas no local amostrado.

A tabela 6 apresenta uma matriz de correlação com os parâmetros encontrados nas tabelas 2 e 3, confeccionada para avaliar as interações entre essas variáveis. São apresentados os coeficientes de correlação entre os parâmetros estudados. O valor de  $r_{crit} = 0,576$  foi calculado segundo, Einax (1997), para mostrar as relações significativas para um intervalo de confiança de 95%. Assim, os valores da tabela 6, entre -0,576 e -1, indicam correlações negativas significativas (relação inversamente proporcional entre os resultados), enquanto que valores de 0,576 a 1 indicam correlações positivas significativas (relação diretamente proporcional entre os resultados).

Para os metais traços, os elementos foram divididos em dois grupos, o primeiro composto por Zn, Cu, Pb e Cd, e outro formado por Fe, Cr e Ni. O primeiro é composto por elementos que são correlacionados ( $r=0,5942-0,9465$ ) e, diferentemente dos componentes do segundo grupo, mostram clara afinidade com a matéria orgânica, indicando que esses elementos são facilmente adsorvidos na matéria orgânica. A correlação desses elementos sugere uma possível associação, indicando que os elementos correlatos podem ter a mesma origem, seja geogênica ou antropogênica.

A mesma tendência também foi observada por Sindern *et al.*, (2007) em investigação realizada na bacia do Rio Jundiá-Potengi Natal/RN, distante poucos quilômetros da Lagoa de Extremoz. Neste, os elementos foram divididos em dois grupos: o grupo 1 composto por Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Ag e Pb, caracterizados pelo autor como de provável origem antropogênica, e o grupo 2, oriundos provavelmente de fonte geogênica, formado por Cr, V, Ni e Fe. A influência antrópica nessas duas áreas geograficamente próximas é semelhante, pois envolve a rápida expansão urbana, queima de combustíveis fósseis, resíduos domésticos, animais e industriais, e desgaste de pneus.

As concentrações de Zn, M.O e CaCO<sub>3</sub> estão correlacionadas com a fração granulométrica <0,063mm (Tabela 6), relação esperada dado o que foi abordado em parágrafos anteriores sobre a elevada taxa de adsorção da fração fina do sedimento. A matéria orgânica também apresenta área superficial específica elevada, além de um caráter hidrofóbico que contribui para a transferência dos cátions de metais (ou de qualquer substância presente na fase aquosa), para a interface matéria orgânica-fase aquosa (RAND et al., 1995).

Outra explicação para a correlação positiva significativa entre Zn, M.O. e carbonatos, é que o Zn, Cu e Pb, em condições aeróbicas e de pH neutro, formam complexos com ligantes orgânicos, óxidos e argila. Esses metais também podem precipitar com Fe hidratado e se depositar no sedimento de rios, como resultado de mudanças nas condições que naturalmente ocorrem em rios urbanos ou intermitentes (PERSAUD et al., 1993).

Embora durante o período estudado não tenha sido detectada toxicidade nos ensaios usando *Ceriodaphnia silvestrii* (Tabela 3), verifica-se, na matriz de correlação (Tabela 6), correlações negativas entre a sobrevivência desses organismos, M.O. (-0,8418), CaCO<sub>3</sub> (-0,8309) e Zn (-0,8047). Isso sugere que um aumento nos teores de M.O, CaCO<sub>3</sub> e Zn pode contribuir para a diminuição da taxa de sobrevivência desses organismos.

Os valores do fator de enriquecimento (FE) que são mostrados na tabela 7, indicam que em abril e maio foram registrados os maiores níveis de enriquecimento, destacando-se maio, quando foi observado enriquecimento extremamente alto para Zn e Cd; enriquecimento muito alto e extremamente alto para Cu; enriquecimento significativo, muito alto e extremamente alto para Pb; enriquecimento significativo e enriquecimento muito alto para Ni e para Cr enriquecimento muito alto apenas no ponto T3. Esses resultados corroboram os estudos de Oliveira (2006), em sedimento de fundo da Lagoa de Extremoz; no qual a autora apontou a alta biodisponibilidade de Cd, Fe, Zn, Pb, Ni, Ca, Be, Ti, Co, Mn, Na, Mg, V, Ba, Bi e Ag; potencial de biodisponibilidade média para Cu, Cr e P e potencial de biodisponibilidade baixo ou nenhum para os elementos K, As, Rb, Li, Mo, Al, Sb, Zr e Ti.

Assim nesses dois estudos, p enriquecimento dos metais, sugere a aceitação da hipótese de que, na Lagoa de Extremoz, existe um processo de degradação contínuo. Segundo Holland & Turekian (2004) o Cr e Ni, ao contrário do Zn, Cd, Cu e Pb, não são especialmente enriquecidos em ambientes lacustres; assim é plausível afirmar que uma quantidade considerável de material alóctone, originado de atividades humanas, de fontes pontuais ou difusas, chega à Lagoa e se acumula no sedimento desse corpo hídrico.

A influência que sedimentos contaminados têm sobre a biota pode ser melhor explicada pelo presente estudo, quando o organismo-teste *Hyaella azteca* foi exposto a amostras de sedimento da lagoa de Extremoz. Nos ensaios ecotoxicológicos, observou-se toxicidade nas estações T1 e T3 (abril), T1 (maio), e T2 e T3 (agosto), com 65%, 35%, 50% e 70% de sobrevivência, respectivamente (Tabela 3).

Em estudo do efeito tóxico de 63 metais sobre o *H. Azteca*, Borgmann et al. (2005), indicaram o Cd, Ag, Pb, Cr (ânion), Hg e Ti, seguidos do U, Co, Os, Se (ânion), Pt, Lu, Cu, Ce, Zn, Pr, Ni e Yb como os mais tóxicos; a LC<sub>50</sub> (Concentração letal em que ocorre a mortalidade de 50% dos organismos expostos a determinado tratamento) para Cd, Cr, Pb, Cu e Zn, foi respectivamente: 0,0006 mg.kg<sup>-1</sup>, 0.003 mg.kg<sup>-1</sup>, 0.57 mg.kg<sup>-1</sup> 0.056 mg.kg<sup>-1</sup> e 0.070 mg.kg<sup>-1</sup>. Se

levarmos em consideração que esses pesquisadores usaram a água como rota de exposição e que, segundo Esteves et al (2011), em ambientes lacustres, a concentração de metais no sedimento é muitas vezes superior ao que se observa na coluna d'água, no presente trabalho os organismos teste foram expostos a amostras de sedimento com concentrações de Zn, Cu e Cd elevadas o suficiente para se observar eventos de toxicidade.

Outro fator que corrobora com essa afirmação é que o período de estiagem atípico, verificado em 2012, somado ao elevado déficit hídrico característico da região, à exploração além da capacidade de recarga, e uso e ocupação das proximidades que, podem estar propiciando um declínio na saúde do ecossistema da Lagoa de Extremoz, principalmente pela diminuição do efeito de diluição que a lagoa tem sobre seus possíveis efluentes.

Ainda é importante afirmar que a toxicidade também está relacionada a outros elementos não aferidos por esta pesquisa e que se comportam de maneira semelhante aos metais. Kemble et al. (2012) analisaram parâmetros físicos, composição química e a toxicidade de amostras de sedimento superficial de 98 córregos urbanos nos EUA, usando *H. azteca* como um dos organismos teste, e mostraram que a mortalidade esteve mais relacionada à presença de pesticidas do que às concentrações elevadas de metais.

**Tabela 5- Comparação entre as concentrações mínimas e máximas de metais aferidas pelo presente estudo, em relação a outros estudos na bacia do Rio Doce/RN, sistema Jundiá-Potengi/RN, Lagoa Mirim/RS, Homa Lagoon/Turquia e Dianchi Lake/China.**

Metais no sedimento		Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd
		min-max (mg.kg <sup>-1</sup> )						
Presente Estudo <sup>1</sup>  (Oliveira, 2006) <sup>2</sup>	Lagoa de Extremoz/ RN	13.63-1.633	0.46-12.84	0.06-0.65	0-1.97	0-2.79	0-1.90	0-0.08
		27.300-13.2500	51-96	9.70-14.40	17.40-28.20	40.20-70.40	72-148	0.16-0.32
(Azevedo Filho et al. 2012) <sup>3</sup>	Rio Doce/ RN	13.162-155.469.8	6.30-41.10	2.00-14.40	18.05-76.50	20.20-100.40	6.15-28.80	0-2.50
(Sindern et al. 2007) <sup>4</sup>	Jundiá-Potengi	0.34-2.700	1.70-76.00	0.60-30.70	0.70-24.70	0.90-61.70	1.90-95.30	0.01-0.11
(Santos et al. 2012) <sup>5</sup>	Lagoa Mirim	9.000-31.000	24.8-99	5.6-18.7	1.6-6.5	N/I	8.7-19.6	0.1-0.12
(Uluturhan et al. 2011) <sup>6</sup>	Homa Lagoon	17.054-30.234	46.2-91.90	10.30-25.80	2.43-17.20	58.10-108	83.90-129	0.06-0.19
(Wang et al. 2014) <sup>7</sup>	Dianchi Lake	14.851-31.805	56-343	20-207	53-565	24-84	37-174	0-1.15

<sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup> Oliveira (2006), digestão HF-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>, seguido de lixiviação por HCl a 11%, análise por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES); <sup>3</sup> Azevedo Filho et al. (2012) 0,063mm, HCl-HNO<sub>3</sub>, Espectrômetro de Absorção Atômica (AAS); <sup>4</sup> Sindern et al. (2007), 5g da fração <0,5mm peneirado do sedimento, para digestão em água regia. A concentração de metais foi determinada por ICP-AES e forno de grafite ASS, (Concentração de Fe em %); <sup>5</sup> Santos et al. (20012), 0,064mm, HNO<sub>3</sub>+3 HCl e HF para Cr, Cu, Zn, Fe e Mn (AAS), Cd e Pb por AAS com forno de grafite; <sup>6</sup> Uluturhan et al. (2011), HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub>-HCl, 0,063mm, AAS; <sup>7</sup> Wang et al. (2014) HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub>-HCl, ICP-OES. N/I (Não Informado).

**Tabela 6- Coeficiente de correlação para: sobrevivência de *C. silvestrii*, *C. dubia*, *H. azteca*, teor de CaCO<sub>3</sub>, matéria orgânica (M.O.), Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd e granulometria de sedimento.**

	<i>C. silvestrii</i>	<i>C.dubia</i>	<i>H. azteca</i>	CaCO <sub>3</sub>	M.O.	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	>2mm	>0,6mm	>0,3mm	>0,063mm	<0,063mm	
<i>C. silvestrii</i>	1																	
<i>C. dubia</i>	0,156	1,000																
<i>H. azteca</i>	-0,204	0,478	1,000															
CaCO <sub>3</sub>	<b>-0,831</b>	0,039	0,061	1,000														
M.O	<b>-0,842</b>	0,083	0,074	<b>0,917</b>	1,000													
Fe	-0,034	0,147	-0,167	0,299	0,108	1,000												
Zn	<b>-0,805</b>	-0,119	-0,068	<b>0,884</b>	<b>0,947</b>	0,215	1,000											
Cu	-0,545	-0,117	0,198	0,480	<b>0,594</b>	0,089	<b>0,655</b>	1,000										
Pb	-0,328	-0,051	-0,071	0,370	0,480	0,284	<b>0,599</b>	<b>0,811</b>	1,000									
Ni	-0,063	0,058	-0,238	0,412	0,189	<b>0,945</b>	0,331	0,084	0,296	1,000								
Cr	0,117	0,228	-0,203	0,234	0,042	<b>0,978</b>	0,146	0,004	0,245	<b>0,951</b>	1,000							
Cd	<b>-0,566</b>	0,097	0,108	<b>0,761</b>	<b>0,734</b>	0,475	<b>0,818</b>	0,547	0,553	<b>0,622</b>	0,444	1,000						
>2mm	-0,143	-0,236	-0,197	0,155	-0,031	0,472	-0,013	-0,171	-0,192	0,367	0,399	-0,136	1,000					
>0,6mm	-0,453	-0,108	-0,467	<b>0,711</b>	<b>0,650</b>	0,396	<b>0,675</b>	0,156	0,197	0,501	0,386	0,506	0,494	1,000				
>0,3mm	0,006	0,251	-0,149	-0,065	0,009	-0,256	-0,161	-0,393	-0,413	-0,249	-0,245	-0,104	-0,150	0,111	1,000			
>0,063mm	0,456	-0,006	0,382	<b>-0,579</b>	-0,561	-0,208	-0,479	0,037	0,055	-0,255	-0,175	-0,314	-0,465	<b>-0,877</b>	-0,531	1,000		
<0,063mm	<b>-0,834</b>	0,028	0,056	<b>0,790</b>	<b>0,923</b>	-0,068	<b>0,804</b>	0,478	0,319	-0,054	-0,157	0,468	0,112	<b>0,622</b>	0,169	<b>-0,665</b>	1,000	

Valores em negrito são correlações significativas.

**Tabela 7 – Fator de enriquecimento dos metais Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd nas estações de amostragem T1, T2, T3 no período de abril, maio, julho e agosto de 2013.**

Período e estações de amostragem	Fator de Enriquecimento (FE)						
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	
Abril	T1	3,88*	0,69	0,46	1,19	19,40**	4,10*
	T2	36,18***	32,07***	0,00	4,37*	0,00	118,44*****
	T3	57,39*****	9,36**	3,71*	1,24	7,02**	23,41***
Maio	T1	328,34*****	49,89*****	24,04***	20,75***	0,00	128,02*****
	T2	53,70*****	30,10***	49,21*****	10,77**	0,00	183,43*****
	T3	215,37*****	29,40***	7,6**	7,68**	18,57***	106,16*****
Julho	T1	20,20***	38,33***	13,53**	0,25	0,00	19,77**
	T2	22,88***	10,32**	0,00	3,62*	0,00	47,92*****
	T3	8,60**	3,08*	0,00	0,75	0,00	2,78*
Agosto	T1	25,30***	10,64**	0,00	0,00	0,00	28,80***
	T2	22,22***	16,22**	8,13**	0,00	4,40*	0,00
	T3	22,94***	5,79**	1,83	0,28	19,93**	0,00

\*Enriquecimento moderado; \*\*Enriquecimento significativo; \*\*\*Enriquecimento muito alto; \*\*\*\*Enriquecimento extremamente alto.

## Conclusão

As médias dos teores de matéria orgânica, carbonato, concentração de metais (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr e Cd), no sedimento superficial da Lagoa de Extremoz e Rio Guajiru, no período seco (abril e maio) são maiores que as médias no período de cheia (julho e agosto). As concentrações dos metais analisadas nesta pesquisa foram inferiores a outros estudos e aos valores de referência de qualidade de sedimento de água doce, da NOAA, CCME e ANZECC, não indicando contaminação severa do sedimento da lagoa. No entanto, a análise do elevado fator de enriquecimento de alguns desses elementos, a correlação de variáveis como M.O., Zn, Cu e Cd, e o registro de toxicidade nos ensaios ecotoxicológicos, fortalecem a aceitação da hipótese de que, na Lagoa de Extremoz, exista a deterioração da qualidade do sedimento e água da lagoa, principalmente nos períodos de baixa pluviosidade, comprometendo, assim, a biota desse ecossistema.

## Referências

- ARAUJO, M. F. F., COSTA, I. A. S. & CHELLAPA, N. T. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais na Lagoa de Extremoz. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 12, n. 1, p. 127-140, 2000.
- ARAUJO, R. P. A.; BOTTA-PASCHOAL, C. M. R.; SILVÉRIO, P. F.; ALMEIDA, F. V.; RODRIGUES, P. F.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F.; MOZETO, A. A. Application of toxicity identification evaluation to sediment in a highly contaminated water reservoir in southeastern Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.25, n.2, p. 581-588, 2006.
- AZEVEDO FILHO, J. B.; MELO, J. V.; LIMA, R. F. S.; Avaliação da influência de íons metálicos em sedimento de fundo da bacia hidrográfica do rio Doce, RN-Brasil. **Química no Brasil**, v. 6, n.1-2, p. 45-54, 2012.
- BARBOSA, J.; CABRAL, T.; FERREIRA, D.; AGNEZ-LIMA, L.; BATISTUZZO DE MEDEIROS, S. R.; Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 3, p. 320-325, 2010.
- BORGMANN, U.; COUILLARD, Y.; DOYLE, P.; DIXON, D. Toxicity of sixty-three metals and metalloids to *hyalella azteca* at two levels of water hardness. **Environ Toxicol Chem**, v. 24, n.3, p. 641-652, 2005.
- BOTELHO, R. G.; ROSSI, M. L.; OLINDA, R. A.; MARANHO, L. A.; TORNISIELO, V. L. **Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: a case study of the Piracicaba River (São Paulo, Brazil)**. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013;20:4385-95. doi: 10.1007/s11356-013-1613-1



COLES, J.; MCMAHON, G.; BELL, A.; BROWN, L.; FITZPATRICK, F.; EIKENBERRY, B.; WOODSIDE, M.; CUFFNEY, T.; BRYANT, W.; CAPIELLA, K. Effects of urban development on stream ecosystems in nine metropolitan study areas across the United States. **US Geological Survey Circular**, p-1373, 2012.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE), 2005, Resolução CONAMA 357, 17 de março de 2005.

EBBING, D. **Química Geral**. Volume II. 5ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. - LTC, p.224, 1998.

EMPARN, **Empresa de Pesquisa Agropecuária**, Rio Grande do Norte, Brasil, 2014.

HERRMANN, A.; SCHNEIDERHÖHN, P.; KNAKE, D. **Praktikum der Gesteinsanalyse**. 1st ed. Springer-Verlag, Berlin. p.204, 1975.

HOLLAND, H.; TUREKIAN, K. **Treatise on geochemistry**. Amsterdam: Elsevier/Pergamon. 2004.

HOU, D.; HE, J.; LÜ, C.; REN, L.; FAN, Q.; WANG, J.; XIE, Z. Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from lake Dalinouer, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 93, p135-144, 2013.

PERSAUD D, JAAGUMAGIR, HAYTON A **Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario**. Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Canada, 1993.

JERÔNIMO, C. H. M.; SOUZA, F. R. S. Determinação do índice de qualidade da água da Lagoa de Extremoz - RN: Série Temporal e Correlação a Índices Pluviométricos. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, v.10, n.10, p.2219-2232, 2013.

KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, AND F. RUBEL, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15, 259-263. 2006.

KALWA, M.; QUINÁIA, S.P; PLETSCH, L.T.; FELSNER, M.L. Fraction and potential toxic risk of metals from superficial sediment in Itaipu Laje – Boundary Between Brazil and Paraguay. **Archives Environmental Contamination and Toxicology**, v64, p12-22, 2013.

KEMBLE, N.; HARDESTY, D.; INGERSOLL, C.; KUNZ, J.; SIBLEY, P.; CALHOUN, D.; GILLIOM, R.; KUIVILA, K.; NOWELL, L.; MORAN, P. **Contaminants in Stream Sediments From Seven United States Metropolitan Areas: Part II—Sediment Toxicity to the Amphipod *Hyalella azteca* and the Midge *Chironomus dilutus***. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v.64, n. 1, pp.52-64. 2012.

LIMA, R. F. S.; GUEDES, J. A.; BRANDÃO, P. R. G.; SOUZA, L. C.; PETTA, R. A. A Influência da Área Superficial das Partículas na Adsorção de Elementos Traço por Sedimentos de Fundo. In: Cassio Roberto da Silva, Bernardino Ribeiro Figueiredo, Eduardo Mello De Capitani, Fernanda Gonçalves da Cunha. (Org.). **GEOLOGIA MÉDICA NO BRASIL**. 1ed. Rio de Janeiro: CPRM - **Serviço Geológico do Brasil**, p. 204-211, 2006.

MELO, J. G.; VASCONCELOS, M. B.; MORAIS, S. D. O.; ALVES, R. S.; Avaliação Hidrogeológica da Zona Norte da Cidade de Natal e os Problemas Associados ao Desenvolvimento Urbano. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 1, p.123-134, 2012.

MURRAY, K. S.; CAUVET, D.; LYBEER, M.; THOMAS J. C. Particle size and chemical control of heavy metals in bed sediment from the Rouge river, Southeast Michigan. **Environmental Science and Technology** v. 33, pp. 987–992, 1999.

NOWELL, L.; MORAN, P.; GILLIOM, R.; CALHOUN, D.; INGERSOLL, C.; KEMBLE, N.; KUIVILA, K.; PHILLIPS, P. Contaminants in stream sediments from seven United States metropolitan areas: part I: distribution in relation to urbanization. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v.64, n.1, pp.32-51, 2013.

OLIVEIRA, J. B. **Diagnóstico geoquímico de água e sedimento de fundo da lagoa de extremo**- região da grande Natal. p.119. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geociências, Departamento de Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRN, Natal-RN, 2006.

RAND, G. M. **Fundamentals of Aquatic Toxicology**: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment. 2ed., Taylor & Francis, Washington.DC, p.1125, 1995.

SANTOS, I. R.; BAISCH, P.; LIMA, G. T. N. P., Metais pesados em sedimentos superficiais da Lagoa Mirim, fronteira Brasil-Uruguai. **Geochimica Brasiliensis**, v. 17, n.1, pp.37-47. 2003.

SEMARH, **Secretaria de estado de meio ambiente e dos recursos hídricos**. Rio Grande do Norte, Brasil 2014.

SINDERN, S.; LIMA, R.; SCHWARZBAUER, J.; PETTA, R. Anthropogenic heavy metal signatures for the fast growing urban area of Natal (NE-Brazil). **Environmental Geology**, v. 52, n. 4, pp.731-737, 2007.

SOARES, R.C. Diagnóstico e avaliação geoquímico-ambiental da zona de proteção ambiental 9 (ZPA-9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN. **Dissertação** (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pesquisa e Pós- Graduação em Geociências. Natal, RN, 2006.

ULUTURHAN, E., KONTAS, A., CAN, E.. Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea): assessment of contamination and ecological risks. **Marine pollution bulletin**, 62(9), pp.1989-1997, 2011.

WANG, Z.; YAO, L.; LIU, G.; LIU, W. Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 107, pp.200-206, 2014.

WENTWORTH, C. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p.377-392, 1922.

YANG, J.; CHEN, L.; LIU, L.Z; SHI, W.L; MENG, X.Z. Comprehensive risk assessment of heavy metals in lake sediment from public parks in Shanghai. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 102, p.129-135, 2014.

YONGMING, H.; PEIXUAN, D.; JUNJI, C.; POSMENTIER, E. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. **Science of The Total Environment**, v. 355, n.1-3, p.176-186, 2006.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI E. (EE) **Ecotoxicologia Aquática**: princípios e aplicações. 3.ed. Rima, 2014. p. 472.