

+ -



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR- LABOMAR**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**LETÍCIA RODRIGUES COSTA**

**A INFLUÊNCIA DO BRANQUEAMENTO EM CORAIS SOBRE A GEOQUÍMICA  
CARBONÁTICA EM UMA ZONA ENTREMARÉS NA COSTA DE FORTALEZA-CE**

**FORTALEZA**

**2019**

LETÍCIA RODRIGUES COSTA

A INFLUÊNCIA DO BRANQUEAMENTO EM CORAIS SOBRE A GEOQUÍMICA  
CARBONÁTICA EM UMA ZONA ENTREMARÉS NA COSTA DE FORTALEZA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares

Coorientadora: Prof. Dra. Rozane Valente Marins

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C873i Costa, Leticia Rodrigues.  
A INFLUÊNCIA DO BRANQUEAMENTO EM CORAIS SOBRE A GEOQUÍMICA  
CARBONÁTICA EM UMA ZONA ENTREMARÉS NA COSTA DE FORTALEZA-CE / Leticia  
Rodrigues Costa. – 2019.  
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto  
de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientação: Prof. Dr. Rozane Valente Marins.

1. Metais. 2. Recifes . 3. Contaminação. 4. Impactos . 5. Corais. I. Título.

CDD 551.46

---

LETÍCIA RODRIGUES COSTA

A INFLUÊNCIA DO BRANQUEAMENTO EM CORAIS SOBRE A GEOQUÍMICA  
CARBONÁTICA EM UMA ZONA ENTREMARÉS NA COSTA DE FORTALEZA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Oceanografia do da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de bacharel em  
Oceanografia.

Aprovada em: 28 de Junho de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Rozane Valente Marins (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Helena Matthews-Cascon  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Thays Thayanne Luz Santos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)



## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Emanuela Ribeiro Rodrigues, pelo amor e incentivo.

Ao meu pai, Giovanni Alves Costa, que me acompanhou, me amou e sempre sendo um exemplo de carinho e humildade.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares, pela excelente orientação e por todo o apoio.

À minha co-orientadora, Rozane Valente Marins que me ajudou com o conhecimento sobre metais pesados e por ter me acolhido em seu laboratório para as análises.

Às doutorandas, Thays Thayanne Luz Santos e Raisia Siqueira pelo auxílio nas análises de metais e alcalinidade.

Ao bolsista Felipe Conrado Freitas de Oliveira pela colaboração nas análises de sedimentos e pela disponibilização dos dados.

Aos meus amigos de graduação, Gabriel Abreu e Mariana Batista, por compartilharem momentos bons e ruins porém com café.

Aos meus amigos Victor, Lorena, Larissa, Camila, Raíssa, Nathaniel e João Victor por dividirem seus dias comigo estando fisicamente presentes ou não. Por presenciarem meu desespero pré-TCC, por sempre me ajudarem e por me fazerem rir em qualquer situação.

Ao meu namorado, Jagni Dasa por sua paciência em me ensinar a usar o overleaf, pelo amor e apoio incondicionais.

A toda minha família por acreditarem no meu sonho e me deixarem ir atrás dele, em especial minha tia-avó, Vera Lúcia que sempre me apoia e me incentiva a ser uma excelente pessoa e profissional.

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

## RESUMO

Os recifes de corais se limitam às regiões tropicais, como por exemplo África, Austrália e continente Americano, que apresentam águas pobres em nutrientes e grande incidência solar durante todo ano. Nos últimos anos, devido ao grau de degradação que os recifes de corais vêm sofrendo, muitas pesquisas estão sendo voltadas para a conservação desses ambientes e a compreensão das causas desses impactos e sua relação com atividades antrópicas. Os impactos antrópicos mais comuns em ambientes recifais são marcados por ações relacionadas ao crescimento acelerado dos centros urbanos, principalmente na zona costeira. Dentre esses tipos de contaminação, estão os metais pesados, que possuem uma alta capacidade de resistência à degradação e podem ser incorporados a rede cristalina dos corais na forma de carbonatos metálicos, associados à matéria orgânica presente ou por deposição de material terrígeno. Neste trabalho foram analisadas as concentrações de 4 metais relacionados a contaminação ambiental (Cu, Zn, Pb e Ni) e o Al como elemento normalizador, incorporados em 4 colônias, duas saudáveis e duas branqueadas do coral *Siderastrea stellata* e em amostras de sedimentos adjacentes aos corais (a análise do alumínio não foi determinada para os sedimentos). A determinação dos teores dos metais pesados Cu, Al, Pb, Zn, e Ni foi obtida por Espectrofotometria de absorção atômica em chama no Laboratório de Biogeoquímica Costeira. Os resultados obtidos mostraram que a média das concentrações de metais nas colônias saudáveis foi de  $2,8\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Ni,  $2,2\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Cu,  $4,8\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Pb, 0,21% para o Al e  $5,9\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Zn. Já para as colônias branqueadas obtivemos  $3,3\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Ni,  $2,05\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Cu,  $7,31\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Pb, 0,04% para o Al e  $6,61\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Zn. Enquanto que os teores de metais obtidos nas amostras de sedimentos referentes as colônias saudáveis foi de  $8,4\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Ni;  $3,4\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Cu;  $11,7\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Pb;  $12,3\mu\text{g.g}^{-1}$  para o Zn. Os teores de metais nos corais vivos e mortos mostraram uma diferença significativa, indicando que possivelmente o branqueamento altera na distribuição desses metais no organismo. Porém não houve relação significativa entre a origem e a distribuição dos metais nos sedimentos e nas colônias saudáveis e branqueadas. As correlações geoquímicas, com o carbonato e matéria orgânica foram determinadas e discutidas ao longo do presente estudo.

**Palavras-chave:** Metais. Recifes. Contaminação. Impactos. Corais

## ABSTRACT

Coral reefs are limited to tropical regions such as Africa, Australia and the American continents, which display nutrient-poor waters and high solar incidence throughout the entire year. In recent years, due to the degree of degradation that coral reefs have been experiencing, many researches are focused on conservating these environments and understanding the causes of these impacts along with their relationship with anthropic activities. The most common anthropic impacts in reef environments are marked by actions related to the accelerated growth of urban centers, mainly in the coastal zone. Among these types of contamination are heavy metals, which have a high resistance to degradation and can be incorporated into the crystalline network of corals in the form of metal carbonates, associating themselves with the organic matter or by the deposition of terrigenous material. This work analyzes the concentrations of 4 metals related to environmental contamination (Cu, Zn, Pb and Ni) and Al as a normalizing element incorporated in 4 colonies from the *Siderastrea stellata* coral: two healthy and two bleached. Sediment samples adjacent to the corals were also analyzed (aluminum analysis was not determined for sediments). The determination of the Cu, Al, Pb, Zn, and Ni contents was obtained by flame atomic absorption spectrophotometry at the Biogeochemical Coastal Laboratory. The results obtained showed that the average concentration of metals in the healthy colonies was  $2.8 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Ni,  $2.2 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Cu,  $4.8 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Pb, 0.21 % for Al and  $5.9 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Zn. For the bleached colonies, we obtained  $3.3 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Ni,  $2.05 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Cu,  $7.31 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Pb, 0.04 % for Al and  $6.61 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Pb Zn. While the levels of metals obtained in the sediment samples referring to healthy colonies were  $8.4 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Ni;  $3.4 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Cu;  $11.7 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Pb;  $12.3 \mu\text{g.g}^{-1}$  for Zn. The significant difference in metal content in living and dead corals indicated that bleaching possibly alters the distribution of these metals in the organisms. However, there was no significant relationship between the origin and the distribution of the metals in the sediments and in the healthy and bleached colonies. The geochemical correlations with carbonate and organic matter were determined and discussed throughout the present study.

**Keywords:** Heavy Metals. Reefs. Contamination. Impacts. Corals

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos recifes de corais ao longo da costa brasileira (Leão <i>et al.</i> ,2016)	13
Figura 2 – Incorporação de metais traço no esqueleto de colônias de corais (Eça <i>et al.</i> ,2012)	18
Figura 3 – Mapa de Localização da área de estudo, Praia do Meireles . . . . .	20
Figura 4 – Recife de arenito localizado na Praia do Meireles. Fonte: Google Maps . . .	21
Figura 5 – Titulação automática para alcalinidade total de Dickson. . . . .	22
Figura 6 – Amostra de coral branqueado macerado . . . . .	23
Figura 7 – Colônias do coral <i>Siderastrea stellata</i> . . . . .	24
Figura 8 – Amostras de sedimentos. . . . .	25
Figura 9 – Análise de carbonato nas amostras de corais e sedimento na mesa agitadora.	27
Figura 10 – Concentração de níquel (Ni) nas amostras de sedimentos . . . . .	35
Figura 11 – Concentração de cobre (Cu) nas amostras de sedimentos . . . . .	35
Figura 12 – Concentração de chumbo (Pb) nas amostras de sedimentos . . . . .	36
Figura 13 – Concentração de zinco (Zn) nas amostras de sedimentos . . . . .	37
Figura 14 – Concentração de níquel (Ni) nas amostras de corais saudáveis e branqueados	39
Figura 15 – Concentração de cobre (Cu) nas amostras de corais saudáveis e branqueados	40
Figura 16 – Concentração de chumbo (Pb) nas amostras de corais saudáveis e branqueados	41
Figura 17 – Concentração de zinco (Zn) nas amostras de corais saudáveis e branqueados	42
Figura 18 – Concentração de alumínio (Al) nas amostras de corais saudáveis e branqueados	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis Químicas e físicas das poças de marés (P1 e P2 representam as poças referentes aos corais branqueados; P3 e P4 aos corais vivos e P5 e P6 não apresentavam corais). . . . .	29
Tabela 2 – Concentrações de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica nas amostras de sedimento . . . . .	33
Tabela 3 – Concentrações dos metais nas amostras de sedimento . . . . .	34
Tabela 4 – Concentrações de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica (MO) nas amostras de corais . . . . .	38
Tabela 5 – Concentrações dos metais nas amostras de corais saudáveis . . . . .	39
Tabela 6 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn) carreadores geoquímicos (Al,MO, $\text{CaCO}_3$ ) no sedimento . . . . .	44
Tabela 7 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn) carreadores geoquímicos (Al,MO, $\text{CaCO}_3$ ) nos corais . . . . .	45
Tabela 8 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn), carreadores geoquímicos (Al,MO, $\text{CaCO}_3$ ) nos corais (C) no sedimento (S) . . . . .	46
Tabela 9 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn), carreadores geoquímicos (MO e $\text{CaCO}_3$ ) e variáveis hidroquímicas no sedimento . . . . .	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1</b>	<i>Objetivos Específicos</i>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Variáveis físico-químicas na água</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Processo analítico dos teores de metais</b>	<b>23</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Amostras de corais</i>	<b>23</b>
<b>3.4.2</b>	<i>Amostras de sedimentos</i>	<b>24</b>
<b>3.4.3</b>	<i>Determinação dos teores de metais</i>	<b>25</b>
<b>3.5</b>	<b>Determinação dos teores de carbonato</b>	<b>26</b>
<b>3.6</b>	<b>Determinação do teor de matéria orgânica</b>	<b>27</b>
<b>3.7</b>	<b>Estatística dos dados</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Variáveis hidroquímicas da área adjacente aos corais</b>	<b>29</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Temperatura e Salinidade</i>	<b>29</b>
<b>4.1.2</b>	<i>pH e Alcalinidade total</i>	<b>30</b>
<b>4.1.3</b>	<i>Pressão parcial de CO<sub>2</sub>(pCO<sub>2</sub>)</i>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica no sedimento</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Teores de metais no sedimento</b>	<b>34</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Níquel</i>	<b>34</b>
<b>4.3.2</b>	<i>Cobre</i>	<b>35</b>
<b>4.3.3</b>	<i>Chumbo</i>	<b>36</b>
<b>4.3.4</b>	<i>Zinco</i>	<b>36</b>
<b>4.4</b>	<b>Teores de carbonato e matéria orgânica nos corais (<i>Siderastrea stellata</i>)</b>	<b>37</b>
<b>4.5</b>	<b>Teores de Metais nos corais (<i>Siderastrea stellata</i>)</b>	<b>38</b>
<b>4.5.1</b>	<i>Níquel</i>	<b>38</b>
<b>4.5.2</b>	<i>Cobre</i>	<b>39</b>

4.5.3	<i>Chumbo</i> . . . . .	40
4.5.4	<i>Zinco</i> . . . . .	41
4.5.5	<i>Alumínio</i> . . . . .	42
4.6	<b>Correlação geoquímica dos metais</b> . . . . .	43
4.6.1	<i>Correlação geoquímica dos metais no sedimento</i> . . . . .	43
4.6.2	<i>Correlação geoquímica dos metais nos corais</i> . . . . .	45
4.6.3	<i>Correlação geoquímica dos metais entre as amostras de sedimentos e corais</i> . . . . .	46
4.6.4	<i>Correlação geoquímica entre o sedimento e variáveis hidroquímicas</i> . . . . .	47
5	<b>DISCUSSÃO</b> . . . . .	48
6	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	51
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	52



## 1 INTRODUÇÃO

Ambientes recifais são ecossistemas de grande importância que possuem alta produtividade e uma grande biodiversidade de organismos marinhos, servindo como um ambiente propício para a reprodução, alimentação e moradia para diversas espécies marinhas (HUGHES *et al.*, 2017). Segundo Stanley (2003), os recifes de corais se limitam as regiões tropicais, como por exemplo África, Austrália e continente Americano, que apresentam águas pobres em nutrientes, temperaturas altas e grande incidência solar durante todo ano.

A constituição dos recifes de corais segundo Francini-Filho (2008) caracteriza essas formações como estruturas rochosas constituídas por diversos organismos marinhos (algas e animais) a partir da deposição de carbonato de cálcio dos mesmos. A estrutura dos recifes é de extrema importância para a orla marítima por fornecer proteção contra a ação das ondas e correntes marinhas para as regiões litorâneas, além de possuir importância econômica e social. A partir do aspecto biológico, os corais exibem um alto grau de fixação de carbono e oxigênio para manter a relação simbiótica com algas fotossintetizantes, as zooxantelas, que estão associadas ao tecido dos corais e desempenham um papel importante para a função vital de ambos os organismos (2015). Lima (2015) também afirma que as zooxantelas são responsáveis pela coloração do coral, além de produzirem componentes orgânicos que lhes servem de alimento e, em contrapartida, o coral fornece às algas elementos químicos essenciais e também, um habitat protegido para a sobrevivência das mesmas.

De acordo com Leão *et al.* (2016) a maior parte das comunidades conhecidas de recifes de corais no Brasil são encontradas na porção nordeste do país (Figura 1), porém estudos mais recentes como o de Moura (2016) relatam a presença de um grande sistema de recifes de corais na porção norte do país, mais precisamente na foz do Amazonas. Segundo Laborel (1970) a maior produtividade das comunidades recifais se encontra entre os estados de Recife (8°) e Maceió (10°). Entretanto diferente do restante dos estados do Nordeste, no litoral do Ceará, tendo em foco a zona litorânea de Fortaleza, há poucos estudos sobre os recifes de corais sendo a presença de bancos submersos dominados por *S.stellata* a principal característica da região de acordo com Soares *et al.* (2017). A morfologia da região costeira do Ceará se caracteriza por praias expostas na maré baixa e afloramento de beach rocks entre os níveis de maré alta e baixa, e são cobertas pela água em ocasiões de marés equinociais (Smith e Morais, 1984; Morais *et al.*, 2009). De acordo com Souza (2016) a maior parte dos ambientes recifais presentes ao longo da costa litorânea do Nordeste são caracterizados por se encontrarem em bancos próximos a costa,

mais precisamente adjacentes à praia e ligeiramente inclinados em direção ao mar. Estudos recentes mostram que devido a esta proximidade, esses ecossistemas estão sujeitos aos impactos gerados pela ação humana, principalmente à poluição marinha (2018).

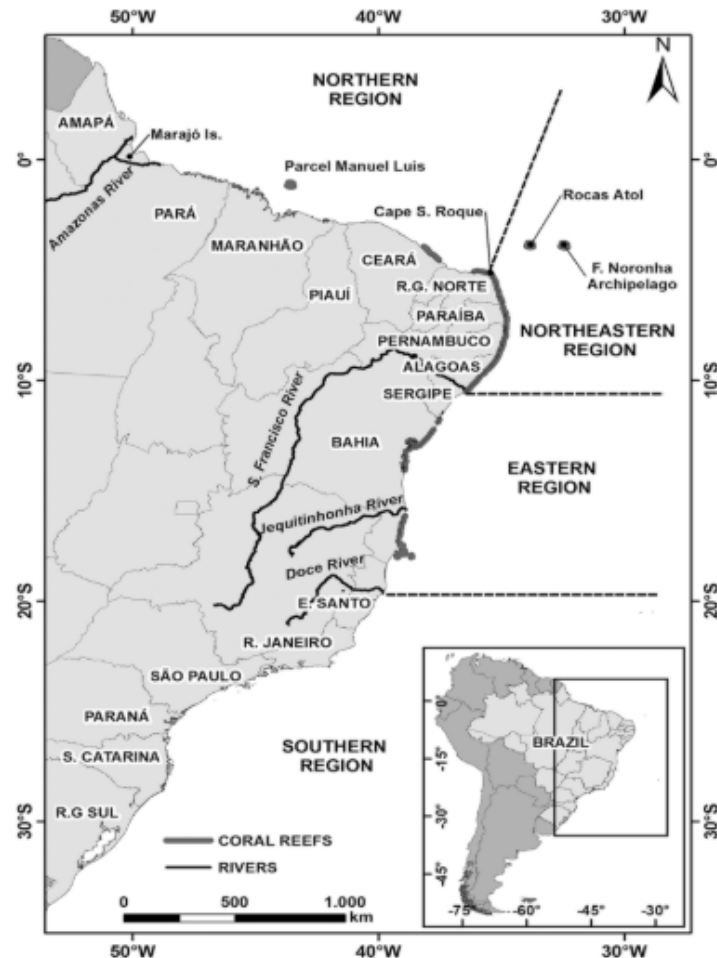


Figura 1 – Distribuição dos recifes de corais ao longo da costa brasileira (Leão *et al.*, 2016)

Os impactos antrópicos mais comuns em ambientes recifais são marcados por ações relacionadas ao crescimento acelerado dos centros urbanos, principalmente na zona costeira, onde ocorrem intensas atividades industriais, químicas e portuárias (2016). Com o grau de degradação e esgotamento preocupante que os recifes de corais vêm sofrendo, houve um aumento significativo no número de pesquisadores trabalhando para a conservação desses ambientes e a compreensão das causas desses impactos e sua relação com as atividades antrópicas. O descarte inadequado de efluentes industriais e urbanos que são lançados sem tratamento diretamente nesses ecossistemas costeiros contribuem com o estresse, comprometendo suas atividades funcionais além da qualidade do solo e da água (2003). Dentre esses tipos de contaminação, estão os metais, que possuem uma alta capacidade de resistência à degradação (2009).

A contaminação por compostos químicos pode tornar os recifes de corais susceptíveis

à um processo de acumulação de um determinado composto ou um elemento químico em elevadas concentrações no organismo, conhecido como bioacumulação (2016). Este processo proporciona uma avaliação e monitoramento da saúde do organismo, conseqüentemente da qualidade do ambiente recifal em que o coral está inserido, tornando-o um potencial indicador biológico. Entretanto, a resposta a essas alterações pelos próprios corais pode ser lenta, devido ao ciclo de vida longo desses organismos (1994).

O nível de toxicidade e poluição oriundo da contaminação por metais está relacionado com seus níveis de concentrações na natureza, tendo em vista que quando encontrados em baixas concentrações no ambiente são considerados elementos biologicamente essenciais não acarretando risco para a biota. São considerados metais os elementos Al, As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn e V (CORREA, 2014).

As principais conseqüências que ocorrem em recifes devido ao estresse por poluição de metais relatados na literatura são: estresse fisiológico (HOWARD; BROWN, 1984); (HARLAND; BROWN, 1989), inibição de fertilização do coral e redução do sucesso reprodutivo (REICHEL-TBRUSHETT; HARRISON, 2005); diminuição da colonização e sobrevivência das larvas de corais; mudanças na população de zooxantelas e na capacidade de realizar fotossíntese, o que resulta em uma diminuição na calcificação e nas taxas de crescimento durante a fase pólipó juvenil (FERRIER-PAGÈS *et al.*, 2001).

De acordo com trabalhos sobre a utilização de corais como biomonitorios no litoral da costa do Nordeste, o de Eça ((2012) se destaca pela contribuição e conhecimento científico da utilização de corais para a determinação de contaminação por metais e ametais. A descoberta de bandas de densidade esclerocronológicas permitiu a obtenção de dados sobre as variações da mineralogia geoquímica do ambiente marinho, já que os teores de contaminantes ficam registrados na matriz esquelética do coral. De acordo com pesquisas realizadas na Baía de Todos os Santos, no nordeste do Brasil, o coral *Siderastrea stellata* é apontado como uma das melhores espécies de biomonitorios para a região tropical devido sua grande resistência à variações climáticas em regiões de estresse (KIKUCHI *et al.*, 2003) e (MENEZES *et al.*, 2015).

No atual estudo, a espécie de coral a ser analisada é a *Siderastrea stellata*, a qual pertence ao táxon de corais-pétreos zooxantelados da ordem Scleractinia, que é conhecida por ser endêmica no litoral brasileiro. A espécie se assemelha com outras encontradas em regiões tropicais (*Siderastrea siderea* e *Siderastrea radians*), como Caribe e no oceano Indo-Pacífico (LEÃO *et al.*, 2016). A *Siderastrea stellata* ocorre predominantemente em regiões

rasas, geralmente expostas durante a baixamar, que possuem temperaturas superficiais um pouco elevadas, típico de zonas tropicais, com alto grau de turbidez e salinidade (SOARES *et al.*, 2011). De acordo com Francini-Filho *et al.* (2008) a espécie possui uma ampla distribuição geográfica pela costa brasileira, desde o estado do Amapá (Foz do rio Amazonas) até o Rio de Janeiro, próximo a ilha de Trindade.

A área de estudo localiza-se na Região Metropolitana de Fortaleza, a qual insere-se neste contexto de fontes heterogêneas poluidoras por realizar atividades de dragagem em um dos principais portos do estado do Ceará, o Porto do Mucuripe, o que caracteriza como uma fonte potencialmente poluidora para o ambiente marinho (PORTUGAL *et al.*, 2016). Entretanto, outras fontes são observadas no local, como lançamento dos efluentes tratados e também o descarte de esgotos e aporte das águas de drenagem da cidade (VIEIRA *et al.*, 2011). Além disto, na região observam-se corais visualmente preservados e outros apresentando branqueamento. Assim, justifica-se este trabalho na avaliação da capacidade de retenção de metais em corais vivos e mortos e em sedimentos no seu entorno, bem como a avaliação de parâmetros hidroquímicos que podem ser modificados pelo sistema carbonato.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do atual trabalho é realizar uma análise quantitativa e qualitativa da incorporação e concentração dos metais (Zn, Pb, Ni, Cu e Al) em 4 colônias do coral *Siderastrea stellata* em poças de marés localizadas em ambiente recifal localizado na faixa litorânea da Praia do Meireles. As colônias 1 e 2 visualmente preservadas, enquanto que as colônias 3 e 4 apresentam características de branqueamento em estágio avançado. E a avaliação da hidroquímica adjacente aos corais.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Verificar a resposta dos corais aos contaminantes das fontes poluidoras locais, associados à exposição ao fator de stress climático;
- Comparar as características hidroquímicas (pH, salinidade, temperatura, alcalinidade) com os teores de Matéria Orgânica (MO), dissolução do carbonato e pressão do dióxido de carbono nos ambientes em estudo.
- Comparar os teores de metais ( Zn, Pb, Ni, Cu e Al) nos corais saudáveis e

branqueados com os teores em sedimentos para avaliar se a não preservação altera a dispersão de metais nos sedimentos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

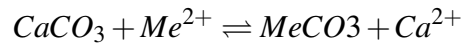
Os recifes de corais são ambientes que ao longo dos anos vêm despertando e produzindo estudos a respeito do processo de calcificação que ocorre nesses organismos, além da dissolução líquida do carbonato em ambiente recifais devido às condições químicas, físicas e biológicas do meio (SOUZA, 2016). Segundo Palotta ((2010)) corais escleractíneos (duros), como o *Siderastrea stellata*, que é um dos mais abundantes corais de recifes da costa nordeste brasileira, depositam carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como cristais de aragonita formando uma estrutura geológica maciça. É de conhecimento prévio que a luz acelera a deposição de  $\text{CaCO}_3$  nos corais construtores de recifes; um fenômeno vulgarmente designado por "calcificação com aumento de luz"(GOREAU, 1959). Colombo-Palotta (2010) designa o processo de branqueamento, como a dissociação da algas fotossintéticas que fazem simbiose com os corais e seus respectivos hospedeiros associados as suas estruturas esqueléticas, reduzindo conseqüentemente sua capacidade fotossintética em 4 ou 5 vezes.

Em ambientes aquáticos, segundo Eça (2012) elementos majoritários e minoritários podem ser encontrados dissolvidos ou em partículas associados ao sedimento, na água e presentes também nos tecidos dos organismos marinhos através da assimilação desses elementos pela macrofauna bentônica associada. Elevadas concentrações de elementos metálicos na coluna d'água pode trazer vários riscos para as comunidades aquáticas, como sérias modificações em suas estruturas e na distribuição desses organismos (MILESI *et al.*, 2008). Dentre esses organismos bentônicos, destaca-se os cnidários popularmente conhecidos como os corais que são um dos mais afetados pela contaminação por íons metálicos.

Os invertebrados marinhos possuem tecidos biológicos sensíveis em que neles ocorrem trocas de íons, principalmente os metálicos (ANSARI, 2015). Os metais necessários como manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) são fundamentais para o equilíbrio do metabolismo de muitos organismos marinhos porém outros metais considerados tóxicos, como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg) mesmo em pequenas concentrações podem comprometer o desenvolvimentos dos organismos(ANSARI, 2015).

Diversos organismos aquáticos filtradores geralmente apresentam teores significativos de metais e frequentemente são utilizados como biomonitores da qualidade ambiental, como corais, peixes, moluscos e bivalves (LACERDA *et al.*, 1992). No caso dos corais hermatípicos a incorporação dos metais ocorre através do tecido mole e em seu esqueleto calcário (Figura 2) tanto a partir da fração dissolvida quanto da particulada (EÇA *et al.*, 2012). Outro mecanismo de

incorporação desses metais na estrutura do coral se dá por meio da ressuspensão do sedimento adjacente, assim aumentando a disponibilização de metais no ambiente e consequentemente incorporados nas cavidades dos tecidos dos corais (EÇA *et al.*, 2012). Porém a principal forma de associação entre os metais e o coral ocorre por troca iônica pela seguinte reação:



Segundo Mendonça (2008) esta troca iônica ocorre a partir da substituição do Ca durante a formação da aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ), onde o Me seria o íon metálico dissolvido na água do mar. MENDONÇA (2008) também afirma que os elementos metálicos dissolvidos podem se associar com a matéria orgânica presente na estrutura do coral e consequentemente incorporados ao tecido do organismo, indicando assim a matéria orgânica como um potencial carreador geoquímico para esses metais no ambiente.

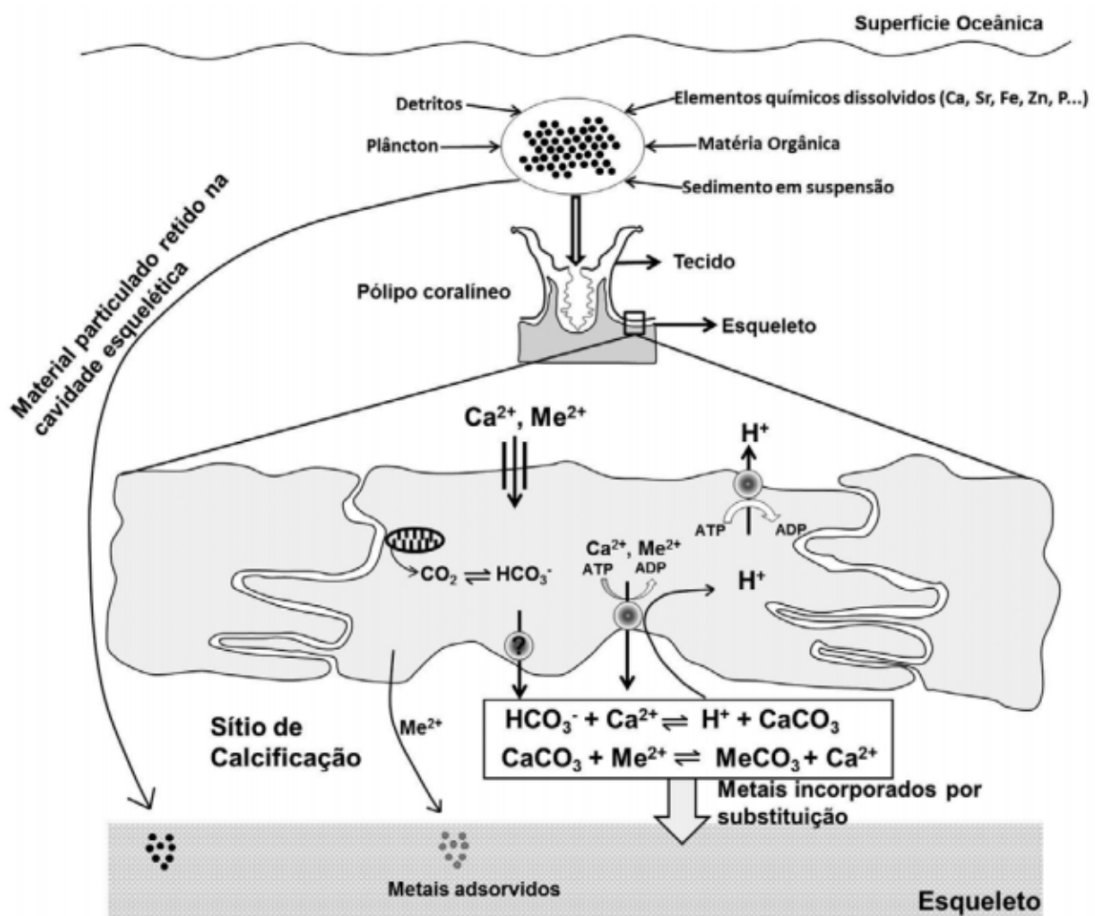


Figura 2 – Incorporação de metais traço no esqueleto de colônias de corais (Eça *et al.*, 2012)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A costa litorânea do Ceará possui aproximadamente 573 km de extensão e é caracterizada por apresentar uma grande diversidade de feições geológicas, como dunas, recifes de arenito ou beach rocks, mangues, praias, lagunas costeiras e falésias. Os recifes existentes na zona litorânea do estado são predominantemente de arenito, possuem um formato tabular e geralmente ocorrem durante a preamar e baixamar(2016). Essas formas de construções biológicas são resultados da calcificação de arenitos acumulados por carbonato de cálcio e óxido de ferro, sendo uma exposição da Formação Barreiras (2016).

A Praia do Meireles está localizada no litoral leste da cidade metropolitana de Fortaleza, próxima ao Porto do Mucuripe, com coordenadas geográficas iniciando em 3° 43' 27,8" S / 38° 29' 27,8" W e terminando 3° 43' 30,5" S / 38° 29' 43,1" W (Figura 3). Essa praia apresenta aproximadamente meio quilômetro de comprimento e área estimada de 16.500 m<sup>2</sup> (2015). A Região Metropolitana de Fortaleza é caracterizada por apresentar clima tropical úmido, acompanhado por chuvas escassas durante o ano todo (500 – 1000mm), sendo os meses mais chuvosos de Janeiro a Junho e os mais secos de Julho a Dezembro (2014).

A temperatura média no litoral de Fortaleza é considerada alta (27°C-29°C), típica de regiões tropicais, por se localizar aproximadamente paralelo ao Equador (2018). De acordo com Corrêa (2013) a região está inserida na Bacia do Ceará que possui composição quase totalmente por carbonato de cálcio biogênico com predominância de areia e cascalho.

A maior distribuição da espécie de coral *Siderastrea stellata* ocorre predominantemente em poças de maré que se formam entre as rochas e sedimentos dos recifes de arenito, próximos a orla marítima da Praia do Meireles. Estas poças apresentam grande importância biológica para a biota associada, por servir de abrigo para uma diversidade de organismos bentônicos (2016). As poças de maré localizadas na Praia do Meireles possuem aproximadamente entre 0,2 a 1m de profundidade, o que as tornam ambientes de fácil acesso durante a maré baixa (2011).

A área em estudo, neste caso a Praia do Meireles, está inserida na rota turística de praias mais visitadas e utilizadas pelos cidadãos de forma recreativa e comercial na cidade de Fortaleza. A paisagem é composta por inúmeras construções residenciais, como hotéis, prédios, casas e pousadas. Barracas de praias são comumente vistas ao longo da praia, além



de quiosques e restaurantes para atender ao público. Porém, em contrapartida com os aspectos turísticos, muitos impactos e fontes poluidoras podem ser observados no litoral leste cearense e particularmente na praia, como por exemplo as galerias pluviais destinadas para a emissão de esgotos domésticos, descarte inadequado de resíduos sólidos e efluentes oriundos de indústria e construção civil.

No caso de emissão de metais por efluentes de esgoto urbano, podemos citar Maia (2003) que obteve concentrações significativas de Cd, Pb e Zn no sedimento da região costeira de Fortaleza mostrando que o escoamento desses efluentes é um importante emissor de metais para a linha de costa da região.

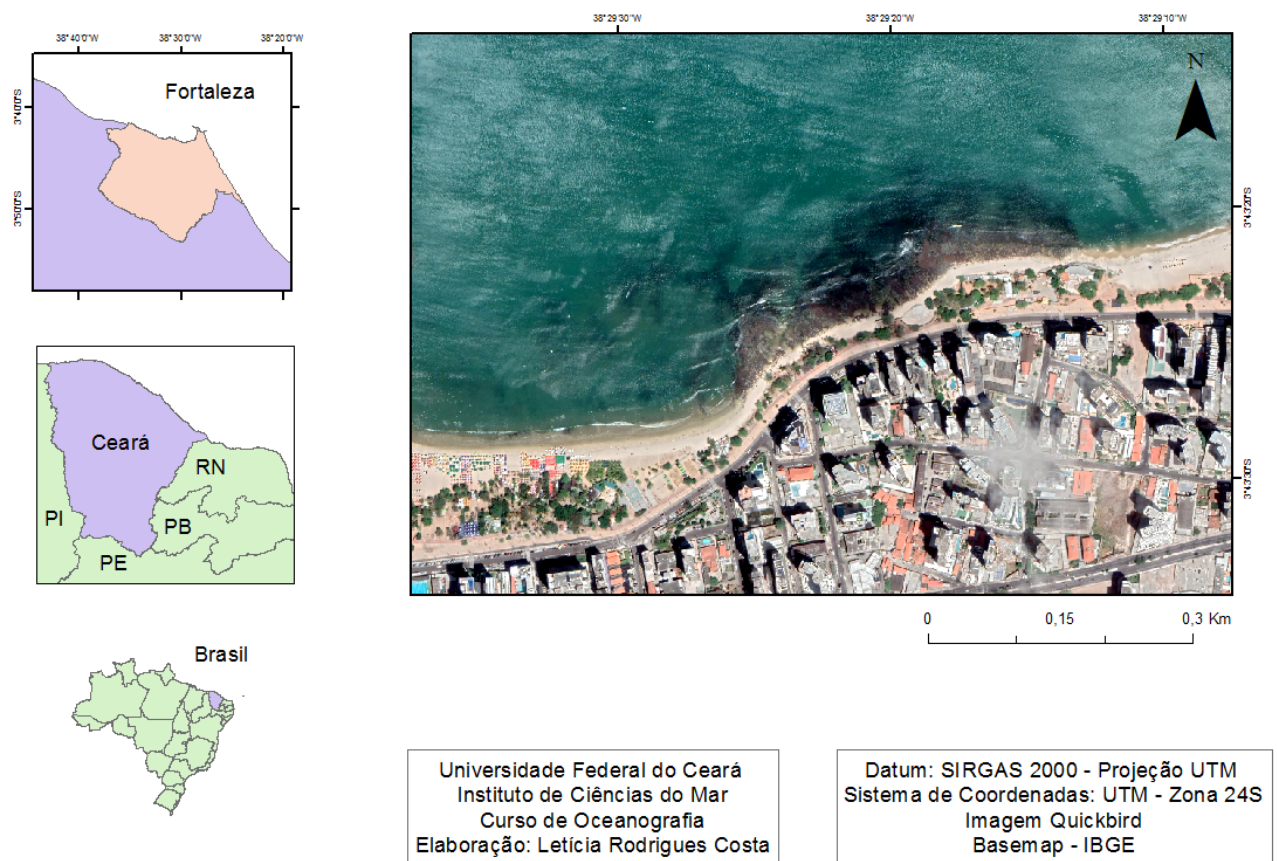


Figura 3 – Mapa de Localização da área de estudo, Praia do Meireles

### 3.2 Materiais e métodos

O atual estudo foi realizado no recife de arenito ferruginoso localizado na Praia do Meireles durante a maré baixa no dia 28 de outubro de 2018 às 13h (Figura 4). A campanha consistiu na coleta de quatro colônias do coral *Siderastrea stellata* ( duas saudáveis e duas branqueadas), dentro das normas da Sisbio, em quatro das seis poças de marés escolhidas

aleatoriamente próximas ao Porto do Mucuripe. As poças foram enumeradas de 1 a 6, os pontos 1 e 2 representam as primeiras poças que foram retiradas as duas colônias branqueadas, duas amostras de sedimentos adjacentes aos corais e duas de água; os pontos 3 e 4 foram retiradas as duas colônias saudáveis, duas amostras de sedimentos também adjacentes aos corais e duas de água, enquanto que nos pontos 5 e 6 foram retiradas apenas duas amostras de sedimentos e duas de água. Totalizando assim, 4 amostras de corais da espécie *Siderastrea stellata*, 6 amostras de sedimentos e 6 de água para análise de dados físicos-oceanográficos e químicos do ambiente em estudo e de sedimentos para correlacionar os teores de metais nos corais vivos e mortos no ambiente recifal. As coletas foram realizadas em poças com profundidades de aproximadamente 80 cm a 1m.

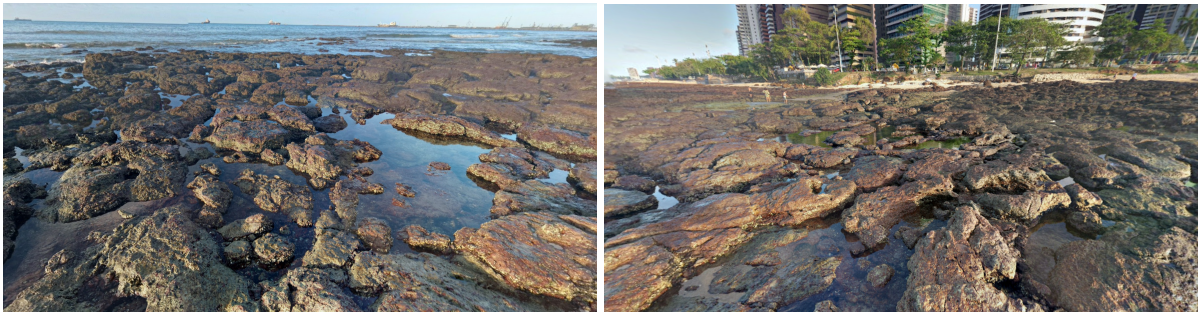


Figura 4 – Recife de arenito localizado na Praia do Meireles. Fonte: Google Maps

Para a retirada do material biológico da área de estudo foi necessário o uso de um martelo geológico petrográfico, devido a dureza do esqueleto calcário do coral. Durante cada amostragem foi inserido uma sonda multiparamétrica YSI para determinar parâmetros hidroquímicos das poças onde foram coletados os corais, sedimento e amostra de água, como salinidade, pH, alcalinidade e temperatura para caracterização do ambiente.

As amostras de água foram coletadas em 6 garrafas de vidro nas poças de marés, onde os corais estavam presentes, armazenadas em um isopor e devidamente etiquetadas para análise de alcalinidade e pH. Da mesma forma, as amostras de sedimentos foram coletadas nas mesmas poças de marés, utilizando uma pá de plástico para não ocorrer contaminação do material e logo após foram armazenadas em sacos plásticos e guardadas em um isopor para isolá-las da temperatura ambiente. Após a coleta dos corais, dos sedimentos e da água, as amostras foram levadas para o Laboratório de Geoquímica Ambiental, situado no Instituto de Ciências do Mar para análise físico-química.

### 3.3 Variáveis físico-químicas na água

As amostras de água foram fixadas com 200  $\mu\text{L}$  de solução saturada de cloreto de mercúrio ( $\text{HgCl}_2$ ) para medir o pH e a alcalinidade. Para medir o pH foi utilizado o pHmetro portátil Methrom 826, enquanto a Alcalinidade Total foi determinada a partir da metodologia de Dickson *et al.* (1981), utilizando um sistema de titulação potenciométrica de célula aberta. Uma quantidade conhecida de amostra foi titulada com uma solução de ácido clorídrico em duas etapas: na primeira a amostra é acidificada até um pH entre 3,5 e 4,0 com uma única alíquota de ácido; na segunda as adições foram feitas de 0,05m até atingir um pH de 3,0.

A alcalinidade foi então computada a partir do volume de titulante e usado os dados de força eletromotriz usando o procedimento de mínimos quadrados. As amostras de água salinas foram tituladas com HCL 0,1M + NaCl 0,6M (Figura 5).



Figura 5 – Titulação automática para alcalinidade total de Dickson.

Os dados computados de alcalinidade total e de pH foram utilizados para a estimativa de concentração de pressão parcial de dióxido de carbono ( $\text{pCO}_2$ ) nas 6 poças do presente estudo por meio do programa de CO2calc 4.0.9.

### 3.4 Processo analítico dos teores de metais

#### 3.4.1 Amostras de corais

Para a análise da concentração dos metais Cu, Ni, Zn, Pb e Al nos corais (saudáveis e branqueados) o material biológico foi subdividido em blocos para a retirada total do material biológico da estrutura rochosa (Figura 7). A subdivisão das amostras ocorreu no Laboratório de Laminação no departamento de Geologia no Campus do Pici e foi realizada com o auxílio de um disco diamantado acoplado à uma serra petrográfica para os cortes. Após a etapa de laminação, as sub-amostras biológicas foram colocadas em cadinhos devidamente identificados e levadas para uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 60°C para a secagem por aproximadamente três dias. Depois das amostras passarem da fase de secagem, o esqueleto calcário de cada amostra foi macerado por almofariz e pistilo até todo o material ser moído (Figura 6).

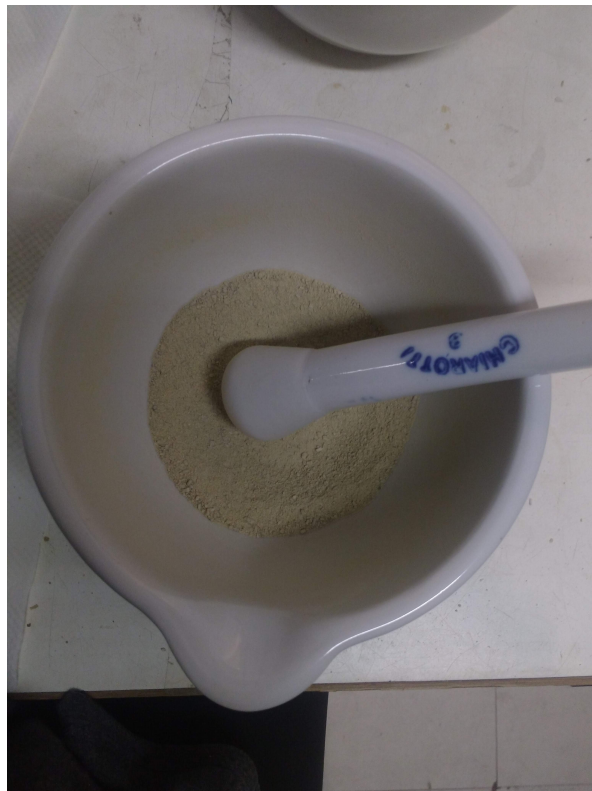
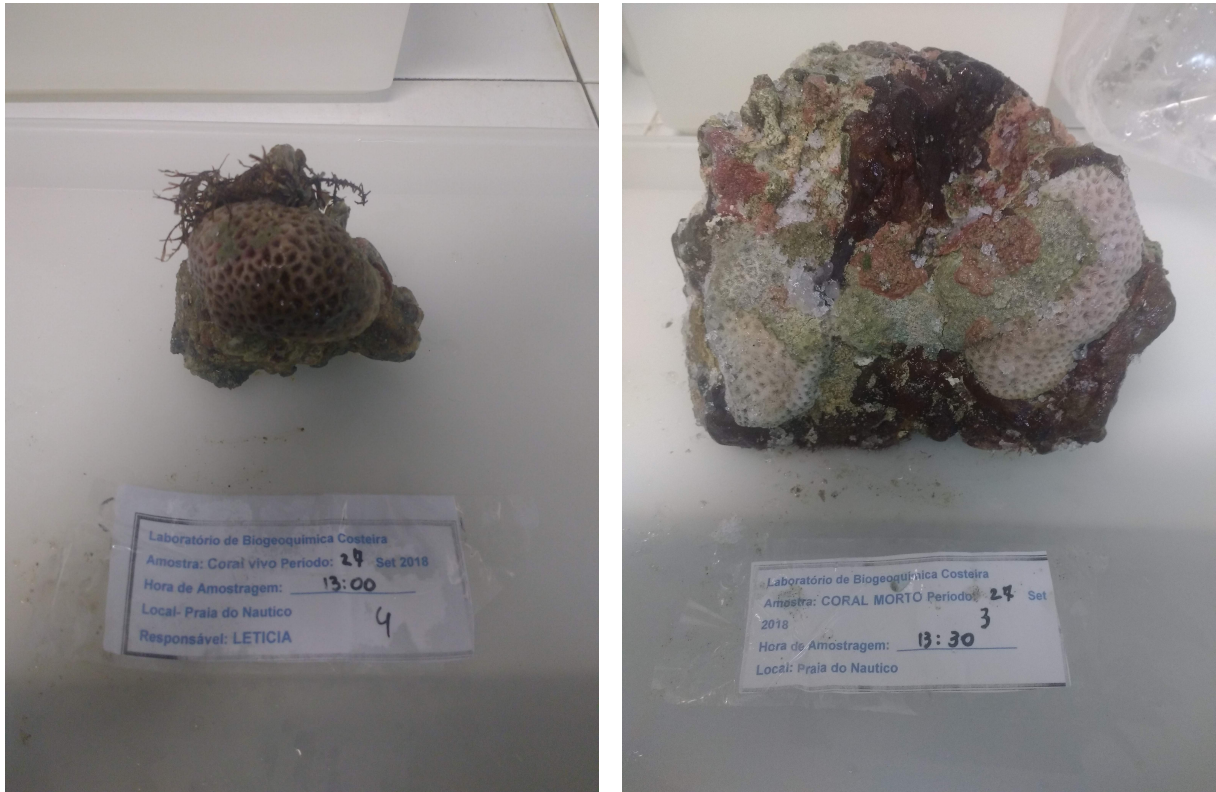


Figura 6 – Amostra de coral branqueado macerado

Para o método de digestão assistida por radiação micro-ondas, foram utilizadas triplicatas das amostras e foi pesado 2g de cada em tubos digestores em uma balança analítica. Esse método consiste nas amostras serem digeridas em tubos PTFE com 20ml de água régia que



contém ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e levados para aquecimento, de aproximadamente 175°C em um sistema de micro-ondas fechado (modelo Mars Xpress Technology inside, CEM Corporation).



(a) Colônia saudável

(b) Colônia branqueada

Figura 7 – Colônias do coral *Siderastrea stellata*.

### 3.4.2 Amostras de sedimentos

As coletas amostrais foram realizadas em apenas uma campanha, juntamente com as coletas de água e do material biológico (corais). As amostras foram coletadas manualmente, utilizando uma pá de plástico e armazenadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados com a localização e data, as quais foram transportadas para o Laboratório de Biogeoquímica Costeira no Instituto de Ciências do Mar (Labomar) para análises de determinações de metais, matéria orgânica e carbonato no sedimento.

A determinação dos teores de metais nas amostras de sedimentos foi realizada a partir do método de digestão para extração em forno micro-ondas. O método consistiu na pesagem de 2g de cada amostra seca de sedimento em uma balança analítica de modelo SHIMADZU, modelo AY220, Tóquio, Japão em tubos de teflon. As amostras de sedimentos foram feitas em

duplicatas. Em cada tubo digestor contendo amostra de sedimento já pesadas, foram adicionados 12 mL de água-régia 50 (HNO<sub>3</sub>:HCl,1:3) (Figura 8a). As amostras foram levadas ao forno microondas Mars Xpress marca CEM (Figura 8b). A digestão foi realizada segundo o método da USEPA que mostrou maior eficiência ao utilizar água régia para a digestão em sedimentos. Após a digestão, o conteúdo dos tubos digestores (extrato em temperatura ambiente) foi transferido para tubos falcons devidamente identificados de acordo com o local o qual foram coletados.



(a) Em tubos PTFE



(b) Distribuídas no forno microondas Mars Xpress marca CEM

Figura 8 – Amostras de sedimentos.

### 3.4.3 Determinação dos teores de metais

Tanto para as amostras de corais quanto para as de sedimentos foi utilizado o mesmo método de determinação. Logo após todo material biológico e o sedimento serem digeridos pela água régia, o conteúdo dos tubos digestores (extrato em temperatura ambiente) foi transferido para tubos falcons devidamente identificados e enumerados. A determinação dos metais Cu, Al, Pb, Zn, Ni e Al foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica com chama (AAS)(modelo AA 6200, Shimadzu, Tóquio, Japão).

As concentrações finais obtidas das amostras de corais e sedimentos a partir do

espectrofotômetro foram calculadas através da absorbância e posteriormente corrigidas pelos fatores de diluição dos extratos. Em seguida, os resultados das concentrações dos metais aceitos (coeficiente de variação inferior a 20%) foram transformados em unidade de massa (ug/g) e inseridos na seguinte expressão para obter o teor real de cada metal analisado:

$$Me(ug/g) = \frac{C \times V \times f}{m}$$

Onde  $C$  é a concentração obtidas através da curva de calibração;  $V$  é o volume total do extrato;  $f$  é o fator de diluição do extrato e  $m$  massa da amostra.

### 3.5 Determinação dos teores de carbonato

Para a determinação do teor de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) nas amostras de corais e sedimentos, utilizou-se a metodologia de Loring & Rantala (1992). Em laboratório, para as amostras de corais o teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foi determinado a partir da pesagem de 0,5g de cada triplicata da amostra. Enquanto que as amostras de sedimentos foram secas e maceradas com gral e pistilo, e depois foram pesadas 2g de cada triplicata da amostra dentro de um sistema fechado. O sistema fechado é composto por um erlenmeyer contendo no seu interior um tubo de vidro com 5mL de ácido clorídrico (HCl 4N). O sistema é fechado por uma rolha de borracha com um orifício onde é inserido outro tubo de vidro preenchido com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), no qual é vedado por lã em suas extremidades para impedir que a umidade do ambiente interfira na análise e possibilitando a saída do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante a digestão.

O peso total do sistema correspondente a cada amostra (triplicata), juntamente com os padrões foi pesado em uma balança analítica e posteriormente anotado antes da digestão. As amostras (corais e sedimentos) foram levadas e distribuídas em uma mesa agitadora (Modelo NT 155) por 2 horas (Figura 9). Após as amostras serem digeridas pelo ácido clorídrico, cada sistema foi pesado novamente para obter a massa final, sendo o teor de carbonato calculado da seguinte forma:

$$\text{CaCO}_3(\%) = \left( \frac{(Pa - Pb) \times Q \times 0,1}{M} \right) \times 100$$

Onde  $Pa$  é a massa perdida da amostra,  $Pb$  é a perda do branco do sistema,  $Q$  é a perda de massa do padrão e  $M$  a massa da amostra.



Figura 9 – Análise de carbonato nas amostras de corais e sedimento na mesa agitadora.

### 3.6 Determinação do teor de matéria orgânica

A análise de MO (Matéria Orgânica) realizada nas 6 amostras de sedimentos e nas 4 colônias de corais foi determinada a partir do método de Loring & Rantala (1992). A metodologia se baseia por gravimetria através da perda por ignição. Foram utilizados cadinhos de porcelana e os mesmos secos em forno mufla a uma temperatura de aproximadamente 450°C por 4h para que não ocorresse nenhum tipo de contaminação. Depois de resfriados, os cadinhos foram pesados em uma balança analítica do Laboratório de Biogeoquímica Costeira e os respectivos valores foram anotados para cálculos posteriores. Logo após, foram pesados 2g de cada amostra, tanto de sedimento quanto do coral, nos cadinhos. Após a pesagem de todas as amostras, estas foram levadas ao forno mufla e calcinadas a 450°C por 24h para a retirada de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Passada as horas no forno, os cadinhos foram resfriados, logo após pesados e os valores finais anotados. As amostras foram analisadas em triplicatas e os percentuais de Matéria Orgânica (MO) foram obtidos a partir da seguinte equação:

$$MO(\%) = \frac{M_c \times 100}{M_s}$$

Onde  $M_c$  é a massa perdida depois da calcinação e  $M_s$  é a massa inicial do sedimento.



### 3.7 Estatística dos dados

Os resultados das concentrações de metais e os teores de matéria orgânica (MO) e carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) nas amostras de corais e sedimentos obtidos nas análises foram comparados para determinar a distribuição da amostragem e as correlações de Spearman.

A avaliação da distribuição dos dados obtidos foi feita através do método de Shapiro-Wilk, no qual se trata de um teste não-paramétrico que verifica se a distribuição de um conjunto de dados adere à Distribuição Normal. As simulações foram feitas no software STATISTICA se baseando a partir da quantidade de amostras analisadas no presente trabalho.

Para verificar a correlação geoquímica entre as amostras de corais e sedimentos foi utilizado o método de Spearman. As concentrações obtidas de todos os metais, matéria orgânica e carbonato foram comparados estatisticamente no mesmo software STATISTICA para determinar quais variáveis poderiam estar correlacionadas entre as amostras de corais e sedimentos.

O critério utilizado para a correlação de Spearman se refere aos índices de correlação mais próximos de 1 ( $r=1$ ). Quando o índice entre duas variáveis for mais próximo de 1, quer dizer que as mesmas estão correlacionadas proporcionalmente, enquanto que índices negativos representam que as variáveis se comportam inversamente proporcionais.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Variáveis hidroquímicas da área adjacente aos corais

A partir dos resultados da caracterização dos parâmetros físico-químicos obtidos nas poças de marés em que foram retiradas as colônias de corais saudáveis e branqueados (Tabela 1) podemos observar que houve pequenas, porém significativas variações entre as variáveis hidroquímicas na região do recife, como a temperatura (°C), salinidade (US), pH e alcalinidade. Este comportamento é devido à proximidade entre as poças de marés, de aproximadamente 2m. Devido a esta pequena distância e a interconexão das poças, já era esperado uma discreta variação entre as características físico-químicas das poças em estudo, o que indica ser um ambiente recifal bastante estável.

Tabela 1 – Variáveis Químicas e físicas das poças de marés (P1 e P2 representam as poças referentes aos corais branqueados; P3 e P4 aos corais vivos e P5 e P6 não apresentavam corais).

Pontos	Temperatura (°C)	Salinidade	Alcalinidade	pH	pCO <sub>2</sub>
<b>P1</b>	33,8	38	2085,9	8,25	289,08
<b>P2</b>	35,1	38,4	1999,9	8,16	362,69
<b>P3</b>	34,7	38	2022,3	8,48	132,24
<b>P4</b>	34,7	38	2039,0	8,50	124,26
<b>P5</b>	34,7	37,2	2063,4	8,49	132,43
<b>P6</b>	34,2	38	2080,7	8,35	210,359

Fonte: o autor.

#### 4.1.1 Temperatura e Salinidade

A média da salinidade obtida nos pontos (poças) de 1 à 6 variou entre 37,5 e 38. A poça que apresentou menor índice de salinidade foi a de número 5, com 37,2 e o máximo de

salinidade medida foi encontrada na poça de número 2, com 38,4. Este comportamento constante e elevado da salinidade é característico de regiões tropicais com altas temperaturas dominadas por águas exclusivamente marinhas, onde a evaporação excede a precipitação ( $E > P$ ).

A temperatura média observada durante a campanha nas poças de marés da região recifal foi de 34,5°C. A maior temperatura registrada foi de 35,1°C na poça de número 2, e o menor registro de temperatura foi na poça 6 com 34,2°C. Nota-se uma média elevada em relação aos valores de temperaturas obtidos nas amostras de água, devido a grande exposição das poças no banco de arenito aos raios solares durante a maré baixa no período da tarde no horário em que a campanha fora realizada. As poças de marés se encontravam em profundidades pequenas com aproximadamente 0,50m, o que facilita uma maior penetração desses raios nesta região. Este fato é relevante pois indica o quanto esta espécie (*Siderastrea stellata*) é bem resiliente à essas condições, pois está no limite da fotoinibição da ação das microalgas.

Os valores de temperatura registrados na água superficial das poças durante a campanha são considerados elevados quando comparados à temperatura média da região (27°C - 29°C), o que pode vir a influenciar na comunidade de zooxantelas presentes nos corais, ocasionando posteriormente branqueamento das colônias (POGGIO *et al.*, 2009).

#### **4.1.2 pH e Alcalinidade total**

Segundo Turner (1981) a alcalinidade total (AT) de uma amostra de água é designada como o número de mols de íons de hidrogênio equivalentes aos excessos de aceptores de prótons (bases formadas de ácidos fracos com constante de dissociação  $K < 10^{-4,5}$  a 25 °C e força iônica equivalente a zero) sobre doadores de prótons (ácidos com  $K > 10^{-4,5}$ ) em 1 kg de amostra. A alcalinidade, portanto, é um dado muito importante para o controle da qualidades das águas. Os resultados obtidos de pH e alcalinidade total das amostras de águas correspondentes às 6 poças de marés mostraram pouca variação significativa (Tabela 2). As poças de número 1 e 2, onde estavam localizadas as colônias branqueadas obtiveram valores de alcalinidade respectivos de 2085,9 e 1999,9, enquanto que comparando com as poças 3 e 4 em que se encontravam as colônias saudáveis/saudáveis os valores de alcalinidade foram próximos com 2022,3 e 2039,0 respectivamente.

Na água do mar, o pH pode variar dependendo de alguns fatores como profundidade, temperatura e localização, porém em diversas regiões a média encontrada é de 8,2 + 0,1. A diminuição dos teores de pH geralmente ocorrem durante a noite devido a respiração de organismos

presentes nos ambientes e o significativo aumento dos valores de CO<sub>2</sub>. Em contrapartida, os teores de pH podem aumentar durante o período da tarde devido a dispersão do CO<sub>2</sub> nas águas superficiais durante o processo de fotossíntese, porém esses valores não passam de 8,4 (GOMES, 2005).

Outros fatores que podem influenciar os valores de pH no ambiente marinho são teor de argila, teor de carbonatos, capacidade de troca catiônica e poder redox, sendo responsável pela distribuição e deposição de metais na água e sedimento. Tem sido constatado que em águas mais ácidas as concentrações de metais aumentam, enquanto que em águas alcalinas este comportamento é o oposto (RIOS, 2018).

No atual estudo as amostras de águas do mar se mostraram alcalinas propensas a neutralidade, com valores entre 8,16 e 8,50. Os valores de pH obtidos nas poças 1 e 2, em que os corais branqueados/branqueados estavam presentes tiveram seus menores índices, 8,25 e 8,16, quando comparados aos valores encontrados nas poças em que os corais saudáveis/saudáveis foram retirados (P3 e P4), com índices maiores respectivos a 8,48 e 8,50. Nas poças P5 e P6, os valores de pH obtidos também foram altos, com 8,49 e 8,35 respectivamente. Este comportamento é característico de águas quentes superficiais, que possuem valores de alcalinidade relativamente baixos devido o consumo de nutrientes durante a produção primária e o crescimento dos organismo pelo uso do carbonato na região intermaré.

#### **4.1.3 Pressão parcial de CO<sub>2</sub>(pCO<sub>2</sub>)**

Nas últimas décadas, dados obtidos pela NOAA (2019) apontam um aumento da pressão parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>) na atmosfera desde antes da revolução industrial que passou de 280ppm para valores acima de 400ppm como registrado em Mauna Loa, Hawaii em 2015 (400.88uatm). Os ambientes recifais têm sido indicados como um dos ecossistemas mais vulneráveis a esse tipo de mudança global devido a elevação da pCO<sub>2</sub>. Os valores obtidos da pressão parcial de CO<sub>2</sub> das poças de marés no atual estudo estão descritos na tabela 1. Os valores calculados das poças de número 1 e 2 na qual as amostras de corais branqueados foram retirados, foi de 289,08 e 362,69, respectivamente. Enquanto que nas poças de número 3 e 4, onde as amostras de corais saudáveis foram extraídos, os valores de pCO<sub>2</sub> foram 132,24 e 124,26. Já as demais poças, P5 e P6 obtiveram valores de pCO<sub>2</sub>, respectivamente de 132,43 e 210,359.

Os valores baixos da pCO<sub>2</sub> encontrados nas amostras de água das poças 3 e 4, onde os corais saudáveis se encontravam podem significar um ambiente de autotrofia líquida, no qual

a fotossíntese sobrepõe os teores da respiração ( $F > R$ ), fazendo com que a assimilação de  $CO_2$  produzida a partir da remineralização da matéria orgânica aumente o pH, diminua a concentração de carbono inorgânico dissolvido (CID) e os teores da pressão parcial de  $CO_2$  no ambiente (SOUZA, 2016). Enquanto que a alcalinidade total permanece inalterada, exceto por algumas variações devido a assimilação dos nutrientes existentes no ecossistema. Indicando uma alta produção primária no local e, conseqüentemente, um maior consumo de CID.

Os maiores valores encontrados da  $pCO_2$  nas poças onde os branqueados foram retirados ( 1 e 2) indicam uma maior entrada de matéria orgânica provinda dos esgotos e galerias adjacentes na Praia do Meireles, aumentando a concentração do carbono inorgânico dissolvido (CID) e elevando os teores da pressão parcial do  $CO_2$  e diminuindo o pH. Em conjunto, com a influência desta matéria orgânica podemos considerar as taxas de fotossínteses baixas devido a presença das colônias branqueadas nas poças em que os teores de  $pCO_2$  foram mais elevados.

#### **4.2 Teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica no sedimento**

A deposição de matéria orgânica nos sedimentos provenientes da costa são oriundos de materiais coloidais e de partículas dissolvidas introduzidas por fontes fluviais terrestres e estuarinas, o que a torna uma mistura heterogênea de moléculas orgânicas com diferentes propriedades químicas (SANTOS *et al.*, 2013). Os teores de matéria orgânica (MO) obtidos nas amostras de sedimentos analisadas dos 6 pontos da campanha variaram de 0,69% a 1,97%. As amostras S1 e S2 respectivas ao ponto em que se encontravam os corais branqueados apresentaram percentuais superiores, 1,56% e 1,97%, as amostras S5 e S6, em que não havia corais. Enquanto que nas amostras S3 e S4, respectivas as amostras saudáveis dos corais obtiveram percentuais de 1,68% e 1,28% respectivamente. A partir destes resultados obtidos, percebemos que houve uma pequena variação significativa da concentração de matéria orgânica entre as poças em que tanto os corais saudáveis e branqueados foram retirados.

Os baixos teores encontrados na área em estudo podem estar relacionados a velocidade residual do sedimento no ambiente, já que no banco de arenito situado na Praia do Meireles há uma grande influência das ondas durante os ciclos de marés. De acordo com Guimarães (2016) regiões que apresentam uma maior velocidade residual, ou seja um maior movimento de suas partículas em um determinado período de tempo são caracterizados por apresentarem uma menor deposição de M.O, enquanto que em regiões que possuem uma menor velocidade residual apresentam o comportamento oposto.

Tabela 2 – Concentrações de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica nas amostras de sedimento

<b>Pontos</b>	<b>MO(%)</b>	<b><math>\text{CaCO}_3</math>(%)</b>
<b>S1</b>	1,56 ± 0,03	34,49 ± 0,89
<b>S2</b>	1,97 ± 0,02	23,48 ± 2,3
<b>S3</b>	1,68 ± 0,14	15,72 ± 0,85
<b>S4</b>	1,28 ± 0,05	32,71 ± 2,9
<b>S5</b>	0,69 ± 0,07	15,43 ± 0,16
<b>S6</b>	0,84 ± 0,06	11,59 ± 1,2

Fonte: o autor.

A variação das concentrações de carbonato de cálcio analisadas nas 6 amostras de sedimentos foram de 11,59% a 34,49%. Comparando o percentual entre as amostras de sedimentos respectivas aos corais saudáveis e branqueados, as amostras S1 e S2 obtiveram os maiores teores de  $\text{CaCO}_3$  em relação as amostras em que os corais branqueados se encontravam (S3 e S4), com teores de 15,72% e 32,71% respectivamente. Enquanto que nas amostras em que não haviam corais (S5 e S6) os percentuais foram menores em relação aos demais sedimentos, com valores de 15,43% e 11,59%, respectivamente. O alto teor de carbonato de cálcio encontrado nesses sedimentos provém das conchas de organismos existentes, no ambiente recifal como foraminíferos, moluscos e algas calcárias (algas vermelhas, algas amarelas, etc).

### 4.3 Teores de metais no sedimento

Os valores das concentrações dos metais existentes nas amostras de sedimentos analisadas de cada ponto se encontram na tabela 3. As maiores concentrações de metais no sedimento foram obtidas nas amostras S3 e S4 relacionadas aos corais saudáveis, enquanto que nas amostras S1 e S2, relacionadas aos corais branqueados e nas amostras S5 e S6, que não havia corais as concentrações foram inferiores em comparação aos demais pontos. Na Tabela 9 cada elemento está listado em ( $\mu\text{g/g}$ ) e os valores dos pontos seguem o seguinte padrão:

Média  $\pm$  D.P

(Mín – Máx)

Tabela 3 – Concentrações dos metais nas amostras de sedimento

Amostras	Ni	Cu	Pb	Zn
<b>S1</b>	2,78 $\pm$ 0,43 (1,46-1,65)	1,56 $\pm$ 0,14 (2,47-3,09)	5,52 $\pm$ 0,82 (4,94-6,10)	7,39 $\pm$ 1,34 (6,44-8,34)
<b>S2</b>	3,12 $\pm$ 0,12 (3,04-3,20)	2,08 $\pm$ 0,03 (2,05-2,10)	8,05 $\pm$ 0,10 (7,98-8,12)	8,35 $\pm$ 0,05 (8,32-8,35)
<b>S3</b>	9,79 $\pm$ 0,17 (9,67-9,92)	3,41 $\pm$ 0,43 (3,10-3,72)	11,14 $\pm$ 0,24 (10,97-11,31)	12,37 $\pm$ 1,64 (11,21-13,53)
<b>S4</b>	7,00 $\pm$ 0,75 (6,47-7,53)	3,31 $\pm$ 0,24 (3,15-3,48)	12,27 $\pm$ 0,91 (11,63-12,92)	12,24 $\pm$ 2,14 (10,73-13,76)
<b>S5</b>	3,52 $\pm$ 0,22 (3,37-3,67)	2,32 $\pm$ 0,34 (2,07-2,56)	10,87 $\pm$ 0,09 (10,81-10,93)	5,45 $\pm$ 0,07 (5,40-5,49)
<b>S6</b>	4,29 $\pm$ 0,09 (4,23-4,35)	2,37 $\pm$ 0,08 (2,32-2,42)	10,52 $\pm$ 0,12 (10,43-10,60)	5,42 $\pm$ 0,08 (5,37-5,48)

Fonte: o autor.

#### 4.3.1 Níquel

Para o elemento níquel (Ni), as concentrações entre as amostras de sedimentos variaram entre 2,78  $\mu\text{g/g}$  e 9,79  $\mu\text{g/g}$  (tabela 3). Os teores de níquel nas amostras de sedimentos respectivas aos corais branqueados (S1 e S2) foram de 2,78  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 3,12  $\mu\text{g.g}^{-1}$  respectivamente. Enquanto que as concentrações de Ni nas amostras de sedimentos referentes aos corais saudáveis foram respectivamente 9,79  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 7,00  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . Nas amostras S5 e S6 os teores variaram de 3,52  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 4,29  $\mu\text{g/g}$ . Entre os ambientes os teores de Ni se mostraram maiores nas poças em que foram retiradas as colônias saudáveis dos corais, comportamento este que pode ser visto na figura 10.

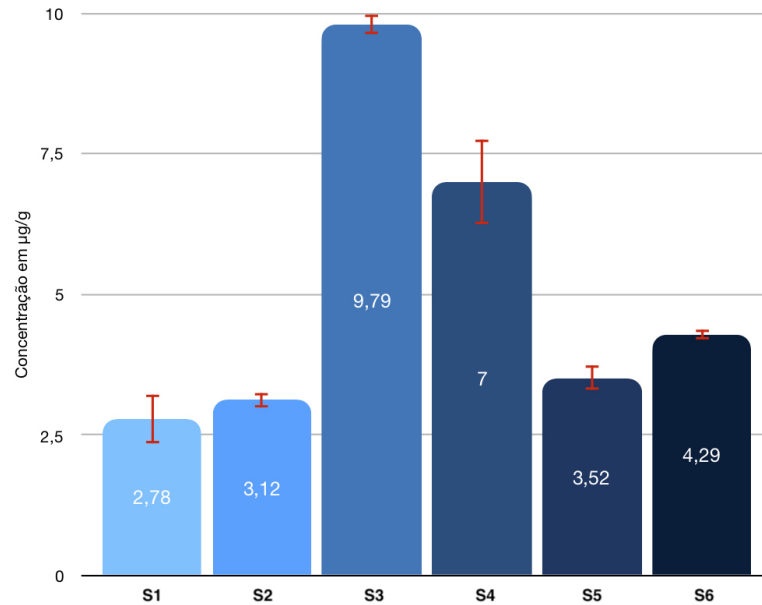


Figura 10 – Concentração de níquel (Ni) nas amostras de sedimentos

#### 4.3.2 Cobre

Os valores das concentrações para o elemento cobre (Cu) obtidos entre as amostras de sedimentos variaram entre  $1,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a  $3,41 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Figura 11). Os teores de cobre (Cu) obtidos nas amostras S1 e S2, respectivas as corais branqueados foram de  $1,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $2,08 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Nas amostras de sedimentos S3 e S4 referentes aos corais saudáveis, os teores de Cu tiveram um significativo aumento,  $3,41 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $3,31 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  respectivamente. Enquanto que os valores das concentrações das amostras S5 e S6 foram relativamente menores, com  $2,32 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $2,37 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

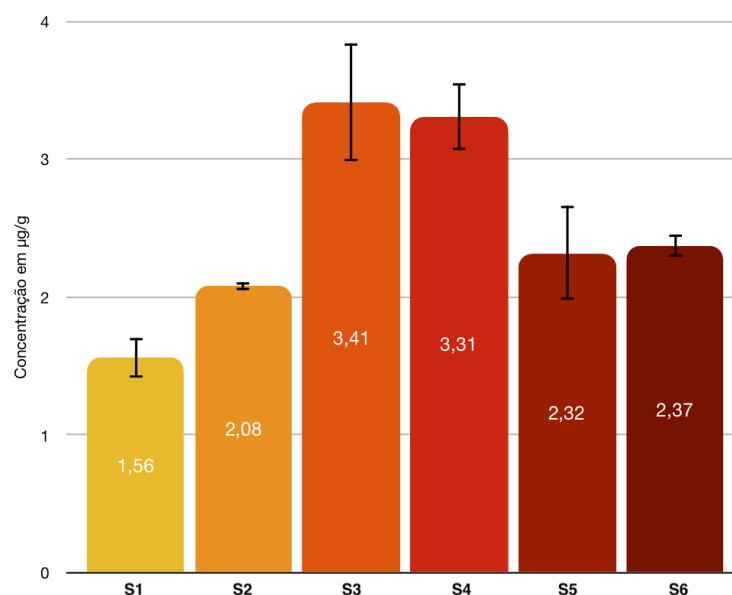


Figura 11 – Concentração de cobre (Cu) nas amostras de sedimentos



### 4.3.3 Chumbo

As concentrações de chumbo (Pb) apresentaram variações entre  $4,94 \mu\text{g.g}^{-1}$  e  $12,92 \mu\text{g.g}^{-1}$ , a média desses valores foi de aproximadamente  $9,73\%$ . Os resultados obtidos das concentrações mostraram que houve uma significativa variação entre as amostras de sedimentos referentes aos corais saudáveis e branqueados. De acordo com a Figura 12, os teores de chumbo são mais elevados nas amostras S3 e S4 referentes aos corais saudáveis. Enquanto que nas amostras S5 e S6 são observadas as menores concentrações de Pb quando comparadas as demais amostras.

Segundo Maia (2003) as principais fontes de Pb no litoral de Fortaleza são devido os efluentes da lixiviação dos solos urbanos, dentre essas fontes estão o descarte de materiais ferrígenos de construções e resquícios de pneus, vazamentos de óleos oriundos do desgaste de automóveis, que contribuem com os teores de Pb na região litorânea. Porém os índices encontrados se mostram abaixo do esperado quando comparados a outras regiões de estudo no Nordeste do Brasil (Dos Santos *et al.*, 2013).

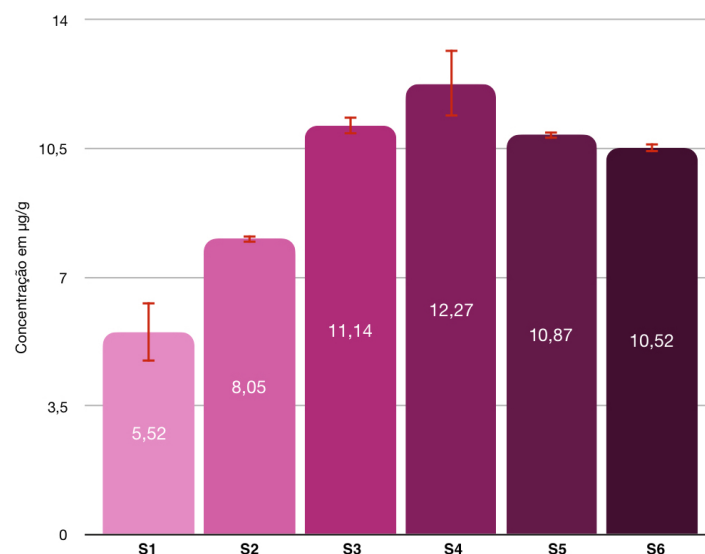


Figura 12 – Concentração de chumbo (Pb) nas amostras de sedimentos

### 4.3.4 Zinco

A concentração de Zinco (Zn) entre os ambientes em estudo variou entre  $5,37 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $13,76 \mu\text{g.g}^{-1}$ , sendo os maiores valores obtidos nas amostras S3 e S4 respectivos aos corais saudáveis com  $12,37 \mu\text{g.g}^{-1}$  e  $12,24 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 13). As concentrações deste metal nas

amostras S1 e S2 foram menores, com respectivamente  $7,39 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $8,35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Enquanto que nas poças que não se encontravam colônias de corais os teores foram respectivamente  $5,45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $5,42 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Os resultados obtidos das concentrações de zinco corroboram com outros estudos realizados na costa de Fortaleza, como o de Maia (2003) que encontrou teores em torno de  $0,78 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a  $9,12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

A incorporação de Zn nos sedimentos do litoral norte da cidade de Fortaleza pode estar associada com atividades portuárias próximas, no caso provinda do Porto do Mucuripe, ou de efluentes urbanos como o descarte de materias de construções e de escoamento de óleos pelas galerias de esgoto adjuntas à praia (MAIA; MARINS, 2003).

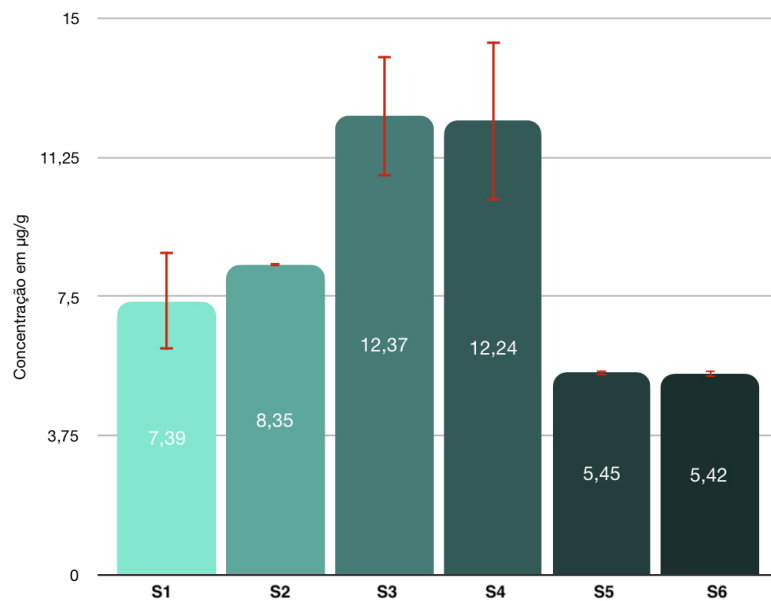


Figura 13 – Concentração de zinco (Zn) nas amostras de sedimentos

#### 4.4 Teores de carbonato e matéria orgânica nos corais (*Siderastrea stellata*)

As concentrações dos teores de carbonato e matéria orgânica se encontram na tabela 4. Os teores de matéria orgânica (MO) entre as amostras saudáveis variaram de 6,0% (Saudável 1) a 7,15% (Saudável 2). Sendo a maior concentração encontrada na amostra saudável 2. Enquanto que entre as amostras branqueadas, os teores de MO obtidos foram de 4,16% (Branqueado 1) e 6,20% (Branqueado 2). Todas as amostras apresentaram percentuais inferiores a 10%, o que caracteriza composição mineral. As amostras saudáveis apresentaram um percentual de teor de MO maior do que as amostras branqueadas, o que pode estar associado com a presença de algas simbióticas na estrutura esquelética dos corais.

Tabela 4 – Concentrações de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica (MO) nas amostras de corais

Amostras	MO(%)	$\text{CaCO}_3$ (%)
<b>Saudável 1</b>	6,00 ± 0,26	82,56 ± 9,30
<b>Saudável 2</b>	7,15 ± 0,45	80,15 ± 7,58
<b>Branqueado 1</b>	4,16 ± 0,17	96,63 ± 6,82
<b>Branqueado 2</b>	6,20 ± 0,47	85,92 ± 10,84

Fonte: o autor.

Os teores de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) variaram entre as amostras saudáveis de 80,53% (Saudável 1) e 82,53% (Saudável 2). Enquanto que nas amostras branqueadas as concentrações percentuais de carbonato foram maiores em relação às saudáveis, com 96,63% (Branqueado 1) e 85,92% (Branqueado 2). De acordo com Vital (2005) os carbonatos são componentes predominantes na cobertura sedimentar da plataforma continental do nordeste brasileiro, possibilitando seu uso como traçadores de deposição marinha. Este comportamento da deposição carbonática na plataforma continental também auxilia no processo de distribuição de metais. Metais como chumbo(Pb), níquel (Ni) e cobre (Cu) estão fortemente influenciados por essas deposições carbonáticas (AGUIAR, 2007).

#### 4.5 Teores de Metais nos corais (*Siderastrea stellata*)

##### 4.5.1 Níquel

As concentrações de metais nas amostras de corais são apresentadas na tabela 5. Os teores de níquel (Ni) encontrados nas amostras de corais saudáveis variaram de  $2,02 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $3,39 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 14). Sendo a maior concentração obtida na primeira colônia coletada do coral *Siderastrea stellata*. Nas amostras de corais branqueados, os teores de níquel variaram entre  $2,57 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $3,95 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Sendo a maior concentração encontrada também na primeira colônia de coral branqueado coletada.

Segundo Ali *et al.* (2011) o elemento níquel (Ni) quando presente em um ambiente marinho em altas concentrações pode ser indício da entrada de vazamentos de óleo, já que o níquel é um dos metais mais abundantes no petróleo bruto. Fazendo uma comparação entre os teores nos corais, as amostras branqueadas possuem uma média maior na concentração de Ni do que nas amostras saudáveis. Porém, os valores de níquel encontrados nos corais são consideravelmente baixos.

Tabela 5 – Concentrações dos metais nas amostras de corais saudáveis

Amostras	Ni	Cu	Pb	Zn	Al(%)
<b>Saudável 1</b>	3,39 ± 0,08 (3,30-3,51)	2,27 ± 0,79 (1,69-3,46)	3,64 ± 0,20 (3,34-3,83)	7,16 ± 0,16 (7,01-7,4)	0,15 ± 0,01 (0,14-0,15)
<b>Saudável 2</b>	2,02 ± 0,09 (1,91-2,15)	1,96 ± 0,45 (1,28-2,4)	5,89 ± 0,05 (5,81-5,97)	4,56 ± 0,19 (4,30-4,85)	0,27 ± 0,02 (0,25-0,30)
<b>Branqueado 1</b>	3,95 ± 0,11 (3,78-4,06)	1,91 ± 0,14 (0,79-2,12)	6,48 ± 0,12 (6,38-6,66)	8,04 ± 0,51 (7,27-8,57)	0,04 ± 0,01 (0,03-0,04)
<b>Branqueado 2</b>	2,57 ± 0,13 (2,37-2,74)	2,18 ± 0,23 (1,83-2,4)	8,14 ± 0,21 (7,82-8,33)	5,18 ± 0,30 (4,87-5,63)	0,04 ± 0,00 (0,04-0,04)

Fonte: o autor.

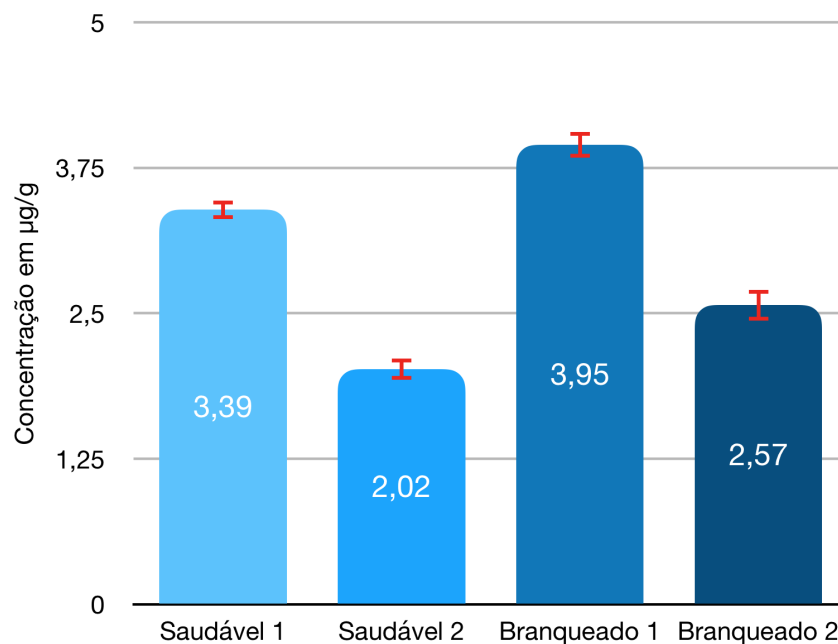


Figura 14 – Concentração de níquel (Ni) nas amostras de corais saudáveis e branqueados

#### 4.5.2 Cobre

Os teores de cobre (Cu) determinados nas amostras de corais saudáveis foram de  $2,27 \mu\text{g.g}^{-1}$  para a primeira colônia coletada, e  $1,96 \mu\text{g.g}^{-1}$  para a segunda amostra da colônia. Enquanto, que os teores obtidos nas amostra branqueado 1 e branqueado 2 foram respectivamente de  $1,91 \mu\text{g.g}^{-1}$  e  $2,18 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 15). Os resultados obtidos da determinação do elemento cobre (Cu) nas amostras de corais são considerados baixos, porém se assemelham às concentrações em outros estudos realizados em regiões urbanizadas com significativas fontes de contaminação (ALI *et al.*, 2011). Este comportamento implica que a capacidade do coral em absorver e incorporar metais na sua estrutura está relacionado com as características físicas e químicas do ambiente. A região do banco de arenito onde estão inseridos os corais em estudo

é caracterizada por ser um ambiente aberto e exposto às ações de ondas e ventos fortes, o que podemos sugerir que durante esses episódios de ondas mais fortes, as partículas de cobre presentes nos corais sejam retiradas periodicamente.

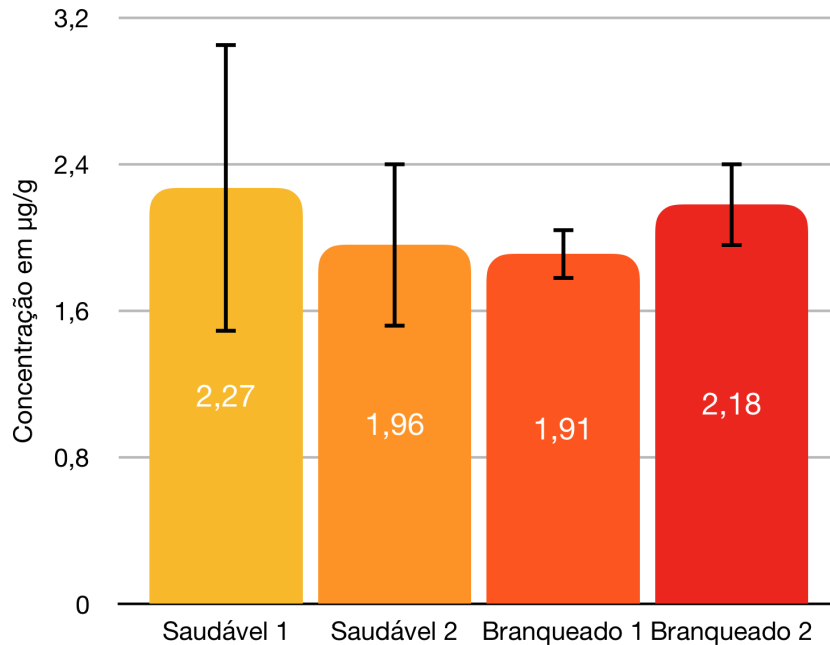


Figura 15 – Concentração de cobre (Cu) nas amostras de corais saudáveis e branqueados

#### 4.5.3 Chumbo

As concentrações de chumbo (Pb) obtidas nos corais saudáveis foram de  $3,64 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para a primeira amostra saudável (Saudável 1) e  $5,89 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para a segunda amostra saudável (saudável 2) (Figura 16). O elemento chumbo (Pb) é considerado um dos metais mais contaminantes introduzidos no meio ambiente por ações antrópicas. Esta contaminação está associada a descarga de efluentes domésticos e industriais presentes na região (ALI *et al.*, 2011). Entretanto, os maiores teores encontrados de chumbo nas amostras foram observados nas amostras branqueadas de corais, sendo destaque a segunda amostra morta (Branqueado 2) com o valor de  $8,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . A porcentagem de matéria orgânica total (tabela 4) também pode contribuir para o aumento da concentração de chumbo no coral, e conseqüentemente no sedimento.

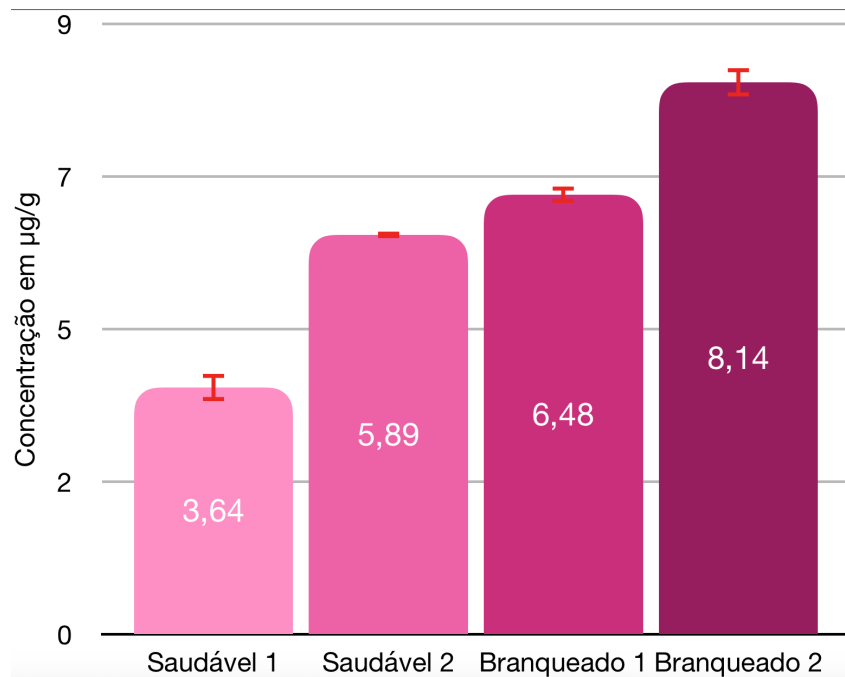


Figura 16 – Concentração de chumbo (Pb) nas amostras de corais saudáveis e branqueados

#### 4.5.4 Zinco

Os teores do elemento zinco (Zn) obtidos nas amostras de corais saudáveis foram de  $7,16 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para o coral saudável 1, e de  $4,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  para o coral saudável 2. Os teores encontrados nas amostras de corais branqueados 1 e 2 foram respectivamente  $8,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $5,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Comparando as concentrações de zinco (Zn) nas amostras saudáveis e branqueadas, a partir da Figura 17, conclui-se que os valores deste metal estão mais concentrados nas amostras branqueadas. As concentrações de zinco no sedimento são bem parecidas com as dos corais, já que ambos possuem teores próximos. Portanto, pode-se implicar que as condições ambientais das poças de recife podem contribuir com a incorporação de zinco tanto no coral como no próprio sedimento. As principais fontes relatadas de Zn no litoral de Fortaleza são principalmente relacionadas com o aumento na descarga de esgoto na região das praias, escoamento de sedimento terrígeno devido as construções realizadas na zona costeira e às atividades portuárias (MAIA; MARINS, 2003). A grande maioria dessas fontes são provenientes do crescimento urbano característico de zona litorânea.

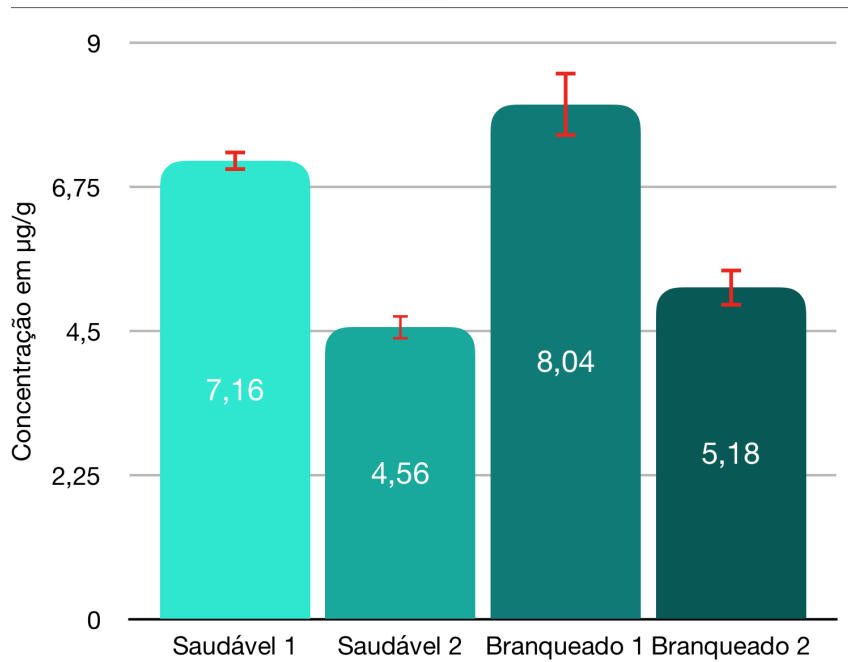


Figura 17 – Concentração de zinco (Zn) nas amostras de corais saudáveis e branqueados

#### 4.5.5 Alumínio

As concentrações medidas em percentual para o elemento alumínio (Al) nas amostras de corais saudáveis foram de 0,15% para a primeira amostra e 0,27% para a segunda amostra, sendo essa a maior concentração obtida dentre as demais analisadas (Figura 18). Para as amostras branqueadas, os teores obtidos de alumínio foram menores em comparação as saudáveis, porém semelhantes entre ambas (tabela 3). De acordo com Aguiar (2007) a principal fonte de alumínio na costa litorânea de Fortaleza é proveniente do continente, através da alteração de minerais silicatados que tem como rocha geradora, os granitos pré-cambrianos, característicos do embasamento geológico à zona costeira.

Estudos utilizando o alumínio (Al) como elemento normalizador têm sido bastante difundidos na literatura devido seu potencial geoquímico para minimizar as consequências da heterogeneidade mineralógica de amostras sedimentares marinhas (AGUIAR, 2007) e por suas concentrações não serem afetadas por ações antropogênicas.



Figura 18 – Concentração de alumínio (Al) nas amostras de corais saudáveis e branqueados

## 4.6 Correlação geoquímica dos metais

### 4.6.1 Correlação geoquímica dos metais no sedimento

Os índices de correlação entre os metais Cu, Zn, Ni e Pb em relação aos principais carreadores geoquímicos analisados, como matéria orgânica (MO) e carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) foram determinados a partir de estatística pela correlação de Spearman. As correlações significativas estão destacadas em vermelho na tabela 6. Os metais analisados nas amostras de sedimentos não apresentaram uma tendência significativa entre os teores de matéria orgânica e carbonato. Contudo, o cobre e o níquel apresentaram uma relação positiva nas amostras de sedimento; entre o cobre e o chumbo e entre o níquel e o chumbo, o que aponta que esses metais possuem uma mesma origem e o mesmo mecanismo de transporte ao longo do recife que controla a distribuição desses metais.

A correlação entre os metais cobre (Cu) e níquel (Ni) pode ser verificada pelo comportamento proporcional das concentrações de ambos os elementos. Enquanto que os teores de níquel aumentam, os teores de cobre também apresentam um aumento significativo. Além da correlação do metal cobre com o níquel, também é relevante a correlação do elemento chumbo (Pb) com o cobre (Cu). O índice de Spearman se encontra próximo de 1 ( $r = 0,92$ ) entre esses metais. As concentrações de ambos os metais possuem um comportamento proporcional, como pode ser visto na tabela 3, os teores de chumbo são maiores que os do cobre, porém quando estas concentrações aumentam as de cobre também seguem o mesmo padrão, o que provavelmente pode estar relacionado com a fonte de origem sendo a mesma para ambos os metais. Outra



correlação significativa ocorre entre os metais níquel (Ni) e chumbo (Pb). Esta interação é fortemente correlacionada nos pontos 1,2, 3 e 5, onde as concentrações de chumbo (Pb) são diretamente proporcionais aos teores de níquel (Ni).

Tabela 6 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn) carreadores geoquímicos (Al,MO,CaCO<sub>3</sub>) no sedimento

	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>MO</b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Cu</b>	1,00					
<b>Ni</b>	<b>0,92</b>	1,00				
<b>Pb</b>	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>	1,00			
<b>Zn</b>	0,50	0,44	0,48	1,00		
<b>MO</b>	-0,20	-0,22	-0,31	0,53	1,00	
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	-0,30	-0,36	-0,15	0,45	0,41	1,00

Fonte: o autor.

#### 4.6.2 Correlação geoquímica dos metais nos corais

As principais associações entre metais e carregadores geoquímicos nas amostras de corais foram observadas com o elemento níquel (Ni) que obteve correlações com chumbo (Pb), alumínio (Al) e matéria orgânica (MO); e entre o metal chumbo (Pb) com o alumínio (Al) e matéria orgânica (MO) (Tabela 7). O carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) não foi carregador geoquímico dos metais analisados no presente trabalho, pois não manteve correlação significativa com nenhum deles, entretanto a matéria orgânica (MO) apresentou um comportamento inversamente proporcional com os elemento níquel e chumbo nas análises estatísticas.

A correlação entre os metais níquel (Ni) e chumbo (Pb) nas amostras de corais foi positiva e fortemente relacionada ( $r = 0,99$ ), o que indica que os teores de ambos os metais aumentam proporcionalmente tanto nas amostras saudáveis e nas branqueadas. Esta forte associação pode estar relacionada a uma mesma fonte que carrega esses metais para os corais. Para o metal níquel, o alumínio se mostrou como um potencial carregador geoquímico ( $r=0,78$ ), enquanto que a correlação entre o níquel e a matéria orgânica foi negativa ( $r = -0,83$ ), ou seja a relação de distribuição entre essas variáveis é inversamente proporcional, já que nas amostras que contém um maior percentual de matéria orgânica a concentração de níquel é menor (e vice-versa).

O metal chumbo (Pb) apresentou correlação positiva com o alumínio ( $r=0,80$ ) indicando a influência desta variável na concentração e distribuição deste metal. Houve também correlação negativa ( $r=-0,79$ ) entre o chumbo (Pb) e a matéria orgânica (MO), mostrando que esta variável não se mostra como um carregador geoquímico deste metal nos corais analisados.

Tabela 7 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn) carregadores geoquímicos (Al,MO, $\text{CaCO}_3$ ) nos corais

	Cu	Ni	Pb	Zn	Al(%)	MO	$\text{CaCO}_3$
Cu	1,00						
Ni	-0,19	1,00					
Pb	-0,19	<b>0,99</b>	1,00				
Zn	0,12	-0,03	-0,09	1,00			
Al	-0,19	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	-0,42	1,00		
MO	0,27	<b>-0,83</b>	<b>-0,79</b>	-0,26	-0,57	1,00	
$\text{CaCO}_3$	0,20	0,27	0,24	0,50	0,23	-0,41	1,00

Fonte: o autor.

### 4.6.3 Correlação geoquímica dos metais entre as amostras de sedimentos e corais

As correlações significativas obtidas entre os metais e carreadores geoquímicos no sedimento e nos corais apresentaram índices negativos, indicando que estas variáveis são inversamente proporcionais (Tabela 8).

A associação entre o níquel do sedimento e o alumínio no coral apresentou uma correlação inversamente significativa ( $r=-0,59$ ). Este comportamento pode indicar a baixa ou nenhuma relação entre a distribuição de metais no sedimentos e nos corais, tanto os saudáveis quanto os branqueados.

A relação entre o metal zinco dos corais com o carbonato presente nas amostras de sedimentos apresentou correlação significativa negativa ( $r=-0,74$ ), indicando que o carbonato de cálcio presente nos corais não é responsável pela distribuição do metal zinco no sedimento. O metal zinco presente nos corais também apresentou correlações negativas com a matéria orgânica ( $r=-0,78$ ) e carbonato ( $r=-0,59$ ) presentes no sedimento, indicando mais uma vez que a deposição deste metal não está associada com os principais carreadores geoquímicos.

Tabela 8 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn), carreadores geoquímicos (Al,MO,CaCO<sub>3</sub>) nos corais (C) no sedimento (S)

	<b>Cu-S</b>	<b>Ni-S</b>	<b>Pb-S</b>	<b>Zn-S</b>	<b>MO-S</b>	<b>CaCO<sub>3</sub>-S</b>
<b>Cu-C</b>	0,28	0,32	0,06	-0,01	-0,01	-0,36
<b>Ni-C</b>	-0,03	-0,15	0,16	0,15	-0,30	0,50
<b>Pb-C</b>	-0,04	-0,16	0,13	0,16	-0,27	0,56
<b>Zn-C</b>	0,36	0,36	0,43	-0,48	-0,78	-0,59
<b>Al-C</b>	-0,45	-0,59	-0,36	-0,02	0,01	0,50
<b>MO-C</b>	0,01	0,20	-0,27	0,01	0,46	-0,37
<b>CaCO<sub>3</sub>-C</b>	-0,25	-0,32	-0,20	-0,74	-0,56	-0,31

Fonte: o autor.

#### 4.6.4 Correlação geoquímica entre o sedimento e variáveis hidroquímicas

Em relação as variáveis hidroquímicas calculadas no presente estudo nas poças de marés onde se encontravam os sedimentos e corais, houveram tendências significativas positivas com o pH entre os metais cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) (Tabela 9). Esta correlação pode indicar que o pH do ambiente recifal influencia diretamente na distribuição e na incorporação desses metais no sedimento das poças de marés. Este comportamento pode ser observado nas amostras de sedimentos S3 e S4 que obtiveram valores altos de pH ( 8,48 e 8,50, respectivamente), enquanto que suas concentrações de Cu, Ni e Pb também se mostram elevadas. Outra variável que apresentou tendência significativa, porém proporcionalmente inversa, foi a pCO<sub>2</sub> em relação aos metais cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e com o pH.

Esta tendência indica que a pCO<sub>2</sub> não influencia positivamente na distribuição dos metais no sedimento das poças na zona entremarés, ou seja com o aumento da pressão do gás carbônico pode ser observado uma diminuição nos teores de Cu, Pb e Ni nas amostras de sedimentos.

Tabela 9 – Matriz de correlação de Spearman entre metais (Cu,Ni,Pb,Zn), carreadores geoquímicos (MO e CaCO<sub>3</sub>) e variáveis hidroquímicas no sedimento

	Cu-S	Ni-S	Pb-S	Zn-S	MO	CaCO <sub>3</sub>	pH	AT	pCO <sub>2</sub>
Cu-S	1,00								
Ni-S	0,92	1,00							
Pb-S	0,92	0,86	1,00						
Zn-S	0,50	0,44	0,48	1,00					
MO-S	-0,20	-0,22	-0,31	0,53	1,00				
CaCO <sub>3</sub> -S	-0,30	-0,36	-0,15	0,45	0,41	1,00			
pH	<b>0,71</b>	<b>0,66</b>	<b>0,88</b>	0,24	<b>-0,62</b>	-0,06	1,00		
AT	-0,41	-0,30	-0,37	-0,54	-0,54	0,04	0,03	1,00	
pCO <sub>2</sub>	<b>-0,83</b>	<b>-0,83</b>	<b>-0,93</b>	-0,45	0,41	0,06	<b>-0,94</b>	0,09	1,00

Fonte: o autor.

## 5 DISCUSSÃO

Os valores de pH e a pressão de dióxido de carbono ( $p\text{CO}_2$ ) entre as poças que continham as colônias saudáveis e branqueadas de corais afetam a solubilidade dos metais nesses ambientes. Segundo Rios (2018) os resultados dos teores altos de pH podem provocar a precipitação e conseqüentemente o acúmulo de metais nos sedimentos. Dessa forma, este comportamento do pH foi observado nas amostras de sedimentos S3 e S4 referentes as poças em que foram encontrados os maiores valores de pH. Nessas amostras foi constatado as maiores concentrações dos metais (Ni, Zn, Pb e Cu) durante as análises.

A determinação dos teores de metais encontrados nas amostras de sedimentos das 6 poças de marés, em ordem decrescente de concentração, seguiu a seguinte ordem S3>S4>S2>S5>S1>S6. Nas amostras 3 e 4, correspondentes as amostras de corais saudáveis a ordem decrescente de abundância em relação aos metais analisados foi de Zn>Pb>Ni>Cu. O mesmo comportamento pode ser visto nas amostras de sedimentos S1 e S2 referentes aos corais branqueados, no qual seguiu a mesma ordem de concentração dos metais. Enquanto que nas amostras S5 e S6 referente às poças que não haviam corais, a ordem decrescente de concentração dos metais seguiu a forma: Pb>Zn>Ni>Cu.

Em relação aos resultados obtidos dos percentuais de matéria orgânica e carbonato de cálcio entre os ambientes que continham as colônias de corais saudáveis e branqueadas, tanto as amostras de sedimentos referentes aos corais branqueados quanto as colônias branqueadas têm os seus índices de  $\text{CaCO}_3$  elevados quando comparados aos ambientes que continham os corais saudáveis. Este comportamento pode indicar uma dissolução líquida maior de carbonato de cálcio provinda das colônias de corais branqueadas sendo depositado nos sedimentos adjacentes nas poças 1 e 2. Tribollet (2009) afirma que em regiões recifais que possuem altos índices de  $p\text{CO}_2$  na água, a dissolução do  $\text{CaCO}_3$  em corais branqueados são mais evidentes. Enquanto que o teor de carbonato de cálcio tanto nos sedimentos respectivos aos corais saudáveis e as colônias saudáveis são menores devido a assimilação de  $\text{CaCO}_3$  pelos próprios corais.

Os percentuais de matéria orgânica obtidos nas amostras de sedimentos relativas aos corais saudáveis (S3 e S4) e aos branqueados (S1 e S2) houveram pequenas variações, demonstrando que não houve uma tendência significativa entre os ambientes e indicando um substrato homogêneo e pobre em matéria orgânica. Porém nas amostras de corais saudáveis e branqueados houveram diferenças significativas entre os teores de matéria orgânica (tabela 4), indicando que os corais saudáveis analisados possuem um percentual maior do que os corais

branqueados, devido a presença de microalgas fotossintéticas associadas ao tecido biológico desses corais. Porém não foi observado alguma correlação e influência entre o teor de MO nos corais com os do sedimento.

Os teores de carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica (MO) foram satisfatórios tanto para as amostras de sedimento quanto para as de corais, os valores encontrados corroboram com outros estudos. Maia (2003) encontrou teores próximos de carbonato no sedimento presente na região do litoral norte de Fortaleza, que variaram entre 8,52% à 43,84%, enquanto que os percentuais de matéria orgânica variaram entre 0,86% à 5,50%, teores semelhantes ao encontrados no presente trabalho. Quanto aos teores de matéria orgânica presente em corais, Ali *et al.* (2011) encontrou percentuais que variaram entre 3% à 9,95%, muito similar aos teores encontrados no atual estudo.

As concentrações de metais obtidas nas amostras de sedimentos são relativamente baixas para considerar a região um local contaminado. Teores semelhantes para os metais Zn, Ni, Pb e Cu na costa de Fortaleza são descritos na literatura como no trabalho já comentado de Maia (2003) e Aguiar (2007). Porém esse comportamento na distribuição e concentração dos metais se dar por possuírem uma maior afinidade à sedimentos mais finos, como a argila (LACERDA; MARINS, 2006). Enquanto, que a costa do nordeste brasileiro apresenta teores baixos de argila o que resulta em concentrações menores desses metais, assim visto no presente trabalho.

A partir da determinação dos teores de metais nas amostras de corais ficou evidente que as maiores concentrações são observadas nos corais branqueados, com exceção do cobre (Cu). As concentrações de metais na espécie *Siderastrea stellata* no atual estudo se mostraram maiores do que os teores encontrados em estudos utilizando a mesma espécie, como o de Mendonça (2008). Este comportamento pode estar relacionado com a maior exposição desses corais a deposição dos elementos metálicos dissolvidos na água superficial, já as colônias de corais saudáveis conseguem regular esses elementos através da troca iônica na assimilação do carbonato, o que pode consequentemente amenizar os teores de metais em relação aos corais branqueados (EÇA *et al.*, 2012).

Os metais determinados nos sedimentos que não obtiveram correlação significativas com os carreadores geoquímicos, como a matéria orgânica e o carbonato, o que indica que a deposição desses metais está relacionada com outra fonte, provavelmente de origem antropogênica. Portanto, um maior aprofundamento sobre fontes dos metais (Zn, Pb, Ni e Cu) nesses sedimentos deve ser realizada em estudos futuros. Contudo, os metais Ni e Pb analisados nas

amostras de corais saudáveis e branqueados, obtiveram correlações positivas com o alumínio. Esse resultado indica que esses metais são de origem terrígenas, depositados no ambiente recifal através do intemperismo químico e físico das rochas.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os parâmetros hidroquímicos das poças referentes tanto às colônias saudáveis e branqueadas mostraram que o recife de arenito exhibe um padrão de valores para o pH, alcalinidade e salinidade. Porém a pressão de CO<sub>2</sub> observada entre as poças do recife obteve uma variação significativa entre as que apresentavam os corais saudáveis e os branqueados. Nas poças referentes às colônias branqueadas (P1 e P2) a pCO<sub>2</sub> se mostrou mais elevada, indicando que possivelmente com a restrição da relação simbiótica entre as zooxantelas com o coral a incorporação de carbono é prejudicada no organismo (coral), aumentando assim a concentração de CO<sub>2</sub> na água. Ademais, o número amostral é pequeno e estudos futuros precisam ser feitos comparando mais pontos no recife.

A distribuição e a correlação de metais no sedimento mostra que não há relação com o carbonato e matéria orgânica, os principais carreadores analisados. O que possivelmente indica que a matéria orgânica presente no sedimento do recife não retém os metais (Ni, Cu, Pb e Zn), e também não são provindos de deposição carbonática, o que em suposição pode apontar uma possível origem antrópica para esses metais. Porém a análise de alumínio (Al) se mostra fundamental para as amostras de sedimentos com o intuito de descobrir a origem dos metais no recife de arenito.

Os teores de metais obtidos nos corais mostraram uma variação significativa entre os saudáveis e os branqueados, apontando em hipótese que o coral para ser utilizado como biomonitor ambiental depende do estado em que se encontra no ambiente marinho, em relação à sua saúde. Portanto, de acordo com os resultados obtidos o processo de branqueamento nas colônias de corais pode alterar a distribuição dos metais Ni, Cu, Pb e Zn em suas estrutura esquelética. Porém, a quantidade de amostras de corais no atual estudo é muito limitada para uma conclusão concreta. Análises com uma quantidade maior de amostras dessas colônias precisam ser feitas futuramente para um maior embasamento quanto à esse comportamento.

A partir das correlações entre os metais analisados dos sedimentos e dos corais (saudáveis e branqueados), a não correlação entre essas variáveis implica que os metais distribuídos nas colônias não influenciam na distribuição e na concentração dos metais no sedimento das poças no recife de arenito.



## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. E. **Comparação De Metodologias Para Caracterização Da Geoquímica De Metais - Traço Em Sedimentos Da Plataforma Continental Do Ceará.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2007.
- ALI, A. h. A.; HAMED, M. A.; EL-AZIM, H. A. Heavy metals distribution in the coral reef ecosystems of the Northern Red Sea. **Helgoland Marine Research**, v. 65, n. 1, p. 67–80, 2011. ISSN 1438387X.
- ANSARI, N. R. **Aplicação De Bunodosoma Caissarum E Perna Perna Para Estudos De Biomonitoramento De Metais.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal Fluminense, 2015.
- COLOMBO-PALLOTTA, M. F.; RODRÍGUEZ-ROMÁN, A.; IGLESIAS-PRIETO, R. Calcification in bleached and unbleached *Montastraea faveolata*: Evaluating the role of oxygen and glycerol. **Coral Reefs**, v. 29, n. 4, p. 899–907, 2010. ISSN 07224028.
- CORREA, J. M. **Metais pesados em água, sedimentos e peixes no rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2014.
- DIVISION, E. S. R. L. G. M. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Monthly Average Mauna Loa CO<sub>2</sub>.** 2019. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>.
- Dos Santos, J. S.; De Souza, F. M.; Dos Santos, M. L. P. Distribuição de Zn, Pb, Ni, Cu, Mn E Fe nas frações do sedimento superficial do rio cachoeira na região sul da Bahia, Brasil. **Química Nova**, v. 36, n. 2, p. 230–236, 2013. ISSN 01004042.
- EÇA, G. F.; FILHO, C. V.; HATJE, V.; SANTOS, W. P. **Corais como organismos biomonitores: Aplicação, pré-tratamento e determinação de elementos majoritários e minoritários.** 2012. 581–592 p.
- FERRIER-PAGÈS, C.; SCHOELZKE, V.; JAUBERT, J.; MUSCATINE, L.; HOEGH-GULDBERG, O. Response of a scleractinian coral, *Stylophora pistillata*, to iron and nitrate enrichment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 259, n. 2, p. 249–261, 2001. ISSN 00220981.
- FRANCINI-FILHO, R. B.; MOURA, R. L.; THOMPSON, F. L.; REIS, R. M.; KAUFMAN, L.; KIKUCHI, R. K. P.; LEÃO, Z. M. A. N. Diseases leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, eastern Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, n. 5, p. 1008–1014, 2008. ISSN 0025326X.
- GOMES, A. P. N. **Especiação da alcalinidade da água do mar** — Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- GOPINATH, A.; NAIR, S. M.; KUMAR, N. C.; JAYALAKSHMI, K. V.; PAMALAL, D. A baseline study of trace metals in a coral reef sedimentary environment, Lakshadweep Archipelago. **Environmental Earth Sciences**, v. 59, n. 6, p. 1245–1266, 2009. ISSN 18666280.
- GOREAU, T. F. the Physiology of Skeleton Formation in Corals. I. a Method for Measuring the Rate of Calcium Deposition By Corals Under Different Conditions. **The Biological Bulletin**, v. 116, n. 1, p. 59–75, 1959. ISSN 0006-3185. Disponível em: <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.2307/1539156>>.

GUIMARÃES, L. M.

**Distribuição e origem da matéria Orgânica presente nos sedimentos superficiais depositados da Baía de Todos os Santos - BA, Brasil** — Universidade Federal da Bahia, 2016.

HARLAND, A. D.; BROWN, B. E. Metal tolerance in the scleractinian coral *Porites lutea*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 20, n. 7, p. 353–357, 1989. ISSN 0025326X.

HOWARD, L. S.; BROWN, B. E. Oceanography and marine biology, an annual review. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: ABERDEEN UNIVERSITY PRESS, 1984. v. 22, cap. Heavy Metals and Coral Reefs.

HUGHES, T. P.; KERRY, J. T.; ÁLVAREZ-NORIEGA, M.; ÁLVAREZ-ROMERO, J. G.; ANDERSON, K. D.; BAIRD, A. H.; BABCOCK, R. C.; BEGER, M.; BELLWOOD, D. R.; BERKELMANS, R.; BRIDGE, T. C.; BUTLER, I. R.; BYRNE, M.; CANTIN, N. E.; COMEAU, S.; CONNOLLY, S. R.; CUMMING, G. S.; DALTON, S. J.; DIAZ-PULIDO, G.; EAKIN, C. M.; FIGUEIRA, W. F.; GILMOUR, J. P.; HARRISON, H. B.; HERON, S. F.; HOEY, A. S.; HOBBS, J. P. A.; HOOGENBOOM, M. O.; KENNEDY, E. V.; KUO, C. Y.; LOUGH, J. M.; LOWE, R. J.; LIU, G.; MCCULLOCH, M. T.; MALCOLM, H. A.; MCWILLIAM, M. J.; PANDOLFI, J. M.; PEARS, R. J.; PRATCHETT, M. S.; SCHOEPF, V.; SIMPSON, T.; SKIRVING, W. J.; SOMMER, B.; TORDA, G.; WACHENFELD, D. R.; WILLIS, B. L.; WILSON, S. K. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. **Nature**, v. 543, n. 7645, p. 373–377, 2017. ISSN 14764687.

KIKUCHI, R. K. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; OLIVEIRA, M. D. M.; DUTRA, I. C. C. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia associado aos efeitos do EL Niño 2003. In: **II congresso sobre planejamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão Portuguesa**. Recife: Scielo, 2003. p. 4–6.

LABOREL, J. **Les Peuplements de Madreporaires des cotes tropicales du Bresil**. France: Abidjan : Universite d'Abidjan, 1970.

LACERDA, L. D.; FERNANDEZ, M. A.; CALAZANS, C. F.; TANIZAKI, K. F. Bioavailability of heavy metals in sediments of two coastal lagoons in Rio de Janeiro, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 228, n. 1, p. 65–70, 1992. ISSN 00188158.

LACERDA, L. D. D.; MARINS, R. V. Geoquímica de Sedimentos e o Monitoramento de Metais na PLataforma Continental Nordeste Oriental do Brasil. **Geochemica Brasiliensis**, v. 20, n. 1, p. 123–135, 2006.

LEÃO, Z. M.; KIKUCHI, R. K.; FERREIRA, B. P.; NEVES, E. G.; SOVIERZOSKI, H. H.; OLIVEIRA, M. D.; MAIDA, M.; CORREIA, M. D.; JOHNSON, R. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. Special Issue 2, p. 97–116, 2016. ISSN 1982436X.

LEÃO, Z. M.; KIKUCHI, R. K.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: **Latin American Coral Reefs**. Costa Rica: Elsevier Science, 2003. p. 9–52. ISBN 9780444513885.

LIMA, I. C. C. S.

**Branqueamento de corais e mudanças ambientais: Estudo de caso de 3 anos no Atlântico Equatorial** — Universidade Federal do Ceará, 2015.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth Science Reviews**, v. 32, n. 4, p. 235–283, 1992. ISSN 00128252.

MAGRIS, R. A.; GRECH, A.; PRESSEY, R. L. Cumulative human impacts on coral reefs: Assessing risk and management implications for brazilian coral reefs. **Diversity**, v. 10, n. 2, 2018. ISSN 14242818.

MAIA, S. R. R.; MARINS, R. V. Distribuição E Partição Geoquímica De Cádmio , Mercúrio E Cobre Na Costa Da Região Metropolitana De Fortaleza , Ce. In: **IX Congresso Brasileiro de Geoquímica**. Belém, PA: SBGq, 2003. p. 87–88.

MENDONÇA-FILHO, C. V. S.; KIKUCHI, R. K. P. **Incorporação de metais traço no esqueleto do coral *Siderastrea stellata*, Verril 1868**. 76 p. p., 2008.

MENEZES, N.; NEVES, E.; KIKUCHI, R. K.; JOHNSON, R. Morphological variation in the atlantic genus *Siderastrea* (Anthozoa, Scleractinia). **Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)**, 2015. ISSN 00311049.

MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U. Efeito de metais Cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 30, n. 3, p. 283–289, 2008. ISSN 16799283.

MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; MORAES, F. C.; BRASILEIRO, P. S.; SALOMON, P. S.; MAHIQUES, M. M.; BASTOS, A. C.; ALMEIDA, M. G.; JR., J. M. S.; ARAUJO, B. F.; BRITO, F. P.; RANGEL, T. P.; OLIVEIRA, B. C. V.; BAHIA, R. G.; PARANHOS, R. P.; DIAS, R. J. S.; SIEGLE, E.; JR., A. G. F.; PEREIRA, R. C.; LEAL, C. V.; HAJDU, E.; ASP, N. E.; GREGORACCI, G. B.; NEUMANN-LEITÃO, S.; YAGER, P. L.; FRANCINI-FILHO, R. B.; FRÓES, A.; CAMPEÃO, M.; SILVA, B. S.; MOREIRA, A. P. B.; OLIVEIRA, L.; SOARES, A. C.; ARAUJO, L.; OLIVEIRA, N. L.; TEIXEIRA, J. B.; VALLE, R. A. B.; THOMPSON, C. C.; REZENDE, C. E.; THOMPSON, F. L. An extensive reef system at the Amazon River mouth. **Science Advances**, v. 2, n. 4, p. 1–11, 2016.

PHILLIPS, A.; LAMBERT, G.; GRANGER, J. E.; STEINKE, T. D. Horizontal Zonation of Epiphytic Algae Associated with *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. Pneumatophores at Beachwood Mangroves Nature Reserve, Durban, South Africa. **Botanica Marina**, v. 37, n. 6, p. 567–576, 1994. ISSN 14374323.

POGGIO, C.; LEÃO, Z.; MAFALDA-JUNIOR, P. Registro de branqueamento sazonal em *Siderastrea* spp. Em poças intermareais do recife de guarajuba, Bahia, Brasil. **Interciencia**, v. 34, n. 7, 2009. ISSN 03781844.

PORTUGAL, A. B.; CARVALHO, F. L.; de Macedo Carneiro, P. B.; ROSSI, S.; de Oliveira Soares, M. Increased anthropogenic pressure decreases species richness in tropical intertidal reefs. **Marine Environmental Research**, v. 120, p. 44–54, 2016. ISSN 18790291.

REICHEL-TBRUSHETT, A. J.; HARRISON, L. P. The effect of selected trace metals on the fertilization success of several scleractinian coral species. **Coral Reefs**, 2005.

RIOS, J. H. L. **Distribuição e fracionamento geoquímico de metais em sedimentos estuarianos do semiárido brasileiro sob diferentes estações climáticas**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2018.

SANTOS, E. C.; CELINO, J. J.; SANTOS, V. L. C. S.; Bispo De Souza, J. R. Source and distribution of organic matter in surface sediments from mangroves on the island of Itaparica, Bahia/Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 12, p. 9857–9869, 2013. ISSN 01676369.

SILVA, F. J. N. **Qualidade ambiental de praias urbanas: Desafios e contribuições para a gestão da orla de Fortaleza-CE**. 82 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, 2015.

SOARES, M.; RABELO, E.; MATHEWS-CASCON, H. Intertidal Anthozoans from the coast of Ceará, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 4, p. 437–443, 2011.

SOARES, M. d. O.; LEMOS, V. B.; KIKUCHI, R. K. P. Sedimentos carbonáticos bioclásticos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 4, p. 624–634, 2018.

SOUZA, T. P. de. **Efeito da acidificação da água do mar: Um estudo de mesocosmo com a nematofauna de recifes de coral**. 69 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/24324>>.

STANLEY, G. D. The evolution of modern corals and their early history. **Earth-Science Reviews**, v. 60, p. 195–225, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825202001046>>.

TRIBOLLET, A.; GODINOT, C.; ATKINSON, M.; LANGDON, C. Effects of elevated pCO<sub>2</sub> on dissolution of coral carbonates by microbial euendoliths. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 3, 2009. ISSN 08866236.

TURNER, D. R.; WHITFIELD, M.; DICKSON, A. G. The equilibrium speciation of dissolved components in freshwater and sea water at 25°C and 1 atm pressure. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 45, n. 6, p. 855–881, 1981. ISSN 00167037.

VIEIRA, R. d. F.; MENEZES, F. de; COSTA, R.; MARINS, R. V.; ABREU, I.; FONTELES-FILHO, A.; SOUSA, O. de. Galerias pluviais como fonte de poluição de origem fecal para as praias de Fortaleza-Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 44, n. 2, p. 5–12, 2011.

VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAUJO, L. S.; PATCHINEELAM, S. M. Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira. **Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto, Holos Editora**, p. 153–175, 2005.