

**Doutorado em Desenvolvimento  
e Meio Ambiente**

**Associação Plena  
em Rede**



UFPI



UFC



UFRN



UFPB



UFPE



UFS



UESC

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL DO ESTUÁRIO PONTA DO TUBARÃO (RN)  
COM BASE NA ÁGUA, SEDIMENTO E MACROALGAS  
MARINHAS**

**KLÉGEA MARIA CÂNCIO RAMOS CANTINHO**

2017

Natal – RN

**Klégea Maria Cândia Ramos Cantinho**

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
AMBIENTAL DO ESTUÁRIO PONTA DO TUBARÃO (RN) COM  
BASE NA ÁGUA, SEDIMENTO E MACROALGAS MARINHAS**

Tese que deverá ser apresentada ao Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, associação ampla em Rede, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

Orientadora: **Profa. Dra. Eliane Marinho-Soriano**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Leopoldo Nelson - -Centro de Biociências - CB

Cantinho, Klégea Maria Câncio Ramos.

Caracterização e avaliação da qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão (RN) com base na água, sedimento e macroalgas marinhas / Klégea Maria Câncio Ramos. - Natal, 2017.  
93 f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Marinho-Soriano.

1. Qualidade ambiental - Tese. 2. Macroalgas - Tese. 3. Metais pesados - Tese. I. Marinho-Soriano, Eliane. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE-CB

CDU 502/504

# **KLÉGEA MARIA CÂNCIO RAMOS CANTINHO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, associação ampla em Rede, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Profa. Dra. Eliane Marinho-Soriano  
Orientadora – PRODEMA/DDMA-UFRN

---

Prof. Dr. André Luis Calado Araújo  
IFRN

---

Profa. Dra. Marcella Araújo do Amaral Carneiro  
UNIFACEX

---

Profa. Dra. Magnólia Fernandes Florêncio de Araújo  
PRODEMA/DDMA-UFRN

---

Prof. Dr. Sérgio Ricardo de Oliveira  
Plano Ambiental Planejamento e Estudos Ambientais LTDA

## **APRESENTAÇÃO**

A Tese tem como título “CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DO ESTUÁRIO PONTA DO TUBARÃO (RN) COM BASE NA ÁGUA, SEDIMENTO E MACROALGAS MARINHAS” e, conforme padronização aprovada pelo colegiado do DDMA local, se encontra composta por uma introdução geral, com embasamento teórico e revisão bibliográfica do conjunto da temática abordada, incluindo a identificação do problema da Tese, uma caracterização geral da área de estudo, metodologia geral empregada para o conjunto da obra e três capítulos que correspondem à artigos científicos; o capítulo um foi publicado. Todos os capítulos/artigos estão no formato do periódico ao qual está aceito/publicado/submetido; os endereços dos sites onde constam as normas dos periódicos estão destacados em cada capítulo/artigo.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder a graça da realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, por todo o apoio e proficiência e em especial, à Professora Eliza Maria Xavier Freire e ao Colegiado por me apoiarem e entenderem as dificuldades pessoais e de saúde que passei no decorrer do doutorado, minha gratidão eterna.

Aos Secretários David e Érica, por estarem sempre a postos para ajudar.

À minha orientadora, Dra. Eliane Marinho-Soriano, por sua inefável perseverança, confiança em minha capacidade e por sua incomensurável qualidade profissional.

À todos os colegas do curso de Pós-graduação e aos amigos dos Laboratórios de Macroalgas, pela amizade, carinho e atenção.

Em especial à minha família, que me apoiou durante o doutorado. Ao meu Pai e minha Mãe, pela cumplicidade. Aos meus queridos irmãos, pelo incentivo. E ao meu grande amor, companheiro e marido, João Cantinho, pelo otimismo e muita paciência.

Aos grandes amigos que fiz durante essa jornada, meus parceiros do dia-a-dia, Felipe, Gabriela e Sérgio, onde se fazia da diversidade a maior expressão de igualdade.

À todos, muito obrigada!

## RESUMO

Estuários e zonas costeiras são sistemas dinâmicos de grande importância ambiental, econômica e social. Em todo o mundo estas áreas estão se tornando cada vez mais impactadas, devido às atividades antropogênicas causadas pelo rápido crescimento econômico e urbanização. A presente pesquisa foi realizada no estuário Ponta do Tubarão, localizado no litoral norte do Rio Grande do Norte, Brasil. A área do estuário faz parte da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSEPT). No entorno dessa Unidade de Conservação são desenvolvidas diversas atividades econômicas tais como, pesca, agricultura, aquicultura, indústria salinera e petrolífera, além do turismo ecológico. Considerando a importância ecológica, econômica e social desse ecossistema, um estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar e avaliar a qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão através da análise dos nutrientes (N e P) e metais pesados contidos na água, sedimento e macroalgas marinhas (*Gracilariopsis* e *Hypnea*). A pesquisa realizada com tal propósito apresenta-se composta por três capítulos: (1) no primeiro capítulo a dinâmica de nutrientes foi investigada para compreensão dos processos biogeoquímicos e para identificar possíveis impactos antropogênicos nesse ecossistema tropical; (2) o segundo capítulo da tese, analisa e aponta quais os compartimentos (água, sedimento e macroalgas) que detêm a maior concentração de metais pesados e finalmente o terceiro capítulo (3) o qual discorre sobre a percepção ambiental dos extrativistas da RDSEPT e que tem como objetivo mensurar o entendimento da população sobre as questões ambientais da reserva. Os resultados obtidos nos diferentes capítulos fornecem informações importantes sobre a saúde ambiental do estuário Ponta do Tubarão e podem auxiliar na gestão da reserva.

**Palavras chaves:** Qualidade ambiental, Estuário, Nutrientes, Metais pesados, Macroalgas, percepção ambiental.

## ABSTRACT

Estuaries and coastal zones are dynamic systems of great environmental, economic and social importance. All over the world these areas are becoming increasingly impacted because of the anthropogenic activities caused by rapid economic growth and urbanization. This research was carried out in the Tubarão estuary, which is located in the northern coast of Rio Grande do Norte, Brazil. The estuary area is part of the Ponta do Tubarão Sustainable Development Reserve (RDSEPT). In the surroundings of this conservation unit, several economic activities are developed, such as fishing, agriculture, aquaculture, saline and oil industry, besides ecological tourism. Considering the ecological, economic and social importance of this ecosystem, a study was run to characterize and evaluate the environmental quality of the Tubarão estuary through analysis of nutrients (N and P) and heavy metals in water, sediment and seaweeds (*Gracilariopsis* and *Hypnea*). The research carried out for this purpose is composed of three chapters: (1) in the first chapter the dynamic of nutrients was investigated to understand the biogeochemical processes and to identify possible anthropogenic impacts in this tropical ecosystem; (2) the second chapter of the thesis analyzes and points out which compartments (water, sediment and seaweeds) that hold the largest concentration of heavy metals and finally the third chapter (3) which examines the RDSEPT extractivists' environmental perception and aims to measure the population's understanding of reserve environmental issues. The results obtained in the different chapters provide important information on the state of environment of the Tubarão estuary and may contribute to the reserve management.

**Key words:** Environmental quality, Estuary, Nutrients, Heavy metals, Seaweeds, Environmental perception.



## LISTA DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| Figura 1. Caracterização geoambiental e uso do solo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, RN – Brasil. ....   | 19        |
| Figura 2. Localização das estações de coleta no estuário Ponta do Tubarão (Diogo Lopes, RN), Brasil. ....  | 22        |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>27</b> |
| Figura 1. Local de estudo e localização das estações de coletas (Diogo Lopes, RN). ....  | 32        |
| Figura 2. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de $\text{NH}_4^+$ (A), $\text{NO}_2^-$ (B), $\text{NO}_3^-$ (C) e NID (D) na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....  | 36        |
| Figura 3. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de $\text{PO}_4^{3-}$ na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....   | 36        |
| Figura 4. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de nitrogênio no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....  | 37        |
| Figura 5. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de fósforo no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....   | 38        |
| Figura 6. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de nitrogênio nos tecidos das macroalgas <i>Hypnea musciformis</i> e <i>Gracilariopsis tenuifrons</i> entre as estações. Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças significativas. ....                                | 39        |
| Figura 7. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão da concentração de fósforo nos tecidos das macroalgas <i>Hypnea musciformis</i> e <i>Gracilariopsis tenuifrons</i> entre as estações. Diferentes Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças significativas.....                         | 39        |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>51</b> |
| Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e das estações de coleta no estuário Ponta do Tubarão, RN. ....  | 55        |
| Figura 2. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....                                  | 58        |
| Figura 3. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas. ....                                       | 60        |
| Figura 4. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no tecido da macroalga <i>Hypnea musciformis</i> entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.....    | 62        |
| Figura 5. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no tecido algal de <i>Gracilariopsis tenuifrons</i> entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas..... | 63        |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <i>CAPÍTULO 1</i> .....  | 27 |
| Tabela 1. Características físico-químicas da água do estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. ....   | 35 |
| Tabela 2. Variação dos valores médios $\pm$ desvio padrão (mínimo–máximo) da razão N:P entre as estações na coluna de água, no sedimento e nos tecidos das macroalgas <i>H. musciformis</i> e <i>Gr. tenuifrons</i> . .... | 40 |
| Tabela 3. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os parâmetros ecológicos, sedimento e porcentagens de N e P nas algas <i>Gracilariopsis tenuifrons</i> e <i>Hypnea musciformis</i> . ....                     | 41 |
| <i>CAPÍTULO 2</i> .....  | 51 |
| Tabela 1. Características físico-químicas da água do estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. ....   | 57 |
| Tabela 2. Valores das concentrações médias (mg/L) dos metais pesados na coluna de água do estuário Ponta do Tubarão e valores limites para o CONAMA e a USEPA. ....  | 59 |
| Tabela 5. Concentração média (mg/kg) de metais pesados registrados no sedimento do estuário Ponta do Tubarão comparada a estudos realizados no Brasil e em outras partes do mundo. ....                                    | 65 |
| <i>CAPÍTULO 3</i> .....  | 73 |
| Tabela 1. Perfil dos entrevistados em percentual e números absolutos. Macau, RN (2012) .....   | 76 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <i>1. INTRODUÇÃO GERAL</i> .....                           | 13 |
| <i>2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO</i> .....     | 18 |
| <i>2.1 Aspectos físicos e ambientais</i> .....             | 18 |
| <i>2.2 Aspectos econômicos e impactos ambientais</i> ..... | 21 |
| <i>2.3 Localização das estações de coleta</i> .....        | 21 |
| <i>3. METODOLOGIA GERAL</i> .....                          | 24 |
| <i>3.1 Procedimentos em campo</i> .....                    | 24 |
| <i>3.1.1 Coleta de material e análises</i> .....           | 24 |
| <i>3.2 Dados da percepção ambiental</i> .....              | 25 |
| <i>3.3 Análises estatísticas</i> .....                     | 25 |
| <i>CAPÍTULO 1</i> .....                                    | 27 |
| <i>Resumo</i> .....  | 27 |
| <i>Abstract</i> .....                                      | 28 |
| <i>Introdução</i> .....                                    | 29 |
| <i>Metodologia</i> .....                                   | 31 |
| Área de Estudo .....                                       | 31 |
| Estações selecionadas .....                                | 32 |
| Procedimentos em campo e em laboratório .....              | 32 |
| Análises estatísticas .....                                | 33 |
| <i>Resultados</i> .....                                    | 34 |
| Variáveis ambientais .....                                 | 34 |
| Nutrientes dissolvidos na água .....                       | 35 |
| Teor de nutrientes no sedimento .....                      | 37 |
| Nutrientes nos tecidos algais .....                        | 38 |
| Razão N:P .....  | 39 |
| Análise de Correlação .....                                | 40 |
| <i>Discussão</i> .....                                     | 42 |
| <i>Conclusão</i> .....                                     | 45 |
| <i>Referências</i> .....                                   | 46 |
| <i>CAPÍTULO 2</i> .....                                    | 51 |
| <i>Resumo</i> .....  | 51 |
| <i>Abstract</i> .....                                      | 52 |
| <i>Introdução</i> .....                                    | 53 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Metodologia</i> .....                     | 54 |
| Área de estudo .....                         | 54 |
| Estações de Coleta.....                      | 55 |
| Procedimentos em campo e em laboratório..... | 56 |
| Análises dos metais pesados.....             | 56 |
| Análises estatísticas .....                  | 57 |
| <i>Resultados</i> .....                      | 57 |
| Parâmetros ambientais .....                  | 57 |
| Metais pesados dissolvidos na água .....     | 58 |
| Metais pesados do sedimento .....            | 59 |
| Metais pesados nos tecidos das algas .....   | 61 |
| Análise de correlação.....                   | 63 |
| <i>Discussão</i> .....                       | 64 |
| <i>Conclusão</i> .....                       | 67 |
| <i>Referências</i> .....                     | 68 |
| <i>CAPÍTULO 3</i> .....                      | 73 |
| <i>RESUMO</i> .....                          | 73 |
| <i>1. INTRODUÇÃO</i> .....                   | 73 |
| 2. METODOLOGIA.....                          | 74 |
| 2.2 Coleta de dados.....                     | 75 |
| <i>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....        | 75 |
| <i>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</i> .....         | 79 |
| <i>5. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</i> .....    | 80 |
| <i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i> .....            | 85 |
| <i>REFERÊNCIAS</i> .....                     | 88 |
| <i>ANEXO</i> .....                           | 93 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde o início das primeiras civilizações, o homem vem despejando resíduos no ambiente aquático. Nas últimas décadas, o aumento do crescimento populacional e desenvolvimento industrial têm causado sérios danos nos ecossistemas aquáticos e à vida de modo geral (GRANZIERA; GONÇALVES, 2012).

Compostos químicos sintéticos ou a quantidade excessiva de substâncias naturais podem afetar negativamente as águas marinhas e estuarinas, assim como também seus habitantes. Quando introduzidas de forma inadequada no ambiente, as substâncias químicas podem ser potencializadas e poluir os ecossistemas aquáticos, além de causar danos a biota (GOEL, 2006; RABALAIS et al., 2009). Alguns poluentes, tais como derramamentos de óleo, são facilmente detectados no momento em que eles entram na água. Outros, como por exemplo, produtos químicos tóxicos, são menos óbvios, e sua presença pode permanecer indetectável até causarem danos visíveis (KENNISH, 1997). O efeito da poluição pode ser de caráter local, regional ou global, mas o seu impacto vai depender do tipo e quantidade de contaminação, o período de exposição e sobre as características do fluxo da água.

Áreas costeiras de todo o mundo possuem locais particularmente sensíveis e frágeis do ponto de vista ambiental, como os estuários, manguezais e orla marítima. No Brasil, a zona costeira está em um processo acelerado de expansão, destacando-se o turismo, a aquicultura, parques eólicos, exploração petrolífera. A expansão dessas atividades industriais tem atraído milhões de pessoas para os centros urbanos, desencadeando diversos problemas ambientais, como por exemplo, desmatamento, ocupação de áreas de preservação ambiental, perda da biodiversidade, produção de resíduos sólidos e esgotos, entre outros (MMA, 2016).

Os estuários são regiões importantes no transporte e transformação de materiais de fontes terrestres e atividades antropogênicas. Por ser um ambiente altamente dinâmico, os estuários estão sujeitos a uma grande variação nas características físicas, químicas e biológicas. Esta variabilidade conduz a reações complexas e mudanças de fases dos compostos presentes na água (MERRIFIELD et al., 2011). O dinamismo e a complexidade dos estuários induz a formação de diferentes tipos de habitats que estão fisicamente, quimicamente e biologicamente interligados. Esta variabilidade é também refletida na estrutura das populações residentes e/ou transitórias e determina as flutuações na composição das comunidades ecológicas e a variação espaço-temporal das espécies (LITTLE, 2000).

Os nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, são os principais indicadores da qualidade da água nos estuários. Esses compostos entram nas águas estuarinas através de processos naturais (precipitação, intemperismo e erosão do solo, decomposição da matéria orgânica) e atividades antropogênicas. A entrada de fontes antrópicas, inclui as estações de tratamento, fossas sépticas, esgotos domésticos, efluentes industriais, escoamento de fertilizantes de áreas agrícolas e aquicultura (YANG et al., 2012). O excesso de nitrogênio e fósforo atua como um poluente na água e contribui para o processo de eutrofização. Este fenômeno favorece florações algais que impede a penetração da luz nas camadas inferiores e reduz a disponibilidade de oxigênio para outros organismos (WANG et al., 2010). Este fenômeno pode levar a hipóxia, perda da biodiversidade e uma maior ocorrência de algas nocivas.

Alterações nas características químicas e qualidade da água ocorrem como resultado dos fluxos biogeoquímicos (MACKENZIE, 1999). Dependendo de sua forma química, o nitrogênio e fósforo podem ocasionar impactos diretos ou indiretos no crescimento das algas, concentração de oxigênio, transparência da água e taxa de sedimentação. Nos estuários, o nitrogênio existe sob a forma inorgânica ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NH}_4$ ), e como forma orgânica dissolvida e material particulado (organismos vivos e mortos). O processo de remoção envolve a deposição e acumulação no sedimento em formas orgânicas e inorgânicas, absorção pelo fitoplâncton e exportação para o oceano aberto. Além disso, o nitrogênio é perdido para a atmosfera por desnitrificação e emissão de outras formas gasosas de nitrogênio (MACKENZIE et al., 2002).

O fósforo é também encontrado na forma orgânica (fosfato orgânico) e inorgânica (fosforo inorgânico dissolvido). No entanto, dentre as formas de fósforo, o ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ), assume maior relevância por ser a forma predominantemente assimilada pelos vegetais aquáticos. O fosfato orgânico resulta dos vegetais e resíduos animais, enquanto o ortofosfato vem predominantemente dos fertilizantes. Uma grande parcela do fósforo que transita na coluna da água é depositada no sedimento principalmente na forma particulada (STATHAM, 2012).

O sedimento é considerado um importante compartimento de estocagem de nutrientes e funciona como principal fonte de nutrientes para a coluna d'água. A relevância dos sedimentos como fonte ou estocagem de fósforo nos estuários está relacionada ao estado redox e composição geoquímica dos sedimentos. Essa capacidade que o sedimento tem de reter o fósforo pode contribuir para reduzir algumas alterações químicas e ecológicas, beneficiando o ambiente aquático através da prevenção da rápida liberação do fósforo para a coluna da água

(WANG; LI, 2010). Além disso, o compartimento sedimentar pode fornecer registros dos processos históricos ocorrentes no ambiente aquático.

Além dos problemas causados pelo excesso de nutrientes, os ecossistemas aquáticos vêm sendo também poluídos por uma variedade de contaminantes provenientes de atividades antrópicas. O crescente aumento das atividades industriais, agrícolas e urbanização tem intensificado o risco de poluição por metais pesados (ZHAO et al., 2017). A presença desses elementos pode causar efeitos adversos ao meio ambiente, à saúde humana e a economia (LI et al., 2017). Efluentes domésticos, industriais e substâncias químicas usadas na agricultura são algumas das fontes de metais pesados para o sistema aquático (IKEM et al., 2003).

O grau de contaminação e toxicidade na água depende do tipo de metal pesado, da magnitude do impacto, da frequência (ocasional, contínua ou intermitente) e da duração no tempo (horas, meses e anos). Uma vez no ambiente aquático os metais podem se apresentar associados à matéria em suspensão (biótico e abiótico) e, portanto, acumular no sedimento através da sedimentação das partículas (SPARKS, 2005). Embora os metais se concentrem principalmente no compartimento sedimentar, eles podem ser eventualmente remobilizados para a coluna d'água dependendo das condições ambientais, como por exemplo, hidrodinamismo, salinidade, pH, potencial redox e agentes quelantes (CONNELL et al., 1984; PINTILIE et al., 2007; ZHANG et al., 2017).

O diagnóstico de áreas contaminadas por metais pesados, em geral, envolve a análise de água e sedimentos. No entanto, o compartimento sedimentar é reconhecido como o maior repositório de poluentes nos ecossistemas aquáticos, mesmo quando as concentrações são baixas ou inexpressivas. Esta capacidade de armazenamento possibilita uma avaliação mais confiável da variabilidade espacial e temporal da contaminação de uma determinada área, fornece um registro histórico ao longo do tempo e desempenha um papel importante na identificação das fontes poluidoras (SILVA et al., 2009).

Em elevadas concentrações no meio aquático, os metais pesados demonstram alto poder acumulativo na biota. Nos seres vivos, essa bioacumulação tende a aumentar à medida que passa para um nível trófico mais elevado na cadeia alimentar. A persistência desses elementos no ecossistema e sua bioacumulação nos organismos faz com que eles se apresentem como um perigo substancial para a saúde humana (WAGNER, 1993; LI et al., 2015). Considerando que os organismos aquáticos acumulam contaminantes do meio ambiente, várias espécies têm sido usadas em programas de monitoramento de poluição marinha em diversas

partes do mundo (PHILLIPS; RAINBOW, 1994; ONSANIT et al., 2010). Dentre esses organismos se destacam as macroalgas, foco de vários estudos sobre contaminação de metais.

As macroalgas são amplamente distribuídas no ambiente aquático, são sedentárias, fáceis de coletar e acumulam metais em níveis muitas vezes superiores a concentração encontrada na coluna da água (MALEA, 1999). A capacidade das macroalgas em acumular metais pesados depende de vários fatores tais como exposição às ondas, temperatura, salinidade, disponibilidade de luz, pH, disponibilidade de nitrogênio, idade da planta, processos metabólicos e a afinidade da planta para cada elemento, entre outros (MALEA, 1994; MALEA; HARITONIDIS, 1999; BENFARES et al., 2015). Devido esta capacidade em estocar metais, as macroalgas são consideradas excelentes bioindicadoras de metais pesados (KHALED et al., 2014). Além disso, a utilização de espécies algais como biomonitoras proporciona uma boa estimativa da disponibilidade de metais pesados na biomassa de diferentes áreas (RYAN et al., 2012; CHAKRABORTY; OWENS, 2014).

O crescente aporte de poluentes de diversas naturezas, em particular nas regiões estuarinas que sofrem com o impacto de atividades agrícolas, industriais e urbanas, tem gerado sérias preocupações a nível global (WOLANSKI; ELLIOTT, 2015). Os diferentes tipos de poluição causados pelo excesso de nutrientes, metais pesados e resíduos sólidos, não só degrada a qualidade da água, mas também ameaça a saúde do homem e dos animais (DONG et al., 2011). As populações mais afetadas são aquelas que vivem próximo aos locais de despejo, devido principalmente ao potencial tóxico dos resíduos que poluem a água, as fontes de alimentos, a terra, o ar e a vegetação (OBAFEMI, 2004).

Uma das principais consequências dos impactos promovidos pela ação antrópica é a transformação e destruição dos ambientes naturais (MORSELLO, 2001). No entanto, para que sejam realizadas ações de proteção ambiental é fundamental identificar a percepção dos residentes locais sobre o meio ambiente. O conhecimento das necessidades, expectativas, satisfações e condutas de uma determinada população permite compreender, como os diferentes grupos sociais interagem com a natureza. Além disso, conhecer a percepção dos indivíduos sobre a importância dos ecossistemas, pode propiciar um direcionamento das atividades educativas (PEREIRA et al., 2006), além de servir como instrumento de apoio na gestão e formulação de políticas públicas ambientais (RODRIGUES et al., 2012).

Na costa do Rio Grande do Norte, estudos revelam que as zonas costeiras estão sob crescente pressão de poluição industrial e urbanização (RAMOS E SILVA et al., 2010). Essas pressões representam uma ameaça potencial para o ambiente aquático, para a economia e o



bem-estar humano. No litoral setentrional do Rio Grande do Norte encontra-se o estuário Ponta do Tubarão. Este estuário faz parte da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSEPT). A RDSEPT foi a primeira Unidade de Conservação criada em 2003 no Estado, por reivindicação da sociedade civil organizada que vive nessa área. Essa solicitação da comunidade tinha como objetivo proteger os recursos naturais da área, garantir o uso e espaço e dos recursos naturais e assegurar as atividades tradicionais da população residente na reserva (IDEMA, 2017).

Apresentando uma grande diversidade de ecossistemas, a RDSEPT é caracterizada pelo sistema estuarino Ponta do Tubarão, manguezais, restingas, dunas e caatinga. Esta diversidade de ecossistemas conta também com uma grande variedade de espécies pertencentes a fauna e flora (DIAS et al., 2007). No entanto, a área da reserva e seu entorno vem sofrendo ações antrópicas que causam impactos negativos ao ambiente. Os principais impactos no estuário Ponta do Tubarão estão diretamente relacionados ao despejo de esgotos domésticos, acúmulo de lixo, destruição dos mangues, despejo de vísceras de peixes no estuário, pesca predatória (DIAS et al., 2007), além de atividades industriais (aquicultura, petrolífera, salineira).

Dentro desse contexto, um estudo foi elaborado com o objetivo de caracterizar e avaliar a qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão através da análise dos nutrientes e metais pesados nos três compartimentos, água, sedimento e macroalgas marinhas (*Gracilariopsis tenuifrons* e *Hypnea musciformis*). Além disso, um estudo sobre a percepção ambiental dos extrativistas da reserva foi realizado com o intuito de avaliar, o entendimento da população sobre as questões ambientais da reserva.

## **2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO**

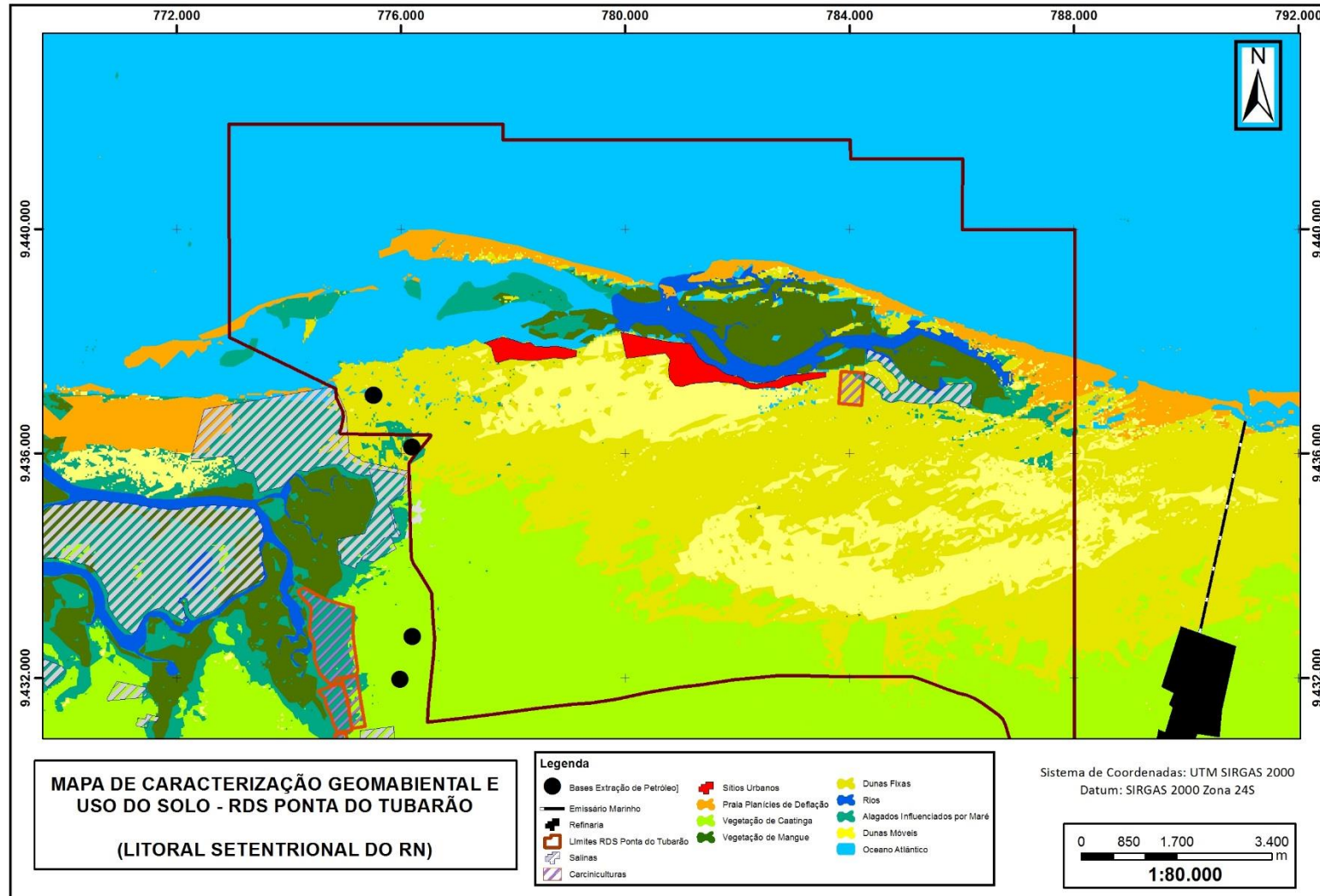
A área de estudo está localizada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão - RDSEPT, entre os municípios de Macau e Guimarães, na porção setentrional do estado do Rio Grande do Norte (5°04' 34,87"S – 36°27'32,36" W). A unidade de conservação abriga três comunidades pesqueiras do município de Macau (Diogo Lopes, Barreiras e Sertãozinho) e três comunidades agrícolas do município de Guimarães (Mangue Seco I, Mangue Seco II e Lagoa Doce). A reserva foi criada como resultado de reivindicações da população local contra processos destrutivos do ambiente, em particular empreendimentos turísticos e de carcinicultura. De acordo com Lei Estadual de nº 8.341/03, o principal objetivo da reserva é resguardar o modo de vida tradicional, assegurar as atividades baseadas em sistema sustentável de exploração de recursos naturais e manter a diversidade biológica local (RIO GRANDE DO NORTE, 2003; IDEMA 2015).

### **2.1 Aspectos físicos e ambientais**

O clima da região é o semiárido e apresenta altas temperaturas, forte insolação, baixa precipitação, elevada evaporação e fortes ventos presentes na maior parte do ano. Nessa região, não se observa estações climáticas bem definidas, sendo reconhecidos dois períodos característicos: um período seco, mais longo que se estende de junho a fevereiro e o período chuvoso, mais curto estendendo-se de março a maio (IDEMA, 2015).

A RDSEPT ocupa uma área costeira com cerca de 12.946 ha e devido sua localização tropical apresenta alta diversidade geoambiental que incluem: vegetação de caatinga e mangues, dunas fixas e móveis, planícies de maré; alagados influenciados por maré, e o braço de mar, denominado de estuário Ponta do Tubarão (Figura 1).

**Figura 1.** Caracterização geoambiental e uso do solo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão, RN – Brasil.



A vegetação de caatinga hiperxerófila é constituída essencialmente por espécies de árvores e arbustos espinhosos que pode alcançar de 3 a 5 metros de altura. Espécies características desse tipo de bioma, como o xique-xique e mandacaru também se encontram presentes. A área de dunas é bastante vasta e tem como principal papel proteger os lençóis freáticos subterrâneos, além de funcionar como local de lazer e subsistência para a comunidade local (MAMERE, 2011). A vegetação das dunas fixas é halófila, constituída por espécies herbáceas e rasteiras que apresentam tolerância aos solos com altas concentrações de sais. A área alagada que é influenciada por inundações de marés, apresenta alto teor salino e é desprovida de vegetação. A vegetação de mangue coloniza as margens do estuário e desempenha importante papel na produção de matéria orgânica para o estuário e para águas costeiras adjacentes. Esse ecossistema Manguezal, localizado na área de estuário do Tubarão constitui uma zona de transição entre a caatinga e os campos de dunas (DANTAS, 2011).

A formação estuarina ocupa aproximadamente 2.500 ha e possui aproximadamente 12 km de extensão. Este sistema é formado por ilhas barreiras que se encontram paralelas à costa, pontais, ambiente marinho, ambiente lagunar (braço de mar) e os canais de maré (1 a 7 metros de profundidade), que permite a circulação da água direcionada pelas marés (VITAL et al. 2008). Estes canais circundam bancos areno-lodosos que ficam parcialmente expostos na maré baixa (IDEMA, 2015).

De modo geral, o braço de mar apresenta-se como um estuário, porém, não possui nascentes de água doce. Toda a água doce que alimenta o manguezal situado em suas margens provém do lençol freático das dunas adjacentes e das chuvas. A salinidade é bastante elevada (35 a 50 PSU), com valores que tendem a aumentar na porção mais interior e diminuir à medida que aumenta a proximidade com o mar, o que o caracteriza como um estuário inverso (RAMOS e SILVA et al., 2010).

Nas margens do estuário Ponta do Tubarão a vegetação de mangue composta predominantemente por *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* é encontrada predominantemente nas áreas lamosas e areno-lamosas das faixas de planície de maré e flúvio-estuarina. Além dessas, outras espécies de mangues também são citadas para essa região – a *Avicennia germinans* e *Conocarpus erectus*. Não existe um modelo claro de zonação para a distribuição das diferentes espécies ao longo do estuário, sendo bastante comum três ou mais espécies co-habitarem lado a lado. Este manguezal se encontra ainda bastante preservado, embora atividades econômicas potencialmente impactantes estejam estabelecidas nas proximidades da Reserva, como por exemplo, a produção de sal marinho, a carcinicultura e exploração petrolífera (Figura 1).

## **2.2 Aspectos econômicos e impactos ambientais**

A RDSEPT foi estabelecida em uma área de importância econômica para o Estado do Rio Grande do Norte, que são as zonas salineiras e petrolíferas (DIAS; SALLES, 2006). Esta Reserva abriga uma população de pescadores artesanais e pequenos agricultores. No estuário a população desenvolve atividades de subsistência como a pesca artesanal e a coleta de mariscos, sendo essas, muitas vezes, as principais fontes de renda para a população economicamente ativa do local (DIAS et al., 2007). No interior da Reserva não existem empreendimentos de aquicultura, salinas nem poços de petróleo em atividade. No entanto, nas áreas adjacentes estas atividades econômicas são bastante representativas e apesar de sua importância econômica, são atividades que podem ocasionar impactos negativos ao meio ambiente.

A população que habita a área da RDSEPT tem na pesca sua principal fonte de renda. Essa atividade é realizada tanto no estuário, como na porção marinha (DIAS, 2007), porém, a pesca estuarina representa a maior fonte de subsistência da população. A coleta de mariscos nos manguezais é a segunda atividade que apresenta importância na renda familiar. No entanto, essas atividades não competem entre si, ao contrário, se complementam, pois não ocorre disputa em relação a locais para o extrativismo destes organismos (IDEMA, 2008).

Apesar de ser considerada uma área protegida, problemas relacionados à qualidade ambiental têm sido identificados na área da Reserva. Os principais são: avanço do mar, assoreamento do manguezal por deposição natural de areia, destruição da vegetação nativa, acúmulo de lixo doméstico no leito e margens do estuário; despejo de esgotos; pesca predatória e descarte de vísceras de pescado dentro do estuário (Dias, et al. 2007).

## **2.3 Localização das estações de coleta**

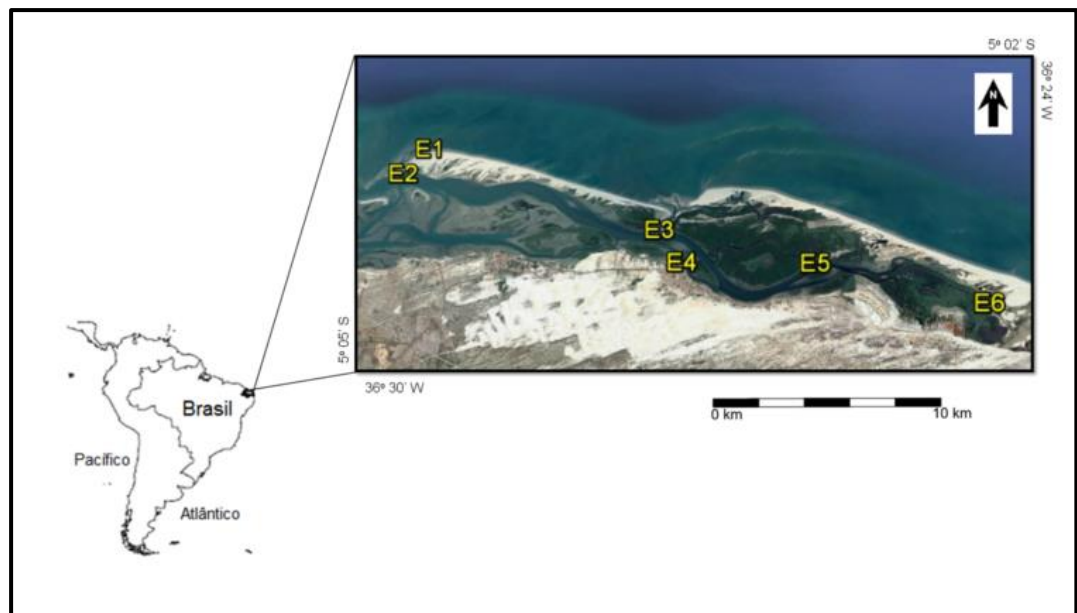
Para esse estudo foram definidas seis estações de coleta abrangendo toda a extensão do estuário Ponta do Tubarão. Em cada estação, pontos de coleta foram georrefenciados com o auxílio de um aparelho de GPS (*Global Position System*). A localização e distribuição desses pontos obedeceram aos seguintes critérios: geomorfologia do local, dinâmica das marés e presença/ausência de sítios urbanos. Das seis estações selecionadas, cinco foram posicionadas no próprio estuário Ponta do Tubarão e outra na área estritamente marinha (Quadro 1).

Quadro 1. Localização dos pontos de coleta (coordenadas) no estuário Ponta do Tubarão (Diogo Lopes, RN), Brasil.

| Estações | Localização (latitude/longitude) |
|----------|----------------------------------|
| E1       | 5°4'58,01''S – 36°24'58'',82 W   |
| E2       | 5°4'44,4''S – 36°26'32'',03 W    |
| E3       | 5°4'27,54''S – 36°28'4,45'' W    |
| E4       | 5°4'6,91''S – 36°27'50,56''W     |
| E5       | 5°3'57,89''S – 36°30'44,45'' W   |
| E6       | 5°3'51,14''S – 36°30'40,00'' W   |

A distribuição das estações foi demarcada de modo a se obter uma representatividade do sistema estuarino em relação à concentração dos nutrientes e metais pesados na água, sedimento e macroalgas marinhas (Figura 2).

**Figura 2.** Localização das estações de coleta no estuário Ponta do Tubarão (Diogo Lopes, RN), Brasil.



A estação um (E1) ficou posicionada em área estritamente marinha. A estação 2 (E2) localizada na foz do estuário apresenta característica fortemente marinha. A estação três (E3) ficou situada na entrada de um canal de ligação esporádica com o mar. A estação quatro (E4) foi posicionada num local com forte influência urbana e local de um pequeno porto para ancoragem de barcos de pesca. Neste ponto foi observada a presença de resíduos sólidos além

de resíduos de processamento de pescado. A estação cinco (E5), ficou situada na entrada de uma gamboa com predomínio de mangue e a estação seis (E6) na parte mais interior do estuário. A E6 apresenta valores altos de salinidade e vegetação de mangue circundando as margens do estuário.

### 3. METODOLOGIA GERAL

#### 3.1 Procedimentos em campo

As coletas foram realizadas no período seco (janeiro 2013) em seis estações predefinidas ao longo do estuário Ponta do Tubarão (Figura 2). Os pontos de amostragem obedeceram a um gradiente crescente de salinidade, do mar até a porção interior do estuário.

##### 3.1.1 Coleta de material e análises

Nas diferentes estações (E1 a E6), os parâmetros ambientais temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido foram determinados *in situ* por uma sonda multiparâmetros (Hanna, modelo HI-9828). Para os nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  e  $\text{PO}_4$ ), amostras de água foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno de 500 ml, previamente esterilizados e devidamente etiquetados. Após o procedimento da coleta, as amostras foram imediatamente acondicionadas em caixas isotérmicas, e em seguida transportadas para o laboratório. No laboratório as amostras foram filtradas (Whatman GF/C), e depois congeladas para posterior análise dos nutrientes (GRASSHOFF et al., 1993). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de duplo feixe Shimadzu UV-1800. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

Amostras de sedimento foram coletadas nos mesmos pontos de coleta da água. Em cada ponto foram coletados três testemunhos com auxílio de um cano de PVC medindo 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento. Posteriormente as amostras foram colocadas em sacos plásticos, etiquetados e armazenados em caixas isotérmicas. No laboratório as amostras foram liofilizadas (Liobras modelo L202), sendo em seguida peneiradas (malha de 1 mm) para a separação do material grosseiro (folhas, conchas, etc.). O sedimento foi triturado em gral de porcelana e acondicionado em dissecador para posterior análise. O nitrogênio e fósforo total biodisponíveis foram analisados de acordo com a EMBRAPA SOLOS (1997).

As macroalgas (*Hypnea musciformes* e *Gracilariopsis tenuifrons*) utilizadas no estudo foram selecionadas de acordo com sua presença nos pontos de amostragem. Para o estudo, foram coletadas aproximadamente 200g das duas espécies em cada ponto de coleta. O material foi armazenado em sacos plásticos, identificados e acondicionados em caixas isotérmicas para o transporte até o laboratório. No laboratório as algas foram liofilizadas (LIOTOP L108), trituradas manualmente no almofariz de porcelana, acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sobre refrigeração ( $-80^\circ\text{C}$ ). Para a análise dos nutrientes (N e P) presentes nos tecidos algais, foi utilizada metodologia descrita em MIYAZAWA et al. (1999).



Para as análises dos metais pesados (água, sedimento e macroalgas), foi utilizado o método de abertura de amostras 3050B e para digestão a 3051, ambos da Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA (Environmental Protection Agency) (USEPA, 2017). Os elementos traços, chumbo (Pb), níquel (Ni), zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd) e crômio (Cr) das amostras, foram lidos pela técnica da espectrometria de absorção atômica com chama (F-AAS) pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Para o nitrogênio, o peso seco foi de 100 mg e para o fósforo 20 mg.

### 3.2 Dados da percepção ambiental

Os dados foram coletados através de entrevistas, utilizando questionários semiestruturados na zona litorânea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, envolvendo as comunidades pesqueiras de Barreiras, Sertãozinho e Diogo Lopes. As questões abordavam aspectos social, econômico, e o ambiental que se daria através do entendimento da população quanto a importância ambiental da reserva. Foram aplicados 72 questionários, o cálculo do número amostral foi baseado na populacional total de pescadores e marisqueiras, com o erro amostral de 0,1%, seguindo a seguinte fórmula (ARANGO, 2009).

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)}$$

Na qual:

n - amostra calculada

N - população

Z - variável normal padronizada associada ao nível de significância

p - verdadeira probabilidade do evento

e - erro amostral

O tratamento dos dados se deu a partir da interpretação dos questionários, analisando e caracterizando a percepção através da familiaridade com o tema meio ambiente e a concepção de degradação do meio (WHYTE, 1978; BARDIN, 2009).

### 3.3 Análises estatísticas

Para análise dos resultados foi empregada análise descritiva dos dados baseada na média e desvio padrão das triplicatas amostrais nos diferentes pontos de coleta. Para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, o Teste de Shapiro-Wilk e Levene foi aplicado.

Para verificar se houve diferenças significativas entre as concentrações de nutrientes e metais pesados entre os pontos de amostragem, foi aplicado ANOVA one-way, para os dados que apresentaram normalidade e homocedasticidade, e teste de Kruskal-Wallis para os que não apresentam distribuição normal. O teste *post hoc* utilizados foram o Teste de Tukey (paramétrico) e de Bonferroni (não-paramétrico). Foi feito ainda análise de correlação entre as concentrações dos nutrientes e metais pesados, em seus respectivos capítulos.

Assim, para os testes estatísticos foram fixados  $\alpha \leq 0,05$  o nível para rejeição de nulidade entre as comparações. Os dados foram organizados em planilha do software Microsoft Office Excel 367, e posteriormente submetidos à análise estatística através do software Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2017).

# CAPÍTULO 1

## Variação espacial dos nutrientes na água, sedimento e macroalgas em um estuário tropical no Nordeste do Brasil

Klégea Maria Câncio Ramos Cantinho<sup>a</sup>; Eliane Marinho-Soriano<sup>a</sup>

ESTE ARTIGO SERÁ SUBMETIDO AO PERIÓDICO ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT, PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DESTA REVISTA (HTTP://WWW.SPRINGER.COM/ENVIRONMENT/MONITORING+-+ENVIRONMENTAL+ANALYSIS/JOURNAL/10661)

<sup>a</sup> Department of Oceanography and Limnology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil. E-mail: [klegea@gmail.com](mailto:klegea@gmail.com) – Tel.: (84)3342-4950.

### Resumo

O estuário Ponta do Tubarão está situado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSPT), nordeste do Brasil. Na região onde se encontra a reserva são desenvolvidas diversas atividades econômicas como pesca, agricultura, aquicultura, extração de petróleo e turismo ecológico. Esse estudo teve como objetivo investigar a variação dos nutrientes na coluna da água, sedimento e tecidos das macroalgas *Gracilariopsis tenuifrons* e *Hypnea musciformis* para identificar possíveis impactos antropogênicos nesse ecossistema tropical. O material para o estudo foi coletado em seis estações de coleta, distribuído no Rio Tubarão. O estuário mostrou variações na concentração de nutrientes. Nas estações com maior influência marinha foi observada uma predominância do  $\text{NO}_3^-$ , enquanto que na porção mais interior do estuário o  $\text{NH}_4^+$  predominou. O  $\text{NH}_4^+$  foi o principal elemento na composição do NID. A concentração do  $\text{PO}_4^{3-}$  apresentou valores muito baixos em todas as estações amostradas. O modelo inverso foi registrado para o teor de fósforo no sedimento. A estação localizada na área urbana apresentou os maiores níveis de fósforo, indicando que essa área do estuário é a mais vulnerável aos processos de eutrofização. As macroalgas (*Gr. tenuifrons* e *H. musciformis*) mostraram que quando a fonte de nutrientes na coluna da água é baixa, ambas as espécies armazenam nutrientes providos do sedimento. Esse estudo mostrou que a boa parte da concentração de nutrientes registrada no estuário Ponta do Tubarão, é produzida no próprio sistema e que a outra parcela é gerada por fontes antropogênicas, como esgotos lançados diretamente no ecossistema e resíduos de processamento de pescado.

Palavras-chaves: estuário, nutrientes, água, sedimento, macroalgas

### **Abstract**

The Ponta do Tubarão estuary is located in the Ponta do Tubarão Sustainable Development Reserve (RDSEPT), northeast of Brazil. In the region where the reserve is situated several economic activities are developed such as fishing, agriculture, aquaculture, extraction of petroleum and ecological tourism. The nutrient dynamics was investigated to understand the biogeochemical processes and to identify possible anthropogenic impacts in this tropical ecosystem. The estuary showed variations in nutrient concentration. In the sites with the greatest marine influence, a predominance of  $\text{NO}_3^-$  was observed, whereas in the inner part of the estuary  $\text{NH}_4^+$  predominated.  $\text{NH}_4^+$  was the main element in the NID composition. The concentration of  $\text{PO}_4^{3-}$  presented very low values in all the stations sampled. The inverse model was recorded for the phosphorus content in the sediment. The site located in the urban area presented the highest levels of phosphorus, indicating that this area of the estuary is the most vulnerable to eutrophication processes. The seaweeds (*Gracilariopsis tenuifrons* and *Hypnea musciformis*) showed that when the nutrient source in the water column is low, both species store sediment nutrients. This study showed that the greatest part of nutrient concentration registered in the Ponta do Tubarão estuary is produced in the own system and the other part is generated by anthropogenic sources as sewages discharged directly in the ecosystem and residues of fish processing.

Keywords: estuary, nutrients, water, sediment, seaweeds

## Introdução

Regiões costeiras e estuarinas são áreas importantes sob o ponto de vista biológico e socioeconômico e são consideradas também um dos mais valiosos e vulneráveis habitats da terra. Esses sistemas que fazem interface entre o continente e o mar são muito sensíveis às mudanças naturais ambientais e atividades humanas, incluindo o uso da terra, mudanças geomorfológicas e desflorestamento (Li et al. 2014). Nas últimas décadas, o rápido crescimento populacional tem favorecido diversas fontes de nutrientes, tais como, efluentes da aquicultura, agricultura e esgotos domésticos, as quais têm aumentado consideravelmente a entrada de nutrientes para os estuários e áreas costeiras (Wu and Chen 2013).

O rápido enriquecimento das águas costeiras por nutrientes tem levado à perda da qualidade ambiental, especialmente aquelas próximas de áreas urbanas, as quais são mais afetadas pelo fenômeno da eutrofização. O aumento excessivo de nutrientes tem degradado a qualidade da água resultando em condições indesejáveis para a estrutura e função do ecossistema, envolvendo perda da diversidade de espécies (Cardoso et al. 2004). A capacidade dos estuários em receber, acumular, assimilar e dispersar contaminantes de fontes naturais e antropogênicas é bem conhecido (Silva et al. 2015). Entretanto, sua capacidade de purificação é limitada e quando extrapolada, pode comprometer a qualidade da água e do sedimento do ecossistema (Tappin et al. 2002).

O sedimento constitui um compartimento importante para a avaliação do tipo e intensidade de impacto a que os ecossistemas são submetidos. Eles realizam trocas com a coluna da água e servem de reservatórios de nutrientes. A retenção ou liberação depende de fatores ambientais, incluindo pH, potencial redox, oxigênio dissolvido, etc. (Resmi et al. 2016). As características dos diferentes compostos armazenados no sedimento também têm sido utilizadas para uma melhor compreensão de diversos processos, tais como, produtividade de águas superficiais, aporte de sedimento de diferentes origens e índices de sedimentação (Bhadha et al. 2007). Em alguns estuários, a reciclagem de nutrientes retidos no sedimento contribui para a disponibilidade de nutriente a um grau igual ou maior do que as entradas alóctones (Cowan et al. 1996). Mudanças no suprimento de nutrientes para os produtores primários a partir de fontes da coluna da água e sedimento têm sido observadas em muitos sistemas (Trimmer et al. 2000).

O monitoramento dos nutrientes da coluna da água e do sedimento é o método tradicional usado para indicar o grau de enriquecimento dos ecossistemas aquáticos. No entanto, a análise do conteúdo de nitrogênio e fósforo nos tecidos algais pode ser utilizada também como uma ferramenta para indicar o enriquecimento do sistema por nutrientes (Lourenço et al. 2005). As macroalgas são componentes importantes no ciclo de nutrientes nos ecossistemas costeiros.

Elas são capazes de absorver nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo e disponibilizá-los para organismos de outros níveis tróficos, fornecendo um *link* essencial na transferência de nutrientes para o sistema. Em geral, as macroalgas retiram seus nutrientes da coluna da água, no entanto, a literatura afirma que os sedimentos estuarinos podem ser também uma fonte de nutrientes para esses organismos (Grenz et al. 2000; Kamer et al. 2004).

Estuários tropicais são considerados zonas geoquimicamente mais ativas do que os estuários de zonas temperadas e são mais facilmente afetados pela carga de nutrientes de fontes antropogênicas (Smith et al. 2012). Sob o efeito combinado das atividades humanas e eventos naturais, os ecossistemas das regiões tropicais são mais vulneráveis a esses efeitos, os quais podem acelerar sua deterioração. As atividades antropogênicas mais comuns afetando os ecossistemas estuarinos do Rio Grande do Norte são: agricultura, aquicultura, esgotos domésticos e indústria salineira (Ramos e Silva et al. 2010).

O estuário Ponta do Tubarão está localizado no litoral norte do Rio Grande do Norte, na planície estuarina de Diogo Lopes tendo como canal principal o canal de maré Tubarão. Este estuário está localizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSEPT), nordeste do Brasil. Além do ambiente terrestre (dunas, restinga e caatinga), a reserva compreende uma porção marinha, um braço de mar, popularmente chamado de rio Tubarão (Cunha 2006). A RDSEPT possui 12.946,03 ha (5°2'S e 5°16'S de latitude e 36°23'W e 36°32'W de longitude), sendo que 650 hectares são representados por floresta de mangue que margeiam o estuário Ponta do Tubarão. A área onde está inserida a reserva apresenta grande importância econômica para o estado do Rio Grande do Norte. Nela se desenvolve a indústria petrolífera, indústria salineira, carcinicultura, pesca e o turismo comunitário (Vital et al. 2008). Na porção estuarina da Reserva, encontram-se bosques de mangues onde diversas atividades de pesca são desenvolvidas (peixes, crustáceos, algas e moluscos) e de onde boa parte da comunidade tira o seu sustento.

A qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão é vital para a manutenção do ecossistema local e do sustento das famílias que vivem na região, logo, investigar as mudanças ambientais e propor medidas mitigadoras para a região é necessário para o desenvolvimento econômico sustentável da reserva. O presente estudo teve como objetivo, caracterizar a variação espacial dos nutrientes na coluna da água, sedimentos e macroalgas (*Gracilariopsis tenuifrons* e *Hypnea musciformis*) e investigar a relação desses nutrientes entre a coluna da água, sedimento e macroalgas.

## Metodologia

### Área de Estudo

A área de estudo está localizada em uma região de clima semiárido, sendo caracterizada por temperaturas elevadas ao longo do ano (média de 27,8 °C) e pequena amplitude térmica (3,6 °C), grande incidência de energia solar (média de 2600 horas/ano e 7,22 horas diárias) e alta taxa de evaporação (média de 2,600 mm/ano) ocasionada por altas temperaturas, escassez de chuvas e ventos constantes. O clima da região é marcado por duas estações: a estação seca com período mais longo (7-8 meses) e uma estação chuvosa (precipitação pluviométrica média de 53 mm) com período pluvial curto, no início do ano, de até quatro meses.

A rede hidrográfica é constituída basicamente por rios de pequeno porte e vazão reduzida. Os rios que se encontram mais próximos do local de estudo são intermitentes e, em geral, são responsáveis pelo abastecimento dos lençóis freáticos e pequenas lagoas (parte aflorante do lençol freático) não atingindo diretamente o oceano ou o rio. Considerando a ausência de rios que desaguam diretamente na área, o corpo d'água formado entre o sistema de ilhas barreiras e o continente se constitui na realidade em um braço de mar. O sedimento do fundo do braço de mar é essencialmente composto por silte, enquanto nos canais ocorre a presença de sedimentos mais grossos (Vital et al. 2008).

O estuário é sujeito à ação das marés (semi-diurnas) com amplitude que varia de 3,3 a 0,9 metros (Ramos e Silva et al. 2010). O estuário Ponta do Tubarão estende-se por cerca de 12 km de extensão com floresta de mangues em suas margens (*Lacungularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia* sp., *Canocarpus eretus*). A profundidade varia desde áreas rasas intertidais até 7 metros nos canais principais (Vital et al. 2008). A área do estuário Ponta do Tubarão faz parte de uma Unidade de Conservação (Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão) e faz parte do grupo de Unidades de uso sustentável que tem como objetivo a compatibilidade entre a conservação e o manejo no uso da natureza.

Geologicamente a RDSEPT encontra-se inserida na Bacia Potiguar. Esta bacia tem importância econômica para a região por ser uma grande produtora de petróleo. Além disso, no entorno da reserva, são desenvolvidas diversas atividades econômicas como a indústria salineira, aquicultura, pesca e turismo comunitário (Vital et al. 2008). Estas atividades embora tenham grande importância econômica para a região, elas contribuem também para a degradação ambiental.

## Estações selecionadas

Para esse estudo foram selecionadas seis (6) estações, cujas posições foram georeferenciadas com auxílio de GPS. A estação um (E1) foi posicionada na área estritamente marinha; a estação 2 (E2) na foz do estuário; a estação três (E3) na entrada de um canal de ligação com o mar; a estação quatro (E4) na área urbana, local de ancoragem de barcos; a estação cinco (E5) na entrada de uma gamboa; e a estação seis (E6) na parte mais interior do estuário (Fig. 1).

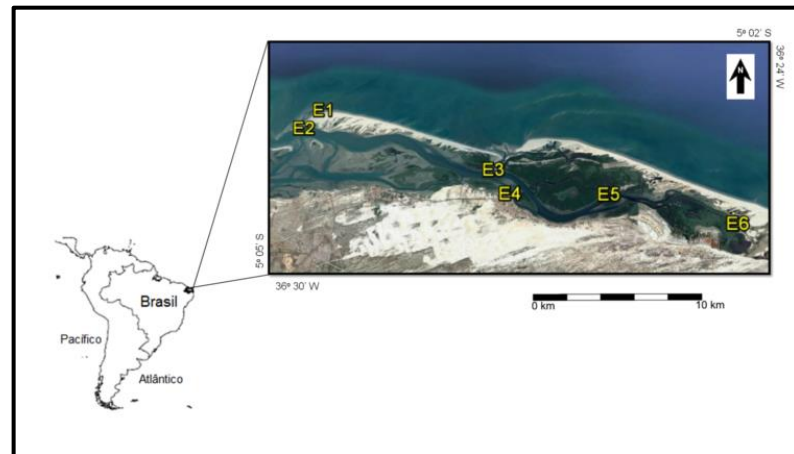


Figura 1. Local de estudo e localização das estações de coletas (Diogo Lopes, RN).

## Procedimentos em campo e em laboratório

A medição dos parâmetros ambientais e as coletas da água, do sedimento e das macroalgas *Hypnea musciformis* e *Gracilariopsis tenuifrons* ocorreram em janeiro de 2013. Os parâmetros ambientais (salinidade, temperatura, pH e oxigênio dissolvido) foram medidos em cada estação usando uma sonda multiparâmetros (Hanna HI9828). Amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno (300 mL) simultaneamente à medição dos parâmetros para a análise dos nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ). O Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) correspondeu à soma das concentrações de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Posteriormente, os frascos foram devidamente identificados e mantidos em caixas isotérmicas. No Laboratório de Macroalgas do Departamento de Oceanografia e Limnologia (DOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), as amostras de água foram filtradas (Whatman GF/C) e depois congeladas para as análises dos nutrientes, as quais foram realizadas segundo Grasshoff et al. (1983).

Amostras de sedimento foram coletadas durante a maré baixa, com auxílio de um testemunho de 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento e obtidas em uma única profundidade de 0 a 5 cm. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos plásticos



identificados. No laboratório, as amostras foram congeladas e liofilizadas (Liotop L108). Foi realizada a triagem do material orgânico antes das análises do sedimento (nitrogênio total e fósforo total), as quais seguiram a metodologia de Claessen (1997).

Amostras das macroalgas *H. musciformis* e *G. tenuifrons* foram coletadas nas estações E1, E2, E3 e E6 e E1, E3 e E6, respectivamente. Aproximadamente 200 g de cada espécie foi coletada por estação. Este material foi armazenado em sacos plásticos, identificados e mantidos em caixas isotérmicas para o transporte até o laboratório. Posteriormente, as macroalgas foram liofilizadas, maceradas e mantidas em baixa temperatura (-80°C) até a realização das análises dos nutrientes teciduais (nitrogênio e fósforo). As análises seguiram a metodologia de Miyazawa et al. (1999).

A razão N:P foi determinada através do somatório da concentração de nitrogênio e fósforo e esta razão demonstra a quantidade de moléculas de nitrogênio em relação à de fósforo. Assim, uma razão N:P maior do que 1 indica que há mais moléculas de nitrogênio do que fósforo, enquanto que uma razão N:P menor do que 1 indica o inverso. O cálculo da razão N:P na coluna da água considera os valores de NID e  $PO_4^{-3}$ , ao passo que a razão N:P no sedimento e nos tecidos das macroalgas considera nitrogênio e fósforo total e nitrogênio e fósforo teciduais das macroalgas, respectivamente.

#### Análises estatísticas

A descrição dos dados foi baseada nos valores médios e de desvio padrão das amostras analisadas. O nível de significância utilizado para todos os testes estatísticos foi de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Para verificar se os dados apresentavam normalidade e homocedasticidade, os testes de Shapiro-Wilk e Levene foram aplicados. A ANOVA One-Way de medidas repetidas foi utilizada para verificar se houve diferenças significativas entre as estações de coleta para as variáveis salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nutrientes ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ , NID,  $PO_4^{-3}$ ) e razão N:P na coluna de água; N, P e razão N:P do sedimento; e nos tecidos algais N e P da *H. musciformis* e *G. tenuifrons*. Quando as diferenças foram confirmadas, o teste de Tukey foi aplicado. A correlação de Pearson foi utilizada para determinar se existe correlação entre as variáveis analisadas e determinados. Para todas as análises estatísticas, foi utilizado o programa Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2017).

## Resultados

### Variáveis ambientais

Os valores de salinidade ao longo do estuário variaram de 37,34 (E1) com maior influência marinha a 46,07 (E6) na porção interior do estuário (Tabela 1), sendo observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Este padrão de salinidade ocorre devido ao grande fluxo de entrada de água oceânica, ausência de água fluvial e baixa precipitação na região. Além disso, as altas temperaturas características da região maximizam a evaporação e a salinização da porção interior do estuário. A temperatura da água variou de 27 °C a 33 °C ao longo dos pontos amostrados. Diferenças significativas entre as estações foram verificadas (ANOVA,  $p < 0,001$ ). O menor valor de temperatura foi registrado na porção com total influência marinha (E1), enquanto o maior valor foi registrado na porção mais interior do estuário (E6). A E6 é caracterizada por baixa profundidade e fundo lamoso que fica descoberto na maré baixa, sendo mais susceptível à aumentos de temperatura. O pH variou de 7,39-7,90 (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Foram registradas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Os níveis de oxigênio dissolvido foram bastante elevados em todas as estações (7,16 – 4,22 mg/L). A média da concentração do oxigênio dissolvido foi de  $5,29 \pm 0,10$  mg/L, sendo os menores valores registrados na E2 (4,19) e E4 (4,20) e os maiores na E3 (7,15) e E5 (7,19). Diferenças significativas entre a concentração de oxigênio dissolvido nas estações foram constatadas (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Na Tabela 1 estão sumarizados os valores dos parâmetros ambientais mensurados durante o estudo.

Tabela 1. Características físico-químicas da água do estuário da Ponta do Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

| Parâmetros ambientais      | Mín – Máx     | Méd ± Desv pad | ANOVA     |          |
|----------------------------|---------------|----------------|-----------|----------|
|                            |               |                | F         | P        |
| Salinidade                 | 37,32 – 46,18 | 40,16 ± 3,50   | 14.079,67 | < 0,001* |
| Temperatura (°C)           | 25,93 – 33,50 | 29,68 ± 2,15   | 26,21     | < 0,001* |
| pH                         | 7,39 – 7,90   | 7,59 ± 0,15    | 29,50     | < 0,001* |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | 4,15 – 7,19   | 5,24 ± 1,04    | 505,94    | < 0,001* |

\*diferenças significativas

Nutrientes dissolvidos na água

A concentração do  $\text{NH}_4$  variou de  $31,16 \pm 9,76 \mu\text{mol/L}$  a  $13,99 \pm 3,45 \mu\text{mol/L}$  (Fig. 2A). As mais altas concentrações desse nutriente foram registradas na secção mais interior do estuário (E6) e as mais baixas na área mais próxima do mar (E2). Diferenças significativas foram observadas nas concentrações desse nutriente entre as estações (ANOVA,  $p = 0,003$ ). Os valores da concentração do  $\text{NO}_2$  para a maioria das estações foram bastante similares ( $0,04 - 0,07 \mu\text{mol/L}$ ), exceto para a E4 que apresentou valores bastante inferiores aos encontrados para as demais ( $0,01 \pm 0,00 \mu\text{mol/L}$ ) (Fig. 2B). Gerando diferenças significativas nas concentrações desse nutriente entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ).

Diferentemente do  $\text{NH}_4$ , o  $\text{NO}_3$  mostrou as mais altas concentrações na estação localizada no mar (E1) com valor de  $2,64 \pm 0,16 \mu\text{mol/L}$ . Nas estações subsequentes foi observada uma diminuição gradual desse nutriente na água (Fig. 2C), com um pequeno aumento do  $\text{NO}_3$  na E6. Diferenças significativas foram constatadas para esse nutriente entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). O NID mostrou um modelo similar ao  $\text{NH}_4$  para todas as estações com os valores mais altos registrados na E6 e mais baixos na E2 (Fig. 2D). Neste estudo, o  $\text{NH}_4$  foi o principal elemento na composição do NID (94%). Foram constatadas diferenças significativas do NID entre as estações (ANOVA,  $p = 0,003$ ).

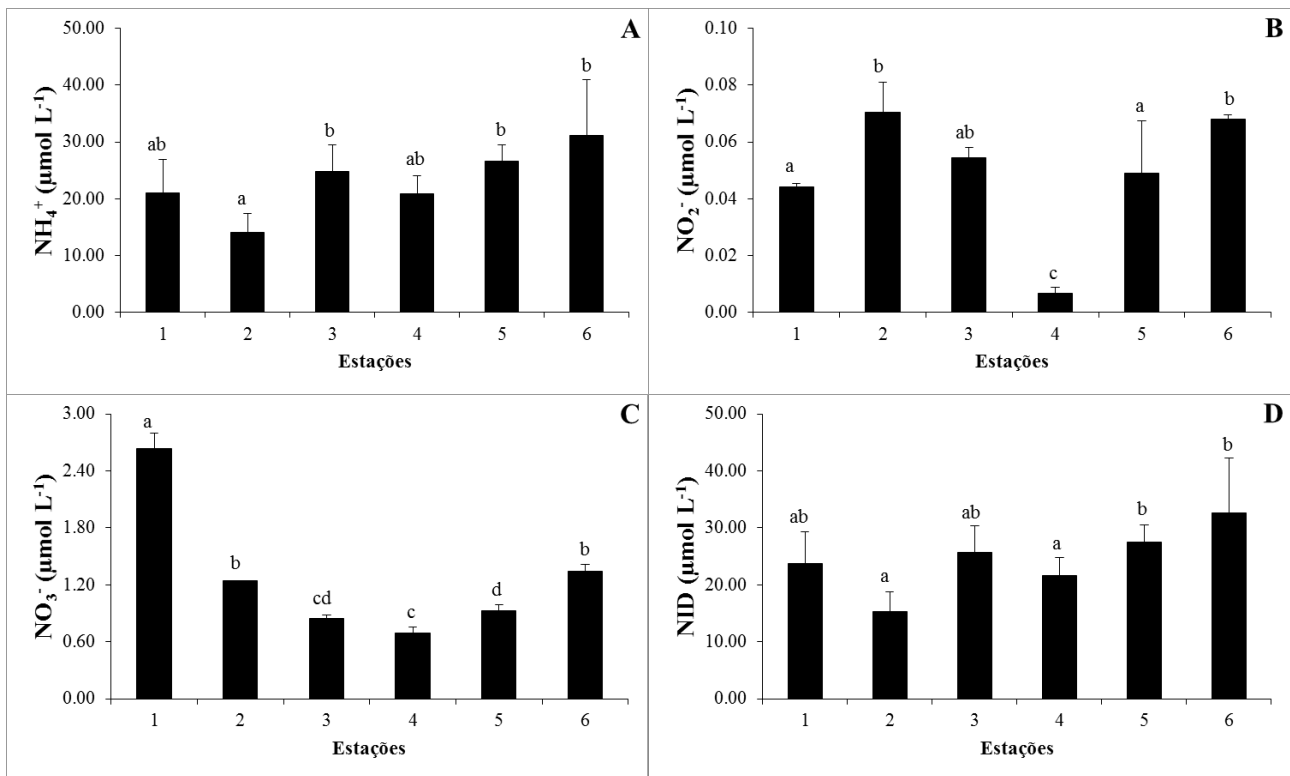


Figura 2. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de  $\text{NH}_4^+$  (A),  $\text{NO}_2^-$  (B),  $\text{NO}_3^-$  (C) e NID (D) na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

A concentração do  $\text{PO}_4$  na água variou entre  $0,42 \pm 0,01$  e  $0,22 \pm 0,05 \mu\text{mol/L}$ , sendo observada diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Os maiores valores foram registrados na E3 e o menor na E4 (Fig. 3). Todas as estações apresentaram níveis de  $\text{PO}_4$  baixos, os quais não ultrapassaram  $0,44 \mu\text{mol/L}$ .

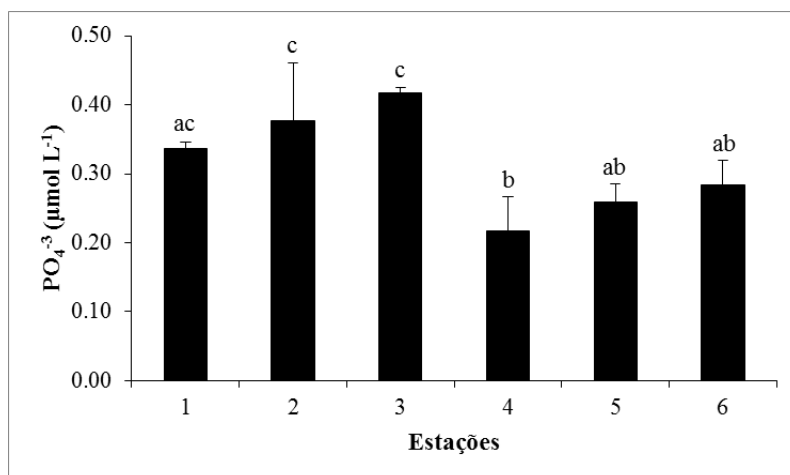


Figura 3. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de  $\text{PO}_4^{3-}$  na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

## Teor de nutrientes no sedimento

Os resultados obtidos revelaram que a distribuição do nitrogênio inorgânico no sedimento não segue a mesma tendência dos nutrientes analisados na água. No ponto de amostragem E4, o nitrogênio total ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ ) era mais baixo na coluna da água, enquanto que no sedimento foi a estação que apresentou o maior valor ( $3,59 \pm 0,31 \text{ mg/g}$ ) (Fig. 4). O nível de nitrogênio inorgânico no sedimento das demais estações foi bastante baixo comparativamente à E4, não ultrapassando  $0,47 \text{ mg/g}$ . Houve diferenças significativas em relação à concentração de nitrogênio no sedimento entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ).

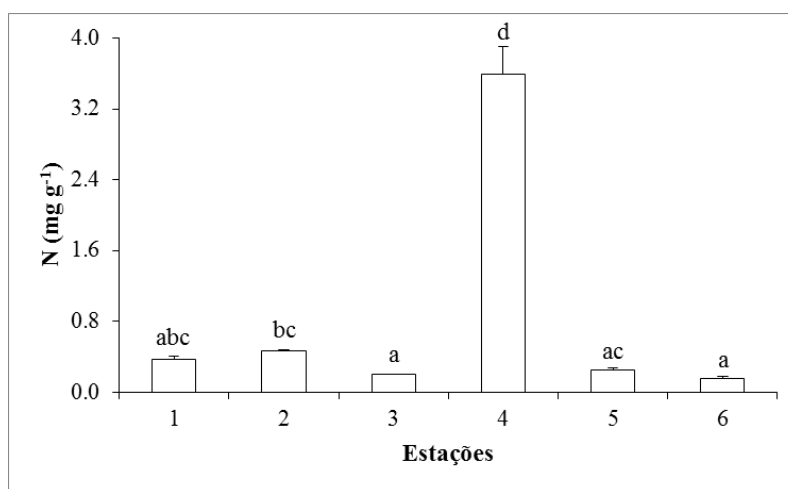


Figura 4. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de nitrogênio no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

A concentração do fósforo inorgânico no sedimento apresentou padrão diferente ao observado na coluna da água. As menores concentrações foram registradas na E5 ( $0,30 \pm 0,07 \text{ mg/g}$ ) e as maiores na E4 ( $3,11 \pm 0,18 \text{ mg/g}$ ) (Fig. 5). A E4 está localizada na área destinada à ancoragem de barcos e é também local de lançamentos de águas residuais. A concentração do fósforo armazenado no sedimento apresentou um coeficiente de variação de 80,07, enquanto que o da coluna da água foi de 49,08. Assim como o nitrogênio, a concentração de fósforo no sedimento diferiu entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ).

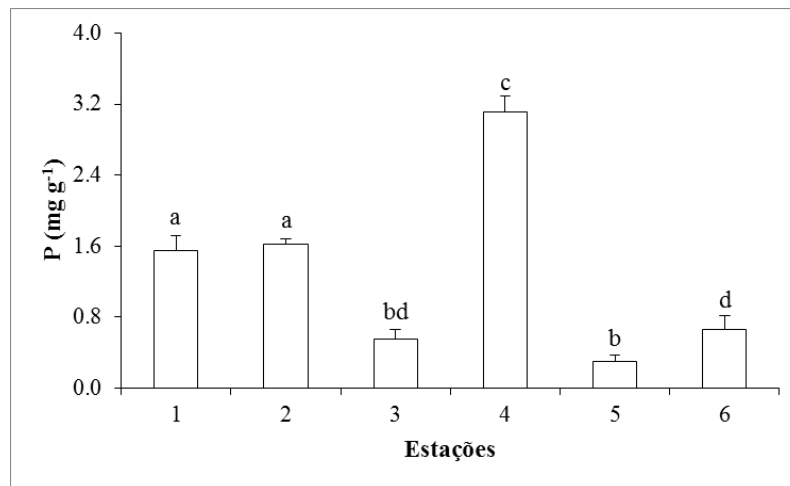


Figura 5. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de fósforo no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

#### Nutrientes nos tecidos algais

O conteúdo de nitrogênio nos tecidos mostrou uma ampla variação entre as espécies estudadas. Em *H. musciformis*, o conteúdo de nitrogênio foi bem inferior ao encontrado em *Gr. tenuifrons* (Fig. 6). O maior valor foi registrado na E1 ( $0,59 \pm 0,13$ ) e o menor na E6 ( $0,04 \pm 0,01$  %dw<sup>-1</sup>). Diferenças significativas foram verificadas para esta espécie entre os pontos analisados (ANOVA,  $p < 0,001$ ). Em *Gr. tenuifrons*, o nitrogênio nos tecidos algais esteve relacionado com a disponibilidade do NID na coluna da água. Os níveis mais altos foram detectados na E1, quando os níveis de nitrogênio nos tecidos atingiram  $2,28 \pm 0,34$  % por peso seco (Fig. 6). Não foram observadas diferenças significativas no conteúdo de nitrogênio tecidual entre as estações amostradas (ANOVA,  $p = 0,067$ ). O conteúdo de fósforo variou de  $0,83 \pm 0,01$  % dw<sup>-1</sup> (E1) a  $0,69 \pm 0,10$  % dw<sup>-1</sup> (E6) por peso seco (Fig. 7). Diferenças significativas foram observadas entre as estações (ANOVA,  $p = 0,042$ ). O conteúdo de fósforo em *H. musciformis* manteve-se relativamente constantes nas estações estudadas (Fig. 7). Os maiores valores foram registrados na E6 ( $0,84 \pm 0,01$  % dw<sup>-1</sup>) e o menor na E1 ( $0,77 \pm 0,13$  % dw<sup>-1</sup>). Não foram constatadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p = 0,368$ ).

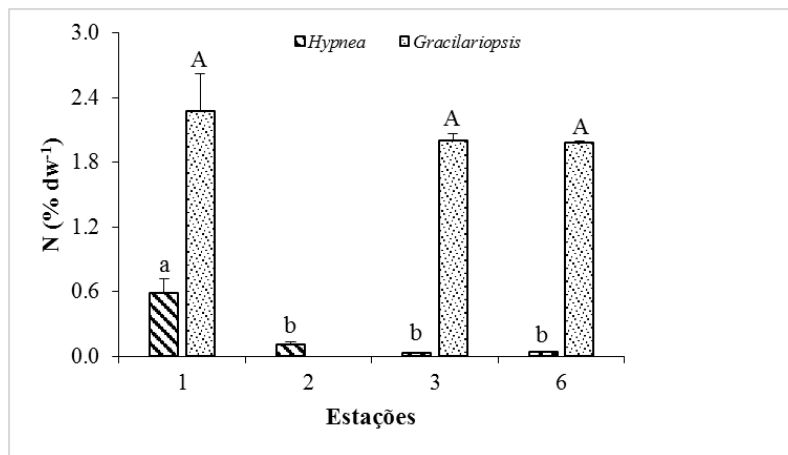


Figura 6. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de nitrogênio nos tecidos das macroalgas *Hypnea musciformis* e *Gracilariopsis tenuifrons* entre as estações. Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças significativas.

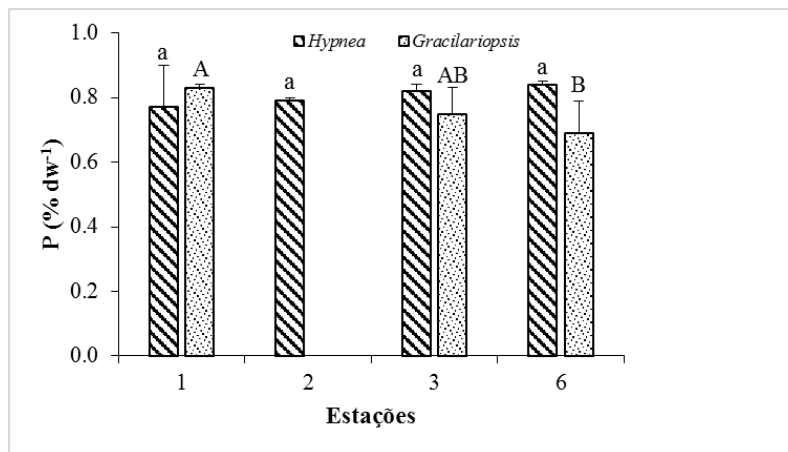


Figura 7. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão da concentração de fósforo nos tecidos das macroalgas *Hypnea musciformis* e *Gracilariopsis tenuifrons* entre as estações. Diferentes Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças significativas.

#### Razão N:P

A média da razão N:P na coluna de água foi  $82,3 \pm 29,0$ , o que demonstra que há uma grande disponibilidade de nitrogênio em relação ao fósforo (Tabela 2). Por outro lado, no sedimento ( $0,53 \pm 0,38$ ), ocorre o inverso, há uma concentração de fósforo mais elevada do que de nitrogênio. Em *H. musciformis*, a concentração de fósforo tecidual também foi maior do que a de nitrogênio ( $0,25 \pm 0,35$ ), enquanto que, *Gr. tenuifrons*, o nitrogênio predominava sobre o fósforo ( $2,78 \pm 0,31$ ).

Tabela 2. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão (mínimo–máximo) da razão N:P entre as estações na coluna de água, no sedimento e nos tecidos das macroalgas *H. musciformis* e *Gr. tenuifrons*.

|                       | E1                                 | E2                                | E3                                 | E4                                  | E5                                   | E6                                    |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Água                  | 70,26 $\pm$ 14,82<br>(59,78–80,73) | 40,62 $\pm$ 0,06<br>(40,58–40,67) | 61,93 $\pm$ 12,32<br>(53,21–70,64) | 100,74 $\pm$ 8,78<br>(94,54–106,95) | 106,47 $\pm$ 0,80<br>(105,90–107,04) | 113,79 $\pm$ 19,45<br>(100,04–127,54) |
| Sedimento             | 0,24 $\pm$ 0,01<br>(0,244–0,237)   | 0,29 $\pm$ 0,003<br>(0,28–0,29)   | 0,38 $\pm$ 0,07 (0,33–<br>0,43)    | 1,15 $\pm$ 0,03<br>(1,13–1,18)      | 0,86 $\pm$ 0,26<br>(0,67–1,05)       | 0,24 $\pm$ 0,03<br>(0,22–0,26)        |
| <i>Hypnea</i>         | 0,78 $\pm$ 0,30 (0,57–<br>0,99)    | 0,14 $\pm$ 0,03<br>(0,12–0,15)    | 0,03 $\pm$ 0,02 (0,02–<br>0,05)    | -----                               | -----                                | 0,05 $\pm$ 0,01<br>(0,04–0,05)        |
| <i>Gracilariopsis</i> | 2,73 $\pm$ 0,36 (2,48–<br>2,99)    | -----                             | 2,70 $\pm$ 0,39 (2,43–<br>2,97)    | -----                               | -----                                | 2,90 $\pm$ 0,40<br>(2,62–3,19)        |

### Análise de Correlação

A Tabela 3 contém os dados da análise estatística para correlação de Pearson entre parâmetros ambientais, sedimento e conteúdo de nitrogênio e fósforo nos tecidos das duas macroalgas (*Gr. tenuifrons* e *H. musciformis*). Fortes correlações positivas foram registradas entre salinidade e oxigênio dissolvido ( $r = 0,99$ ;  $p < 0,001$ ); oxigênio dissolvido e nitrito ( $r = 0,96$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{NH}_4^+$  e NID ( $r = 0,99$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_2^-$  ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,05$ ), teor de nitrogênio no sedimento e  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,99$ ;  $p < 0,01$ ), conteúdo de nitrogênio nos tecidos de *H. musciformis* e  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,96$ ;  $p < 0,001$ ), conteúdo de nitrogênio nos tecidos de *Gr. tenuifrons* e  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,05$ ), conteúdo de nitrogênio nos tecidos de *H. musciformis* e teor de nitrogênio no sedimento ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ), conteúdo de nitrogênio nos tecidos de *Gr. tenuifrons* e teor de nitrogênio no sedimento ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,01$ ). Correlações negativas também foram encontradas entre oxigênio dissolvido e teor de nitrogênio no sedimento ( $r = -0,83$ ;  $p < 0,01$ ), teor de nitrogênio no sedimento e  $\text{NO}_2^-$  ( $r = -0,91$ ;  $p < 0,001$ ).



Tabela 3. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os parâmetros ecológicos, sedimento e porcentagens de N e P nas algas *Gracilariopsis tenuifrons* e *Hypnea musciformis*.

|                | Temp    | pH     | O.D.    | Sal     | NH4     | NO3     | NO2     | NID    | PO4    | NSED    | PSED    | NHYP    | PHYP    | N:P HYP |
|----------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Sal</b>     | 0,86**  |        | 0,99*** |         |         |         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>NH4</b>     | 0,87**  |        | 0,71*   | 0,70*   |         |         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>NO3</b>     | -0,69*  | -0,79* |         |         |         |         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>NO2</b>     | 0,88**  |        | 0,98*** | 0,96*** | 0,72*   |         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>NID</b>     | 0,82**  |        | 0,69*   | 0,68*   | 0,99*** |         | 0,67*   |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>PO4</b>     |         |        |         |         |         |         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>N:P AG</b>  | 0,76*   |        | 0,85**  | 0,87**  | 0,83**  |         | 0,76*   | 0,86** | -0,73* |         |         |         |         |         |
| <b>NSED</b>    | -0,89** |        | -0,83** | -0,80*  |         | 0,89**  | -0,91** |        |        |         |         |         |         |         |
| <b>PSED</b>    | -0,78*  | -0,70* |         |         |         | 0,97*** | -0,73*  |        |        | 0,95*** |         |         |         |         |
| <b>N:P SED</b> |         |        |         |         |         |         |         |        | 0,79*  |         |         |         |         |         |
| <b>NHYP</b>    | -0,82** | -0,69* | -0,70*  |         |         | 0,96*** | -0,81** |        |        | 0,97*** | 0,98*** |         |         |         |
| <b>PHYP</b>    |         |        |         |         | 0,71*   |         |         | 0,68*  |        |         |         |         |         |         |
| <b>N:P HYP</b> | -0,82*  | -0,69* | -0,68*  |         |         | 0,95*** | -0,80*  |        |        | 0,96*** | 0,97*** | 0,99*** | -0,71*  |         |
| <b>NGRA</b>    | -0,79*  |        |         |         | -0,71*  | 0,77*   | -0,67*  |        |        | 0,83**  | 0,83**  | 0,86**  | -0,88** | 0,90**  |
| <b>PGRA</b>    | -0,71*  |        | -0,76*  | -0,73*  | -0,74*  |         | -0,85** | -0,69* |        | 0,76*   |         | 0,74*   |         | 0,73*   |
| <b>N:P GRA</b> |         |        |         |         |         |         |         |        |        |         |         |         |         |         |

Legenda: Temp: Temperatura; O.D.: Oxigênio Dissolvido; NH4: Amônio; NO3: Nitrato; NO2: Nitrito; NID: Nitrogênio Inorgânico Dissolvido; PO4: Fosfato; N:P AG: razão N:P da água; NSED: Nitrogênio do Sedimento; PSED: Fósforo do Sedimento; N:P SED: razão N:P do Sedimento; NHYP: Nitrogênio tecidual da *H. musciformis*; PHYP: Fósforo tecidual da *H. musciformis*; N:P HYP: razão N:P tecidual da *H. musciformis*; NGRA: Nitrogênio tecidual da *Gr. tenuifrons* ; PGRA: Fósforo tecidual da *Gr. tenuifrons* ; N:P GRA: razão N:P tecidual da *Gr. tenuifrons*

\* P menor do que 0,05 e maior do que 0,01

\*\* P menor do que 0,01 e maior do que 0,001

\*\*\* P menor do que 0,001

## Discussão

No estuário Ponta do Tubarão, foi observado um gradual aumento de salinidade do norte (influência oceânica) para sul (interior das terras) do estuário. A E1, que se encontra sob total influência marinha, apresentou valores mais baixos de salinidade (~ 37), enquanto a E6, localizada na parte mais interior do estuário, apresentou valores mais elevados (> 40). Considerando que a salinidade registrada na entrada do estuário é a mesma do oceano, o aumento da salinidade ao longo do estuário até o ponto mais interior é ocasionado essencialmente pela baixa circulação da água, aumento da taxa de evaporação, sem influência de água doce dos rios e provavelmente pelo maior tempo de residência da água nessa porção do estuário. Essa seção do estuário (E6) fica em sua maior parte descoberta durante a maré baixa, conseqüentemente a água torna-se mais salina do que em mar aberto, caracterizando esse estuário como hipersalino ou negativo (Ramos e Silva et al. 2010).

Uma tendência de aumento de temperatura foi observada da seção de maior influência marinha para a porção mais interior do estuário. Este padrão de distribuição era o esperado considerando que o menor volume de água e conseqüentemente a menor profundidade são encontrados em direção à seção interior do estuário (E6). Nos estuários da região, a temperatura da água permanece relativamente constante ao longo do ano (Ramos e Silva et al. 2010), e a ocorrência das pequenas variações observadas dependem do grau de insolação, chuvas e ventos. Devido à forte influência marinha na área, o fator controlador das variações observadas no estuário Ponta do Tubarão é principalmente a dinâmica das marés. A influência das marés nas variações da temperatura da água também foi relatada em estudos realizados na região nordeste do Brasil (Figueiredo et al. 2006; Eschrique et al. 2008).

Os valores médios registrados ( $5,29 \pm 1,10$  mg/L) para o oxigênio dissolvido mostrou que as águas do estuário Ponta do Tubarão são bem oxigenadas. No entanto, embora tenham sido observadas pequenas variações nas concentrações, diferenças marcantes não foram observadas entre os pontos amostrados. Esta pequena diferença pode estar associada à forte mistura deste gás na coluna da água, provavelmente provocado pela agitação das marés, baixa profundidade e pelos ventos constantes na região. O pH não apresentou grandes variações ao longo do estuário (média = 7,62). De acordo com Ramos e Silva et al. (2010), a baixa entrada de água doce e pouca precipitação pluviométrica são os fatores responsáveis pela mistura da água do mar e pelos valores de pH observados nos estuários dessa região.

A concentração de nutrientes na água registrados no presente estudo é comparável com estudos realizados em algumas regiões tropicais do mundo (Li et al. 2014). Além disso, a concentração de nutrientes registrados do estuário Ponta do Tubarão foi mais baixa do que em estuários na região nordeste do Brasil (Silva et al. 2013). Em relação ao nitrogênio, observa-se uma relação inversa entre a concentração do  $\text{NO}_3^-$  e do  $\text{NH}_4^+$ . Os maiores valores de  $\text{NO}_3^-$  foram registrados na área de maior influência marinha enquanto o  $\text{NH}_4^+$  apresentou valores mais elevados na porção mais interior do estuário.

Em geral, o  $\text{NH}_4^+$  é proveniente de águas fluviais ricas em matéria orgânica. No presente estudo, a água originada de aquíferos terrestres é muito pouca (Vital et al. 2008), assim fica evidente que este composto nitrogenado deve se originar da remineralização da matéria orgânica produzida no próprio sistema e/ou da concentração do nitrogênio presente no sedimento (Bhadha et al. 2007). A estação de coleta E6 apresentou os maiores níveis de  $\text{NH}_4^+$ , esta encontra-se localizada na porção fechada do estuário (Fig. 1), onde deve ocorrer um maior acúmulo de matéria orgânica. Por outro lado, os valores mais elevados de salinidade e temperatura no local devem ter favorecido uma condição bioquímica de redução. Essas condições ambientais favorecem o acúmulo de nitrogênio na sua forma quimicamente mais reduzida.

As concentrações do  $\text{PO}_4^{3-}$  ao longo do estuário foram muito baixas (média de  $0,31 \mu\text{mol/L}$ ), quando comparadas com os níveis médios de estuários da região nordeste (Noriega et al. 2005; Silva et al. 2013). Neste local, o padrão de distribuição desse nutriente na água está relacionado principalmente à entrada de água marinha, considerando a ausência de rios que desaguem diretamente na área. Os níveis de fósforo foram mais baixos na porção mais interior do estuário do que na área de maior influência marinha (~50%), este padrão pode ser atribuído à assimilação biológica e aos processos geoquímicos de adsorção como observados por Fonseca et al. (2002) para a lagoa da Conceição em Santa Catarina e Eschrique et al. (2008) para o estuário Jaguaribe no Ceará. Além disso, as baixas concentrações de fósforo e a alta razão N:P (Tabela 2) indicaram que havia uma limitação de fósforo dissolvido na água.

O sedimento é um grande reservatório de nutrientes, o qual desempenha um papel ambiental importante devido a sua capacidade de estocar ou liberar diferentes compostos a partir da coluna da água e que afeta profundamente a ciclagem dos elementos na água (Zhang et al. 2012; Zhang et al. 2015). O sedimento de áreas de manguezais em geral contém uma grande quantidade de fósforo, devido à grande quantidade de matéria orgânica (Resmi et al. 2016). No entanto, uma vez no sedimento, esse nutriente fica aprisionado devido à existência de uma barreira geoquímica que impede sua liberação

para a coluna da água. Esse mecanismo de retenção de fósforo no sedimento tem sido descrito por vários autores para estuários brasileiros (Pereira-Filho et al. 2001; Vidal and Becker 2006).

A concentração de nitrogênio e fósforo no sedimento na E4 não apresentou o mesmo padrão de distribuição observado para os nutrientes dissolvidos na água. A E4 apresentou o maior acúmulo desses nutrientes no sedimento, enquanto os valores para o NID e  $\text{PO}_4^{-3}$  na coluna da água eram consideravelmente mais baixos (Fig. 4 e 5). Essa grande diferença nos níveis de nutrientes entre coluna da água e o compartimento sedimentar pode ser explicado, em parte, pelo efeito de diluição ocasionado pela preamar no ato da coleta das amostras de água nessa estação. O teor de nitrogênio e fósforo no sedimento variaram de 0,16 a 3,59 mg/g para o nitrogênio e de 0,30 a 3,11 mg/g para o fósforo respectivamente. Esses valores são similares aos encontrados por Nair et al. (1984) e Mathews and Chandramohanakumar (2003) em estuários na Índia.

A concentração do nitrogênio e fósforo no sedimento na E4 apresentou uma ordem de grandeza de 12 e 462 vezes maior do que o registrado na coluna da água, respectivamente. Este considerável aumento indica a ocorrência de fontes antrópicas para esta área do estuário. Com efeito, nessa estação foi constatado o lançamento de esgotos domésticos e é também local de descarte de resíduos de processamento de pescado. A grande discrepância entre os teores de nutrientes da E4 com as demais estações evidencia que esta é a região do estuário mais vulnerável em relação aos processos de eutrofização. De modo geral, o alto teor de fósforo registrado no sedimento em todas as estações, exceção a E4, indicou uma razão N:P menor que 16, o que caracteriza uma limitação em nitrogênio.

Estudos têm demonstrado que a disponibilidade de nutrientes tem um efeito importante na produção primária e que a utilização das diferentes formas de nitrogênio pelas macroalgas é específico a espécie (Vonk et al. 2008). Em relação ao conteúdo de nitrogênio nas algas, os resultados mostraram uma forte correlação entre a disponibilidade de nitrato na água e o conteúdo de nitrogênio nos tecidos de *H. musciformis* ( $r = 0,96$ ;  $p < 0,001$ ) e *Gr. tenuifrons* ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,05$ ). O conteúdo de N em *Gracilariopsis* se manteve em níveis relativamente altos em todas as estações amostradas, sugerindo que esta espécie absorve simultaneamente  $\text{NO}_3^-$  (E1) e  $\text{NH}_4^+$  (E3 e E6). O maior conteúdo de N em *Hypnea* observado na E1 (> concentração de  $\text{NO}_3^-$  dissolvido na água) sugere que essa espécie é mais eficiente para a assimilação de  $\text{NO}_3^-$ . O conteúdo de nitrogênio em *Hypnea* mostrou um padrão similar ao de *Gr. tenuifrons*, no entanto, os níveis de nitrogênio nos tecidos eram muito baixos. A baixa concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água (E3 e

E6) pode ser uma explicação plausível para isso, considerando que pode ocorrer limitação quando o nutriente se encontra abaixo de uma concentração limiar para uma determinada espécie (North et al. 2007; Fan et al. 2014). Com efeito, nesse estudo alguns valores obtidos para *Hypnea* foram ainda menores do que a concentração limite de subsistência (concentração mínima de nutrientes que permite o metabolismo sem crescimento) encontrado para Rhodophyceae (Lourenço et al. 2006).

Os valores de fósforo nos tecidos das duas algas se encontram dentro da variação para espécies tropicais (Lourenço et al., 2006), mesmo os níveis de fósforo dissolvido na coluna da água fossem considerados relativamente baixos. No entanto, concentração baixa de nutrientes na água não necessariamente indica limitação de nutrientes. Isto porque as macroalgas usam mecanismos para estocar nutrientes (na forma de pigmentos e aminoácidos) em excesso e utilizá-los depois quando o suprimento externo está reduzido (Lobban and Harrison 1997). A média do fósforo registrado para as duas espécies nesse estudo ( $> 0,7\%$ ) não é considerada um nível baixo, e se encontra acima de alguns valores encontrados para algas coletadas no Rio de Janeiro, na lagoa hipersalina de Araruama (Lourenço et al. 2005) e Baía da Guanabara (Nascimento et al. 2014). Embora os níveis de fósforo dissolvido na coluna da água fossem baixos, para justificar o acúmulo de fósforo nos tecidos, temos que considerar que as algas são encontradas acima do sedimento, e que podem absorver rapidamente o fósforo quando este é liberado do sedimento para a coluna da água. Essas constatações são confirmadas pelas correlações positivas encontradas entre o conteúdo de nitrogênio nos tecidos algais e o teor de nitrogênio no sedimento. Com efeito, vários estudos têm mostrado que sedimentos estuarinos podem também ser uma fonte significativa de nutrientes para as macroalgas (Kamer et al. 2004).

## **Conclusão**

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que a forte influência marinha atuou de maneira preponderante sobre os parâmetros ambientais. Este estuário apresentou valores de salinidade e temperatura mais elevados na porção interior do estuário, indicando a influência da evaporação e da marê sobre esses dois parâmetros. Em relação aos nutrientes, observa-se que na coluna da água, o nitrogênio estava presente em maior concentração, indicando uma limitação em fósforo. O inverso foi observado para o compartimento do sedimento.

Dentre as formas nitrogenadas, o  $\text{NH}_4^+$  foi o maior representante da composição do NID. Considerando a ausência de águas fluviais na área e a pouca contribuição dos lençóis freáticos, pode-se evidenciar que o  $\text{NH}_4^+$  deve se originar da remineralização da matéria orgânica produzida no próprio sistema. Os altos valores de fósforo aprisionados no sedimento, em especial na E4, indicam que parte desse elemento é de origem antrópica e que esta área do estuário é mais vulnerável em relação aos processos de eutrofização.

Em relação às macroalgas observa-se que estes organismos absorvem nutrientes tanto da coluna da água como também do sedimento. Assim, os valores do conteúdo de fósforo nos tecidos suportam a hipótese de que ambas as espécies (*Gr. tenuifrons* e *H. musciformis*) utilizam o fluxo de nutrientes a partir do sedimento.

## Referências

Bhadha, J. H., Martin, J. B., Jaeger, J., Lindenberg, M., & Cable, J. E. (2007). Surface and pore water mixing in estuarine sediments: Implications for nutrient and Si cycling. *Journal of Coastal Research*, 23(4), 878–891.

Cardoso, P. G., Pardal, M. A., Lillebø, A. I., Ferreira, S. M., Raffaelli, D., & Marques, J. C. (2004). Dynamic changes in seagrass assemblages under eutrophication and implications for recovery. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 302(2), 233–248.

Claessen, M. E. C. (1997). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, RJ: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

Cowan, J. L. W., Pennock, J. R., & Boynton, W. R. (1996). Seasonal and interannual patterns of sediment-water nutrient and oxygen fluxes in Mobile Bay, Alabama (USA): regulating factors and ecological significance. *Marine Ecology Progress Series*, 141, 229–245.

Cunha, R. C. M. (2006). Análise de potencialidades e restrições ao ecoturismo: o caso da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão-RN. Dissertation, Federal University of Rio Grande do Norte.

- Eschrique, S. A., Marins, R. V., Moreira, M. O. P., & Almeida, M. D. (2008). Hidrogeoquímica do fósforo no estuário do Jaguaribe (CE). In E. S. Braga (Ed.), *Oceanografia e Mudanças Globais* (pp. 629–647). São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Fan, X., Xu, D., Wang, Y., Zhang, X., Cao, S., Mou, S., & Ye, N. (2014). The effect of nutrient concentrations, nutrient ratios and temperature on photosynthesis and nutrient uptake by *Ulva prolifera*: implications for the explosion in green tides. *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 537–544.
- Figueiredo, J. A., Muniz, K., Macedo, S. J., Flores-Montes, M. J., & Feitosa, F. A. N. (2006). Hidrologia e biomassa fitoplancônica nas barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: variação nictemeral. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39, 5–17.
- Fonseca, A., Braga, E. S., & Eichler, B. B. (2002). Distribuição espacial dos nutrientes dissolvidos e pigmentos fotossintetizantes no sistema pelágico da Lagoa da Conceição; Santa Catarina, Brasil. *Atlântica*, 24(2), 15–29.
- Grasshoff, K., Erhardt, M., & Kremling, K. (1983). *Methods of seawater analysis*. Weinheim, BW: Verlag Chemie.
- Grenz, C., Cloern, J. E., Hager, S. W., & Cole, B. E. (2000). Dynamics of nutrient cycling and related benthic nutrient and oxygen fluxes during a spring phytoplankton bloom in South San Francisco Bay (USA). *Marine Ecology Progress Series*, 197, 67–80.
- Kamer, K., Fong, P., Kennison, R. L., & Schiff, K. (2004). The relative importance of sediment and water column supplies of nutrients to the growth and tissue nutrient content of the green macroalga *Enteromorpha intestinalis* along an estuarine resource gradient. *Aquatic Ecology*, 38(1), 45–56.
- Li, R. H., Liu, S. M., Li, Y. W., Zhang, G. L., Ren, J. L., & Zhang, J. (2014). Nutrient dynamics in tropical rivers, lagoons, and coastal ecosystems of eastern Hainan Island, South China Sea. *Biogeosciences*, 11(2), 481–506.

Lobban, C., & Harrison, P. (1997). *Seaweed ecology and physiology*. New York, NY: Cambridge University Press.

Lourenço, S. O., Barbarino, E., Nascimento, A., Freitas, J. N., & Diniz, G. S. (2006). Tissue nitrogen and phosphorus in seaweeds in a tropical eutrophic environment: What a long-term study tells us. *Journal of Applied Phycology*, 18(3), 389–398.

Lourenço, S. O., Barbarino, E., Nascimento, A., & Paranhos, R. (2005). Seasonal variations in tissue nitrogen and phosphorus of eight macroalgae from a tropical hypersaline coastal environment. *Cryptogamie, Algologie*, 26(4), 355–371.

Mathews, L., & Chandramohanakumar, N. (2003). The ratios of carbon, nitrogen and phosphorus in the sediments of a tropical wetland ecosystem. *International Review of Hydrobiologia*, 88(2), 179–186.

Miyazawa, M., Pavan, M. A., Muraoka, T., Carmo, C. A. F. S., & Mello, W. J. (1999). Análises químicas de tecido vegetal. In F. C. da Silva (Ed.), *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (pp. 171–223). Brasília: EMBRAPA.

Nair, N. B., Azis, P. A., Dharmaraj, K., Arunachalam, M., Kumar, K. K., & Balasubramanian, N. K. (1984). Ecology of Indian estuaries–V: Primary productivity of the Ashtamudi estuary, south-west coast of India. *Proceedings: Animal Sciences*, 93(1), 9–23.

Nascimento, A., Coelho-Gomes, C., Barbarino, E., & Lourenço, S. O. (2014). Temporal variations of the chemical composition of three seaweeds in two tropical coastal environments. *Open Journal of Marine Science*, 4(2), 118–139.

Noriega, C. D., Muniz, K., Araújo, M. C., Travassos, R. K., & Neumann-Leitão, S. (2005). Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil. *Tropical Oceanography*, 33(2), 129–139.

North, R. L., Guildford, S. J., Smith, R. E. H., Havens, S. M., & Twiss, M. R. (2007). Evidence for phosphorus, nitrogen, and iron colimitation of phytoplankton communities in Lake Erie. *Limnology and Oceanography*, 52(1), 315–328.



Pereira-Filho, J., Schettini, C. A. F., Rörig, L., & Siegle, E. (2001). Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll *a* in the Camboriú river estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(2), 249–257.

Ramos e Silva, C. A., de Miranda, L. B., Dávalos, P. B., & da Silva, M. P. (2010). Hydrochemistry in tropical hyper-saline and positive estuaries. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(3), 432–443.

Resmi, P., Manju, M. N., Gireeshkumar, T. R., Movitha, M., Shameem, K., & Chandramohanakumar, N. (2016). Phosphorous fractionation in mangrove sediments of Kerala, south west coast of India: the relative importance of inorganic and organic phosphorous fractions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(6), 1–16.

Silva, M. A. M., Eça, G. F., Santos, D. F., Guimarães, A. G., Lima, M. C., & de Souza, M. F. L. (2013). Dissolved inorganic nutrients and chlorophyll *a* in an estuary receiving sewage treatment plant effluents: Cachoeira River estuary (NE Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7), 5387–5399.

Silva, M. A. M., Souza, M. F., & Abreu, P. C. (2015). Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll- $\alpha$  in a tropical estuary in northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63(1), 1–15.

Smith, J., Burford, M. A., Revill, A. T., Haese, R. R., & Fortune, J. (2012). Effect of nutrient loading on biogeochemical processes in tropical tidal creeks. *Biogeochemistry*, 108(1), 359–380.

Tappin, A. D. (2002). An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(6), 885–901.

Trimmer, M., Nedwell, D. B., Sivyer, D. B., & Malcolm, S. J. (2000). Seasonal organic mineralisation and denitrification in intertidal sediments and their relationship to the abundance of *Enteromorpha* sp. and *Ulva* sp. *Marine Ecology Progress Series*, 203, 67–80.

Vidal, R. M. B., & Becker, H. (2006). Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos de fundo do manguezal do rio Piranji, Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39, 34–43.

Vital, H., dos Santos Neto, F., & Plácido Junior, J. S. (2008). Morphodynamic of a Tropical Tidal Inlet: Case Study on the Rio Grande do Norte Coast, Northeast Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 8(2), 113–126.

Vonk, J. A., Middelburg, J. J., Stapel, J., & Bouma, T. J. (2008). Dissolved organic nitrogen uptake by seagrasses. *Limnology and Oceanography*, 53(2), 542–548.

Wu, Y., & Chen, J. (2013). Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. *Ecological Indicators*, 32, 294–304.

Zhang, B., Fang, F., Guo, J., Chen, Y., Li, Z., & Guo, S. (2012). Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics relevant to the soil composition of water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir. *Ecological Engineering*, 40, 153–159.

Zhang, W. L., Zeng, C. S., Tong, C., Zhai, S. J., Lin, X., & Gao, D. Z. (2015). Spatial distribution of phosphorus speciation in marsh sediments along a hydrologic gradient in a subtropical estuarine wetland, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 154, 30–38.

## CAPÍTULO 2

### Distribuição espacial de metais pesados na água, sedimento e macroalgas marinhas no estuário Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil)

Klégea Maria Câncio Ramos Cantinho<sup>a</sup>; Eliane Marinho-Soriano<sup>a</sup>

ESTE ARTIGO SERÁ SUBMETIDO AO PERIÓDICO ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT, PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DESTA REVISTA (HTTP://WWW.SPRINGER.COM/ENVIRONMENT/MONITORING+-ENVIRONMENTAL+ANALYSIS/JOURNAL/10661)

<sup>a</sup> Department of Oceanography and Limnology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil. E-mail: [klegea@gmail.com](mailto:klegea@gmail.com) – Tel.: (84)3342-4950.

#### Resumo

Este estudo teve como objetivo investigar o estado atual da concentração de metais pesados da água, sedimento e macroalgas (*Gracilariopsis tenuifrons* e *Hypnea musciformis*), em uma escala espacial no estuário Ponta do Tubarão, nordeste do Brasil. Os resultados obtidos revelaram que existe uma notável diferença na concentração dos metais entre os diferentes compartimentos estudados e entre as estações. A mais alta concentração de metais na água e nas algas foi registrada para a Estação 1 (maior influência marinha), enquanto que no sedimento, foi maior na Estação 4 (área urbana). Nas macroalgas houve uma tendência de diminuição nas concentrações dos metais da E1 para a E6 (porção mais interior do estuário). O cobre, chumbo e o zinco foram os elementos que apresentaram as maiores concentrações nos tecidos algais. Os metais cádmio, cobre e chumbo nos tecidos de *H. musciformis* apresentaram correlação positiva com esses mesmos elementos na coluna da água. Em *G. tenuifrons* também mostrou uma significativa correlação positiva do cobre e chumbo na água e nos tecidos da alga. Uma correlação positiva também foi encontrada para os metais no tecido das espécies e o registrado no sedimento. Os resultados desse estudo mostraram que a concentração dos metais varia de acordo com a espécie algal e que ambas espécies acumulam quantidades importantes de metais. Esta capacidade faz com que esses organismos sejam considerados importantes bioindicadores e biomonitores de metais pesados.

Palavras-chaves: estuário, metais pesados, água, sedimento, macroalgas

## Abstract

This study aimed to investigate the current state of heavy metal concentration of water, sediments and seaweeds (*Gracilariopsis tenuifrons* and *Hypnea musciformis*) on a spatial scale in the Ponta do Tubarão estuary, northeast of Brazil. The results obtained revealed that there is a remarkable difference in the metal concentration among the different compartments studied and among sites. The highest metal concentration in the water was recorded for E1 (greatest marine influence), in the sediment at E4 (urban area) and seaweeds at E1. In the seaweeds, there was a decreasing trend in the metal concentrations from E1 to E6 (inner part of the estuary). Copper, lead, and zinc were the chemical elements that showed the highest concentrations in the algal tissues. The metals cadmium, copper and lead in the *H. musciformis* tissues showed a positive correlation with the same elements in the water column. *G. tenuifrons* also showed a significant positive correlation of copper and lead in water. A positive correlation was also found for both species and sediment. The results of the study showed that the metal concentration varies according to the seaweed species and that both species accumulate important metal concentrations. This ability makes these organisms important as bioindicators and biomonitoring of heavy metals.

Keywords: estuary, heavy metals, water, sediment, seaweeds

## Introdução

Atualmente a contaminação por metais pesados nas regiões costeiras é um problema comum em muitas partes do mundo (Okuku and Peter 2012). A abundância, persistência e toxicidade ambiental no ambiente aquático tem se tornado um grande problema em países em desenvolvimento, como o Brasil (Reitermajer et al. 2011). A principal causa é o crescimento da industrialização e urbanização a qual tem contribuído para o aumento acentuado da poluição por metais pesados no ambiente aquático (Khan et al. 2008), o qual pode causar efeitos adversos sobre a saúde dos organismos aquáticos e humanos (Yi et al. 2011).

Muitos estudos têm determinado os níveis de poluentes acompanhando suas flutuações regionais e temporais nas zonas costeiras. Desta forma, água, sedimentos e organismos têm sido usados com finalidades diferentes para descrever o comportamento ambiental de poluentes ou para monitorar os níveis de contaminação nesses compartimentos (Karez et al. 1994).

A entrada de metais pesados nos estuários em geral, está associada ao aporte de material em suspensão. Uma vez no estuário ele pode permanecer na forma particulada, migrarem para a fase dissolvida ou através de processos de adsorção e precipitação se depositarem no sedimento (Abdel-Ghani et al. 2007). A duração dos metais nos diferentes compartimentos ambientais está relacionada a diversos fatores ambientais que, somados a hidrodinâmica dos estuários pode possibilitar que estes elementos sejam remobilizados ou incorporados na cadeia trófica a diferentes níveis (Kelderman et al. 2000).

A avaliação de locais contaminados por metais pesados normalmente envolve a análise de água e sedimentos. No entanto, apesar de vários estudos considerarem a água para monitoramento de metais em ambientes costeiros, algumas desvantagens são observadas, como por exemplo, as baixas concentrações próximas do limite de detecção e a eventual contaminação das amostras durante a coleta e análise. A análise de metais no sedimento se mostra mais vantajosa porque esse compartimento apresenta concentrações mais elevadas. Por outro lado, os metais que registrados no sedimento se encontram aprisionados por períodos mais longos, o que diminui a possibilidade de variações, como o observado na água (Rainbow 2006). Embora, estes compartimentos usualmente sejam utilizados para medições das concentrações de metais, eles não são bons preditores da toxicidade de contaminantes para a biota (Gosavi et al. 2004). Consequentemente,

organismos aquáticos tornam-se cada vez mais utilizados na avaliação de contaminação, tanto como biomonitores, como bioindicadores (Chakraborty and Owens 2014).

As macroalgas e moluscos estão entre os organismos mais utilizados para esta finalidade. As Macroalgas são capazes de acumular metais, atingindo valores de concentração que são milhares de vezes superiores do que as concentrações correspondentes na água do mar (Rainbow 1996). Essa capacidade de acumulação faz com que elas sejam consideradas ótimas indicadoras de poluição por metais em águas estuarinas e costeiras (Dadollahi-Sohrab et al. 2011).

O estuário Ponta do Tubarão é um braço de mar com cerca de 12 km de extensão situado no litoral norte do Rio Grande do Norte (Fig. 1). Este estuário está localizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSPT), nordeste do Brasil. Esse ecossistema tem uma grande importância local porque ele suporta a pesca que é o principal recurso disponível para os habitantes, fazendo parte da pesca secular e familiar. Outras atividades econômicas ao redor do estuário incluem: a agricultura, aquicultura e as indústrias salineira e petrolífera. O ecossistema compreende uma vasta área de manguezais. Esse trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a distribuição espacial de metais pesados em diferentes compartimentos ambientais (água, sedimento e macroalgas) e verificar uma possível contaminação.

## **Metodologia**

### Área de estudo

A área de estudo está situada em uma região de clima semiárido, a qual apresenta duas estações bem definidas: a estação seca (de 7 a 8 meses) e a chuvosa (de 4 a 5 meses). A região é caracterizada por temperaturas elevadas, grande incidência solar, baixa pluviosidade e alta taxa de evaporação.

A rede hidrográfica da área de estudo é composta basicamente por rios temporários de pequeno porte, os quais são responsáveis pelo abastecimento dos lençóis freáticos e de pequenas lagoas (parte aflorante do lençol freático). Devido à ausência de rios que desaguem no estuário, o rio Tubarão é um estuário invertido. O sedimento do fundo do estuário é constituído principalmente por silte, enquanto os sedimentos mais grossos estão presentes nos canais (Vital et al. 2008).

O estuário Ponta do Tubarão está sujeito à ação das marés, com amplitude de 3,3 a 0,9 metros (Ramos e Silva et al. 2010). A profundidade é relativamente baixa, atingindo até

7 metros nos principais canais (Vital et al. 2008). Esse estuário estende-se por cerca de 12 km e abriga quatro espécies de mangue: *Lacungularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia* sp. e *Canocarpus eretus* (Vital et al. 2008). A área do estuário faz parte da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (RDSPT), unidade de uso sustentável. Nessa unidade de conservação, a pesca, coleta de peixes, moluscos e crustáceos são as principais atividades econômicas desenvolvidas pelos do entorno da reserva (Dias et al. 2007). Nessa reserva, durante décadas as algas marinhas eram coletadas, secadas e vendidas para a extração de ágar. Essa atividade por muito tempo foi considerada como uma importante fonte de renda suplementar para a população local (Marinho-Soriano, 2017).

### Estações de Coleta

Para o presente estudo, seis (6) estações foram selecionadas de forma a contemplar todo o gradiente existente no estuário. As posições das estações foram georeferenciadas e estão dispostas na Figura 1. A estação um (E1) foi posicionada na área estritamente marinha; a estação 2 (E2) na foz do estuário; a estação três (E3) na entrada de um canal de ligação com o mar; a estação quatro (E4) na área urbana, local de ancoragem de barcos; a estação cinco (E5) na entrada de uma gamboa; e a estação seis (E6) na parte mais interior do estuário.

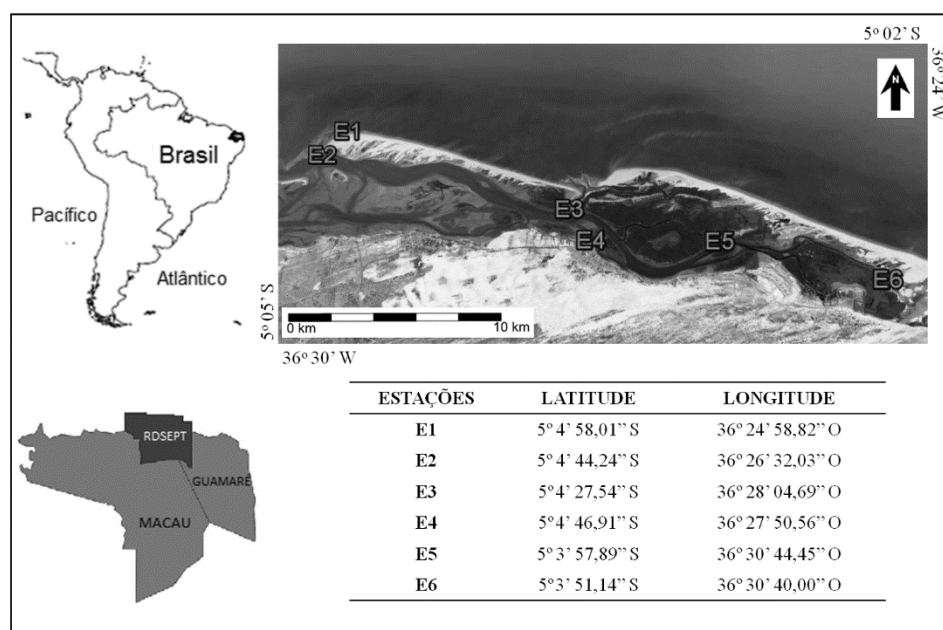


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e das estações de coleta no estuário Ponta do Tubarão, RN.

## Procedimentos em campo e em laboratório

As coletas da água, sedimento e das macroalgas (*Hypnea musciformis* e *Gracilariopsis tenuifrons*) e a medição dos parâmetros ambientais (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH) ocorreram em janeiro de 2013. Os parâmetros ambientais foram registrados em cada estação usando sonda multiparâmetros (Hanna HI9828).

Simultaneamente a determinação dos parâmetros ambientais, as amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno (300 ml) as análises dos metais pesados [Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco)]. Após a coleta, os frascos foram devidamente identificados e mantidos em caixas isotérmicas até o laboratório, mantendo-se a refrigeração a 4°C até o momento das análises.

Amostras de sedimento foram coletadas (triplicatas), através de um testemunho de 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento e obtidas em uma única profundidade de 0 a 5 cm. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos plásticos identificados e transportado até o laboratório em caixas isotérmicas, onde as amostras foram congeladas e liofilizadas (Liotop L108) para as análises subsequentes.

Amostras das macroalgas *H. musciformis* e *Gr. tenuifrons* foram coletadas apenas nas estações E1, E2, E3 e E6 e E1, E3 e E6, respectivamente, pois em algumas estações não foi possível a quantificação desses metais devido à ausência dessas espécies. Cerca de 100 g de cada espécie foi coletada por estação. O material foi armazenado em sacos plásticos, identificados e mantidos em caixas isotérmicas para o transporte até o laboratório, onde as amostras foram liofilizadas, maceradas e mantidas a -80 °C até a realização das análises. As duas espécies de macroalgas foram selecionadas devido à sua ocorrência e abundância nas estações de coletas.

## Análises dos metais pesados

Para analisar as concentrações dos metais pesados do estuário Ponta do Tubarão, tanto na água quanto no sedimento e nas macroalgas foram utilizados os métodos 3050B, para abertura de amostras e 3051, para digestão de amostra, ambos métodos da Agência de Proteção Ambiental Americana - EPA (Environmental Protection Agency) (USEPA, 2017). Os elementos traços, Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco), das amostras foram lidos pela técnica da espectrometria de absorção atômica com chama (F-AAS) pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) (EMBRAPA SOLOS, 1997).



## Análises estatísticas

Para a análise estatística, considerou-se como variável reposta as concentrações dos metais pesados, em triplicata, nas seis estações de coleta. Foram empregados os testes não paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar as diferenças das concentrações dos metais pesados entre as seis estações e o teste post-hoc Bonferroni para classificação das médias. As análises foram feitas através do software Action, com nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) para todos os testes (EQUIPE ESTATCAMP, 2017).

## Resultados

### Parâmetros ambientais

Todos os parâmetros ambientais mensurados estão sumarizados na Tabela 1. A salinidade apresentou um valor médio de  $40,16 \pm 3,50$  com máximo de  $46,18 \pm 2,17$  na E6, estação mais ao interior do estuário, e mínimo de 37,32 na E1, estação com maior influência marinha. Diferenças significativas entre as estações foram observadas (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Assim como a salinidade, a maior temperatura ( $33,50^\circ\text{C}$ ) foi registrada na E6 e a menor ( $25,93^\circ\text{C}$ ) na E1. A média de temperatura entre todas as estações foi  $29,68 \pm 2,15^\circ\text{C}$ . Foram constatadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). O pH não apresentou grande variação nos valores, com média de  $7,59 \pm 0,15$ . Entretanto, diferenças significativas foram verificadas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ). O oxigênio dissolvido variou entre 7,19 mg/L, registrado na E6, e 4,15 mg/L na E2. A média dos valores de oxigênio dissolvido foi de  $5,24 \pm 1,04$  mg/L. Houve diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p < 0,001$ ).

Tabela 1. Características físico-químicas da água do estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

| Parâmetros ambientais            | Mín – Máx     | Méd $\pm$ Desv pad | ANOVA     |             |
|----------------------------------|---------------|--------------------|-----------|-------------|
|                                  |               |                    | F         | P           |
| Salinidade                       | 37,32 – 46,18 | $40,16 \pm 3,50$   | 14.079,67 | $< 0,001^*$ |
| Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) | 25,93 – 33,50 | $29,68 \pm 2,15$   | 26,21     | $< 0,001^*$ |
| pH                               | 7,39 – 7,90   | $7,59 \pm 0,15$    | 29,50     | $< 0,001^*$ |
| Oxigênio dissolvido (mg/L)       | 4,15 – 7,19   | $5,24 \pm 1,04$    | 505,94    | $< 0,001^*$ |

\*diferenças significativas

## Metais pesados na água

De forma geral, a E1, estação com maior influência marinha, foi a que apresentou as maiores médias para todos os metais pesados analisados (Fig. 2). Houve uma tendência de diminuição das concentrações dos metais em direção ao interior do estuário, E6. A concentração do cádmio (Cd) manteve-se relativamente constante ao longo do estuário, com média de  $0,07 \pm 0,01$  mg/L. Assim como o Cd, o cobre (Cu) apresentou uma pequena variação em sua concentração, com máximo de 0,08 mg/L na E1 e mínimo de 0,03 mg/L na E4. O chumbo (Pb) foi o metal pesado com a maior concentração na coluna de água, com média de  $0,54 \pm 0,09$  mg/L. O maior valor foi constatado na E1 (0,75 mg/L) e o menor na E4 (0,41 mg/L). O cromo (Cr) também exibiu uma leve flutuação em seus valores entre as estações, com média de  $0,08 \pm 0,02$  mg/L. A concentração de níquel (Ni) foi a segunda mais elevada na coluna de água, com média de  $0,28 \pm 0,02$  mg/L. A maior concentração foi identificada na E1 (0,34 mg/L) e a menor na E4 (0,25 mg/L). Por fim, o zinco (Zn) foi o elemento químico com menor concentração na coluna de água, com média de  $0,02 \pm 0,01$  mg/L. Diferenças significativas entre as estações foram observadas para todos os metais (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

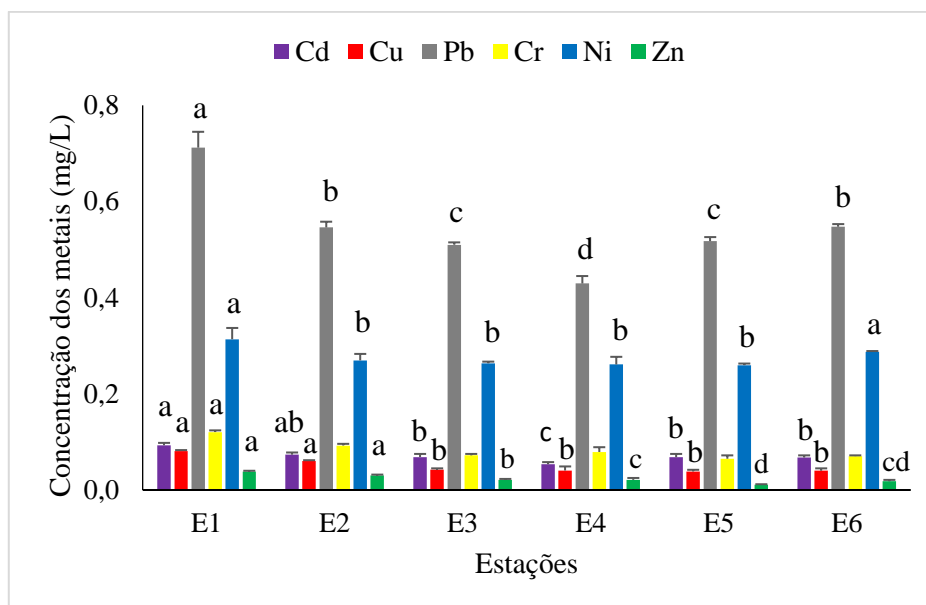


Figura 2. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) na coluna de água entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

Os valores médios dos metais pesados analisados na coluna de água do estuário Ponta do Tubarão e os limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA – Classe 1) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA/2006) estão sumarizados na Tabela 2. Observa-se que dentro desta categoria (Classe 1) alguns valores se encontram acima do permitido.

Tabela 2. Valores das concentrações médias (mg/L) dos metais pesados na coluna de água do estuário Ponta do Tubarão e valores limites para o CONAMA e a USEPA.

| Metais pesados | Presente estudo | CONAMA <sup>1</sup> | USEPA <sup>2</sup> |
|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| Zn             | 0,020           | 0,090               | 0,005              |
| Cu             | 0,050           | 0,005               | 0,100              |
| Ni             | 0,270*          | 0,025               | 0,020              |
| Pb             | 0,540*          | 0,010               | 0,030              |
| Cd             | 0,070*          | 0,005               | 0,030              |
| Cr             | 0,080*          | 0,050               | 0,050              |

<sup>1</sup>Valores extraídos da Resolução 430/2011 do CONAMA para classe 1, águas salinas.

<sup>2</sup>Valores limites de metais pesados na coluna de água pela USEPA (2006).

#### Metais pesados no sedimento

A E4, local na área urbana e de ancoragem de barcos, e a E6, na parte mais interior do estuário, de forma geral, foram as estações com a maior e menor concentração dos metais pesados no sedimento, respectivamente (Fig. 3). O maior valor de Cd foi constatado na E5 (0,78 mg/dm<sup>3</sup>), enquanto o menor na E6 (0,11 mg/dm<sup>3</sup>), com média de  $0,36 \pm 0,18$  mg/dm<sup>3</sup>. O Cu, com média de  $1,27 \pm 2,51$  mg/dm<sup>3</sup>, apresentou grande variação em sua concentração, com máximo de 6,58 mg/dm<sup>3</sup> na E4 e mínimo de 0,19 mg/dm<sup>3</sup>, na E6. O Pb novamente foi o elemento com maior concentração média, com  $3,76 \pm 1,89$  mg/dm<sup>3</sup>. A maior concentração foi 7,65 mg/dm<sup>3</sup> na E4 e a menor foi 2,58 mg/dm<sup>3</sup> na E2. Houve uma pequena flutuação nos valores de Cr, com média de  $0,38 \pm 0,08$  mg/dm<sup>3</sup> e máximo de 0,60 mg/dm<sup>3</sup> na E6 e mínimo de 0,21 mg/dm<sup>3</sup> na E4. O Ni apresentou média de  $1,25 \pm 0,29$  mg/dm<sup>3</sup> e não exibiu um padrão em sua concentração no estuário, com o maior valor na E6 (1,87 mg/dm<sup>3</sup>) e menor na E3 (0,87 mg/dm<sup>3</sup>). Por último, o Zn foi o segundo metal pesado com maior concentração no sedimento e maior variação (0,38 mg/dm<sup>3</sup>, na E5 e 15,68 mg/dm<sup>3</sup>, na E4). A concentração média desse metal foi  $3,39 \pm 5,97$  mg/dm<sup>3</sup>. Houve diferenças significativas ao longo do estuário para todos os metais (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

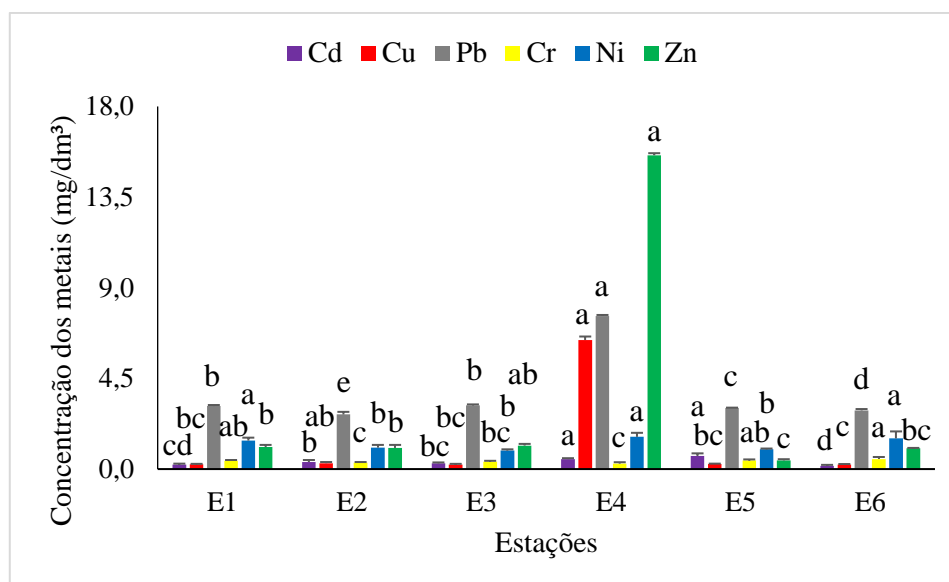


Figura 3. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no sedimento entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

As concentrações médias dos metais pesados analisados no sedimento do estuário Ponta do Tubarão e os limites estabelecidos pelo CONAMA e pela USEPA estão expostos na Tabela 3. Observa-se que os valores de todos os metais pesados estão abaixo do estabelecidos pelo CONAMA e pela USEPA.

Tabela 3. Valores das concentrações médias dos metais pesados no sedimento do estuário Ponta do Tubarão e valores limites para o CONAMA e a USEPA.

| Metais pesados | Presente estudo | CONAMA <sup>1</sup> | USEPA <sup>2</sup> |
|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| Zn             | 3,39            | 150                 | 90-200             |
| Cu             | 1,27            | 34                  | 25-50              |
| Ni             | 1,25            | 20,90               | 20-50              |
| Pb             | 3,76            | 46,70               | 40-60              |
| Cd             | 0,36            | 1,20                | ---                |
| Cr             | 0,38            | 81                  | 25-27              |

<sup>1</sup>Valores extraídos da Resolução 344/2004 do CONAMA para água salinas - salobras, de nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota.

<sup>2</sup>Valores limites de metais pesados no sedimento pela USEPA (91986) para classificação dos solos moderadamente poluídos.

## Metais pesados nos tecidos das algas

Houve uma tendência de diminuição nas concentrações da maioria dos metais pesados da região de maior influência marinha (E1), à parte mais ao interior do estuário (E6), nos tecidos da macroalga *H. musciformis* (Fig. 4). O Cd apresentou a menor variação (2,40 mg/kg.dw na E1 e 1,00 mg/kg na E3) comparada à dos outros metais e média de  $1,74 \pm 0,51$  mg/kg.dw. O Cu foi o metal pesado com a maior variação (5,00 mg/kg.dw na E3 e E6 e 34,00 mg/kg.dw na E1) e maior concentração ( $15,06 \pm 13,38$  mg/kg.dw). O Pb foi o segundo elemento com maior concentração nos tecidos da macroalga *H. musciformis*, com média de  $14,20 \pm 4,27$  mg/kg.dw. O maior valor (19,00) foi identificado na E1 e o menor (9,00) na E6, exibindo assim uma diminuição gradativa da área estritamente marinha à região mais ao interior do estuário. O Cr apresentou a maior concentração na E2 (13,40 mg/kg.dw) e menor na E6 (8,00 mg/kg.dw), com média de  $11,16 \pm 2,21$  mg/kg.dw. O Ni exibiu a menor variação ao longo do estuário, com média de  $9,79 \pm 0,45$  mg/kg.dw. O maior valor (10,50 mg/kg.dw) foi encontrado na E6 e o menor (9,00 mg/kg.dw) na E1 e E2. Assim como o Cr, o Zn apresentou o máximo na E2 (24,10 mg/kg.dw) e o mínimo na E6 (7,80 mg/kg.dw), com média de  $14,13 \pm 6,56$  mg/kg.dw. Diferenças significativas para todos os metais foram verificadas ao longo do estuário (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

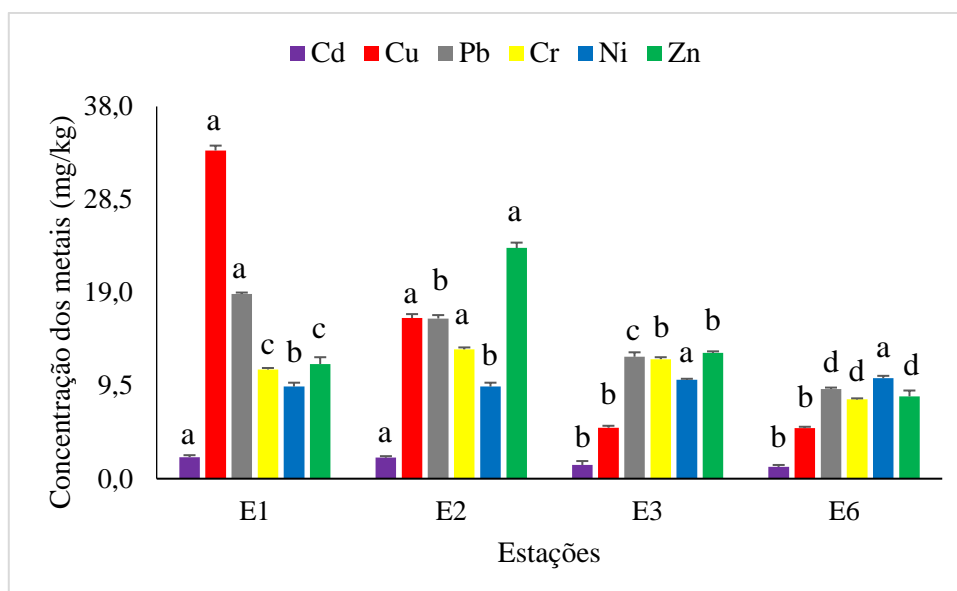


Figura 4. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no tecido da macroalga *Hypnea musciformis* entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

Assim como em *H. musciformis*, houve um padrão geral de decréscimo nas concentrações dos metais no tecido da macroalga *Gr. tenuifrons* da E1 para a E6 (Fig. 5). O Cd permaneceu relativamente estável entre as estações, com média de  $1,25 \pm 0,09$  mg/kg. O Cu foi o segundo elemento mais abundante no tecido algal de *Gr. tenuifrons*, com média de  $5,85 \pm 3,54$  mg/kg. O maior valor desse elemento foi identificado na E1 (9,40 mg/kg) e o menor na E6 (2,00 mg/kg). O Pb, com média de  $3,80 \pm 2,95$  mg/kg, apresentou uma variação de 7,20 mg/kg na E1 e 1,00 na E3. O Cr exibiu uma tendência de diminuição da E1 (4,30 mg/kg) para a E6 (1,00 mg/kg), com média de  $2,80 \pm 1,52$  mg/kg. Com o padrão inverso ao do Cr, o Ni apresentou o maior valor na E6 (5,80 mg/kg) e o menor na E1 (2,00 mg/kg). A média desse metal foi  $4,32 \pm 1,71$  mg/kg. Por fim, o Zn variou consideravelmente pouco entre as estações, com média de  $10,12 \pm 0,55$  mg/kg e máximo de 11,00 mg/kg na E2 e mínimo de 9,50 mg/kg na E1. Foram constatadas diferenças significativas para todos os metais entre as estações (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

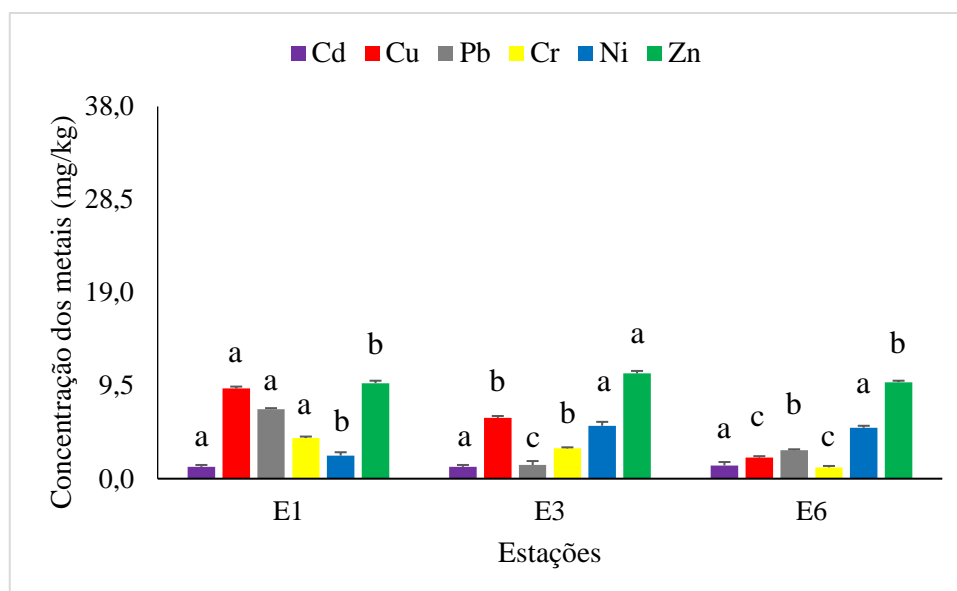


Figura 5. Variação dos valores médios  $\pm$  desvio padrão das concentrações dos metais pesados Cd (cádmio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Cr (cromo) Ni (níquel) e Zn (zinco) no tecido algal de *Gracilariopsis tenuifrons* entre as estações. Diferentes letras indicam diferenças significativas.

#### Análise de correlação

Os dados obtidos para a concentração de metais das macroalgas, mostraram que existe relação entre os níveis de metais nas espécies e os compartimentos abióticos água e sedimento, como mostrado pelos testes de correlação de Spearman ( $p < 0,05$ ). Correlações positivas foram registradas entre *Gr tenuifrons* e a concentração de Pb ( $r=0,93$ ), Cu ( $r=0,71$ ) e Cr ( $0,78$ ) na água. *H. musciformis* apresentou correlação com Pb ( $r=0,59$ ), Cu ( $r=0,86$ ) e Cd ( $r=0,81$ ) também na água. No sedimento, as duas espécies apresentaram correlação positiva com o Cu (*H. musciformis*,  $r=0,70$ ; *Gr tenuifrons*,  $r=0,67$ ). Uma Correlação negativa também foi encontrada entre *Gr tenuifrons* e o Ni na água ( $r = -0,81$ ) e sedimento ( $r = -0,83$ ). Correlações entre os metais também foram registradas. A concentração do cádmio na água mostrou uma correlação positiva com o Cu ( $r=0,64$ ), Pb ( $r=0,75$ ), Cr ( $r=0,55$ ) e com o Zn ( $r=0,49$ ); o cobre correlacionou com o Pb ( $r=0,61$ ), Cr ( $r=0,93$ ), Ni ( $r=0,55$ ) e o Zn ( $r=0,89$ ); o chumbo com o Cr ( $r=0,49$ ), Ni ( $r=0,63$ ), Zn ( $r=0,50$ ); o cromo com o Ni ( $r=0,55$ ) e Zn ( $r=0,92$ ); o zinco mostrou correlação com todos os metais analisados; Cd ( $r=0,49$ ), Cu ( $r=89$ ), Pb ( $r=0,50$ ), Cr ( $r=0,92$ ) e o Ni ( $r=0,57$ ). Os resultados dessas correlações indicam que existe uma origem comum como fonte desses metais.

## Discussão

A concentração de metais na água foi comparada com diretrizes de padrão de qualidade da água, internacional (USEPA) e nacional (CONAMA). As concentrações da maioria dos metais na coluna de água apresentaram valores superiores aos apontados pelo CONAMA (Classe 1), com exceção das concentrações de cádmio e cobre, no presente estudo, foram mais baixas do que as especificadas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Além disso, os valores de cromo (0,08 mg/L) foram muito próximos aos valores recomendados pelo CONAMA e pela USEPA (0,05 mg/L). Contudo, de acordo com a classificação desses órgãos ambientais (Classe 1), os valores de chumbo, níquel e zinco evidenciam uma leve contaminação das águas superficiais por esses metais. Vale salientar, no entanto, que as concentrações dos metais obtidas neste estudo quando comparados com outros estudos indicam valores mais baixos do que os níveis reportados para locais não poluídos ou com moderado e alto impacto antropogênico (Lawson, 2011; Lacerda et al. 2013; Chkraborty & Owens, 2014).

A distribuição espacial da concentração de metais é um instrumento útil para avaliar as possíveis fontes de metais e para identificar área “hotspot” com alta concentração de metal (Chakraborty and Owens 2014). Considerando a distribuição espacial dos metais no estuário Ponta do Tubarão, observa-se uma tendência de diminuição de todos os elementos em direção à porção mais interior do estuário. Assim, ficou caracterizado que a E1 deteve a maior média para todos os metais analisados. Esta estação encontra-se localizada na área rasa da plataforma continental e é adjacente à maior bacia de exploração de petróleo da costa nordeste do Brasil. Um estudo de monitoramento realizado por Lacerda et al. (2013), na área de exploração de petróleo na Bacia Potiguar, determinou concentrações bem similares às encontradas neste estudo para essa estação (E1). De acordo com esses autores (Lacerda et al. 2013), as concentrações dos metais encontravam-se dentro da variação esperada de concentrações para águas costeiras não contaminadas e abaixo do limite legal brasileiro para concentrações de metal na água do mar.

Enquanto a concentração dos metais na água tende a ser transitória e sujeita às correntes que rapidamente dispersam e diluem a concentração dos metais, a análise do sedimento fornece indicação mais fidedigna da exposição do contaminante no ambiente (Chakraborty and Owens 2014). De acordo com os resultados obtidos, as concentrações de metais registradas no sedimento, foram bem abaixo dos valores limites de referência



do CONAMA e da USEPA (Tabela 3). Além disso, as concentrações obtidas no presente estudo, quando comparadas com a literatura, eram significativamente mais baixas do que os níveis registrados em diferentes áreas do mundo (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração média (mg/kg) de metais pesados registrados no sedimento do estuário Ponta do Tubarão comparada a estudos realizados no Brasil e em outras partes do mundo.

| Sedimento                                | Cd    | Cu     | Pb     | Cr     | Ni    | Zn     |
|--|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Reitermajer et al. (2011) - Brasil       | ---   | 11,54  | 8,77   | 13,36  | ---   | 1,14   |
| Li et al. (2012) - China                 | 26,81 | 74,11  | 123,98 | ---    | 43,47 | 689,39 |
| Stephen-Pichaimani et al. (2008) - Índia | 0,16  | 57     | 16     | ---    | 24    | 73     |
| Giusti (2001) - Inglaterra               | ---   | 12     | 20     | 15     | 23    | 11,3   |
| Gomes et al. (2009) - Brasil             | 3,22  | 31,9   | 40     | ---    | 22,3  | 567    |
| Alba et al. (2011) - Espanha             | 0,3   | 17     | 24     | ---    | 65    | 73     |
| Olivares-Rieumont et al. (2005) - Cuba   | 4,30  | 420,8  | 189,0  | 23,40  | ---   | 708,8  |
| Veinott et al. (2003) - Canadá           | ---   | 14     | 31     | ---    | 37    | 67     |
| Liu et al. (2009) - China                | 0,37  | 178,61 | 38,29  | 152,73 | ---   | 25,66  |
| Presente estudo - Brasil                 | 0,36  | 1,27   | 3,76   | 0,38   | 1,25  | 3,39   |

Em geral, a concentração de metais no sedimento é resultado da taxa de sedimentação das partículas, conteúdo de matéria orgânica e do tamanho das partículas (Phillips and Rainbow 1994). No presente estudo, diferenças significativas foram observadas para todos os metais ao longo do estuário. A maior concentração de metais foi registrada na E4, que se encontra localizada em área urbana. Nessa estação, as concentrações apresentaram a seguinte ordem decrescente de abundância: Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Cr (Fig. 3). Esta área é caracterizada por apresentar sedimentos finos e apresenta condição hidrodinâmica de baixa energia. Além disso, é local de despejo de águas usadas, resíduos de processamento de pescado e é também área de ancoradouro de barcos de pesca. Assim, estes resultados sugerem que a distribuição de Zn, Pb e Cu tende a ser em grande parte afetada por atividades antrópicas. Machado et al. (2002) investigaram a retenção de metais pesados na Baía de Guanabara e identificaram que as maiores concentrações desses metais se encontravam perto das zonas urbanas e zonas industriais.

As principais fontes de chumbo para os ecossistemas aquáticos estão associadas a efluentes industriais e águas residuais. O chumbo é aplicado em diversos processos industriais, como, por exemplo, na fabricação de catalisadores, tintas anti-incrustantes e inibidores da corrosão do aço e agentes biocidas. O chumbo pode também ser encontrado

igualmente no petróleo e seus subprodutos. Por outro lado, as tintas anti-fouling possuem quantidades significativas de óxidos de cobre em sua composição (Valkirs et al. 2003). Considerando que a E4 é local de ancoradouro de barcos, o aporte significativo de chumbo e cobre nessa estação pode ser proveniente das tintas anti-incrustantes utilizadas na pintura das embarcações e do derrame acidental de combustível no momento do abastecimento. Assim como o chumbo e cobre, o zinco foi também encontrado em altas concentrações. Essa presença marcante pode estar associada à grande quantidade de lama (partículas finas) na E4 que aprisiona esse metal. Efluentes domésticos podem ser fontes de chumbo e zinco para as águas receptoras (Novotny 1995).

O cobre, chumbo e zinco foram os metais dominantes nas duas macroalgas estudadas (Fig. 4 e Fig. 5). A espécie *H. musciformis* acumulou uma concentração significativamente maior desses elementos do que *Gr. tenuifrons*, sugerindo diferente capacidade de acumulação entre espécies. Além disso, os metais cádmio, cromo e níquel também estiveram presentes em maiores concentrações em *H. musciformis*. Esta diferença pode estar associada a fatores fisiológicos intrínsecos a cada espécie. De acordo com a literatura (Lobann and Harrison, 1997; Millward and Turner 2001), fatores fisiológicos tais como, resposta fotossintética, taxa de crescimento, tipo de polissacarídeo e absorção de nutrientes afeta a absorção dos diferentes metais.

Os metais são absorvidos passiva e ativamente pelas algas. Alguns metais, como, por exemplo, o chumbo, pode ser adsorvido passivamente pelos polissacarídeos nas paredes e matriz intercelular, enquanto outros metais (Zn, Cd) podem ser absorvidos ativamente. Com efeito, algumas espécies podem produzir compostos extracelulares que facilitam a ligação com certos metais. Estudos realizados com carragenófitas têm mostrado uma efetiva ligação de metais pesados, tais como o chumbo e cádmio, através de um mecanismo de trocas (Lobban and Harrison 1997). Nesse sentido, os diferentes resultados têm demonstrado que a capacidade de ligação do metal está relacionada com a quantidade de grupamento sulfato da carragenana (Estevez et al. 2002). Considerando que espécies de *Hypnea* são produtoras de carragenana, que são polissacarídeos altamente sulfatados e *Gracilariopsis* produtoras de ágar, isto talvez explique a maior concentração de metais em *H. musciformis* em relação à *Gr. tenuifrons* nesse estudo.

Variações interespecíficas na acumulação de metais têm sido atribuídas também às diferenças morfológicas. Nesse estudo, as duas espécies possuem morfologias distintas. *H. musciformis* apresenta muitas ramificações de aspecto delicado, enquanto *Gr. tenuifrons* apresenta morfologia cilíndrica e alongada. Stengel et al. (2004) mostraram que algas filamentosas ramificadas concentram mais zinco em seus tecidos. Esses

resultados corroboram com as observações do presente estudo, os quais mostram que *H. musciformis* contém níveis significativamente mais altos de zinco, quando comparada com *Gr. tenuifrons*.

Estudos das implicações ecológicas sobre a absorção de metais têm mostrado que a variação dos metais pesados nas espécies de diferentes localidades, pode estar relacionada não somente, a concentração de metais no meio, mas também a fatores tais como, variação das marés, nutrientes, idade da planta e estrutura geológica do local de estudo (Abdallah and Abdallah, 2008). No presente estudo, as maiores concentrações de chumbo, cobre e zinco, foram observadas na E1 e E2 (Fig. 4 e 5), as quais são mais expostas ao movimento da água, ondas e ventos. O efeito sinérgico desses fatores causa maior agitação e mistura da água, o que pode ter facilitado a maior absorção dos metais pelas algas. Ao contrário, as estações situadas na porção mais interior do estuário apresentaram os valores mais baixos de metais. Essas estações estão mais abrigadas dos fatores hidrodinâmicos e são consideradas áreas de baixa energia. A exposição das algas aos fatores dinâmicos, ventos e movimento da água, são as possíveis razões dadas por Dadolahi-Sohrab et al. (2011), para explicar a maior concentração de chumbo, cobre e cádmio em espécies dos grupos Chlorophyta, Ochrophyta e Rhodophyta.

Por outro lado a concentração de metais na água nessas duas estações, certamente reflete os níveis de metais nos tecidos algais e sugerem que as principais fontes desses metais se encontravam mais biodisponíveis nessas estações. A relação entre concentração e metais na água e macroalgas também ficou evidenciada pelas correlações positivas encontradas entre esses metais e os tecidos algais.

## **Conclusão**

A análise da distribuição de metais na água do estuário Ponta do Tubarão, mostrou que embora a concentração de alguns metais se encontrasse em níveis mais altos do que os valores apontados pelo CONAMA (Classe 1), eles estiveram bem abaixo dos níveis reportados para locais não poluídos e com moderado e alto impacto antropogênico. A estação que apresentou as maiores concentrações de metais pesados na água (E1) está situada na área rasa da plataforma continental e adjacente a área de exploração de petróleo. As menores concentrações dos metais foram registradas na porção mais interior do estuário.

Em relação ao sedimento observa-se que, os valores de concentração de metais obtidos nesse estudo eram inferiores aos níveis de referência do CONAMA e USEPA. Os maiores valores de metais pesados foram registrados na E4, que está localizada em área urbana.

Nessa estação, as concentrações apresentaram a seguinte ordem decrescente de abundância: Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Cr. A E4 é caracterizada por apresentar sedimentos finos e hidrodinâmica de baixa energia. Além disso, é local de descarga de águas residuais, rejeitos de processamento de pescado e é também local de ancoradouro de barcos de pesca. Os resultados indicam que a distribuição de Zn, Pb e Cu tende a ser em grande parte afetada por atividades antropogênicas realizadas nessa área.

As mudanças nos níveis dos diferentes metais seguiram um modelo de distribuição espacial bastante similar nas duas macroalgas estudadas (*H. musciformis* e *Gr. tenuifrons*). Este modelo foi mais acentuado nos níveis de cobre, chumbo e zinco, nas estações mais próximas do mar. Estas observações sugerem que fatores dinâmicos, como por exemplo, movimento da água, ondas e marés, desempenham papel importante na absorção dos metais.

As duas espécies mostraram ter capacidade para acumular metais, várias vezes maior em ordem de grandeza, do que os compartimentos abióticos, água e sedimento. Considerando que as macroalgas estão na base da cadeia alimentar e que servem de alimento para diversos animais como invertebrados e peixes herbívoros, esses metais potencialmente tóxicos podem eventualmente ser transferidos para os níveis mais altos da cadeia trófica, incluindo o homem.

A comparação entre as duas espécies para o acúmulo de metais, mostra que *H. musciformis* concentra mais metais do que *Gr. tenuifrons* para todos os metais. Entretanto, a habilidade das duas espécies em acumular metais pesados em seus tecidos, faz com que esses organismos sejam considerados bons bioindicadores e biomonitores para o estuário Ponta do Tubarão.

## Referências

Abdallah, M., & Abdallah, M. (2008). Biomonitoring study of heavy metals in biota and sediments in the South Eastern coast of Mediterranean Sea. *Environment and Monitoring Assessment* 146(1-3): 139-145.

Abdel-Ghani, N. T., & Elchaghaby, G. A. (2007). Influence of operating conditions on the removal of Cu, Zn, Cd and Pb ions from wastewater by adsorption. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(4), 451–456.

Alba, M. D., Galindo-Riaño, M. D., Casanueva-Marenco, M. J., García-Vargas, M., & Kosore, C. M. (2011). Assessment of the metal pollution, potential toxicity and speciation of sediment from Algeciras Bay (South of Spain) using chemometric tools. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1), 177–187.

Chakraborty, S., & Owens, G. (2014). Metal distributions in seawater, sediment and marine benthic macroalgae from the South Australian coastline. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 1259–1270.

Dadolahi-Sohrab, A., Nabavi, A. N. S. M. B., Safahyeh, A., & Ketal-Mohseni, M. (2011). Environmental monitoring of heavy metals in seaweed and associated sediment from the Strait of Hormuz, IR Iran. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 3(6), 576–589.

Dias, T. L. P., Rosa, R. S., & Damasceno, L. C. P. (2007). Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). *Gaia Scientia*, 1, 25–35.

EMBRAPA SOLOS (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS. 212p.

Estevez, J. M., Ciancia, M., & Cerezo, A. S. (2002). Carrageenans biosynthesized by carposporophytes of red seaweeds *Gigartina skottsbergii* (Gigartinaceae) and *Gymnogongrus torulosus* (Phylloporaceae). *Journal of Phycology*, 38(2), 344–350.

Giusti, L. (2001). Heavy metal contamination of brown seaweed and sediments from the UK coastline between the Wear river and the Tees river. *Environment International*, 26(4), 275–286.

Gomes, F. C., Godoy, J. M., Godoy, M. L. D. P., Carvalho, Z. L., Lopes, R. T., Sanchez-Cabeza, J. A., Lacerda, L. D., & Wasserman, J. C. (2009). Metal concentrations, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: a comparative study. *Marine Pollution Bulletin*, 59(4), 123–133.

Gosavi, K., Sammut, J., Gifford, S., & Jankowski, J. (2004). Macroalgal biomonitors of trace metal contamination in acid sulfate soil aquaculture ponds. *Science of the Total Environment*, 324(1), 25–39.

Karez, C. S., Magalhaes, V. F., Pfeiffer, W. C., & Amado Filho, G. M. (1994). Trace metal accumulation by algae in Sepetiba Bay, Brazil. *Environmental Pollution*, 83(3), 351–356.

Kelderman, P., Drossaert, W. M. E., Min, Z., Galione, L. S., Okonkwo, L. C., & Clarisse, I. A. (2000). Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands). *Water Research*, 34(3), 936–944.

Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686–692.

Lacerda, L. D., Campos, R. C., & Santelli, R. E. (2013). Metals in water, sediments, and biota of an offshore oil exploration area in the Potiguar Basin, Northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(5), 4427–4447.

Laws, E. A. (2000). *Aquatic pollution: an introductory text*. New York, NY: John Wiley & Sons.

Lawson, E.O. (2011). Physico-Chemical Parameters and Heavy Metal Contents of Water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Advances in Biological Research* 5 (1), 08-21.

Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo, G., Chen, X., Yang, X., Gao, B., & He, X. (2012). Integrated assessment of heavy metal contamination in sediments from a coastal industrial basin, NE China. *PloS one*, 7(6), e39690.

Liu, J., Li, Y., Zhang, B., Cao, J., Cao, Z., & Domagalski, J. (2009). Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water. *Ecotoxicology*, 18(6), 748–758.

Lobban, C., & Harrison, P. (1997). *Seaweed ecology and physiology*. New York, NY: Cambridge University Press.

Machado, W., Silva-Filho, E. V., Oliveira, R. R., & Lacerda, L. D. (2002). Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 44(11), 1277–1280.

Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In W. Salomons, Förstner U., Mader, P. (eds). *Heavy Metals: problems and solutions* (pp. 33–52). Verlag, Springer.

Olivares-Rieumont, S., De la Rosa, D., Lima, L., Graham, D. W., Katia, D., Borroto, J., Martínez, F., & Sánchez, J. (2005). Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments—Havana City, Cuba. *Water Research*, 39(16), 3945–3953.

Okuku, E.O., Peter, H.K. (2012). Choose of heavy metals pollution biomonitoras: a critic f the methods that uses sediments total metals concentrations as the benchmark. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), 313-322.

Phillips, D. J. H., & Rainbow, P. S. (1994). *Biomonitoring of trace aquatic contaminants*, 2nd edn. London: Chapman and Hall.

Rainbow, P. S. (2006). Biomonitoring of trace metals in estuarine and marine environments. *Australian Journal of Ecotoxicology*, 12, 107–122.

Ramos e Silva, C.A.; Silva, A.P.; Oliveira, S.R. (2006). Concentracion, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry*, Elsevier, 99(1), 2-11.

Reitermajer, D., Celino, J. J., & Queiroz, A. D. S. (2011). Heavy metal distribution in the sediment profiles of the Sauípe River Estuary, north seashore of the Bahia State, Brazil. *Microchemical Journal*, 99(2), 400–405.

Stengel, D. B., Macken, A., Morrison, L., & Morley, N. (2004). Zinc concentrations in marine macroalgae and a lichen from western Ireland in relation to phylogenetic grouping, habitat and morphology. *Marine pollution bulletin*, 48(9), 902–909.

Stephen-Pichaimani, V., Jonathan, M. P., Srinivasalu, S., Rajeshwara-Rao, N., & Mohan, S. P. (2008). Enrichment of trace metals in surface sediments from the northern part of Point Calimere, SE coast of India. *Environmental Geology*, 55(8), 1811–1819.

USEPA, National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water, EPA 822-z-99-001, 2006.

Valkirs, A. O., Seligman, P. F., Haslbeck, E., & Caso, J. S. (2003). Measurement of copper release rates from antifouling paint under laboratory and in situ conditions: implications for loading estimation to marine water bodies. *Marine Pollution Bulletin*, 46(6), 763–779.

Veinott, G., Sylvester, P., Hamoutene, D., Anderson, M. R., Meade, J., & Payne, J. (2003). State of the marine environment at Little Bay Arm, Newfoundland and Labrador, Canada, 10 years after a “do nothing” response to a mine tailings spill. *Journal of Environmental Monitoring*, 5(4), 626–634.

Yi, Y., Yang, Z., & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10), 2575–2585.



## CAPÍTULO 3

### PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS EXTRATIVISTAS EM RESERVA AMBIENTAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Klégea Maria Câncio Ramos Cantinho<sup>a</sup>; Eliane Marinho-Soriano<sup>a</sup>

ESTE ARTIGO FOI PUBLICADO NO PERIÓDICO REVISTA EDUCAÇÃO AMBIENTAL E AÇÃO, PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DESTA REVISTA ([HTTP://WWW.REVISTAEA.ORG/](http://www.revistaea.org/))

<sup>a</sup> Department of Oceanography and Limnology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil. E-mail: [klegea@gmail.com](mailto:klegea@gmail.com) – Tel.: (84)3342-4950.

#### RESUMO

A preocupação com a conservação dos ambientes naturais levou a criação das unidades de conservação, seja de uso direto ou de uso indireto. A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, aloja comunidades que desenvolvem como atividades principais a pesca e a coleta de mariscos. A criação da reserva diferencia-se das demais por ter sido uma iniciativa da própria comunidade. A percepção ambiental destes atores extrativistas foi estudada buscando mensurar o entendimento ambiental da população através da aplicação de questionários semiestruturados. Após o levantamento dos dados, os entrevistados, em sua maioria, mostraram-se conscientes dos problemas ambientais locais e tiveram o sentimento de pertencimento ao local, porém o engajamento e a participação da comunidade não são mais efetivos como no início da criação da reserva.

Palavras-chave: Unidade de conservação. Educação ambiental. População ribeirinha.

#### 1. INTRODUÇÃO

A excessiva exploração dos recursos naturais tem suscitado debates sobre questões relacionadas à conservação da biodiversidade. Assim, a criação de áreas protegidas surgiu como uma estratégia para conservar os recursos naturais, reduzir as atividades antrópicas e proteger habitats e espécies ameaçadas. A proposta inicial de criação de unidades de conservação (UCs), surgida nos Estados Unidos, tinha como ideia primordial a preservação dos ecossistemas sem as alterações causadas por interferência humana. Este modelo sugeria que o estabelecimento do homem nessas unidades de conservação ocasionava impactos negativos ao meio ambiente. Para os preservacionistas americanos, todos os grupos sociais eram iguais e a natureza deveria ser mantida intocada das ações negativas da humanidade (DIEGUES, 1993). A aplicação desse modelo contribuiu consideravelmente para o aumento dos conflitos entre populações nativas extrativistas e defensores preservacionistas

As UCs são estratégicas para a conservação da biodiversidade. Entretanto, para que estas áreas desempenhem o seu papel para o qual foram criadas, é preciso um esforço conjunto, que vai além de sua criação. Para isso, é necessário o estabelecimento de novos valores, conceitos e formas de relação dos diferentes setores da sociedade com o meio ambiente (DICK, DANIELI e ZANINI, 2012). As

unidades de conservação de uso sustentável têm como principal papel compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais.

No Brasil, a lei versa que a criação de uma UC deva ser baseada na pesquisa científica visando a proteção à vida selvagem, às espécies e a diversidade genética; a manutenção dos serviços ambientais; a proteção de aspectos naturais e culturais específicos; a recreação, turismo e ao uso sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2000). Dentre as UCs, a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) pode abrigar populações tradicionais, buscando o extrativismo sustentável dos recursos naturais e melhoria na qualidade de vida regional, respeitando e aperfeiçoando o conhecimento local (BRASIL, 2000). Atualmente existem 22 RDS e 21 reservas extrativistas marinhas federais (MMA, 2009). Ao contrário das Reservas Extrativistas que são áreas utilizadas por populações tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo, as RDS devem se restringir as atividades tradicionalmente desenvolvidas pela comunidade, que sejam adequadas por um plano emergencial de uso sustentável dos recursos e que sejam baseados na sustentabilidade ambiental, aumento da produtividade, agregação de valor dos recursos, e prestação de serviços (VIANA, 2007).

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual da Ponta do Tubarão (RDSEPT) situada no litoral do Rio Grande do Norte foi criada em 2003, após forte mobilização da comunidade local para proteção da área estuarina e seu entorno e do seu modo de vida tradicional. Fazem parte da Reserva diversos ecossistemas, incluindo área marinha, estuário, restinga, dunas e manguezais (SANTOS, 2008). Os habitantes dessa reserva vivem essencialmente da pesca artesanal e da coleta de mariscos. A captura de pescado é realizada no mar e na área estuarina, enquanto a coleta de mariscos e caranguejos se restringe aos manguezais em dias de maré baixa.

Estudos relacionados à gestão dos recursos naturais destacam a importância de compreender e incorporar as percepções locais em iniciativas de conservação (DIEGUES, 2001). Por outro lado, os estudos sobre percepção dos recursos ambientais determinam não somente como o recurso é utilizado, mas também o seu valor relativo para a comunidade. O presente estudo tem como objetivo analisar a percepção ambiental dos pescadores e catadores de mariscos da RDSEPT de modo a subsidiar a gestão da reserva.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Rio Grande do Norte possui nove unidades de conservação estaduais e a única Reserva de Desenvolvimento Sustentável é a Ponta do Tubarão – RDSEPT (IDEMA, 2008). A unidade de conservação encontra-se na região setentrional do estado com uma área total de 12.960 ha (5°2'S e 5°16'S – 36°23'W e 36°32'W), incluindo a parte marinha que se estende por duas milhas da linha da costa (Figura1). A diversidade paisagística na reserva é caracterizada pela presença de manguezais, restingas, dunas e tabuleiros (SOARES, 2011).

A reserva foi criada pela lei estadual nº 8.349/2003, por iniciativa da comunidade local, sendo a primeira reserva de desenvolvimento sustentável do estado do Rio Grande do Norte e a segunda do país (COSTA, 2010). A mobilização da população foi devido a expansão do turismo imobiliário, instalações de cadeias hoteleiras, o avanço da carcinicultura e a exploração petrolífera. Esses foram fatores determinantes para que a população de forma organizada reivindicasse a criação da reserva (MAMERI, 2011).

A RDSEPT é composta por comunidades tradicionais dos municípios de Macau (Barreiras, Diogo Lopes, Sertãozinho, Chico Martins, Cacimba Baixa, Baixa do Grito, Varjota, Canto de Imburana e Pau Feito) e de Guamaré (Mangue seco I, Mangue Seco II e Lagoa Doce). As comunidades de Barreiras, Diogo Lopes e Sertãozinho, correspondem a 90% do total da reserva. A pesca, nas duas primeiras comunidades, é a principal atividade econômica, anualmente são pescados 260 toneladas de sardinha e 370 toneladas de peixe voador. Além da pesca, a coleta de mariscos nos manguezais é a segunda atividade que apresenta importância na renda familiar, essas não competem entre si, mas se complementam por não haver disputa de ambientes para o extrativismo destes organismos (IDEMA, 2008).

## 2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada mediante entrevistas, utilizando questionários semiestruturados na zona litorânea da RDSEPT, abrangendo as comunidades de Barreiras, Sertãozinho e Diogo Lopes. As questões abordavam aspectos socioeconômicos e ambiental, além de percepção e entendimento da população em relação a RDSEPT. Um total de 72 questionários foi aplicado junto aos integrantes da Associação dos Pescadores da Ponta do Tubarão Z-41. O cálculo do número amostral foi baseado na proporção populacional de pescadores e marisqueiras, com o erro amostral de 0,1%, seguindo a seguinte fórmula (LEVIN, 1987).

$$n = \frac{N \cdot \hat{p} \cdot \hat{q} \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{\hat{p} \cdot \hat{q} \cdot (Z_{\alpha/2})^2 + (N - 1) \cdot E^2}$$

Na qual:

n = amostra calculada

N = população

$Z_{\alpha/2}$  = variável crítica que corresponde ao grau de confiança desejado

p = proporção populacional de indivíduos que pertence à categoria

q = proporção populacional de indivíduos que não pertence à categoria

E = erro amostral

O tratamento dos dados se deu a partir da interpretação dos questionários, buscando analisar e caracterizar a percepção através da familiaridade com o tema meio ambiente e a concepção de degradação do meio (WHYTE, 1978; BARDIN, 2009).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicados 72 questionários, a maioria dos entrevistados eram da comunidade de Diogo Lopes (70,83%), seguidos pela comunidade de Barreiras (22,22%) e Sertãozinho (6,94%). A faixa etária dos entrevistados variou dos 21 aos 60 anos (n=72). Desse total, 55% pertenciam ao sexo masculino e 44% ao sexo feminino. Em relação ao grau de escolaridade, 71% dos entrevistados disseram que

possuíam ensino fundamental incompleto, 9,7% possui ensino fundamental completo, 6,9% responderam não ter estudado. Apenas 2,7% afirmaram ter ensino superior completo (Tabela 1)

Tabela 1. Perfil dos entrevistados em percentual e números absolutos. Macau, RN (2012)

| Característica               | %     | N     |
|------------------------------|-------|-------|
| <i>Localidade</i>            |       |       |
| Barreiras                    | 22,22 | 16    |
| Diogo Lopes                  | 70,83 | 51    |
| Sertãozinho                  | 6,94  | 5     |
| <i>Idade</i>                 |       |       |
| 21-30                        | 6,94  | 5     |
| 31-40                        | 26,39 | 19    |
| 41-50                        | 43,06 | 31    |
| 51-60                        | 23,61 | 17    |
| <i>Gênero</i>                |       |       |
| Masculino                    | 55,56 | 40    |
| Feminino                     | 44,44 | 32    |
| <i>Estado Civil</i>          |       |       |
| Solteiro                     | 2,72  | 2     |
| Casado                       | 97,22 | 70    |
| <i>Escolaridade</i>          |       |       |
| Analfabetos                  | 6,94  | 5     |
| Ens. Fund. Incompleto        | 70,83 | 51    |
| Ens. Fund. Completo          | 9,72  | 7     |
| Ens. Médio Incompleto        | 4,17  | 3     |
| Ens. Médio Completo          | 5,56  | 4     |
| Ens. Superior Incompleto     | 0,00  | 0     |
| Ens. Superior Completo       | 2,78  | 2     |
| <i>Renda</i>                 |       |       |
| R\$456-R\$555                | 19,44 | 14    |
| R\$556-R\$655                | 29,17 | 21    |
| R\$656-R\$755                | 12,50 | 9     |
| R\$756-R\$855                | 19,44 | 14    |
| R\$856-R\$955                | 15,28 | 11    |
| R\$956-R\$1055               | 2,78  | 2     |
| R\$1156-R\$1255              | 1,39  | 1     |
| <i>Recebem Bolsa Família</i> |       |       |
| Sim                          | 47,22 | 34    |
| Não                          | 38,00 | 52,78 |
| <i>Nº de membros</i>         |       |       |
| 2 pessoas                    | 11,11 | 8     |
| 3 pessoas                    | 4,17  | 3     |
| 4 pessoas                    | 40,28 | 29    |
| 5 pessoas                    | 27,78 | 20    |
| 6 pessoas                    | 16,67 | 12    |

A maioria dos entrevistados era homens, casados, com a idade entre 41 e 50 anos, possuíam o ensino fundamental incompleto e renda mensal variando de

R\$556,00 a R\$665,00. Este grupo em geral tem quatro membros familiares sob sua responsabilidade e recebe auxílio do governo federal através do Programa Bolsa Família e em média dois membros contribuíam para a renda familiar. Esse foi um perfil bastante semelhante ao encontrado em outros trabalhos que tem como objeto de estudo comunidades ribeirinhas (CARVALHO et al., 2012; FIGUEIREDO e MAROTI, 2011; PACHECO e SILVA, 2009).

De acordo com os dados, foram entrevistados 39 homens pescadores e 11 mulheres pescadoras, enquanto que apenas um homem marisqueiro foi entrevistado e 21 mulheres marisqueiras. Portanto, os pescadores em sua maioria foram homens e os catadores de mariscos foram mulheres, geralmente o marido é o pescador e a esposa é marisqueira, inclusive foi observado que os filhos menores ajudam as mães a catar mariscos e os maiores os pais a pescar. Essa relação do gênero com o tipo de atividade extrativista estar enraizada culturalmente na região e é passada de geração em geração.

Nesta pesquisa, não foram encontrados catadores de caranguejo, isso pode ser explicado pelo fato da amostra ter sido aleatória e dependente do local de saída dos barcos.

Para o estudo da percepção ambiental a primeira pergunta foi para conceituarem, do ponto de vista individual, o que é o meio ambiente. A partir desse ponto de partida foi possível dividir as respostas em quatro categorias: (1) conhece o significado da palavra meio ambiente, mas não sabe expressar em palavras o conceito (23,61%); (2) o meio ambiente é sinônimo de preservação (22,22%); (3) o meio ambiente são todos os elementos do entorno, como a casa, os animais e as plantas (43,06%), e (4) o meio ambiente é o trabalho de forma sustentável (11,11%).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (306/2002), o meio ambiente é:

[...] o conjunto de condições, leis, influencia e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

O conceito meio ambiente é complexo para a definição da maioria, assim, todas as respostas se inter-relacionaram. Segundo Reigota (2002), quando o indivíduo reconhece que o meio ambiente são os elementos naturais pertencentes ao seu espaço, a definição intrínseca individual é considerada como sinônimo de natureza. Enquanto que aqueles que responderam que o meio ambiente eram as ações ambientais corretas, o conceito está ligado aos mecanismos que de preservação da natureza (HOEFFEL et al., 2008).

A compreensão do meio ambiente como uma rede complexa que envolve vários atuantes culturais, biológicos, físicos e sociais não fazia parte do entendimento dos entrevistados, concluindo que as várias maneiras de entender o meio ambiente podem gerar conflitos entre os diferentes grupos socioculturais (HANNIGAN, 2002; YEARLEY, 2002; HOEFFEL et al., 2008).

Mediante o segundo questionamento, indagou-se dos entrevistados, quais os elementos que fazem parte do meio ambiente. A maioria relatou que todos os elementos era a natureza (55,56%), apenas uma minoria acrescentou a si próprio na resposta (44,44%). O fato de poucos terem se elencado como elemento pertencente ao ambiente é devido ao modelo atual da civilização, pois é comum o homem se desvincular do meio ambiente, dificultando a sua percepção em relação às atitudes individuais ou coletivas, bem como as consequências para o meio e os demais seres vivos dele (PALMA, 2005).

A pesca e a coleta de mariscos são as atividades que têm papel principal na economia local e a inclusão do “eu” no meio ambiente, causaria o aumento na vontade em desenvolver a atividade de forma sustentável, buscando promover impactos mínimos ao ambiente.

O terceiro questionamento foi a respeito de como as informações sobre meio ambiente chegaram até eles. Todos responderam que obtiveram através de palestras, cursos, reuniões, aulas, etc. Com efeito, ao mesmo tempo em que alguns entrevistados não souberam conceituar “meio ambiente” ou elencar elementos pertencentes a este, existe o conhecimento ou familiarização sobre o tema ambiental na comunidade, pois todos os participantes da pesquisa, já ouviram palestras sobre o assunto ou participaram com afinco em debates sobre a RDSEPT.

Através do quarto questionamento feito aos entrevistados, procurou-se saber quais eram os problemas ambientais detectados na reserva. Sobre esse tema pode-se dividir os entrevistados em dois grupos: (1) o grupo que apontou os problemas ambientais e quem seria os agentes causadores (62,5%), (2) e o grupo que disse não perceber ou ver problemas ambientais (37,5%), coincidentemente, esses mesmos responderam, em questões anteriores, que não saberiam dizer, ou expressar em palavras o conceito de meio ambiente.

De acordo com Aretano (2013), as populações que vivem em comunidades são conscientes da paisagem e da dinâmica, porém não percebem as alterações feitas no seu meio. Os problemas ambientais apontados foram: esgoto (37,4%), lixo a céu aberto (52,5%), poluição do Rio Tubarão consequente do descarte das vísceras dos peixes pelos pescadores (10,1%). Reclamaram ainda do mau cheiro em algumas localidades no rio e apontaram como agentes causadores a comunidade.

Os entrevistados que apontaram os problemas ambientais, foram questionados sobre quem deveria solucionar os problemas. As respostas foram que a Prefeitura do Município de Macau deveria solucionar (26,39%), na mesma proporção, disseram que deve haver uma ação conjunta entre a população e a Prefeitura, outros falaram que a conscientização da população resolveria os problemas ambientais (9,72%) e em maior proporção não souberam apontar quem deveria resolver (37,5%).

Paradoxal foi o aspecto apontado pelos entrevistados, sobre a consciência da população como uma medida mitigadora ambiental, pois a iniciativa da criação da reserva partiu da comunidade, isto demonstra que a criação da reserva foi um mecanismo de defesa dos recursos naturais para seu sustento e não por uma consciência ambiental.

Observou-se que os entrevistados quiseram abordar a inércia das ações pessoais em busca de um melhor descarte ou destino ao resíduo doméstico e a falta de educação ao jogar-los nas vias públicas, o mesmo foi encontrado por outros autores (STUMP e KRIWOKEN, 2006; LELEU et al., 2012). Complementando assim a resposta do quesito seguinte, em que se abordava o entrevistado em relação a alguma ação diária para a proteção do meio ambiente.

Todos os entrevistados demonstraram insegurança na sua resposta, alguns afirmaram não fazer nenhuma ação que ajudaria na proteção do meio ambiente (34,72%), porquanto citou fazer limpeza diária (20,83%), não jogar o lixo na rua (33,33%) ou a conscientização de jovens (11,11%) como ações de proteção ao meio ambiente. Em comunidades locais em que é trabalhado a auto identidade da cultura local e a sua relação com o meio que o cerca, acarreta no comportamento catalisador de pertencimento ao local e o sentimento de ter a obrigação do cuidado desse ambiente (WHITMARSH e O’NEIL, 2010).

Na última pergunta, foram questionados se já participaram de alguma atividade de educação ambiental e todos responderam que sim através de palestras

e cursos, organizados pelo IDEMA, Petrobrás, Prefeitura de Macau ou pela Colônia de Pescadores Z-41; confirmando assim, respostas anteriores.

No decorrer da entrevista, os catadores de mariscos, comentaram sobre o uso das conchas após a retirada da carne. Os usos citados foram produção na ração para avestruzes, uso na construção civil como substituinte do seixo. A compra das conchas por pessoas de fora do Rio Grande do Norte, também foi citado, mas os entrevistados não quiseram entrar em maiores detalhes.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que a percepção ambiental influencia na tomada de decisões do indivíduo, deste em suas ações corriqueiras, até mesmo na forma de como é desenvolvida a sua atividade extrativista (OKAMOTO, 2003); os entrevistados, em geral, da RDSEPT demonstraram ter dificuldade em conceituar o meio ambiente e insegurança quanto aos problemas ambientais que os acometem.

No entanto, cabe acrescentar que foi possível verificar contradições quanto à sustentabilidade e a sua aplicabilidade, pois muitos afirmaram que a regulamentação incipiente por parte das autoridades competentes, compromete o objetivo da criação da unidade de conservação, acarretando no uso e na ocupação das áreas protegidas, fato este relatado também por Mameri (2011). A evolução urbana da comunidade e a dinâmica local, visivelmente, acontecem sem parâmetros. A tendência é que com o passar dos anos, os problemas ambientais, citados pelos entrevistados, se agravem.

Mameri (2011) comentou em seu estudo, que ações dos poderes públicos, como o asfaltamento de vias públicas próximas ao manguezal, a implantação de Usinas Eólicas e expansão de Refinarias Petrolíferas, acarretarão no aumento dos impactos ambientais negativos. Todos esses e outros problemas ambientais foram citados e evidenciados pelo Conselho Gestor da RDS.

Futuramente, estes impactos poderão prejudicar, de forma definitiva, na atividade de pesca e coleta de moluscos. Durante a entrevista, alguns pescadores queixaram-se na queda do número de peixes, e coletores de moluscos no tamanho e na quantidade dos mariscos. O problema maior dos moluscos é devido serem animais filtradores, ou seja, todos os poluentes possíveis encontrados nas águas do Rio Tubarão ficam retidos na carne deste animal, sendo assim, um potencial problema de saúde pública.

Os moradores da unidade de conservação demonstraram ter o sentimento de pertencimento e valorização dos recursos existentes na reserva, porém, observou-se um distanciamento quanto à conservação. Percebe-se a necessidade de esclarecimentos dos objetivos da criação da unidade de conservação, o porquê desta RDS ser uma reserva de uso direto e o que realmente pode e não pode ser feito na área (MATTOS, NOBRE e ALOUFA, 2011).

Afirma-se mais uma vez, que inicialmente, houve comoção pública e participativa na criação da RDS, mas o engajamento popular foi perdido com o tempo, pois não existe uma política local de envolvimento, fato este considerado pelos autores Mameri (2011); Santos (2008); Mattos, Nobre e Aloufa (2011).

Atualmente, quando se quer envolver uma população em prol de uma causa ambiental, traz-se para o conhecimento desta, os problemas ambientais presentes e suas consequências através de oficinas, palestras e várias formas de divulgação acreditando que apenas isto, trará comoção e mudança comportamental em busca da sustentabilidade (SIQUEIRA, 2008).

Uma vez que o processo é muito mais complexo, pois a população deve ser envolvida com debates contínuos acerca da temática ambiental, levando em consideração, os aspectos cognitivos e a percepção social, que juntamente com a

educação ambiental, poderá haver a substituição de velhos hábitos (SIQUEIRA, 2008; MARIN e LIMA, 2009).

O desenvolvimento de uma política pública, pelos poderes públicos, que foque a educação ambiental, poderá reacender o tema e a comunidade, manifestando-se, assim novamente, com domínio da situação ambiental atual pois a educação ambiental desenvolve a visão holística do educador e educando, reaprendendo e reconstruindo relações e valores socioambientais antigos (PALMA, 2005).

Em relação ao turismo, como não existem, na reserva ambiental, construções de resorts e cadeia hoteleiras, a demanda turística é de pesquisadores e estudiosos ambientais, predominando ações conservacionistas neste âmbito, pois o turismo é de base comunitária (SOARES, 2011).

Quanto à ocupação e uso do solo devido às atividades econômicas, a atividade de carcinicultura reutilizou áreas que foram desenvolvidas para a produção do sal, já a atividade petrolífera, localiza-se em áreas de tabuleiro, em torno das áreas salinas e de praias (SANTOS, 2008).

A população, apesar de ser representada no Conselho Gestor (Decreto de nº 18.516/2005), reclamou da ausência de uma gestão participativa. Este fato poderia diminuir possíveis conflitos entre a população, os órgãos regulamentadores ambientais e os gestores assim o desenvolvimento das atividades extrativistas obteria o manejo sustentável na unidade de conservação, previsto no CONAMA.

Aly (2011) comentou que a identidade individual é um aspecto fundamental para moldar a identidade da comunidade, o resgate cultural na RDSEPT melhora o engajamento dos pescadores e marisqueiras na busca da sustentabilidade das atividades extrativistas desenvolvida. Uma das possibilidades metodológicas para o (re)vivamento cultural nas comunidades, seria a documentação cultural local (GALUCIO, 2004).

Finaliza-se a análise perceptiva afirmando que os pescadores e marisqueiras da RDSEPT têm o sentimento de pertencimento ao local e de responsabilidade, em parte, da conservação da unidade; porém, o engajamento e a participação não são mais efetivos como em anos anteriores, devido à ausência de um planejamento ambiental participativo, que teria a educação ambiental e o resgate cultural, como agentes transformadores das comunidades e estas mudariam as futuras gerações.

## 5. REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALY, S. S. A. Modernization and regionalism: approaches for sustainable revival of local urban identity. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 21, p. 503-512. 2011.

ALLISON, E. H.; BADJECK, M. C. Livelihoods, local knowledge and the integration of economic development and conservation concerns in the Lower Tana River Basin. **Hydrobiologia**, v. 527, n. 1, p. 19-23, 2004.

ARETANO, R.; PETROSILLO, I.; ZACCARELLI, N.; SEMERARO, T.; ZURLINI, G. People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: a combination of subjective and objective assessments. **Landscape and Urban Planning**, Elsevier, v. 112, p. 63-73. 2013.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa, Portugal: Edições 70, LDA, 2009.



BARRETTO FILHO, H. T. **Notas para uma história social das áreas de proteção integral no Brasil.**In: RICARDO, F. (org.) Terras Indígenas e Unidades de Conservação. São Paulo: Instituto Sócioambiental. 2004, p.53-63.

BRASIL. Lei Federal de nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRITO, M. C. W. de. **Unidades de conservação: intenções e resultados.** In: Ciência Ambiental — Primeiros Mestrados. In: José Eli da Veiga(Org.). Programa de Pós-Graduação da USP. São Paulo. p: 209-228. 1998.

BRITO, M. C. W. de. Unidades de conservação: intenções e resultados. In: VEIGA, J. E. da (Org.).**Ciência Ambiental: primeiros mestrados.** São Paulo: Programa de Pós Graduação da USP, 2000. p. 209-228.

CARVALHO, E. K. M. A.; SILVA, M. M. P. da; CARVALHO, J. R. M. de. Percepção ambiental dos diferentes atores sociais de Vieirópolis, PB. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 13, n. 1. 2012.

CLAUZET, M. **Conhecimento local e atividades pesqueira na enseada do Mar Virado, Ubatuba, litoral Norte, SP, São Paulo.** 2003. 123f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2003.

COSTA, B. C. P. da. **Avaliação ambiental de manguezais adjacentes aos campos petrolíferos de Macau e Serra (RN), como subsídio às medidas mitigadoras ao processo erosivo.** 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

CHIERIGHINI, D.; BRIDI, R.; ROCHA, A. A. do; LAPA, K. R. Possibilidades do uso das conchas de moluscos. In: 3<sup>RD</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2011, São Paulo. **Resumos...**São Paulo: Universidade Paulista, 2011.

DICK, E.; DANIELI, M.A.; ZANINI, A.M. Gestão participative em unidades de conservação: uma experiência na Mata Atlântica. Rio Grande do Sul, SC; APREMAVI, 2012.

DIEGUES, A. C. – 1993. **Populações tradicionais em unidades de conservação: o mito moderno da natureza intocada.** Núcleo de pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas do Brasil. Série – Documentos e Relatórios de Pesquisa, nº 1, São Paulo.

DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada.** 3 ed., São Paulo: Editora Hucitec, 2001. 169p.

DREW, J. A. Use of traditional ecological knowledge in marine conservation. **Conservation biology**, v. 19, n. 4, p. 1286-1293, 2005.

FIGUEIREDO, A. V. A.; MAROTI, P. S. Bacia hidrográfica do Rio Sergipe – significado, identidade e escolha de usos a partir da percepção dos membros do comitê (Gestão 2008-2010). **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 22-41, 2011.

GALUCIO, A. V. Gravações e acervos a partir da pesquisa linguística e cultural como um passo para revitalização, fortalecimento e resgate cultural. In: MOREIRA, E.; BELAS, C. A.; BARROS, B.; PINHEIRO, A. **Propriedade intelectual e patrimônio cultural: proteção do conhecimento e das expressões culturais tradicionais**. Belém: CESUPA/MPEG, 2004. p. 109-116.

GASALLA, M. A. **Impactos da pesca industrial no ecossistema da plataforma continental interna do sudeste do Brasil: a abordagem ecossistêmica e a integração do conhecimento**. 2004. 276f. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

HANNIGAN, J. A. Cultural analysis and environmental theory: an agenda. In: DUNLAP, R. E. et al. (Org.). **Sociological theory and the environment**. New York: Rowman & Littlefield, 2002. p. 311-326.

HOEFFEL, J. L.; FADINI, A. A. B.; MACHADO, M. K.; REIS, J. C. Trajetórias do Jaguar – Unidades de Conservação, Percepção Ambiental e turismo: um estudo na APA do sistema catarinense, São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 131-148, 2008.

IDEMA. **Relatório técnico para o plano de manejo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão**. Documento interno. Natal, 2008.

LELEU, K.; ALBAN, F.; PELLETIER, D.; CHARBONNEL, E.; LETOURNEUR, Y.; BOUDOURESQUE, C. F. Fishers' perceptions as indicators of the performance of Marine Protected Areas (MPAs). **Marine Policy**, Elsevier, v. 36, p. 414-422. 2012.

LEVIN, J. Estatística aplicada a ciências humanas. 2 ed. São Paulo: Harbra, 1987.

MACNAGHTEN, P.; URRY, J. **Contested natures**. London: SAGE, 1998. 307p.

MAMERI, S. F. **Comunidades tradicionais em áreas protegidas: convergências e lacunas da política urbana e ambiental na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão/RN**. 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MARIN, A. A.; LIMA, A. P. **Individuação, percepção, ambiente: Meuleau-Pounty e Gilbert Simondon**. Educação em Revista, Belo Horizonte, v. 25, n. 03, p. 265-281. 2009.

MATTOS, P. P.; NOBRE, I. M.; ALOUFA, M. A. I. Reserva de desenvolvimento sustentável: avanço na concepção de áreas protegidas? **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 409-422. 2011.

MONACO, P. A. V. I.; MATOS, A. T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; RIBEIRO, I. C. A.; TEIXEIRA, D. L. Utilização do farelo de conchas de vôngole na adsorção de fósforo e como corretivo da acidez do solo. **Engenharia Agrícola**, Jabotical, v. 32, n. 5, p. 866-874, 2012.

MORSELLO, C. **Unidades de conservação públicas e privadas: seleção e manejo no Brasil e no Pantanal Mato-grossense**. 1999. 462f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NOBRE, I. M. **Revelando os modos de vida da Ponta do Tubarão**. 2005. 260f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

OKAMOTO, J. **Percepção ambiental e comportamental: visão holística da percepção ambiental na arquitetura e comunicação**. São Paulo: Mackenzie, 2003. 264p.

PACHECO, E.; SILVA, H. P. **Percepção ambiental como desvelamento do ethos embrionário**. 2009. 279f. Tese (Doutorado em Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social) – Instituto de Psicologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PALMA, I. R. **Análise da percepção ambiental como instrumento ao planejamento da educação ambiental**. 2005. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RAMIRES, M.; MOLINA, S. M. G.; HANAZAKI, N. Etnoecologia caiçara: o conhecimento dos pescadores artesanais sobre aspectos ecológicos da pesca. **Biotemas**, v. 20, n. 1, p. 101-113, 2007.

REIGOTA, M. **Meio ambiente e representações sociais**. São Paulo: Cortez, 2002. 87p.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei estadual nº 8.349, de 17 de julho de 2003. Criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão. **Diário Oficial do Rio Grande do Norte**, Poder Executivo, Natal, RN, 17 jul. 2003.

RUDDLE, K. Systems of knowledge: dialogue, relationships and process, in Begossi, A and Hens, L Environment, development and sustainability. **Kluwer Academic Publishers**, v. 2, n. 3-4, 2000.

SANTOS, V. A. A. dos. **Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral de Macau – RN, no período de 1978 a 2008**. 2008. 132f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVANO, R. A. M.; VALBO-JOERGENSEN, J. Beyond fishermen's tales: contributions of fishers' local ecological knowledge to fish ecology and fisheries management. **Environment, development and sustainability**, v. 10, n. 5, p. 657-675, 2008.

SIQUEIRA, L. C. **Política ambiental para quem?** Ambiente & Sociedade, Campinas, v. 11, n. 2, p. 425-437. 2008.

SOARES, A. S. **O ecoturismo sob a égide da sociedade do consumo: um estudo das unidades de conservação de uso sustentável do RN**. 2011. 113f. Dissertação (Mestrado em Turismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

STUMP, N. E.; KRIWOKEN, L. K. Tasmanian marine protected areas: attitudes and perceptions of wild capture fishers. **Ocean & Coastal Management**, Elsevier, v. 49, p. 298-307. 2006.

TRISTÃO, F. A.; MORALES, B. R. S. C.; REMBISKI, F. D. Levantamento das potencialidades dos resíduos de conchas de ostra e de mexilhão para fabricação de materiais de construção no Espírito Santo. In: 3º SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 2011, Vila Velha. **Resumos...Espírito Santo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2011.

WHITMARSH, L.; O'NEIL, S. Green identify, green living? The role of pro-environmental self-identity in determining consistency across diverse pro-environmental behaviours. **Journal of Environmental Psychology**, Elsevier, v. 30, p. 305-314. 2010.

WHYTE, A. **La perception de l'environnement: lignes directrices methodologiques pour les etudes sur le terrain**. Paris: UNESCO, 1978. 137 p.

YEARLEY, S. The social construction of environmental problems: a theoretical review and some not-very-herculean labors. In: DUNLAP, R. E. et al. **Sociological theory and the environment**. New York: Rowman & Littlefield, 2002. p. 274-285.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos é um movimento crescente deste século diante da rápida expansão industrial, uso dos recursos naturais e o aumento de poluentes no ambiente costeiro e continental, o que justificou o desenvolvimento deste estudo na RDSEPT. Nesta reserva, à problemática enfrentada pela comunidade local é poder se estabelecer em uma reserva ambiental que visa à conservação dos recursos naturais e que ao mesmo tempo, desenvolva suas atividades econômicas sem agredir o meio ambiente. Embora as comunidades que habitam a área possuam um histórico de luta contra a depredação do meio ambiente, elas se veem confrontadas perante o incremento da pesca e o convívio com atividades econômicas potencialmente impactantes, tais como a indústria da aquicultura, salineira e petrolífera.

Considerando a importância ecológica e socioeconômica dessa reserva, esse estudo foi realizado com a finalidade de caracterizar e avaliar a qualidade ambiental do estuário Ponta do Tubarão, o qual é responsável por parte da fonte de subsistência da população local. Esta avaliação tomou como base a análise dos nutrientes (N e P), além dos metais pesados presentes na água, sedimento e macroalgas. Além disso, considerando que o aporte de poluentes nas áreas estuarinas é uma ameaça constante para as populações que vivem no entorno dessas áreas, um estudo de percepção ambiental foi realizado com a finalidade de compreender tanto a percepção como a preocupação dos usuários sobre as questões ambientais da RDSEPT.

Em função dos resultados obtidos neste trabalho foi possível fazer as seguintes considerações:

Em relação a dinâmica dos nutrientes foi observado diferenças entre as estações amostradas, com predominância de nitrato nas estações com maior influência marinha e amônio na porção mais interior do estuário. Comparativamente, os valores de nitrogênio sempre foram mais altos do que o fósforo, demonstrando um modelo comum à maioria dos estuários citados na literatura. O estudo desses nutrientes no sedimento mostrou o inverso ao observado na água. Na estação localizada na área urbana (E4), os níveis de fósforo foram muito superiores aos encontrados nas outras estações, indicando que boa parte desse elemento é de origem antrópica e que essa área é a mais vulnerável aos processos de eutrofização.

No que diz respeito à distribuição dos metais pesados na água do estuário, os resultados mostraram que as concentrações de alguns metais estiveram em níveis mais altos do que os valores apontados pelo CONAMA (Classe 1), no entanto, eles estiveram

bem abaixo dos níveis reportados na literatura para locais não poluídos. Os maiores valores foram registrados na estação situada na área rasa da plataforma continental (E1) e mais próxima da área de exploração de petróleo e os mais baixos na porção mais interior do estuário. Em relação ao sedimento, os níveis de metais pesados foram mais baixos do que aos níveis de referência do CONAMA e USEPA. Nesse compartimento, as maiores concentrações de metais foram registradas na estação localizada em área urbana (E4). Esta área é caracterizada por apresentar baixa hidrodinâmica e finos sedimentos. Além disso, este local é utilizado como ancoradouro de barcos de pesca, local de lançamento de águas residuais e descarga de rejeitos de processamento de pescado. A interação desses fatores, provavelmente contribuiu para o aumento da concentração de metais nessa área.

As duas espécies de macroalgas mostraram uma excelente capacidade para acumular metais em uma ordem de grandeza muito maior do que a água e o sedimento. No entanto, *H. musciformis* concentrou mais metais pesados em seus tecidos do que *Gr. tenuifrons*, sugerindo diferente capacidade de acumulação entre as macroalgas e que a quantidade de grupamento sulfatos presentes em seus polissacarídeos, pode ter provavelmente desempenhado um papel importante na absorção desses elementos. Vale salientar, no entanto, que a habilidade das duas espécies em acumular metais pesados em seus tecidos, reforça previsões anteriores de que esses organismos podem ser considerados excelentes bioindicadores e biomonitores para metais pesados.

Considerando que o excesso de nutrientes e metais pesados no ambiente aquático, pode ameaçar a saúde da população, assim como de toda a biota, um estudo sobre a percepção ambiental dos extrativistas da reserva sobre as questões ambientais foi realizado. Com efeito, avaliar o modo como os indivíduos percebem e compreendem os problemas ambientais torna-se de grande relevância para a conservação dos ambientes naturais.

Nesse estudo, observou-se que, embora a comunidade esteja inserida dentro de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), alguns indivíduos, ainda têm dificuldade em descrever os problemas ambientais que os acometem. No entanto, uma parcela considerável dos moradores é consciente dos problemas ambientais e valorizam os recursos existentes na área. Isto é refletido quando demonstram preocupação em relação à poluição do rio, aumento do lixo nas vias públicas, o esgoto a céu aberto e a diminuição do pescado. Além disso, eles são conscientes também que a degradação ambiental poderá trazer prejuízos para suas atividades econômicas, como por exemplo, a pesca e a colheita de mariscos. De maneira geral, a população tem o sentimento de pertencimento ao local e de responsabilidade, em parte, da conservação da unidade.

Os dados obtidos nesse estudo permitiram colocar em evidência aspectos importantes sobre a distribuição de nutrientes e metais pesados no estuário Ponta do Tubarão. Ele permitiu, sobretudo de ressaltar a importância da análise dos três compartimentos (água, sedimento e macroalgas), na caracterização da qualidade ambiental do estuário, bem como, mostrar as interferências antrópicas na área. Dessa forma, os dados gerados nesse trabalho poderão contribuir para ações de monitoramento, subsidiando a implementação de políticas públicas e estratégias de gestão que visem o uso sustentável dos recursos naturais da reserva.

## REFERÊNCIAS

ARANGO, Héctor Gustavo. Bioestatística teórica e computacional. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 438 p.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa, Portugal: Edições 70, LDA, 2009.

BENFARES, R.; SERIDI, H.; BELKACEM, Y.; INAL, A.. Heavy metal bioaccumulation in Brown algae *Cystoseira compressa* in Algerian coasts, Mediterranean Sea. **Environmental Processes**, Springer, v. 2, p. 429–439. 2015.

CHAKRABORTY, S.; OWENS, G. Metal distributions in seawater, sediment and marine benthic macroalgae from the South Australian coastline. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Springer, v. 11, n. 5, p. 1259–1270. 2014.

CONNELL, D. W.; MILLER, G. J. **Chemistry and Ecotoxicology of Pollution**, New York, United States of American: John Wiley & Sons, 1984.

DANTAS, S. T. P. L. et al. Mangrove reforestation as a mesotidal coastal protection and clean development mechanism on Macau-Serra oil field, potiguar basin, Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research*. v. 64, p. 1268-1271, 2011.

DIAS, T. L. P.; SALLES, R. Diagnóstico da pesca artesanal e proposta de plano de ordenamento da pesca na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Macau-Guamaré/RN): relatório técnico do IDEMA, 2006. 106 p.

DIAS, T. L. P.; ROSA, R. S.; DAMASCENO, L. C. P. Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). *Gaia Scientia*. v. 1, n. 1, p. 25-35, 2007.

DONG, J.; YANG, Q. W.; SUN, L. N.; ZENG, Q.; LIU, S. J.; PAN, J. Assessing the concentration and potential dietary risk of heavy metals in vegetables at a Pb/Zn mine site, China. **Environmental Earth Sciences**, Springer, v. 64, p. 1317–1321. 2011.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 212p.

EQUIPE ESTATCAMP. Software Action. Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/>. Acesso em fev. 2017.



GOEL, P. K. **Water Pollution**. Causes, Effects and Control. New Delhi: New Age International, 2006. 179p.

GRANZIERA, M. L. M; GONÇALVES, A. **Os problemas da zona costeira no Brasil e no mundo**. Santos: Editora Universitária Leopoldianum, 2012.

GRASSHOFF, K.; EHRHARPM, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2ed. Germany: Verlag Chemie. 1983. 419p.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Relatório**. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual da Ponta do Tubarão. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso em: dez. 2017.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Anuário estatístico do Rio Grande do Norte. 42 ed, 2015. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=1357&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Socioecon%C3%B4micos>. Acesso: 05 de abril de 2017.

IKEM, A.; EGIEBOS, N. O.; NYAVOR, K. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee lake, southeastern USA. **Water, Air and Soil Pollution**, Springer, v. 149, p. 51-75. 2003.

KENNISH, M. J. **Practical Handbook of estuarine and marine pollution**. Boca Raton, Florida: CRC Press. 1997. 524 p.

KHALED, A.; HESSEIN, A.; ABDEL-HALIM, A. M.; MORSY, F. M. Distribution of heavy metals in seaweeds collected along Marsa-Matrouh beaches, Egyptian, Mediterranean Sea. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, Science Direct, v. 40, n. 4, p. 363–371. 2014.

LI, H.; LIN, L.; YE, S.; LI, H.; FAN, J. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in the seawater and sediment of Yalujiang Estuary. **Marine Pollution Bulletin**, Elsevier, v. 117, n. 1-2, p. 499-506. 2017.

LI, J.; YU, H.; LUAN, Y. Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water. **International Journal of Environmental Research Public Health**, Research Gate, v. 12, n. 12, p. 14958–14973. 2015.

LITTLE, C. Estuarine ecosystems. In: CRAWLEY, M. J.; LITTLE, C.; SOUTHWOOD, T. R. E.; ULFSTRAND, S. (Org.). **The Biology of Soft Shores and Estuaries: Biology of Habitats**. Oxford: University Press. 2000. p. 187-198.

MACKENZIE, F. T. **Global Biogeochemical Cycles and the Physical Climate System**. University Center for Atmospheric Research, Global Change Instruction Program Module. Boulder, Colorado: University Corporation for Atmospheric Research, 1999. 75p.

MACKENZIE, F. T.; VER, L. M., LERMAN, A. Century-scale nitrogen and phosphorus controls of the carbon cycle. **Chemical Geology**, Elsevier, v. 190, p. 13–32. 2002.

MALEA, P.; HARITONIDIS, S.; STRATIS, I. Bioaccumulation of metals by Rhodophyta species at Antikyra Gulf (Greece) near an aluminium factory. **Botanica Marina**, Elsevier, v. 37, p. 505–513. 1994.

MALEA, P.; HARITONIDIS, S. Seasonal accumulation of metals by red alga *Gracilaria verrucosa* (Hud.) Papenf. From Thermaikos Gulf, Greece. **Journal of Applied Phycology**, Springer, v. 11, p. 503-509. 1999.

MAMERI, S. F. **Comunidades tradicionais em áreas protegidas: convergências e lacunas da política urbana e ambiental na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão/RN**. 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MERRIFIELD, M. S.; HINES, E.; LIU, X.; BECK, M. W. Building regional threat-based networks for estuaries in the Western United States. **PLOS ONE**, v. 6, n. 2, p. 1–10. 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELLO, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed.), **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA - CNPS, 1999. p. 171-223.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **A zona Costeira e seus usos múltiplos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/a-zona-costeiraeseus-m%C3%BAltiplo>. Acesso em 23 de novembro de 2016.

MORSELLO. C. **Áreas Protegidas Públicas e Privadas: Seleção e Manejo**. 2ed. São Paulo: Ed. Annablume, 2008.

OBAFEMI, A. A. Pollution and the Human Environment in Bellgam. In: AROKOYU, W. I.; UMEUDUJI, J. E. (Org.). **Perspective of the Human Environment**. Port Harcourt: Amaethyst and Colleagues Publishers, 2004.

ONSANIT, S.; KE, C.; WANG, X.; WANG, K. J.; WANG, W. X. Trace elements in two marine fish cultured in fish cages in Fujian province, China. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 158, p. 1334–42. 2010.

PEREIRA, E. M.; FARRAPEIRA, C. M. R.; PINTO, S. L. Percepção e educação ambiental sobre manguezais em escolas públicas da região metropolitana do Recife. **Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 17, p. 244-261. 2006.

PHILLIPS, D. J. H.; RAINBOW, P. S. **Biomonitoring of trace aquatic contaminants**. 2ed. London: Chapman and Hall, 1994.

PINTILIE, S.; BRÂNZĂ, L.; BEȚIANU, C.; PAVEL, L. V.; UNGUREANU, F.; GAVRILESCU, M. Modelling and simulation of heavy metals transport in water and sediments. **Environmental Engineering and Management Journal**, Index Copernicus International, v. 6, p. 153-161. 2007.

RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E.; DÍAZ, R. J.; JUSTIC, D. Global change and eutrophication of coastal waters. **ICES Journal of Marine Science**, Oxford Journals, v. 66, p. 1528–1537. 2009.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei nº 8.349, de 17 de julho de 2003. Cria a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, na região de Diogo Lopes e Barreiras nos Municípios de Macau e Guamaré no Rio Grande do Norte e dá outras providências. Diário Oficial [do Estado do Rio Grande do Norte], 2003.

RODRIGUES, M. L.; MALHEIROS, T. F.; FERNANDES, V.; DARÓS, T. D. A percepção ambiental como instrumento de apoio na gestão e na formulação de políticas públicas ambientais. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 21, supl. 3, p. 96-110, 2012.

SILVA, N.; HARO, J.; PREGO, R. Metals background and enrichment in the Chiloé Interior Sea sediments (Chile). Is there any segregation between fjords, channels and sounds? **Estuarine Coastal and Shelf Science**, Elsevier, v. 82, p. 469–76. 2009.

SPARKS, D. L. **Toxic metals in the environment: the role of surfaces**. Elements: Geochemical Society, v. 1, 2005. p. 193–197.

STATHAM, P. J. Nutrients in estuaries – An overview and the potential impacts of climate change. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 434, p. 213–227. 2012.

USEPA. **Method 3050 B**. 1998a. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em: fev. 2017.

USEPA. **Method 3051 A**. 1998a. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em: fev. 2017.

WAGNER, G. J. Accumulation of Cadmium in Crop Plants and its Consequences to Human Health. **Advances in Agronomy**, Science Direct, v. 51, p. 173–212. 1993.

WANG, M.; ZHANG, J.; TU, Z.; GAO, X.; WANG, W. Maintenance of estuarine water quality by mangroves occurs during flood periods: A case study of a subtropical mangrove wetland. **Marine Pollution Bulletin**, Elsevier, v. 60, p. 2154–2160. 2010.

WANG, Q.; LI, Y. Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins. **Journal of Soils and Sediments**, Springer, v. 10, p. 1159-1173. 2010.

WHYTE, A. **La perception de l'environnement: lignes directrices methodologiques pour les etudes sur le terrain**. Paris: UNESCO, 1978. 137 p.

WOLANSKI, E.; ELLIOTT, M. **Estuarine ecohydrology: an introduction**. Amsterdam: Elsevier, 2015. 322p.

YANG, L.; SONG, X.; ZHANG, Y.; YUAN, R.; MA, Y.; HAN, D.; BU, H. A hydrochemical framework and water quality assessment of river water in the upper reaches of the Huai River Basin, China. **Environmental Earth Science**, Springer, v. 67, n. 7, p. 2141–2153. 2012.

ZHANG, C.; YU, Z.; ZENG, G.; JIANG, M.; YANG, Z.; CUI, F.; ZHU, M.; SHEN, L.; HU, L. Effect of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. **Environmental International**, Elsevier, v. 73, p. 270-281. 2014.

ZHAO, G.; YE, S.; YUAN, H.; DING, X.; WANG, J. Surface sediment properties and heavy metal pollution assessment in the Pearl River Estuary, China. **Environmental Science and Pollution Research**, Springer, v. 24, p. 2966–2979. 2017.

**ANEXO**



### DECLARAÇÃO

Declaro que o seguinte artigo foi publicado *online* na edição número 54 da Revista Eletrônica Educação Ambiental em Ação:

**Título:** PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS EXTRATIVISTAS EM RESERVA AMBIENTAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
**Seção:** Artigos  
**Autor correspondente:** Klégea Maria Câncio Ramos Cantinho  
**Data de publicação:** 2015-12-15  
**Link permanente:** <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2210>

Atenciosamente,



Ecól. Sandra Barbosa



<http://www.revistaea.org>  
ISSN 1678-0701

Editores responsáveis

Berenice Gehlen Adams - [bererevistaea@gmail.com](mailto:bererevistaea@gmail.com)

Sandra Maria Martins Barbosa - [revistaeasandra@gmail.com](mailto:revistaeasandra@gmail.com)

Júlio Trevisan - [juliotrevisan@gmail.com](mailto:juliotrevisan@gmail.com)