

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
**CENTRO DE ESTUDOS GERAIS**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS (GEOQUÍMICA)**

**RENATA MARIA GOULART DA SILVA**

**ACÚMULO DE METAIS-TRAÇO NO SEDIMENTO E EM ORGANISMOS DA  
MEGAFUNA BENTÔNICA NA BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI GEORGE,  
ANTÁRTICA.**

**NITERÓI**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**RENATA MARIA GOULART DA SILVA**

**ACÚMULO DE METAIS-TRAÇO NO SEDIMENTO E EM ORGANISMOS DA  
MEGAFUNA BENTÔNICA NA BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI GEORGE,  
ANTÁRTICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Geociências da Universidade  
Federal Fluminense, como requisito parcial para  
obtenção do Grau de Mestre em Geociências.  
Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

**Orientador: Sambasiva Rao Patchineelam**

**Niterói**

**2008**

S586 Silva, Renata Maria Goulart da.  
Acúmulo de metais-traço no sedimento e em organismos da megafauna bentônica na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. / Renata Maria Goulart da Silva. – Niterói: [s.n.], 2008.  
108 f. : il ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. Or. Prof. Dr. Sambasiva Rao Patchineelam.

1. Geoquímica. 2. Sedimento. 3. Metal-traço. 4. Antártica (Região). 5. Bioacumulação. 6. Megafauna.  
I. Título.

CDD 551.46083

**RENATA MARIA GOULART DA SILVA**

**ACÚMULO DE METAIS-TRAÇO NO SEDIMENTO E EM ORGANISMOS DA  
MEGAFUNA BENTÔNICA NA BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI GEORGE,  
ANTÁRTICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Geociências da Universidade  
Federal Fluminense, como requisito parcial para  
obtenção do Grau de Mestre em Geociências.  
Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Aprovada em Julho de 2008.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Sambasiva Rao Patchineelam – Orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Dr. Heitor Evangelista  
Universidade Estadual do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Wilson Thadeu Valle Machado  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Dr. Renato Cordeiro Campello  
Universidade Federal Fluminense

Niterói  
2008

“Cheirava simples o mar, mas ao mesmo tempo cheirava grandioso e único. O aroma do mar agradava-lhe tanto que ele desejava recebê-lo um dia tão puro e sem mistura e em tal quantidade que nele pudesse embebedar-se. E mais tarde, ao ficar sabendo, através de narrativas, quão grande era o mar e que nele se podia navegar durante dias com navios sem ver terra alguma, nada mais o seduzia tanto quanto imaginar que estava num desses navios, lá em cima, na cesta da gávea, no mastro da frente, a voar aí dentro através do infinito aroma do mar, que, a rigor, nem era um aroma, mas um hálito, um sopro, o fim de todos os odores, e se desfazia de prazer neste hálito”.

Patrick Süskind

... quando a vida é reduzida ao simples fato de existir, e quando nada mais tem significado, existe ainda a liberdade básica, quer dizer, a liberdade de escolher a atitude a tomar para com o próprio destino. Isto pode não modificar o destino, mas modifica enormemente a pessoa.

Victor E. Frankl

Esta dissertação é dedicada à minha mãe Vera, meu vovô Plácido, minha tia Zeza e aos meus  
“tios” Lucimeri e Paulinho por serem a minha Família e o meu Amor.

*In memoriam* da minha avó Belinha por toda a sua pureza e do meu tio Jozias pelo seu espírito  
criativo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Sambasiva Rao Patchineelam pela oportunidade de trabalho, sugestões e ensinamentos conferidos a mim ao longo da elaboração deste projeto.

À minha co-orientadora Lúcia de Siqueira Campos pelos ensinamentos e pela oportunidade de trabalho.

Ao Dr. Norbert Miekeley (PUC) pela colaboração nas análises de metais.

À Dra. Helena Passeri (UFRJ) pelo aprendizado e pela ajuda na estatística.

Ao Dr. Heitor Evangelista pela ajuda e disponibilidade na utilização do liofilizador. Agradeço a todos do LARANG, em especial ao “filósofo” Gustavo, por serem tão amáveis e me receberem tão bem.

Ao Dr. Carlos Resende pela colaboração nas análises de CN.

Ao Dr. Renato Campello pelos ensinamentos e pela utilização do aparelho analisador de partículas do Laboratório de Sedimentologia.

Ao Renato “careca” e Eline Simões por toda ajuda na granulometria e nas tantas dúvidas surgidas ao longo do caminho.

Ao Dr. Wilson Machado pelos ensinamentos, paciência nos meus momentos de “não vou conseguir” e total disposição em ajudar.

À todos do laboratório de Radionuclídeos, em especial ao Anderson e à Suellen, pela amizade, ajuda nos pedidos de socorro e risadas nos momentos de descontração.

Aos meus tesourinhos, Flávia Vargens, Lílían Nobre, Marcela Ziquita, Adriana Globita, Beta Frensel, Eline Simões, Mariana Maricota, Cristina Naka, Paty Roeser, Leila Herdy, Dri Salgado, Felipe Mourin e Dani Godiva, “porque eles fazem parte do que eu, tremulamente, construí e se tornaram alicerces do meu encanto pela vida (Vinícius de Moraes)”.



Á todos do laboratório de Echinodermata, Beta, Carlitos, Rafa, Renata Frô, Globy e Virginia, por serem por tantos meses a família tralálá perfeita. Em especial agradeço ao Rafael Moura pelo mapa, pelo carinho e por toda ajuda nessa longa caminhada.

Á equipe do mar, Gabi, Paty, Rô, Andrea, Leandro, Globita, Jú, Marcelo, pela amizade, carinho e diversão nas horas de trabalho árduo e pelo incentivo nessa fase final.

Ao João Marcos pelos tantos caminhos compartilhados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa concedida durante o mestrado.

Agradeço aos que torceram, mandaram fluidos positivos de energia, me ouviram horas e horas, leram, releram, criticaram, elogiaram, ensinaram, me fizeram rir e riram junto, me arrastaram (ou foram arrastados) para tomar uma cerveja ou ver o mar, enfim, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

## RESUMO

Nos últimos anos observa-se um aumento crescente das atividades humanas, tanto científicas quanto turísticas, no ambiente antártico, sendo motivo de preocupação considerando-se que a Antártica é um ambiente de lenta recuperação. Ainda são escassos os estudos sobre o estabelecimento de relações entre a presença de contaminantes e seus efeitos na biota antártica. A contaminação pode ocorrer por processos antrópicos ou naturais e os efeitos destes impactos podem ser detectados e monitorados através da análise das alterações nas comunidades bentônicas. Estas comunidades podem ser consideradas boas indicadoras de impactos ambientais, já que possuem uma relação direta com a origem dos contaminantes acumulados nos sedimentos. Este trabalho avaliou os níveis de metais-traço encontrados no sedimento e em duas espécies circumpolares da megafauna bentônica antártica, a estrela-do-mar *Odontaster validus* e o molusco bivalve *Laternula elliptica*, com a finalidade de determinar se as mesmas podem ser utilizadas como indicadoras de impacto ambiental. Durante o verão austral de 2005/2006 foram realizadas coletas através de diferentes procedimentos, entre 15 e 40m de profundidade, em cinco estações dentro da Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: 1) Estação Antártica Comandante Ferraz; 2) Botany Point; 3) Punta Ullman; 4) Punta Plaza e 5) Refúgio II. Os seguintes metais foram quantificados tanto para o sedimento quanto para os organismos: Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Ba, Pb e Zn. A concentração de metais variou entre os diferentes compartimentos corpóreos analisados. Para a espécie *O. validus*, as maiores concentrações de metais-traço (Mn, Ni, Cd, Ba, Pb) e do macronutriente Al, foram encontradas na parede do corpo. Cu, Cr, V e Zn apresentaram maior concentração no estômago, enquanto o macronutriente Fe concentrou-se preferencialmente nos cecos pilóricos. Para a espécie *L. elliptica*, as maiores concentrações de metais-traço (Mn, V, Ba, Cu) e dos macronutrientes Fe e Al, foram encontradas no sifão. Cd, Ni, Pb e Zn apresentaram maior concentração no rim enquanto o Cr foi mais concentrado no compartimento restos. A concentração de elementos-traço nos compartimentos corpóreos de *O. validus* e *L. elliptica* não foi influenciada pelo tamanho do organismo (peso total do indivíduo).

**Palavras-chave:** Metais-traço; Antártica; Megafauna bentônica; Fator de Bioacumulação; Geoquímica.

## ABSTRACT

Once the Antarctic environment has low recovery rates, the recent growth in the touristic and scientific activities is a serious issue for the scientific community. Few studies have tried to establish the links between the presence of contaminants and the antarctic biota. The contamination may be related to human or natural processes, and be monitored through the benthic communities. These communities have a direct relation with the contaminants sources in the sediment. The present work analyzed the trace-metals levels found in the sediment and two circumpolar benthic megafauna species in Antarctica, the starfish *Odontaster validus* and the Antarctic clam *Laternula elliptica*. The objective was to establish if these species can be used as environmental indicators. Five stations were occupied during the austral summer of 2005/2006, between 15 and 40m deep, in the Antarctic Special Management Area of Admiralty Bay, George King Island: 1) Comandante Ferraz Antarctic Base; 2) Botany Point; 3) Punta Ullman; 4) Punta Plaza and 5) Refúgio II. Analyses were conducted to quantify the presence of Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Ba, Pb and Zn, both in the sediment and organisms. The metals concentrations vary in the different body compartments. Larger concentrations of (Mn, Ni, Cd, Ba, Pb) trace metals and Al macronutrient were found in the body walls of *O. validus*. Cu, Cr, V and Zn showed larger concentrations in the stomach and the Fe macronutrient in the caeca pyloric. For *L. elliptica*, larger trace metals (Mn, V, Ba, Cu) and macronutrients (Fe and Al) concentrations were found in the sifon, while Cd, Ni, Pb and Zn showed larger concentrations in the kidney. Cr presented larger concentrations in the remains compartment. The concentrations of trace elements in both *O. validus* and *L. elliptica* were not influenced by the body size (total individual weight).

**Key words:** Trace Metals; Antarctica; Benthic Megafauna; Bioaccumulation Factor; Geochemistry.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribuição dos tipos de sedimento na Baía do Almirantado (WEBER E MONTONE, 2006).....	25
<b>Figura 2.</b> Correntes (Estreito de Bransfield + marés) na Baía do Almirantado gerada por modelo hidrodinâmico (WEBER e MONTONE,2006).....	27
<b>Figura 3.</b> Fluxo geral dos processos que resultam em acúmulo de elementos-traço nos tecidos dos organismos (modificado de ANDRADE, 1997).....	33
<b>Figura 4.</b> Fatores que influenciam a ação tóxica dos metais. Adaptado de Andrade, 1997....	35
<b>Figura 5.</b> Espécie <i>Odontaster validus</i> Verrill, 1880 (Echinodermata: Asteroidea).....	36
<b>Figura 6.</b> Espécie <i>Laternula elliptica</i> King & Broderip, 1831 (Mollusca: Bivalvia).....	37
<b>Figura 7.</b> Mapa da área de estudo: Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Ilhas Shetlands do Sul, Antártica. Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF), Punta Ullman (PU), Punta Plaza (PP) e Refúgio II (RFII). (Fonte: cedido por Rafael B. Moura).....	40
<b>Figura 8.</b> Mini box-corer utilizado pelo GEAMB nas operações antárticas (ECHEVERRÍA <i>et al.</i> , 2007). Em detalhe: disposição do testemunho (0 – 10 cm) para as análises físico-químicas do sedimento.....	41
<b>Figura 9.</b> Amostragem com draga de arrasto retangular tipo Agassiz. A) Lancha (Skua) utilizada para coleta; B) Draga Agassiz com amostra de arrasto sendo içada.....	44
<b>Figura 10.</b> <i>Odontaster validus</i> : A) Organismo inteiro; B) Compartimentos corpóreos utilizados para análise de metais-traço (B1= gônada, B2= cecos pilóricos, B3= estômago cárdico, B4= parede do corpo).....	47
<b>Figura 11.</b> <i>Laternula elliptica</i> : A) Organismo inteiro; B, C e D) Compartimentos corpóreos utilizados para análise de metais-traço (B1= sifão, B2= concha, B3= brânquia, C4= restos,	

C5= gônadas, D6= rim, D7= glândula digestiva, D8= pé).....47

**Figura 12.** Perfil granulométrico. Estações de coleta na baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman, RFII = Refúgio II, CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz e BP = Botany Point. ....53

**Figura 13.** C/N total (%) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point.....56

**Figura 14.** Distribuição de metais-traço no sedimento das estações de coleta BP = Botany Point; RF II = Refúgio II; PU = Punta Ullman e CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz. Unidade =  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (peso seco). Unidade Al e Fe = %. Escala diferenciada de acordo com o metal analisado.....58

**Figura 15.** Concentração de Cádmio (Cd) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....60

**Figura 16.** Concentração de Chumbo (Pb) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....61

**Figura 17.** Concentração de Cobre (Cu) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RF2 = Refúgio 2 e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....62

**Figura 18.** Concentração de Níquel (Ni) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RF2 = Refúgio 2 e BP = Botany Point.

Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....64

**Figura 19.** Concentração de Zinco (Zn) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....65

**Figura 20.** Concentração de Vanádio (V) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....66

**Figura 21.** Concentração de Bário (Ba) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....67

**Figura 22.** Concentração de Manganês (Mn) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....68

**Figura 23.** Concentração de Ferro (Fe) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em % (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....69

**Figura 24.** Concentração de Alumínio (Al) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany

Point. Unidade em % (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....70

**Figura 25.** Concentração de Cromo (Cr) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada.....71

**Figura 26.** *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Pb e Cd) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Distribuição dos seguintes metais sem o compartimento rim: A- Pb e B- Cd.....78

**Figura 27.** *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Cu, Ba e Ni) e do macronutriente Al nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Unidade Al = %. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado.....79

**Figura 28.** *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Mn) e do macronutriente Fe nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Unidade Fe = %. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Distribuição dos seguintes elementos sem o compartimento sifão: A- Mn e B- Fe.....80

**Figura 29.** *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (V, Cr e Zn) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. A- Distribuição do elemento Zn sem o compartimento rim.....81

**Figura 30.** *Odontaster validus* (n=20): concentração de metais-traço (Cd, Pb, Zn e Cu) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado.....88

**Figura 31.** *Odontaster validus* (n=20): concentração de metais-traço (V, Cr, Ni e Ba) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado.....89

**Figura 32.** *Odontaster validus* (n=20): concentração de metal-traço (Mn) e dos macronutrientes Fe e Al nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado.....90



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Dados das coletas de sedimento realizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, durante a Operação Antártica XXIV (OA XXIV) com o coletor Mini box-corer. Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Punta Ullman (PU) e Refúgio II (RFII).....42

**Tabela 2.** Dados das coletas de organismos bentônicos realizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, durante a Operação Antártica XXIV (OA XXIV) com draga de arrasto retangular tipo Agassiz. Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Punta Ullman (PU) e Refúgio II (RFII).....43

**Tabela 3.** Compartimentos corpóreos da estrela-do-mar *Odontaster validus* e do molusco bivalve *Laternula elliptica*, utilizados para análise de metais-traço.....45

**Tabela 4.** Distribuição (%) das frações granulométricas do sedimento, (argila = <2 µm; silte muito fino = 2-4 µm; silte fino = 4-8 µm; silte médio = 8-16 µm; silte grosso = 16-31 µm; silte muito grosso = 31-63 µm; areia muito fina = 63-125 µm e areia fina = 125-250 µm), de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. A coluna do sedimento foi considerada como sendo superficial.....52

**Tabela 5.** Concentração de carbono total, carbono orgânico, nitrogênio orgânico, nitrogênio total e C/N ( $C_{orgânico}/N_{total}$ ) nos estratos de sedimento (0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Valores mínimos e máximos de C/N destacados em negrito e fundo cinza.....54

**Tabela 6.** Concentração de metais-traço em cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Valores mínimos e máximos de cada metal destacados em negrito e fundo cinza, por estação de coleta. BP = Botany Point; RFII = Refúgio II; PU = Punta Ullman e CF2 = em frente à Estação Comandante Ferraz. Unidade = mg Kg<sup>-1</sup> (peso seco). Unidade Fe e Al = %.....59

**Tabela 7.** Comparação dos valores de concentração de metais-traço encontrados neste trabalho (sedimento) com os de outros trabalhos (sedimento, solo e rochas vulcânicas) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e em outras regiões da Antártica. Unidade = mg Kg<sup>-1</sup> (peso seco). Unidade Fe e Al = %. Modificado de Santos *et al.* (2005). BA= Baía do Almirantado. IRG= Ilha Rei George.....72

**Tabela 8.** Matriz de correlação mostrando os coeficientes de correlação entre metais-traço, granulometria e composição elementar da matéria orgânica nos testemunhos de sedimento (0-10cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Em negrito com fundo cinza, valores significativos (p< 0,05).....73

**Tabela 9.** Concentração de metais-traço (X±DP, n=8, unidade em µg g<sup>-1</sup> peso seco) nos diferentes órgãos do molusco bivalve *Laternula elliptica*.....77

**Tabela 10.** Comparação dos valores de metais-traço (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr e Fe) encontrados neste trabalho com os de Ahn *et al.* (1996) para a espécie de estrela-do-mar *Odontaster validus*.....83

**Tabela 11.** Comparação dos resultados da concentração de metais-traço nos diferentes compartimentos corpóreos do molusco bivalve *Laternula elliptica* em relação a outros estudos encontrados na literatura, realizados em outras áreas da Antártica.....84

**Tabela 12.** Concentração de metais-traço (X±DP, n=20, unidade em µg g<sup>-1</sup> peso seco) nos diferentes órgãos da estrela-do-mar *Odontaster validus*.....85

**Tabela 13.** Comparação dos resultados da concentração de metais-traço nos diferentes compartimentos corpóreos de *Odontaster validus* e *Asterias rubens* em relação a outros estudos encontrados na literatura, realizados com estrelas-do-mar.....92

**Tabela 14.** Concentração de metais no organismo em relação à concentração de metais no sedimento, i.e, Fator de Bioacumulação dos metais-traço em cada compartimento corpóreo da

estrela-do-mar *Odontaster validus*. Valores = Mínimo e Máximo (X±DP), n=20, unidade em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco.....93

**Tabela 15.** Concentração de metais no organismo em relação à concentração de metais no sedimento, i.e, Fator de Bioacumulação dos metais-traço em cada compartimento corpóreo do molusco bivalve *Laternula elliptica*. Valores = Mínimo e Máximo (X±DP), n=8, unidade em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco.....94

**Tabela 16.** Fator de Bioacumulação dos metais-traço, por indivíduo, na estrela-do-mar *Odontaster validus* e no molusco bivalve *Laternula elliptica*, em cada estação de coleta da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman, BP = Botany Point, CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz e RFII = Refúgio II.....95

**Tabela 17.** Comparação dos valores do Fator de Bioacumulação (FB) encontrados neste trabalho com os de Negri *et al.* (2006) para a espécie de molusco bivalve *Laternula elliptica*. Valores = Mínimo e Máximo.....96

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
2.1. OBJETIVO GERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b>	<b>23</b>
3.1. ANTÁRTICA – BAÍA DO ALMIRANTADO	23
<b>4. BASE TEÓRICA</b>	<b>29</b>
4.1. MACRONUTRIENTES	29
4.1.1. Carbono	30
4.1.2. Nitrogênio	30
4.2. METAIS	30
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ORGANISMOS ESTUDADOS	32
4.3.1. Organismos Bentônicos	32
4.3.1.1. <i>Odontaster validus</i> Verril, 1880 (Echinodermata: Asteroidea)	36
4.3.1.2. <i>Laternula elliptica</i> King & Broderip, 1831 7(Mollusca: Bivalvia)	37
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>39</b>
5.1. ÁREA DE ESTUDO	39
5.2. AMOSTRAGEM	40
5.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	48
5.4. ANÁLISES QUÍMICAS	48
5.4.1. Determinação de Carbono orgânico e Nitrogênio total	48
5.4.2. Determinação de metais-traço no sedimento	49
5.4.3. Determinação de metais-traço nos organismos	49
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>50</b>
6.1. GRANULOMETRIA	50

<b>6.2. C:N</b>	<b>54</b>
<b>6.3. METAIS-TRAÇO NO SEDIMENTO</b>	<b>57</b>
<b>6.4. METAIS-TRAÇO EM ORGANISMOS</b>	<b>74</b>
<b>6.5. FATOR DE BIOACUMULAÇÃO</b>	<b>93</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>97</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>99</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ecossistema costeiro Antártico é caracterizado por ser um ambiente intacto, frágil, sensível a modificações antrópicas, onde as áreas de visitação de turistas e estações de pesquisa apresentam risco de impacto, como reportado por diversos autores (STARK *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2005; CAMPOS *et al.*, 2004; MORENO *et al.*, 1997; CHOI *et al.*, 2003). Segundo estes autores, nos últimos anos, pode-se observar um aumento crescente no número de atividades humanas na região, o que passou a ser motivo de preocupação pelo fato da Antártica ser um ambiente de lenta recuperação.

O Brasil está presente na Antártica desde o ano de 1982, com a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), na qual são desenvolvidas pesquisas nas áreas de Ciências da Terra, Ciências da Atmosfera e Ciências da Vida (MMA, 2008). A estação está situada na Península Keller, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Arquipélago Shetlands do Sul, na posição 62° 05' latitude sul e 58° 24' longitude oeste. A Baía do Almirantado é uma Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG) e seus usuários necessitam atender, de forma efetiva, às exigências ambientais referentes aos ecossistemas da região (CAMPOS, 2007).

Durante os meses de verão, entre novembro e fevereiro, a EACF recebe pesquisadores e pessoal de manutenção (cerca de 40 pessoas em cada fase de pesquisa). Já nos meses de inverno, mantém cerca de, aproximadamente, 16 a 20 pessoas. O número de pessoas nas estações de

pesquisas antárticas pode causar impactos detectáveis no ambiente marinho, mesmo quando este número é pequeno (CAMPOS *et al.*, 2004; CAMPOS, 2007).

Na Antártica, a contaminação antrópica pode ocorrer através de vários processos, entre eles: uso de helicópteros e veículos, transporte atmosférico, emissões de CO<sub>2</sub> por geradores, vazamento de tanques de óleo; poluentes orgânicos persistentes (POPs), hidrocarbonetos vindos de combustíveis ou lubrificantes e alguns metais como o chumbo, o cobre, o cádmio e o zinco, por exemplo (SCHAEFER *et al.*, 2004b; LICÍNIO, 2006; POLAND *et al.*, 2003, SANTOS *et al.*, 2006; CHOI *et al.*, 2003; STARK *et al.*, 2003; STARK *et al.*, 2005).

Apesar do esgoto da EACF ser tratado antes de seu despejo, através de um sistema de fossas sépticas e filtros anaeróbicos, e de todos os cuidados relacionados com a carga e descarga de óleo na estação, é necessário que se faça o monitoramento de seus possíveis efeitos na zona costeira rasa (WEBER E MONTONE, 2006; CAMPOS *et al.*, 2004; CAMPOS e LAVRADO, 2004; CAMPOS, 2007). Atualmente, podem-se observar impactos locais devido ao consumo de combustível fóssil e à produção de lixo e sua incineração (SANTOS *et al.*, 2005).

Dentro dos aspectos que tornam o ambiente antártico sensível às contaminações ambientais e suscetível ao impacto humano, incluem-se as características da biota marinha antártica, tais como: baixa capacidade de dispersão larval, época reprodutiva estreita, baixa fecundidade e baixas taxas de crescimento durante os estágios de desenvolvimento (SANTOS *et al.*, 2005; KING e RIDDLE, 2001).

A comunidade bentônica está sendo estudada na Baía do Almirantado desde 1980 (NONATO *et al.*, 1992), mas ainda são escassos os estudos sobre o estabelecimento de relações entre a presença de contaminantes e seus efeitos na biota antártica (SANTOS *et al.*, 2005; KING e RIDDLE, 2001; FILGUEIRAS, 2005).

Devido às atividades humanas na Estação Antártica Comandante Ferraz, torna-se de suma importância a ampliação dos estudos acerca da utilização de espécies como indicadoras de possíveis impactos na Baía do Almirantado. Tendo em vista que o oceano austral é considerado isolado, com a presença de várias espécies endêmicas, muitas das quais consideradas circumpolares (CLARKE, 1996), o ambiente marinho antártico torna-se um laboratório natural, onde hipóteses relacionadas à presença ou não destas espécies em relação a impactos naturais e antrópicos podem ser testadas (WEBER e MONTONE, 2006; CAMPOS, 2007).

Duas questões, embasadas na coleta realizada durante o verão austral 2005/06 (Operação Antártica XXIV), foram levantadas quanto à fauna bentônica na Baía do Almirantado:

- Nas comunidades bentônicas, quais são as populações mais representativas e que podem ser utilizadas como bioindicadoras?
- Que espécies podem ser utilizadas nos experimentos de bioacumulação (megafauna) e de desenvolvimento?

Sendo assim, com o objetivo de avaliar o potencial de utilização de organismos antárticos circumpolares em estudos de monitoramento e impactos ambientais, duas espécies de organismos frequentemente encontradas na comunidade bentônica, com estratégias de alimentação diferentes, foram selecionadas para este estudo: 1) a estrela-do-mar *Odontaster validus*, oportunista, preferencialmente carnívora, podendo alimentar-se de material morto e detritos (PEARSE, 1965 *apud* GRANGE, 2007; KIDAWA, 2005) e 2) o molusco bivalve *Laternula elliptica*, essencialmente suspensívoro (AHN *et al.*, 1996; AHN *et al.*, 2001; AHN e SHIM, 1998).



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

1. Avaliar os níveis de metais-traço encontrados em duas espécies circumpolares da megafauna bentônica antártica, a estrela-do-mar *Odontaster validus* e o molusco bivalve *Laternula elliptica*, com a finalidade de determinar se as mesmas podem ser utilizadas como indicadoras de possíveis impactos ambientais.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar os parâmetros texturais do sedimento;
2. Determinar os níveis de metais-traço no compartimento sedimentar;
3. Determinar as concentrações de metais-traço nos diferentes compartimentos corpóreos das espécies estudadas;
4. Determinar o Fator de Bioacumulação nos organismos bentônicos estudados.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

#### **3.1. ANTÁRTICA – BAÍA DO ALMIRANTADO**

O Continente Antártico está situado na região polar austral, cercado pelo Oceano Antártico, de limites imprecisos. Está concentrado em torno do Pólo Sul, é o quinto maior e mais austral dos continentes e cerca de 98% de seu território está coberto por gelo e neve. O Oceano Antártico é formado pela Confluência Antártica, que é o encontro das águas dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (MCT, 2008).

Com uma cobertura de cerca de 1.300 Km<sup>2</sup>, sendo 90% formada por gelo, a Ilha Rei George apresenta-se como a maior ilha do arquipélago das Ilhas Shetland do Sul (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993).

A Baía do Almirantado, atualmente considerada como Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG), tem uma área de 362 km<sup>2</sup> divididos em setores cobertos por gelo, setores livres de gelo permanente e o setor da baía, que é ocupado pelas águas do mar. As águas da Baía do Almirantado ocupam 138 km<sup>2</sup> (38%), a profundidade pode variar desde regiões rasas até locais com profundidades maiores que 550 m (WEBER e MONTONE, 2006). Sua linha de costa alterna geleiras, costões rochosos e praias formadas por cascalhos, seixos e areia (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993). No verão, a salinidade pode variar entre 32,9 e 34,2 na superfície e entre 33,3 e 34,3 no fundo (FILGUEIRAS, 2005).

A geologia da Baía do Almirantado é formada por uma seqüência estratigráfica de rochas sedimentares recobertas por rochas vulcânicas do Jurássico e do Cenozóico (BIRKENMAJER, 1982 *apud* WEBER e MONTONE, 2006).

As enseadas Martel (onde está presente a Estação Antártica Comandante Ferraz) e Mackellar, localizadas ao fundo da Baía do Almirantado, apresentam sedimento de fundo lamoso, que é uma característica de regiões abrigadas com baixo hidrodinamismo (FILGUEIRAS, 2005; GOMES, 1999).

Na zona costeira rasa da Baía do Almirantado o sedimento é heterogêneo, sendo constituído por seixos e cascalhos grosseiros na zona entre-marés, areia muito fina nas áreas entre 6 e 11 m, apresentando um enriquecimento das frações argila ( $>2\ \mu\text{m}$ ) e silte ( $2\text{-}63\ \mu\text{m}$ ), em direção ao fundo (20 a 60 m) (BROMBERG, 1999; JAZDZEWSKI *et al.*, 1986; MACIEL *et al.*, 2006; FILGUEIRAS, 2005) (FIG. 1).

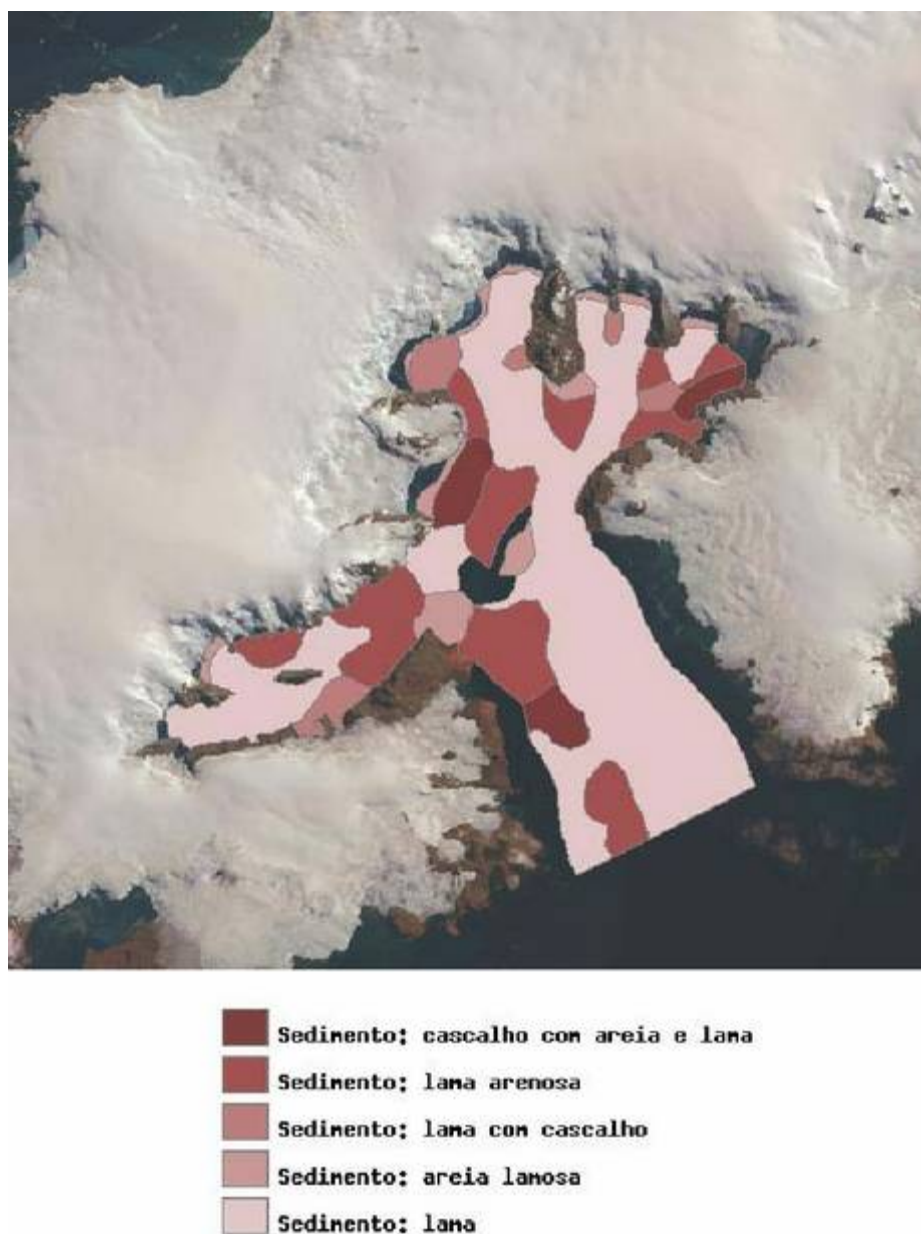


FIGURA 1. Distribuição dos tipos de sedimento na Baía do Almirantado. Fonte: Weber, Montone, 2006.

No trabalho de Gomes (1999), os metais analisados no sedimento marinho (Pb, Cd, Ni, Zn, Li, Sn, V, Al, Fe e Cu) apresentaram níveis próximos aos considerados naturais, com a baía apresentando certa homogeneidade espacial na concentração dos mesmos. Dados mais recentes mostraram que o teor de metais nos sedimentos costeiros apresentou variações espaciais na baía

(BRAGA, 2004; SCHAEFER *et al.*, 2004a; SANTOS *et al.*, 2005). Estes estudos foram realizados tanto na área central da baía, quanto nas áreas mais rasas e baseiam-se na determinação dos seguintes metais: Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, V e Zn (BRAGA, 2004; SCHAEFER *et al.*, 2004a, WEBER e MONTONE, 2006).

Santos *et al.* (2005) afirma que os sedimentos da Estação Antártica Comandante Ferraz seriam mais enriquecidos em sulfetos e matéria orgânica, o que diminuiria a biodisponibilidade dos metais, reduzindo possíveis efeitos deletérios.

O gelo exerce influência na modelagem do fundo marinho através do deslocamento de icebergs, que em contato com o fundo geram ice-scours e do degelo (avanço e recuo sazonal), ocasionando em um transporte de material com características granulométricas mal selecionadas (WEBER e MONTONE, 2006).

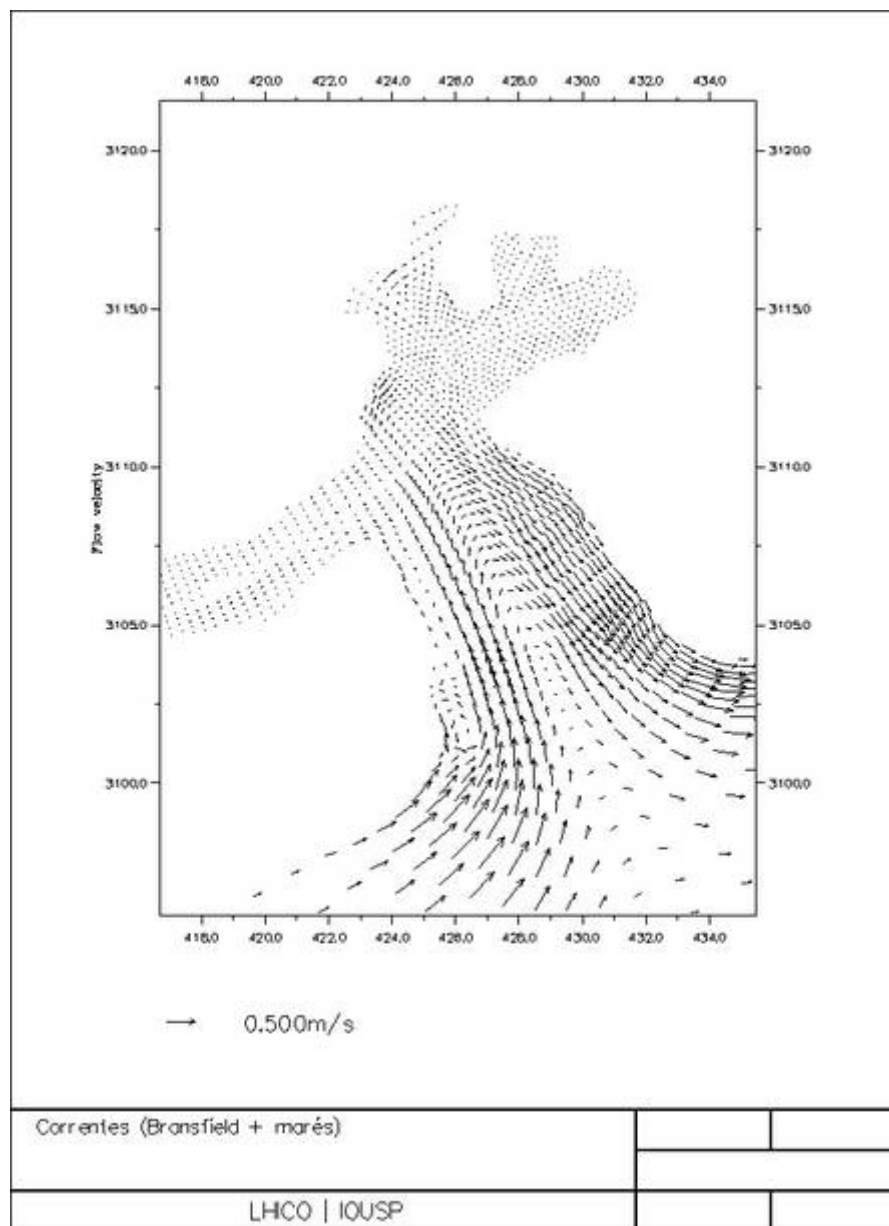


FIGURA 2. Correntes (Estreito de Bransfield + marés) na Baía do Almirantado gerada por modelo hidrodinâmico. Fonte: WEBER e MONTONE, 2006.

Durante o verão, a hidrografia da Baía do Almirantado é resultante da interação de dois influxos: água do mar do Estreito de Bransfield e água doce do processo de degelo (FIG. 2). Neste período, os primeiros 15-35 metros da coluna d'água são produtos da mistura destas águas, apresentando alterações locais de temperatura (-1.6 a 3°C) e salinidade (16 a 34) (SZAFRÁNSKI E LIPSKI, 1982 *apud* WEBER e MONTONE, 2006).

As concentrações de macronutrientes (carbono, nitritos, nitratos, silicatos e fosfatos), comumente considerados abundantes na região, sofrem mudanças espaciais e temporais (verão versus inverno), com variações coincidentes com os microfitoplâncton (WEBER e MONTONE, 2006).

A maior fonte de matéria orgânica para os sedimentos antárticos seria a decomposição das algas, principalmente depois do “bloom” de algas durante o verão austral, quando acontece o recuo da camada de gelo marinho expondo a coluna d’água à luz do sol resultando num aumento da atividade biológica (BARGHOORN e NICHOLS, 1961 *apud* LARNER, 2007).

A Baía do Almirantado é ocupada tanto por atividades de pesquisa quanto de logística, além de ser freqüentemente visitada por turistas por estar próxima ao continente da América do Sul (WEBER e MONTONE, 2006; FILGUEIRAS, 2005; CAMPOS, 2007). Além da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), nessa área também são encontradas as instalações científicas de outros quatro países (Polônia, Peru, Equador e Estados Unidos). Duas estações de pesquisa operam o ano inteiro: a Estação Antártica Comandante Ferraz (Brasil) e a Estação Polonesa Henry Arctowski (Polônia). A Estação Antártica Peruana Machu Picchu (Peru) é uma estação permanente de uso no verão. O Refúgio Pieter J. Lenie, também conhecido como Copacabana (EUA), é um refúgio de ocupação freqüente no verão enquanto o refúgio equatoriano é de uso eventual (WEBER e MONTONE, 2006).

## **4. BASE TEÓRICA**

### **4.1. MACRONUTRIENTES**

A produtividade primária nos oceanos é controlada principalmente pela disponibilidade de nutrientes, de luz e pela hidrografia da região. Os principais nutrientes inorgânicos necessários à produtividade primária são: nitrogênio (na forma de amônio, nitrito e nitrato), fosfato e silicato; sendo o nitrogênio e o fósforo importantes para o fitoplâncton devido a sua utilização no metabolismo das células (POLLERY, 2005).

Carmouze (1994) diferenciou os compartimentos de C, N e P no sedimento marinho superficial em:

- Compartimentos de C, N e P orgânicos e inorgânicos dissolvidos nas águas intersticiais, semelhantes aos da coluna d'água.
- Compartimentos de C, N e P orgânicos particulados, representados pela biomassa dos organismos bentônicos e do material detrítico sedimentado.

Lima (2000) observou que a relação C:N:P no material orgânico sedimentar irá variar de acordo com:

- A composição química da matéria orgânica quando formada;
- A extensão da remineralização antes da deposição e;
- As mudanças provenientes da diagênese após a deposição.



Segundo Förstner e Wittmann (1981) *apud* Lemes (2001), pode existir uma relação entre o teor de matéria orgânica e a concentração de elementos-traço nos sedimentos aquáticos.

#### **4.1.1. Carbono**

O carbono é um dos elementos mais abundantes na natureza e constituinte essencial de toda forma de vida. Ele pode ocorrer no sedimento tanto na forma inorgânica quanto orgânica, sendo encontrado principalmente na forma orgânica e em minerais carbonatados (LEMES, 2001).

O carbono orgânico presente nos oceanos, oriundo de material biológico, provém da decomposição de restos de organismos que são incorporados ao sedimento contribuindo para o acúmulo de carbono (LIMA, 2000).

A determinação das formas de carbono (orgânico, inorgânico e total) em sedimentos permite avaliar os processos de mineralização e de imobilização da matéria orgânica e assim, estimar o grau em que estes processos ocorrem (LEMES, 2001). O conhecimento dos níveis de carbono no sedimento torna possível o estabelecimento de importantes correlações, como a interação da matéria orgânica com elementos-traço (BEVILACQUA, 1996).

#### **4.1.2. Nitrogênio**

Na água do mar, o nitrogênio é um nutriente importante para a existência do fitoplâncton já que seu crescimento segue paralelo às concentrações superficiais de nitratos (CABO, 1978 *apud* LIMA, 2000).

Os sistemas biológicos utilizam o nitrogênio na forma de compostos nitrogenados como os íons nitrato e amônio (POLLERY, 2005). Este elemento é importante para os organismos vivos por fazer parte das bases nitrogenadas dos ácidos nucléicos.

De acordo com Pollery (2005), no ambiente marinho, as concentrações de nitrogênio orgânico e inorgânico seriam controladas por fatores biológicos e sua distribuição influenciada pela morte dos organismos e possíveis fenômenos físicos, tais como: ressurgências, vórtices ciclônicos, camada de mistura na coluna d'água e etc.

## **4.2. METAIS**

Segundo Beveridge *et al.* (1997), de acordo com sua atividade biológica, os metais podem ser divididos em: metais essenciais (com funções biológicas conhecidas), metais não-essenciais e metais eventualmente presentes nas células (sem funções definidas).

Podemos citar como sendo essenciais os seguintes metais: Na, K, Mg, Ca, Co, Mo, W, Fe, Cu, Zn, Ni, Mn, V, Cu. Sódio, potássio, magnésio e cálcio são chamados de macronutrientes por apresentarem altas concentrações nos organismos (BEVERIDGE *et al.*, 1997). O ferro e o cobre são centros ativos de várias enzimas que catalisam reações de transferência de elétrons e reações de oxidação e/ou redução (UALG, 2008). Níquel e zinco, também chamados de micronutrientes, são requeridos pelo organismo em baixas concentrações, acima das quais tornam-se tóxicos.

Os metais não-essenciais, potencialmente tóxicos e que não apresentam função metabólica conhecida são: Ag, Cd, Sn, Au, Hg, Ti, Pb e Bi (BEVERIDGE *et al.*, 1997).

Alguns dos metais investigados neste trabalho como o Cu, o Fe, o Mn e o Ni, considerados essenciais à vida, participam de vários processos geoquímicos no sistema enzimático, sendo considerados tóxicos quando presentes em altas concentrações (ABOLLINO *et al.*, 2001).

O cádmio é um metal não-essencial considerado tóxico mesmo em baixos níveis de concentração (ABOLLINO *et al.*, 2001). O cádmio pode ser adsorvido por argilominerais, carbonatos ou óxidos de hidróxidos de ferro ou ainda, ser precipitado na forma de carbonato de cádmio, hidróxido e fosfato (USEPA, 1992).

De todas as substâncias que atingem o ambiente marinho, os metais, se presentes em grandes concentrações, devem ser vistos com maior preocupação, por serem espécies não degradáveis, apresentarem longo tempo de permanência no sistema e por poderem atingir toda a cadeia trófica (NOVAES, 2004).

Os principais modos de retenção dos metais pelos sedimentos são: co-precipitação e co-reação com óxidos e hidróxidos de manganês e de ferro, ácidos húmicos, argilas e sulfeto. Estas espécies químicas, associadas aos metais, controlariam a sua biodisponibilidade (LUOMA, 1985; SANTOS *et al.*, 2005).

Os metais presentes em sedimentos recentes podem ser caracterizados, de acordo com a sua origem predominante, em: Litogênico, ou seja, natural, relacionado à geoquímica da área ou Antrópico, oriundo de atividades humanas (NOVAES, 2004).

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ORGANISMOS ESTUDADOS

#### 4.3.1. Organismos Bentônicos

As comunidades bentônicas são consideradas boas indicadoras de impactos ambientais marinhos, já que possuem uma relação fixa com os contaminantes, que podem se acumular nos sedimentos e na água intersticial (STARK *et al.*, 2003; OLSGARD, 1999). Equinodermos, crustáceos e moluscos, entre outros animais comuns no ambiente marinho antártico, são utilizados como organismos indicadores dos efeitos dos metais na biota antártica (KING e RIDDLE, 2001).

A estrutura das comunidades bentônicas pode variar em resposta aos distúrbios de origem antrópica, sob a forma de enriquecimento orgânico ou contaminação por metais-traço e hidrocarbonetos (FROUIN, 2000).

Os organismos podem ser afetados pelos contaminantes desde os níveis genéticos e bioquímicos até níveis de comunidades, passando por efeitos celulares, histológicos, fisiológicos, comportamentais, reprodutivos e populacionais (MORAES *et al.*, 2001). Efeitos de contaminantes na macrofauna bentônica geralmente podem ocorrer tanto no nível do indivíduo, causando alterações morfológicas e fisiológicas, letais ou não, quanto da comunidade biológica, sendo que, nesse último caso, as alterações se refletem na mudança da composição específica e abundância da fauna (CAMPOS, 2007; WEBER e MONTONE, 2006).

Organismos marinhos tendem a acumular metais em seus tecidos moles (compartimentos corpóreos) em diferentes ordens de magnitude, às vezes acima dos níveis ambientais (CARVALHO *et al.*, 2001; MORENO *et al.*, 1997; AHN *et al.*, 1996; AHN *et al.*, 2001) (FIG. 3). A disponibilidade destes elementos para os organismos será influenciada tanto por fatores físico-químicos ambientais (Eh e pH) quanto pelas características fisiológicas e ecológicas do mesmo (ANDRADE, 1997).

Organismos marinhos são responsáveis por parte da dinâmica dos metais no ambiente, além de atuarem na reciclagem destes elementos encontrados imobilizados nos compartimentos abióticos do sistema, constituindo-se numa importante via de exportação de metais do ambiente marinho para o terrestre através da trama trófica (FOWER, 1982 *apud* CARVALHO *et al.*, 2001). Os efeitos destes impactos podem ser detectados e monitorados através da análise das alterações na comunidade bentônica (FIG. 4).

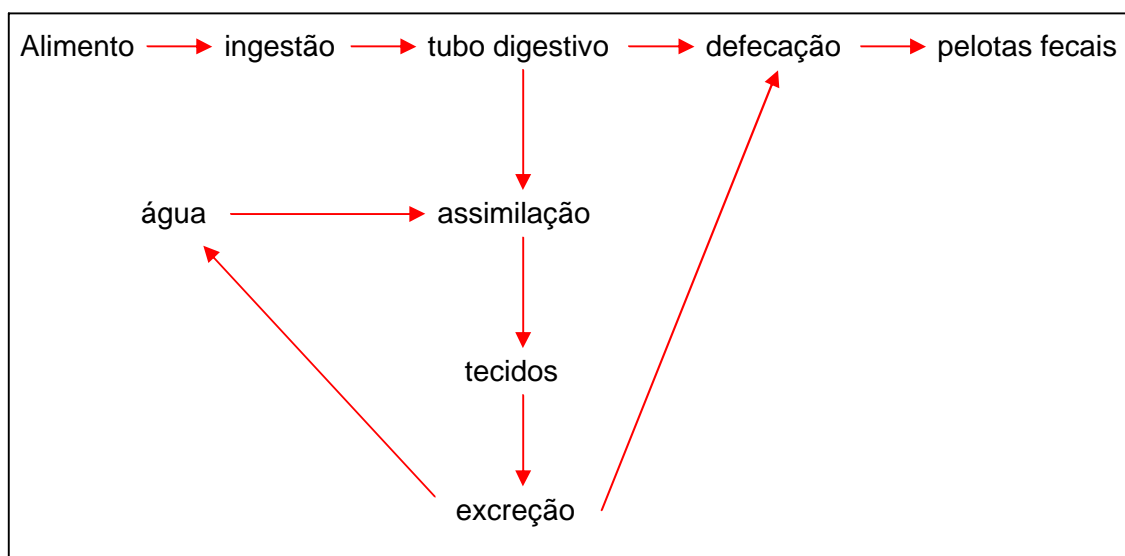


FIGURA 3. Fluxo geral dos processos que resultam em acúmulo de elementos-traço nos tecidos dos organismos. Fonte: adaptado de Andrade, 1997.

O conceito de Bioacumulação (ou Bioconcentração) está relacionado à capacidade de acumulação de determinada substância, por um dado organismo, através do meio circundante ou de seu alimento (ESSER, 1986 *apud* SANTOS, 2004).

Em seu trabalho, Abollino (2001) afirma que a bioacumulação de metais se inicia com a complexação dos mesmos por grupos quelantes presentes na superfície externa do organismo. Contudo, a complexação destes metais nos tecidos dos organismos seria um mecanismo de defesa para diminuir sua toxicidade.

As estratégias de acumulação variam dentro de uma mesma espécie para diferentes metais e entre diferentes espécies para o mesmo metal (SANTOS, 2004; RAINBOW, 2007).

Segundo Coimbra (2003) com relação ao Fator de Bioacumulação, os metais-traço podem:

- Apresentar concentrações independentes do tamanho do organismo;
- Apresentar concentrações que aumentem com o tamanho do organismo e;
- Apresentar concentrações que diminuam com o tamanho do organismo.

Para avaliar a toxicidade do metal é necessário determinar tanto a transferência do metal proveniente do meio para os organismos quanto os seus efeitos (ERK *et al.*, 2005). A toxicidade não depende da concentração total do metal acumulado e sim da concentração do metal disponível metabolicamente para o organismo (RAINBOW, 2007). Ela passa a influenciar o organismo quando a taxa de assimilação do metal, proveniente de diversas fontes, excede as taxas de detoxificação e excreção (quando presente) do metal analisado (RAINBOW, 2007).

A tolerância de algumas espécies de invertebrados marinhos a altos níveis de metais em seus tecidos depende da habilidade destes organismos em regular a concentração dos cátions destes metais dentro das células e em acumular o excesso destes elementos em formas não-tóxicas (RAINBOW, 2002; ERK *et al.*, 2005).

Em alguns organismos, a detoxificação dos metais-traço é feita através das metalotioneínas, que são proteínas de baixo peso molecular que funcionam, entre outros processos, na homeostase dos micronutrientes (ANDRADE, 1997). De acordo com Seibert (2002) estas proteínas sofrem um aumento na sua produção através da exposição do organismo a concentrações expressivas de determinados metais, com os quais possui alta afinidade. A complexação por metalotioneínas, em moluscos, é mais específica para determinados metais como Cd, Cu e Zn (SEIBERT, 2002).

Muitos metais-traço também são detoxificados na forma de uma variedade de grânulos insolúveis ou ainda, depositados nos tecidos dos invertebrados (RAINBOW, 2007). Metais como o Pb, Cu e Zn podem ser imobilizados na forma de grânulos dentro de vesículas ou lisossomos, que funcionariam como locais de armazenamento e como sítios de detoxificação destes elementos. Assim, os metais permaneceriam isolados do citoplasma, permanecendo quimicamente inertes, em relação as funções metabólicas das células (SEIBERT, 2002).

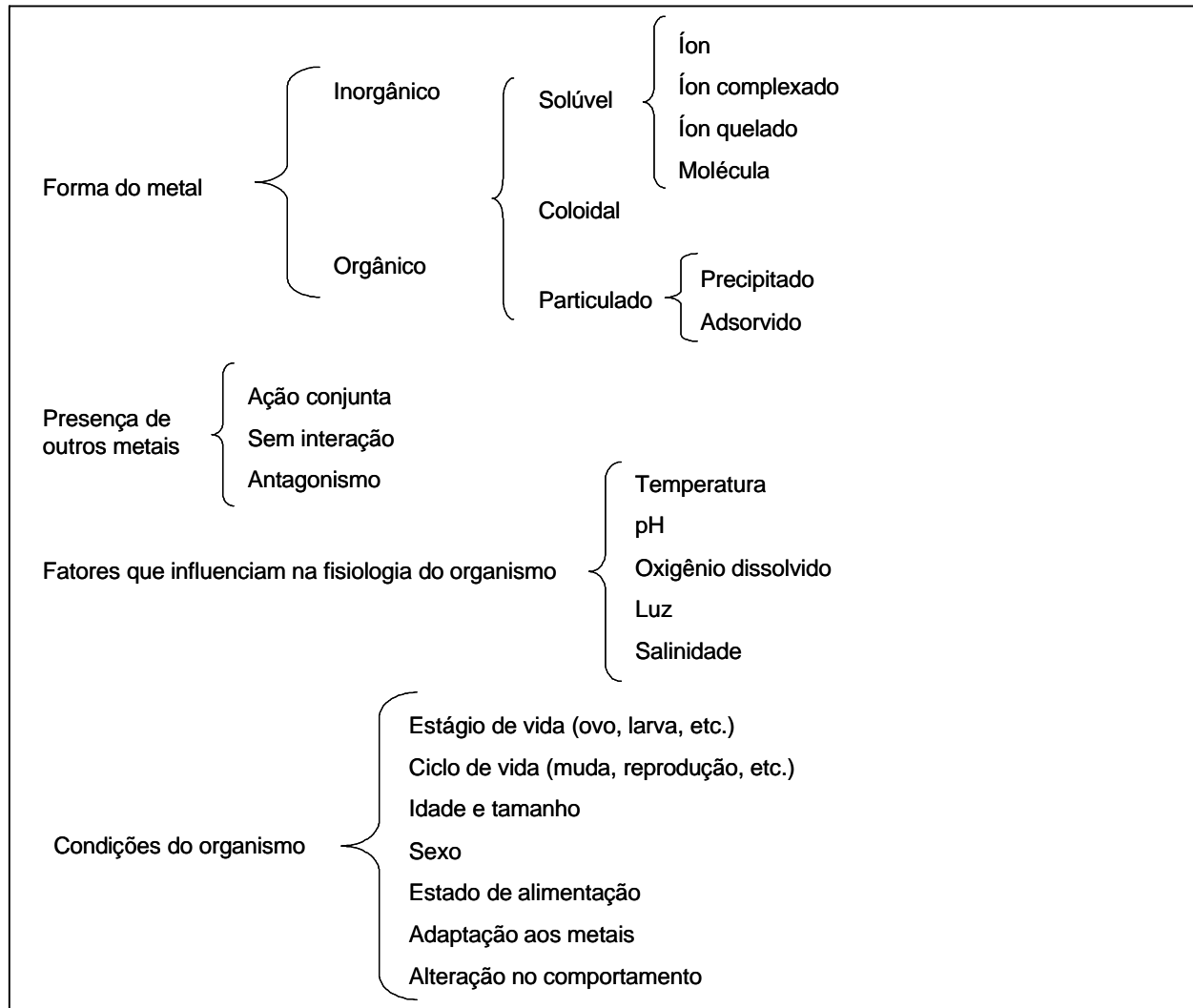


FIGURA 4. Fatores que influenciam a ação tóxica dos metais. Fonte: adaptado de Andrade, 1997.

#### 4.3.1.1. *Odontaster validus* Verrill, 1880 (Echinodermata: Asteroidea)



FIGURA 5. Espécie *Odontaster validus* Verrill, 1880. (Echinodermata: Asteroidea).  
Fonte: elaboração própria.

O Filo Echinodermata é composto por numerosas espécies que dominam quantitativamente o bentos marinho tendo um importante papel neste habitat (COTEUR *et al.*, 2003). Ainda segundo Coteur (2003), alterações em suas populações podem afetar toda a comunidade e o equilíbrio do ecossistema em que vivem.

A classe Asteroidea é formada por organismos predadores e necrófagos, que se apresentam numerosos nas comunidades bênticas (TEMARA *et al.*, 1997). A espécie *Odontaster validus* possui distribuição circumpolar e é abundante nas águas costeiras antárticas, geralmente ocorrendo de 15 a 200m (McCLINTOCK *et al.*, 1988; GRANGE, 2007) (FIG. 5).

*O. validus* é um predador omnívoro oportunista. Sua alimentação pode variar desde pequenos gastrópodos e crustáceos (anfípodos e isópodos) a diatomáceas, algas, plâncton, larvas planctônicas, poliquetas, outras estrelas-do-mar (mesmo as grandes como *Acodontaster conspicuus*) e materiais detritícos como espículas de esponjas e grãos de areia (PEARSE, 1965 *apud* GRANGE, 2007; KIDAWA, 2005).

A estrela-do-mar *O. validus* está inserida na seguinte classificação taxonômica: Reino Animalia > Filo Echinodermata > Subfilo Asterozoa > Classe Stellerioidea > Subclasse Asteroidea > Ordem Valvatida > Família Odontasteridae > Gênero *Odontaster*.

#### 4.3.1.2. *Laternula elliptica* King, Broderip, 1831 (Mollusca: Bivalvia)



FIGURA 6. Espécie *Laternula elliptica* King & Broderip, 1831 (Mollusca: Bivalvia).

Fonte: elaboração própria.

O molusco bivalve *Laternula elliptica* (FIG. 6) é uma espécie endêmica da região antártica, sendo encontrada ao redor de todo continente Antártico (distribuição circumpolar) e ao redor das ilhas sub-Antárticas, incluindo as Ilhas Shetlands do Sul e Geórgia do Sul (RODRIGUES *et al.*, 2007). Pode ser encontrada nas águas costeiras rasas, em profundidades que variam desde 1m até 500m (AHN *et al.*, 1996; RODRIGUES *et al.*, 2007).

*L. elliptica* foi escolhida para o presente estudo por ser uma espécie com ampla distribuição espacial nas águas costeiras, serem animais filtradores, com longo tempo de vida (>10 anos), tamanho relativamente grande (>100 mm no comprimento da concha) e por sua alta capacidade de acumular metais em seus tecidos sem grandes danos ao organismo (AHN *et al.*, 1996; AHN *et al.*, 2001; AHN e SHIM, 1998; COIMBRA, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2007). Ainda segundo AHN e SHIM (1998), esta espécie ocorre em altas densidades nas áreas de águas rasas protegidas, na ordem de dezenas de indivíduos por m<sup>2</sup>.

A espécie *L. elliptica* possui a seguinte classificação taxonômica: Reino Animalia > Filo Mollusca > Subfilo Conchifera > Classe Bivalvia > Subclasse Anomalodesmata > Ordem Pholadomyoida > Família Laternulidae > Gênero Laternula.



Moluscos bivalves são utilizados freqüentemente em programas de monitoramento ambiental como indicadores de poluição do ambiente marinho. Dentre esses programas, destaca-se o Mussel Watch Project realizado pelo NOAA, que desde o ano de 1986 realiza trabalhos sobre a biodisponibilidade de metais no sistema aquático e suas possíveis influências para a biota (SEIBERT, 2002; LOHAN *et al.*, 2001).

A concentração de metais-traço em moluscos pode variar de acordo com diversos fatores, tais como: concentração do elemento no compartimento abiótico, estação do ano, classe de tamanho, características físico-químicas do local amostrado, estágio reprodutivo e as diferentes taxas de absorção de cada elemento pelos organismos (COIMBRA, 2003; ABBE *et al.*, 2000; SEIBERT, 2002).

Além disso, organismos suspensívoros têm um papel importante na transferência de energia entre a coluna d'água e o sedimento, sendo elementos fundamentais na trama trófica do ecossistema (WEBER e MONTONE, 2006; CAMPOS, 2007).

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS:**

### **5.1. ÁREA DE ESTUDO**

A Baía do Almirantado, atualmente considerada como Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG), está localizada no setor central da Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul, separada, por 120 km do norte da Península Antártica (FIG. 7).

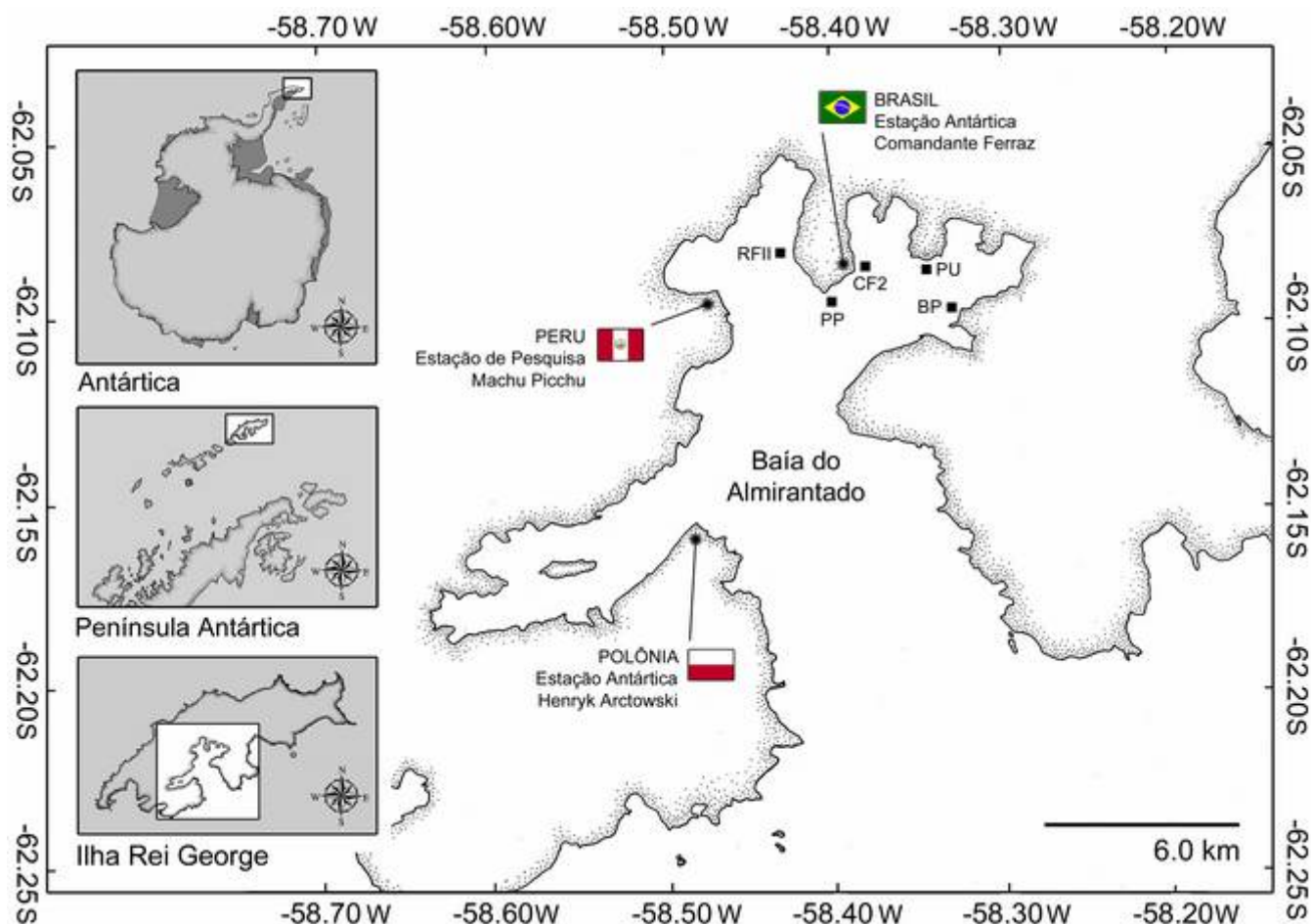


FIGURA 7. Mapa da área de estudo: Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Ilhas Shetlands do Sul, Antártica. Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Punta Ullman (PU), Punta Plaza (PP) e Refúgio II (RFII). Fonte: elaborado por Rafael B. Moura.

## 5.2. AMOSTRAGEM

Durante a Operação Antártica (OA) XXIV foram realizadas coletas durante o início (F1) e o final (F3) do verão de 2005/2006.

Foram escolhidas cinco estações de coleta, dentro da Área Antártica Especialmente Gerenciada: Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Botany Point (BP), Punta Ullman (PU), Punta Plaza (PP) e Refúgio II (RFII). A profundidade variou de 15 a 40m, de acordo com as estações de coleta (TAB. 1 e 2).

As coletas foram realizadas com draga de arrasto retangular tipo Agassiz (abertura 60 x 40 cm e 60 cm de fundo), Mini-Box-corer (MBC-GEAMB; área amostral 0,0625m<sup>2</sup>, dimensões: 25X25X55cm; 55Kg), rede de arrasto para peixes e mergulho autônomo. Para as coletas foi utilizada uma lancha de 8 metros (SKUA) com guincho hidráulico.

A estação Punta Plaza foi considerada apenas para a coleta da espécie de estrela-do-mar *Odontaster validus*, tendo-se utilizado rede de arrasto.

A coleta de sedimento para análise de metais-traço, granulometria, carbono orgânico e nitrogênio total, foi feita com a utilização do aparelho coletor tipo mini-Box-corer desenvolvido pelo grupo GEAMB (ECHEVERRÍA *et al.*, 2007).

As amostras de sedimento foram coletadas com tubos de PVC (10cm de diâmetro) posicionados dentro do aparelho coletor e posteriormente estratificados – 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, e 8-10cm de profundidade (FIG. 8, TAB. 1). Após a estratificação, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos do tipo “zip-loc” e, em seguida, congeladas.

Para a análise de metais pesados em sedimentos, o material congelado foi separado em recipientes plásticos para liofilização. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais – LARANG – UERJ.

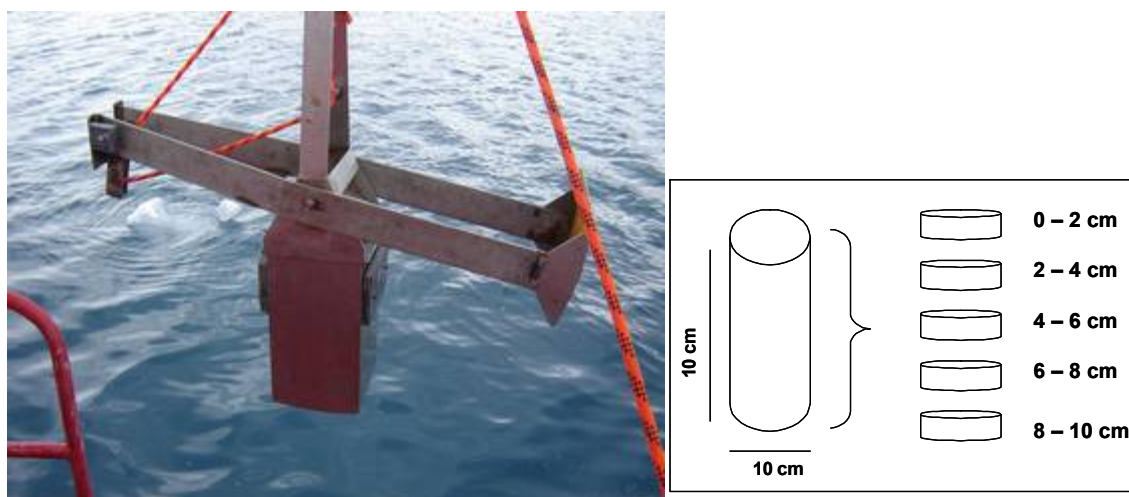


FIGURA 8. Mini box-corer utilizado pelo GEAMB nas operações antárticas. Fonte: Echeverría *et al.*, 2007. Em detalhe: disposição do testemunho (0 – 10 cm) para as análises físico-químicas do sedimento.

Tabela 1. Dados das coletas de sedimento realizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, durante a Operação Antártica XXIV (OA XXIV) com o coletor Mini box-corer (MBC).

<b>Data</b>	<b>Local de coleta</b>	<b>Prof (m)</b>	<b>Lat (S)</b>	<b>Long (W)</b>
01/02/2006	BP	18,2	62°05' 86.6``	58°20' 24.1``
03/02/2006	PU	19,4	62°04' 94.5``	58°20' 38.5``
05/02/2006	CF2	25,8	62°05' 17.8``	58°23' 13.1``
05/02/2006	RFII	26,9	62°04' 45.9``	58°25' 37.7``

Obs.: Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Punta Ullman (PU) e Refúgio II (RFII). Fonte: dados coletados pelo autor.

Tabela 2. Dados das coletas de organismos bentônicos realizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, durante a Operação Antártica XXIV (OA XXIV) com draga de arrasto retangular tipo Agassiz.

<b>Coordenadas Arrasto</b>								
<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Nº arrasto</b>	<b>Inicial</b>		<b>Final</b>		<b>Prof (m)</b>	<b>Duração</b>
			<b>Lat (S)</b>	<b>Long (W)</b>	<b>Lat (S)</b>	<b>Long (W)</b>		
22/12/2005	PU	1	62°05`81.7``	058°21`93.5``	62°05`88.2``	058°21`69.8``	20-40	5 min
29/12/2005	PU	2	62°05`02.1``	058°21`92.8``	62°05`00.2``	058°20`83.2``	15-25	2 min
30/12/2005	PU	3	62°05`11.7``	058°21`41.4``	62°05`13.8``	058°21`41.8``	25-28	3 min
02/01/2006	CF2	1	62°05`23.3``	058°23`21.4``	62°05`25.9``	058°23`17.8``	25-26	1,53 min
06/01/2006	CF2	2	62°05`15.2``	058°23`20.4``	62°05`13.0``	058°23`19.4``	18-29	2,46 min
10/01/2006	CF2	3	62°05`12.4``	058°23`26.1``	62°05`15.0``	058°23`26.7``	22-28	1,16 min
04/01/2006	BP	1	62°05`91.9``	058°20`33.5``	62°05`84.0``	058°20`23.5``	20-28	2,56 min
09/01/2006	BP	2	62°05`83.5``	058°20`25.0``	62°05`79.2``	058°20`12.0``	22-31	1,32 min
11/01/2006	BP	3	62°05`83.6``	058°20`22.9``	62°05`81.0``	058°20`18.8``	22-32	1,15 min
24/01/2006	RFII	1	62°04`43.2``	058°25`37.3``	62°04`50.1``	058°25`38.2``	24-35	1,5 min
26/01/2006	RFII	2	62°04`36.8``	058°25`33.1``	62°04`41.3``	058°25`35.5``	18-24	1,30 min
26/01/2006	RFII	3	62°04`31.5``	058°25`36.7``	62°04`46.9``	058°25`38.3``	20-24	1,30 min

Obs.: Estações de coleta: Botany Point (BP), Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2), Punta Ullman (PU) e Refúgio II (RFII).

Fonte: dados coletados pelo autor.



FIGURA 9. Amostragem com draga de arrasto retangular tipo Agassiz. A) Lancha (Skua) utilizada para coleta; B) Draga Agassiz com amostra de arrasto sendo içada. Fonte: elaboração própria.

Foram coletados os seguintes organismos da megafauna bentônica antártica: *Odontaster validus* (Echinodermata, Asteroidea) e *Laternula elliptica* (Bivalvia, Mollusca). Em todas as estações amostradas, foram coletados 20 indivíduos da espécie *O. validus* e 8 indivíduos de *L. elliptica*.

Os organismos foram coletados com o uso de draga de arrasto retangular tipo Agassiz (TAB. 2, FIG. 9) em Botany Point, Refúgio II e em frente à Estação Comandante Ferraz (CF2); rede de arrasto pelo Dr. Vicente Gomes em Punta Plaza e mergulho autônomo realizado pela pesquisadora polonesa Marta Markowska em Punta Ullman e em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz (CF2).

Todos os organismos foram lavados após a coleta e depositados em tanques com água salgada e temperatura ambiente. Os organismos permaneceram nestes tanques por cerca de dois dias para a limpeza do aparelho digestivo, antes de serem dissecados.

Os equipamentos (pinças e bisturis) utilizados para dissecção dos organismos eram de aço cirúrgico e antes de serem utilizados, foram descontaminados em uma solução de água destilada com detergente EXTRAN neutro por 24 horas.

As etiquetas utilizadas para identificação das amostras foram colocadas dentro de sacos plásticos para que não houvesse nenhum tipo de contaminação. Os organismos foram fotografados antes da dissecção.

A concentração de metais varia significativamente entre compartimentos corpóreos diferentes. Sendo assim, foram analisadas diferentes partes dos organismos coletados (TAB. 3). Os indivíduos coletados foram dissecados, suas partes separadas em sacos plásticos do tipo “zip-loc” e congeladas para análises químicas posteriores (FIG. 10 e 11).

Tabela 3. Compartimentos corpóreos da estrela-do-mar *Odontaster validus* e do molusco bivalve *Laternula elliptica*, utilizados para análise de metais-traço.

<b>Espécies</b>	<b>Compartimentos corpóreos</b>
<b><i>Odontaster validus</i></b>	Estômago
	Gônada
	Cecos Pilóricos
	Parede do corpo
<b><i>Laternula elliptica</i></b>	Glândula Digestiva
	Gônada
	Rim
	Brânquia
	Concha
	Pé
	Sifão
	Restos (restos de tecidos, manto...)

Fonte: elaboração própria.



Neste trabalho, foi calculado o Fator de Bioacumulação (FB), baseado no trabalho de Negri *et al.* (2006) tanto para os compartimentos corpóreos separados, quanto para o organismo inteiro. Para este cálculo, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{FB} = \frac{\text{Concentração de metal no compartimento corpóreo}}{\text{Concentração de metal no sedimento}}$$

Concentração de metal no sedimento

Ou

$$\text{FB} = \frac{\text{Concentração de metal no organismo inteiro}}{\text{Concentração de metal no sedimento}}$$

Concentração de metal no sedimento

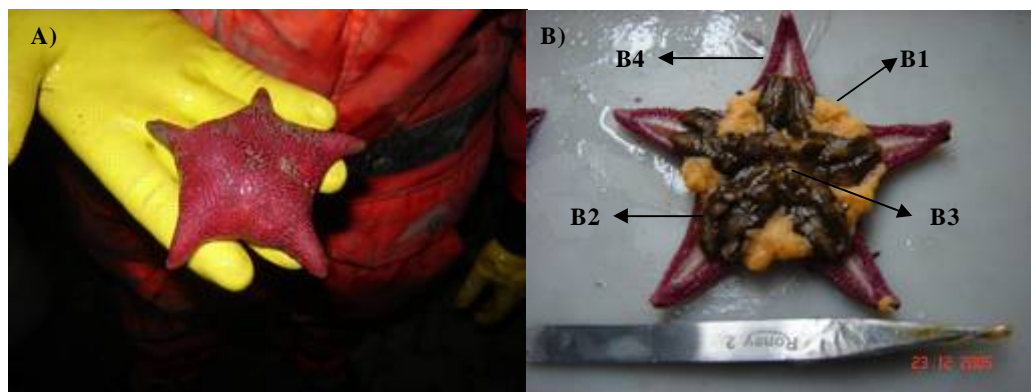


FIGURA 10. *Odontaster validus*: A) Organismo inteiro; B) Compartimentos corpóreos utilizados para análise de metais-traço (B1= gônada, B2= cecos pilóricos, B3= estômago cárdico, B4= parede do corpo). Fonte: elaboração própria.



FIGURA 11. *Laternula elliptica*: A) Organismo inteiro; B, C e D) Compartimentos corpóreos utilizados para análise de metais-traço (B1= sifão, B2= concha, B3= brânquia, C4= restos, C5= gônadas, D6= rim, D7= glândula digestiva, D8= pé). Fonte: elaboração própria.

### 5.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As amostras de sedimento (N=20) foram liofilizadas (para extração de água sem perda de materiais voláteis), pesadas (cerca de 2g) e separadas em tubos de polipropileno. As amostras sofreram ataque com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). O volume de  $H_2O_2$  acrescentado na amostra foi variável (10 – 25 mL), já que o mesmo foi acrescentado até a oxidação total da matéria orgânica.

As análises granulométricas foram efetuadas através do analisador de partículas por difração a *laser* da marca CILAS – 1064. Os parâmetros granulométricos foram obtidos através do programa de análise granulométrica *GRADISTAT 1.0* (BLOTT, 2000). Este procedimento foi feito no Laboratório de Sedimentologia – Departamento de Geoquímica – UFF.

### 5.4. ANÁLISES QUÍMICAS

Todos os materiais utilizados durante as análises químicas foram lavados com detergente Extran neutro (diluído a 10%), isento de fósforo, seguido por posterior descontaminação com ácido nítrico (diluído a 30%) e enxágüe com água destilada.

#### 5.4.1. Determinação de Carbono Orgânico e Nitrogênio Total

As amostras de Carbono orgânico e Nitrogênio total foram analisadas no Departamento de Meio Ambiente, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF – Rio de Janeiro.

O carbono total (C-Total) foi inicialmente determinado na amostra sem tratamento ácido. Paralelamente, uma sub-aliquota da amostra bruta foi tratada com HCl 1N diretamente no receptáculo de prata onde a solução ácida foi adicionada por duas vezes e seca em estufa por aproximadamente a 50°C por 24h. O cálculo utilizado para quantificação das diferentes formas de carbono segue a equação onde:  $CT = Corg + Cinorg$ . A massa de material utilizada para as determinações analíticas variou de 5 a 9 mg. A determinação dos teores de carbono e nitrogênio total (N-Total) nos sedimentos foi realizada em um Analisador Elementar CHNS/O Perkin Elmer (2.400 Series II). As análises foram feitas em duplicata apresentando uma exatidão em torno de 95% tanto para carbono

quanto para nitrogênio. Os valores dos limites de detecção (LD) foram de 0,02% para o C e 0,03% para o N.

#### **5.4.2. Determinação de metais-traço no sedimento**

As amostras (N=20) foram liofilizadas e maceradas. Para cada 1g de amostra (seca), armazenada em tubos de polipropileno 50 mL, foram adicionados 10 mL de HNO<sub>3</sub> bidestilado. Depois a amostra ficou em repouso por cerca de 12 horas a temperatura ambiente e, em seguida, por 3 horas a 90°C em placa de aquecimento. Após este procedimento foi adicionado 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> suprapuro, seguido de aquecimento a aproximadamente 80°C por 15 min. Foi usado padrão interno Rh (200 ppb) – rotação da bomba peristáltica 20 rpm. Os seguintes metais foram quantificados nas amostras: Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Ba, Pb e Zn, através da técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). O equipamento utilizado para a detecção das espécies foi o modelo ELAN-6000 (PerkinElmer – Sciex) com sistema de nebulização composto de câmara ciclônica com nebulizador concêntrico tipo Meinhard no Laboratório de Química Analítica – PUC. Para o Fe, Al e Mn foi utilizada a espectrometria de emissão ótica com fonte de plasma induzido acoplado (ICP-OES). Para maior confiabilidade dos dados e do método, as análises de metais foram feitas em duplicata.

#### **5.4.3. Determinação de metais-traço nos organismos**

Os diferentes compartimentos corpóreos da estrela-do-mar *Odontaster validus* e do molusco bivalve *Laternula elliptica* foram analisados separadamente (Tabela 3). As amostras, então congeladas, foram liofilizadas, maceradas e pesadas. Foram pesadas, aproximadamente, 500 mg de amostra (seca) sendo que alguns compartimentos corpóreos apresentaram peso inferior a 300 mg. As amostras foram armazenadas em tubos de polipropileno 50 mL. O procedimento seguinte de quantificação dos metais-traço foi igual ao utilizado para as amostras de sedimento.

Os metais quantificados para os organismos foram os mesmos citados para as amostras de sedimento, seguindo o mesmo método de análise por ICP-MS e ICP-OES. O equipamento utilizado para a detecção das espécies foi o modelo ELAN-6000 (PerkinElmer – Sciex) no Laboratório de Química Analítica – PUC.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. GRANULOMETRIA

O sedimento, nas quatro áreas de coleta, apresentou certa homogeneidade, com o predomínio das frações argila ( $<2\mu\text{m}$ ) e silte ( $2-63\mu\text{m}$ ) (TAB. 4, FIG. 12).

Em todas as estações, o silte ( $2-63\mu\text{m}$ ) foi a fração encontrada em maior quantidade no sedimento, estando sempre acima de 70%. A quantidade de argila ( $<2\mu\text{m}$ ) variou entre 16 e 28%, com as maiores quantidades em CF2 (nas camadas de 0-2, 2-4 e 4-6 cm) e BP (nas camadas de 6-8 e 8-10 cm).

Em todas as áreas de coleta, as frações areia fina ( $125-250\mu\text{m}$ ) e areia muito fina ( $63-125\mu\text{m}$ ) foram encontradas em menor quantidade. Em BP a concentração variou entre 1,9% e 5,5%, sendo o maior valor encontrado na camada de 4-6 cm. As camadas de 6-8 e 8-10 cm não apresentaram esta fração granulométrica. Em RFII a quantidade variou entre 1,2% na camada de 4-6 cm e 13,4% na camada de 2-4 cm. As camadas de 6-8 e 8-10 cm também não apresentaram esta fração granulométrica. Em CF2, as camadas de 0-2, 2-4 e 6-8 cm apresentaram 0,2% desta fração, enquanto a camada 8-10 cm apresentou 1,1%. A camada 4-6 cm não apresentou esta fração granulométrica. PU foi a área com maior quantidade de areia muito fina, variando entre 3,6% na camada de 8-10 cm e 8,3% na camada de 0-2 cm. Nesta área, as quantidades de areia muito fina foram decrescendo de acordo com a profundidade ( $0-2\text{ cm} > 2-4\text{ cm} > 4-6\text{ cm} > 6-8\text{ cm} > 8-10\text{ cm}$ ).

O tamanho da partícula do sedimento em conjunto com o conteúdo de matéria orgânica irá influenciar no grau de enriquecimento em metais no sedimento. Sedimentos finos

(silte e argila) e sedimentos ricos em material orgânico tendem a beneficiar uma maior sorção de metais (GOMES, 1999; NOVAES, 2004).

Segundo Gomes (1999) a maioria dos metais está relacionada às frações finas dos sedimentos de fundo. No presente trabalho foi observada a predominância de sedimentos silte-argilosos nas áreas estudadas da Baía do Almirantado. De acordo com Weber e Montone (2006), o baixo hidrodinamismo da área e os aportes terrestres, intensificados no verão através do degelo, contribuiriam para a presença de sedimentos lamosos nas partes mais abrigadas da Baía. Em sedimentos finos e ricos em matéria orgânica, a maior parte dos metais provavelmente fica adsorvida e menos biodisponível (OLSGARD, 1999).

Tabela 4. Distribuição (%) das frações granulométricas do sedimento de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. A coluna do sedimento foi considerada como sendo superficial.

Local	Profundidade (cm)	Areia fina (%) 125-250µm	Areia muito fina (%) 63-125µm	Silte muito grosso (%) 31-63µm	Silte grosso (%) 16-31µm	Silte médio (%) 8-16µm	Silte fino (%) 4-8µm	Silte muito fino (%) 2-4µm	Argila (%) <2µm
CF2	0-2	**	0,2	6,7	11,4	15,7	21,3	17,9	26,8
	2-4	**	0,2	6,9	11,6	16,1	21,2	17,6	26,4
	4-6	**	**	3,8	11,0	17,8	22,7	17,9	26,8
	6-8	**	0,2	7,4	12,4	16,3	21,0	17,2	25,5
	8-10	**	1,1	12,1	18,1	15,1	16,1	14,6	22,9
RFII	0-2	**	5,0	17,0	22,0	14,0	13,0	11,0	17,0
	2-4	**	13,0	16,0	23,0	11,0	11,0	10,0	16,0
	4-6	**	1,0	7,0	12,0	17,0	21,0	17,0	25,0
	6-8	**	**	4,0	12,0	18,0	22,0	18,0	26,0
	8-10	**	**	4,0	11,0	18,0	22,0	18,0	27,0
BP	0-2	**	1,9	10,8	16,1	14,5	17,3	15,6	23,8
	2-4	**	4,1	12,3	17,2	13,9	16,4	14,6	21,5
	4-6	**	5,5	17,1	22,4	13,6	13,2	11,2	17,0
	6-8	**	**	1,8	11,3	17,9	23,4	18,5	27,1
	8-10	**	**	3,4	10,7	16,5	22,5	18,5	28,4
PU	0-2	0,1	8,2	14,9	16,7	14,2	14,0	12,2	19,7
	2-4	0,1	6,9	14,2	17,1	14,7	14,4	12,4	20,2
	4-6	**	5,0	13,5	17,3	15,1	15,0	13,1	21,0
	6-8	**	5,5	13,7	17,7	14,8	14,5	12,9	20,9
	8-10	**	3,6	13,1	17,4	14,7	15,0	13,7	22,5

Obs.: Frações granulométricas do sedimento: argila = <2 µm; silte muito fino = 2-4 µm; silte fino = 4-8 µm; silte médio = 8-16 µm; silte grosso = 16-31 µm; silte muito grosso = 31-63 µm; areia muito fina = 63-125 µm e areia fina = 125-250 µm. Fonte: dados coletados pelo autor.

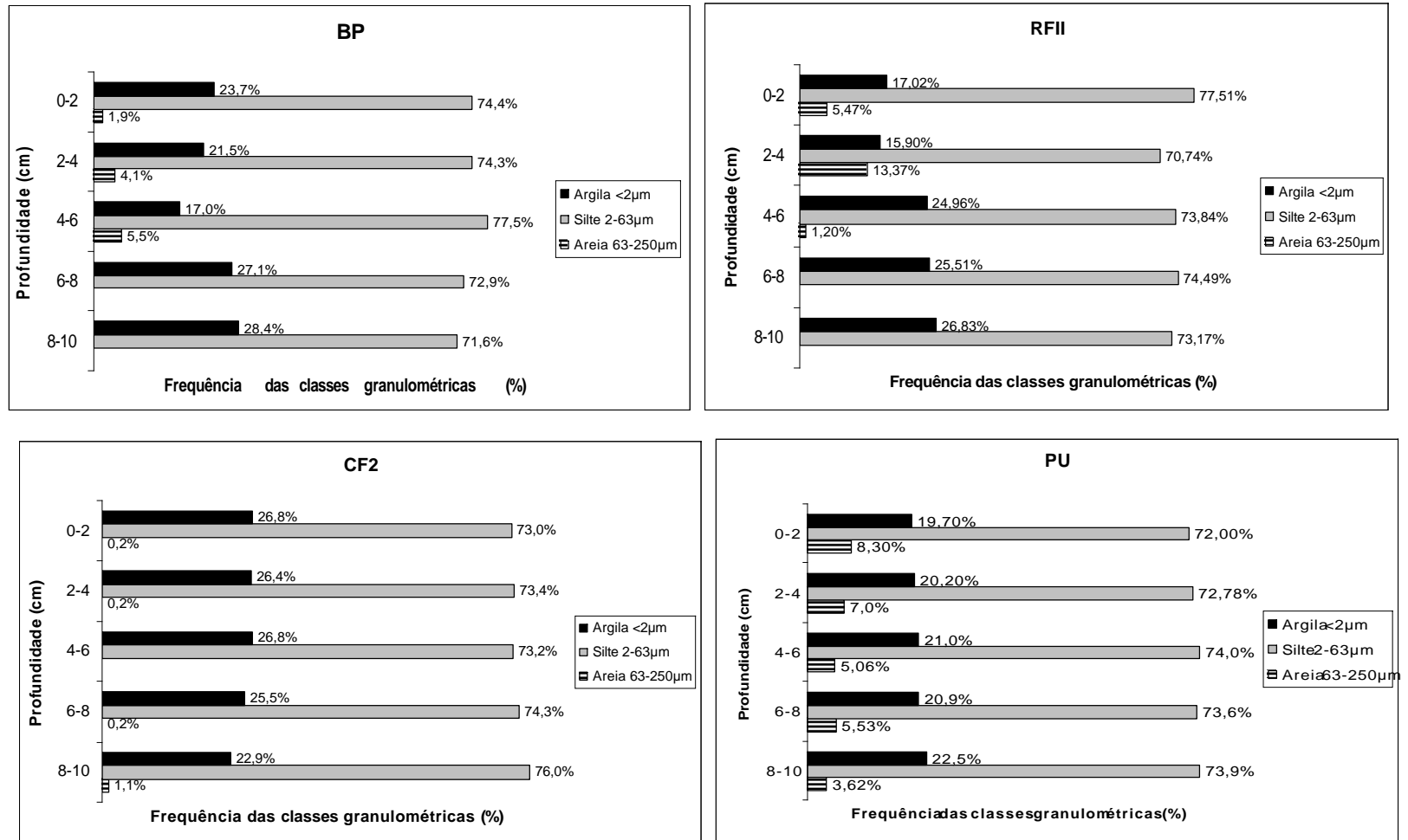


FIGURA 12. Perfil granulométrico. Estações de coleta na baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman, RFII = Refúgio II, CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz e BP = Botany Point. Fonte: dados trabalhados pelo autor.



## 6.2. CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO TOTAL

Tabela 5. Concentração de carbono total, carbono orgânico, nitrogênio orgânico, nitrogênio total e C/N ( $C_{\text{orgânico}}/N_{\text{total}}$ ) nos estratos de sedimento (0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Local	Estratos (cm)	C total (%)	C org (%)	N org (%)	N total (%)	Razão C/N
<b>CF2</b>	0-2	0,91	0,76	0,13	0,13	<b>5,85</b>
<b>CF2</b>	2-4	0,78	0,63	0,11	0,08	7,88
<b>CF2</b>	4-6	0,73	0,56	0,09	0,07	8,00
<b>CF2</b>	6-8	0,63	0,52	0,07	0,06	8,67
<b>CF2</b>	8-10	0,66	0,51	0,06	0,05	<b>10,20</b>
<b>RFII</b>	0-2	0,82	0,58	0,06	0,10	5,80
<b>RFII</b>	2-4	0,92	0,75	0,09	0,13	<b>5,77</b>
<b>RFII</b>	4-6	0,59	0,35	0,04	0,05	7,00
<b>RFII</b>	6-8	0,62	0,35	0,01	0,03	<b>11,67</b>
<b>RFII</b>	8-10	0,52	0,33	0,01	0,05	6,60
<b>BP</b>	0-2	0,71	0,47	0,03	0,06	7,83
<b>BP</b>	2-4	0,60	0,37	0,02	0,04	<b>9,25</b>
<b>BP</b>	4-6	0,57	0,32	0,02	0,04	8,00
<b>BP</b>	6-8	0,52	0,31	0,02	0,06	<b>5,17</b>
<b>BP</b>	8-10	0,54	0,30	0,02	0,05	6,00
<b>PU</b>	0-2	0,89	0,70	0,08	0,11	6,36
<b>PU</b>	2-4	0,80	0,67	0,08	0,10	<b>6,70</b>
<b>PU</b>	4-6	0,84	0,65	0,07	0,11	5,91
<b>PU</b>	6-8	0,77	0,57	0,07	0,09	6,33
<b>PU</b>	8-10	0,76	0,58	0,06	0,10	<b>5,80</b>

Obs.: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Valores mínimos e máximos de C/N destacados em negrito e fundo cinza. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os valores da razão C/N variaram de 5,17 até 11,67 nas quatro áreas de coleta, característicos de domínio fitoplanctônico.

Na área CF2, o menor valor foi encontrado na profundidade de 0-2 cm (5,85) apresentando uma ordem crescente de valores na medida em que aumentava a profundidade (TAB. 5).

Em RFII, os valores variaram de 5,77 a 11,67, sendo que a profundidade 6-8 cm apresentou o maior valor de todas as áreas de coleta (11,67) (FIG. 13).

Em BP os valores ficaram entre 5,17 e 9,25 sendo que a profundidade 6-8 cm apresentou o menor valor (5,17) da área. As maiores concentrações foram encontradas nas camadas superficiais do sedimento (0-2 cm, 2-4 cm e 4-6 cm), indicando contribuição fitoplanctônica mais recente.

PU foi a área que apresentou valores mais uniformes entre as áreas e as profundidades estudadas, variando entre 5,80 no estrato de 8-10cm e 6,70 no estrato de 2-4cm.

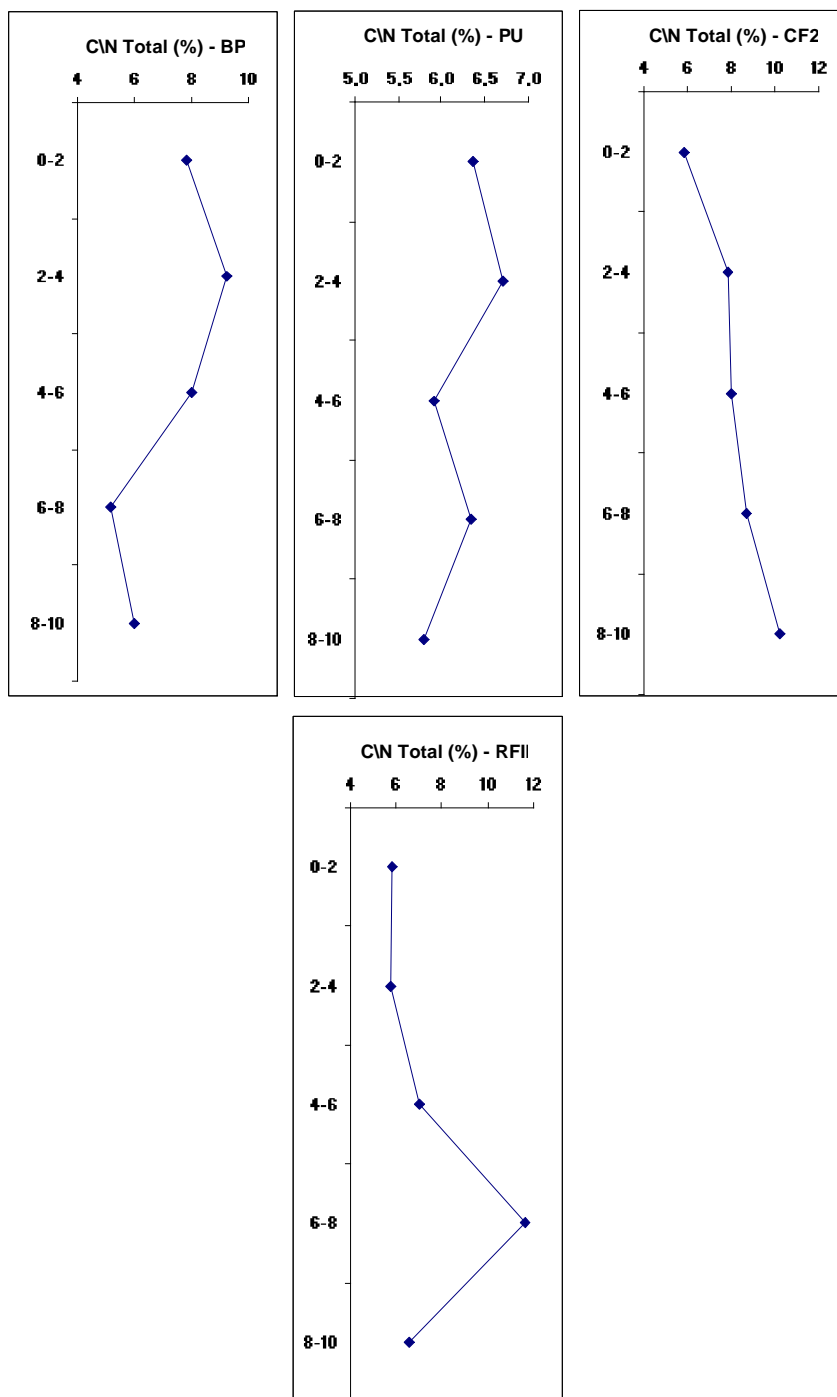


Figura 13. C/N total (%) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

### 6.3. METAIS-TRAÇO NO SEDIMENTO

No presente trabalho, as concentrações de metais-traço encontradas nos sedimentos de fundo da Baía foram variáveis, sendo alguns elementos encontrados em concentrações superiores a de outros trabalhos anteriormente citados, tais como Schaefer *et al.* (2004a) e Santos *et al.* (2005).

Nota-se que não houve diferença na concentração dos diferentes metais pelas quatro áreas de coleta (FIG. 14, TAB. 6). Nas quatro áreas de coleta, os metais que apresentaram as maiores concentrações no sedimento foram: ferro, alumínio e manganês. Zinco, cobre, bário e vanádio também apresentaram altas concentrações se comparados com cromo, níquel, chumbo e cádmio.

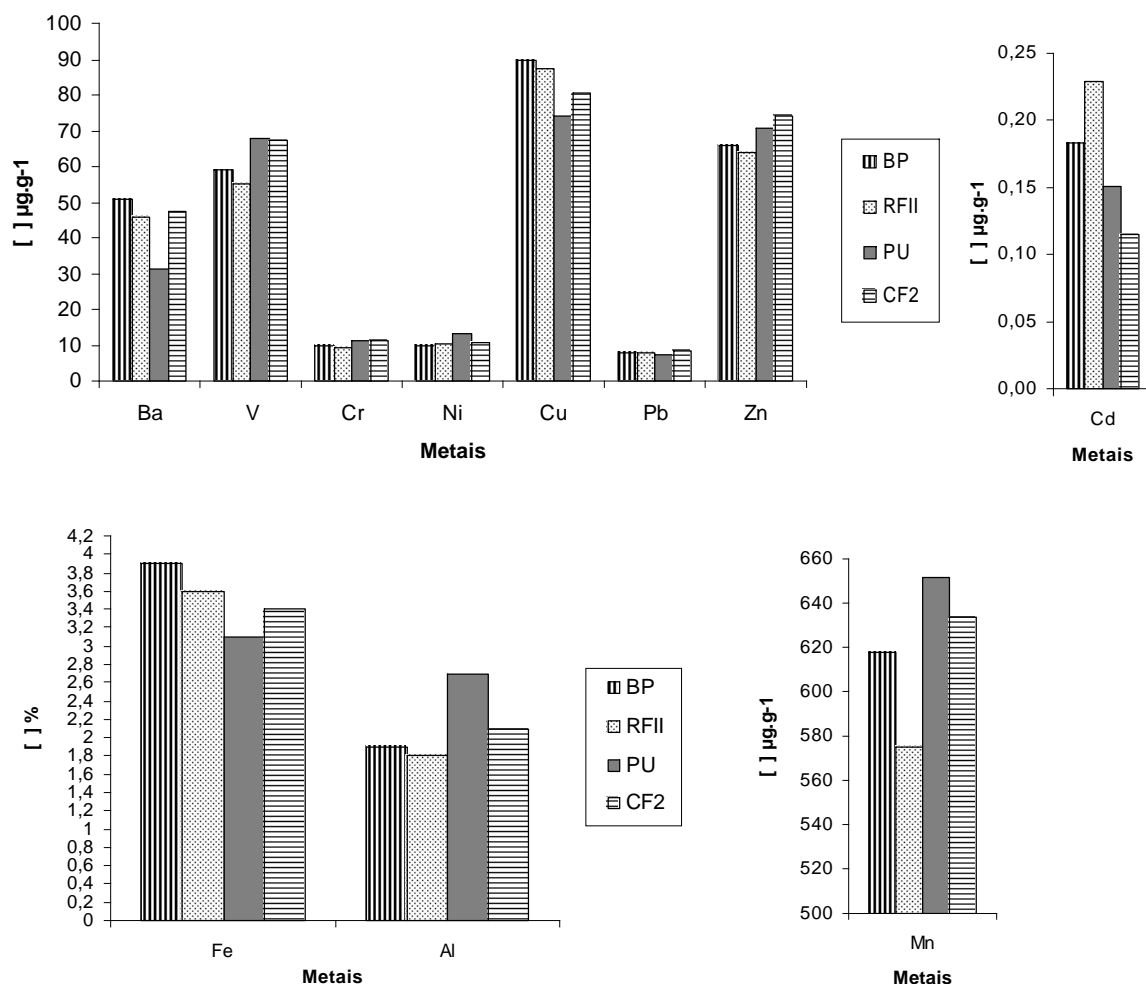


FIGURA 14. Distribuição de metais-traço no sedimento das estações de coleta BP = Botany Point; RF II = Refúgio II; PU = Punta Ullman e CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz. Unidade =  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (peso seco). Unidade Al e Fe = %. Escala diferenciada de acordo com o metal analisado. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Tabela 6. Concentração de metais-traço em cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Valores mínimos e máximos de cada metal destacados em negrito e fundo cinza, por estação de coleta.

Local	Estrato (cm)	Mn	Ba	Al	V	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	Fe
BP	0-2	<b>598,61</b>	50,95	<b>1,9</b>	<b>54,29</b>	<b>9,16</b>	10,16	88,14	<b>0,22</b>	7,87	<b>61,48</b>	<b>3,7</b>
BP	2-4	599,45	<b>48,07</b>	1,9	58,52	9,54	10,15	89,17	0,20	7,92	64,12	3,7
BP	4-6	628,13	<b>51,98</b>	2,0	60,20	9,65	10,02	93,53	0,20	8,24	<b>71,56</b>	3,9
BP	6-8	<b>631,44</b>	51,86	<b>2,0</b>	<b>60,78</b>	<b>9,77</b>	<b>8,86</b>	<b>82,38</b>	<b>0,14</b>	<b>7,31</b>	67,27	4,0
BP	8-10	630,43	51,31	1,9	60,36	9,72	<b>10,35</b>	<b>96,38</b>	0,16	<b>8,46</b>	64,48	<b>4,1</b>
RFII	0-2	551,85	44,27	1,7	52,59	8,94	9,99	87,70	0,19	7,58	62,30	3,5
RFII	2-4	<b>468,01</b>	<b>39,18</b>	<b>1,6</b>	<b>48,68</b>	<b>8,50</b>	<b>8,57</b>	<b>75,74</b>	<b>0,30</b>	<b>6,61</b>	61,89	<b>3,3</b>
RFII	4-6	605,98	47,43	1,9	57,31	9,87	10,01	90,94	0,25	7,82	65,31	3,7
RFII	6-8	<b>628,13</b>	<b>49,61</b>	<b>1,9</b>	57,35	9,31	10,13	<b>95,39</b>	0,24	<b>8,51</b>	63,03	<b>3,9</b>
RFII	8-10	619,89	49,40	1,9	<b>60,57</b>	<b>9,90</b>	<b>11,95</b>	87,47	<b>0,17</b>	8,25	<b>67,79</b>	3,9
PU	0-2	643,92	<b>27,91</b>	<b>2,7</b>	<b>65,52</b>	<b>11,57</b>	<b>15,88</b>	<b>84,46</b>	<b>0,09</b>	<b>6,81</b>	<b>66,94</b>	<b>3,0</b>
PU	2-4	<b>643,05</b>	32,29	2,7	66,20	<b>10,96</b>	<b>11,85</b>	71,26	0,10	7,07	67,90	3,1
PU	4-6	<b>659,28</b>	<b>36,77</b>	2,7	67,75	11,23	12,16	<b>70,29</b>	0,16	7,22	68,98	3,2
PU	6-8	651,07	30,08	<b>2,6</b>	68,88	11,33	12,19	71,17	0,18	<b>7,25</b>	72,55	3,1
PU	8-10	658,30	30,03	2,7	<b>70,72</b>	11,39	12,72	73,30	<b>0,22</b>	7,11	<b>77,85</b>	<b>3,2</b>
CF2	0-2	<b>598,89</b>	49,05	<b>2,0</b>	<b>65,32</b>	<b>10,71</b>	<b>10,38</b>	<b>75,07</b>	<b>0,10</b>	<b>7,78</b>	<b>69,10</b>	3,4
CF2	2-4	<b>668,96</b>	<b>50,30</b>	<b>2,2</b>	<b>68,59</b>	<b>11,36</b>	11,05	81,43	0,11	8,34	76,44	<b>3,6</b>
CF2	4-6	637,34	46,21	2,1	68,28	11,22	<b>11,21</b>	81,72	<b>0,10</b>	8,52	74,97	<b>3,4</b>
CF2	6-8	644,37	46,99	2,2	67,75	11,17	11,06	<b>83,75</b>	0,12	<b>8,48</b>	<b>77,04</b>	3,4
CF2	8-10	619,44	<b>44,30</b>	2,1	67,05	11,01	10,89	79,79	<b>0,15</b>	8,00	73,71	3,4

Obs.: BP = Botany Point; RFII = Refúgio II; PU = Punta Ullman e CF2 = em frente à Estação Comandante Ferraz. Unidade = mg Kg<sup>-1</sup> (peso seco). Unidade Fe e Al = %.

Fonte: dados trabalhados pelo autor.

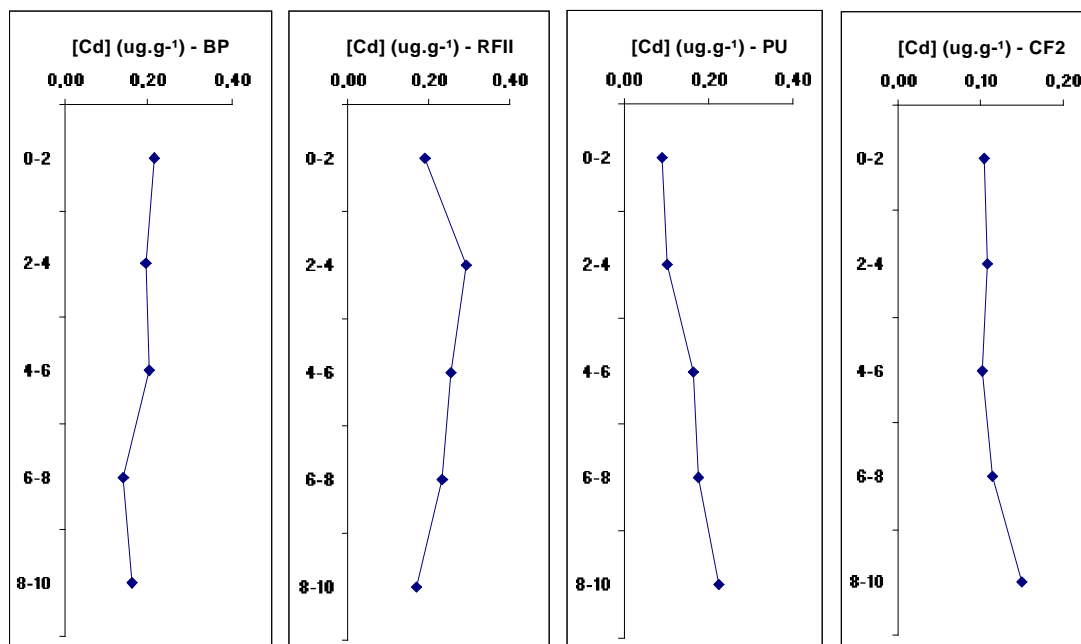


FIGURA 15. Concentração de Cádmio (Cd) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de cádmio (TAB. 6, FIG. 15) foram baixos e pouco variáveis, indo de 0,09 (em PU) a 0,30  $\text{mg kg}^{-1}$  (RFII), com média de 0,17  $\text{mg kg}^{-1}$ . Na média, CF2 apresentou a menor concentração de Cd.

Estes valores estão, aproximadamente, dentro da faixa de concentração encontrada por Schaefer *et al.* (2004a) que variou de 0 a 0,13  $\text{mg kg}^{-1}$ .

A distribuição de Cd é influenciada por processos de produção e remineralização de partículas biogênicas (DALLA-RIVA *et al.*, 2004). Nos oceanos, as concentrações de Cd apresentam correlação com o macronutriente fósforo tendo um papel fundamental na produtividade biológica marinha (RIPPERGER *et al.*, 2007).

Os níveis de Cd particulado são influenciados pela atividade biológica do fitoplâncton (DALLA-RIVA *et al.*, 2004; SCARPONI *et al.*, 1998). No oceano é observada uma semelhança de comportamento entre Cd e  $\text{PO}_4$ , ocorrendo a incorporação dos mesmos pelo fitoplâncton e a sua sedimentação em direção ao fundo (BARCELLOS, 1995; BOYLE *et al.*, 1976).

É característico de algumas regiões do ambiente marinho Antártico apresentar altas concentrações de Cd na coluna d'água (RODRIGUES *et al.*, 2007).

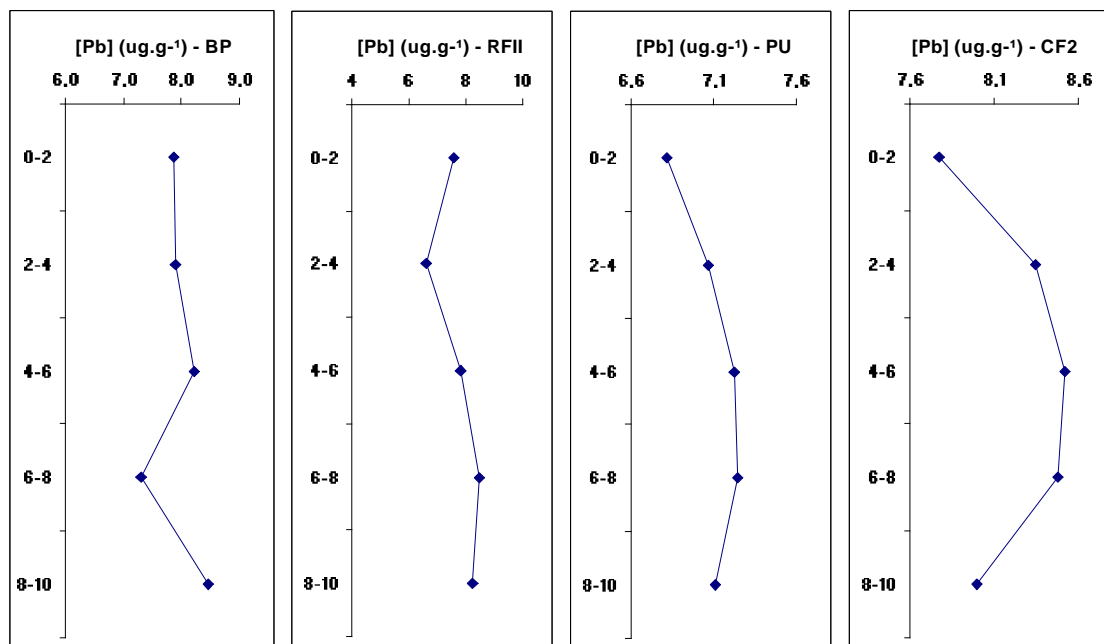


FIGURA 16. Concentração de Chumbo (Pb) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de chumbo variaram na faixa de 6,61 a 8,52  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 16) com média de 7,76  $\text{mg kg}^{-1}$ . RFII apresentou a menor concentração enquanto CF2 apresentou a maior.

As concentrações de Pb foram semelhantes nas áreas de PU e CF2. Na profundidade de 2-4 cm, em RFII, Pb teve um decréscimo (variando de 7,58 a 6,61  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

BP apresentou um decréscimo na sua concentração na profundidade de 6-8 cm variando de 8,24 a 7,31  $\text{mg kg}^{-1}$ , seguido por um acréscimo na profundidade de 8-10 cm chegando a 8,46  $\text{mg kg}^{-1}$  (maior concentração no ponto de coleta).

No trabalho de Santos *et al.* (2005), a concentração média de Pb foi de 10,5  $\text{mg kg}^{-1}$  nos sedimentos e 11,5  $\text{mg kg}^{-1}$  no solo. As amostras foram coletadas em Ferraz, na Baía do Almirantado.



As tintas seriam uma possível fonte de metais-traço, como o Pb, o Cd e o Cu, para o sedimento na EACF, especialmente próximo à área de pouso dos helicópteros (heliporto) e aos tanques de combustível (SANTOS *et al.*, 2005).

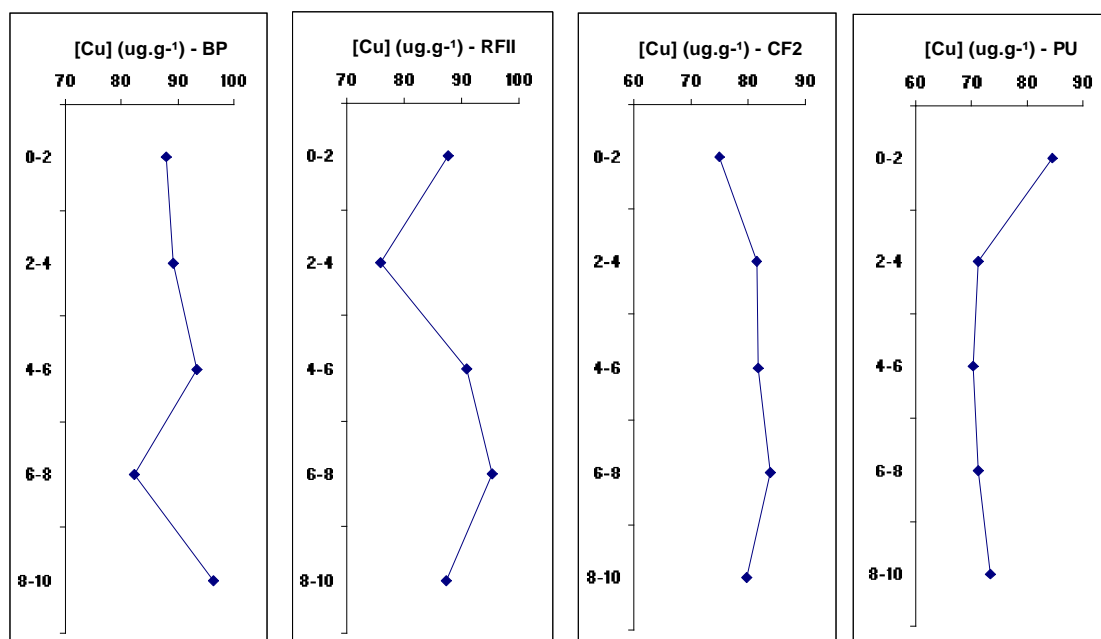


FIGURA 17. Concentração de Cobre (Cu) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RF2 = Refúgio 2 e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de cobre foram elevados, variando de 70,29 a 96,38  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 17) com média de 83  $\text{mg kg}^{-1}$ . As maiores concentrações foram encontradas em BP (82,38 a 96,38  $\text{mg kg}^{-1}$ ) enquanto as menores foram encontradas em PU (79,29 a 84,46  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Os teores aqui encontrados foram muito maiores que os reportados por Schaefer *et al.* (2004a), os quais variaram de 4,36 a 14,7  $\text{mg kg}^{-1}$ . Já no trabalho de Santos *et al.* (2005) a concentração média de Cu foi de 92  $\text{mg kg}^{-1}$ , estando o presente trabalho de acordo com estes resultados. No trabalho de Anh *et al.* (1996), as concentrações de Cu no sedimento variaram de 68 a 88  $\mu\text{g g}^{-1}$ , com média de 77  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

É característico de algumas regiões do ambiente marinho Antártico apresentar altas concentrações de Cu no sedimento superficial (RODRIGUES *et al.*, 2007). Isto poderia ser justificado pela existência de uma anomalia local de Cu que ocorreria através da mineralização da calcopirita (SCHAEFER *et al.*, 2004a).

A falta de um efeito detectável dos metais pode ser devido à sua biodisponibilidade, que é afetada pelo sedimento como granulometria, presença de sulfetos, fluxo de água e hipoxia (WEBER e MONTONE, 2006).

Segundo Olsgard (1999), em sedimentos finos e ricos em matéria orgânica, a maior parte dos metais estaria, provavelmente, adsorvida e menos biodisponível. Metais como cobre são mais tóxicos e biodisponíveis quando presentes na forma livre na água intersticial e, portanto, mais biodisponíveis em ambientes arenosos (WEBER e MONTONE, 2006; CAMPOS, 2007).

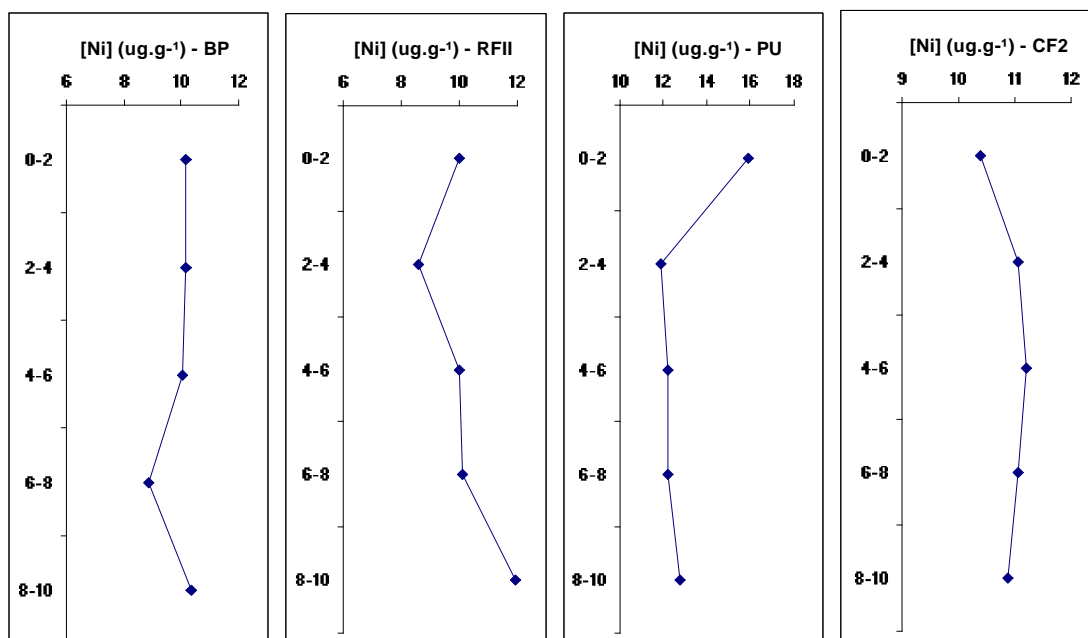


FIGURA 18. Concentração de Níquel (Ni) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RF2 = Refúgio 2 e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

A concentração de níquel variou de  $8,57 \text{ mg kg}^{-1}$  em RFII a  $15,88 \text{ mg kg}^{-1}$  em PU (TAB. 6, FIG. 18) com média de  $10,98 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Em BP, Ni apresentou uma diminuição em sua concentração na profundidade de 6-8 cm variando de  $10,02$  a  $8,86 \text{ mg kg}^{-1}$ . Na profundidade de 8-10 cm a concentração aumentou para  $10,35 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Em PU a maior concentração de Ni foi encontrada na profundidade de 0-2 cm ( $15,88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) decrescendo apenas na profundidade de 2-4 ( $11,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Estes valores estão muito acima dos apresentados por Schaefer *et al.* (2004a), que variaram de  $0,14$  a  $0,95 \text{ mg kg}^{-1}$ . No trabalho de Santos *et al.* (2005), a concentração média de Ni no sedimento foi  $10,1 \text{ mg kg}^{-1}$  enquanto no solo foi de  $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os valores encontrados neste trabalho estão de acordo com os valores reportados por Santos *et al.* (2005).

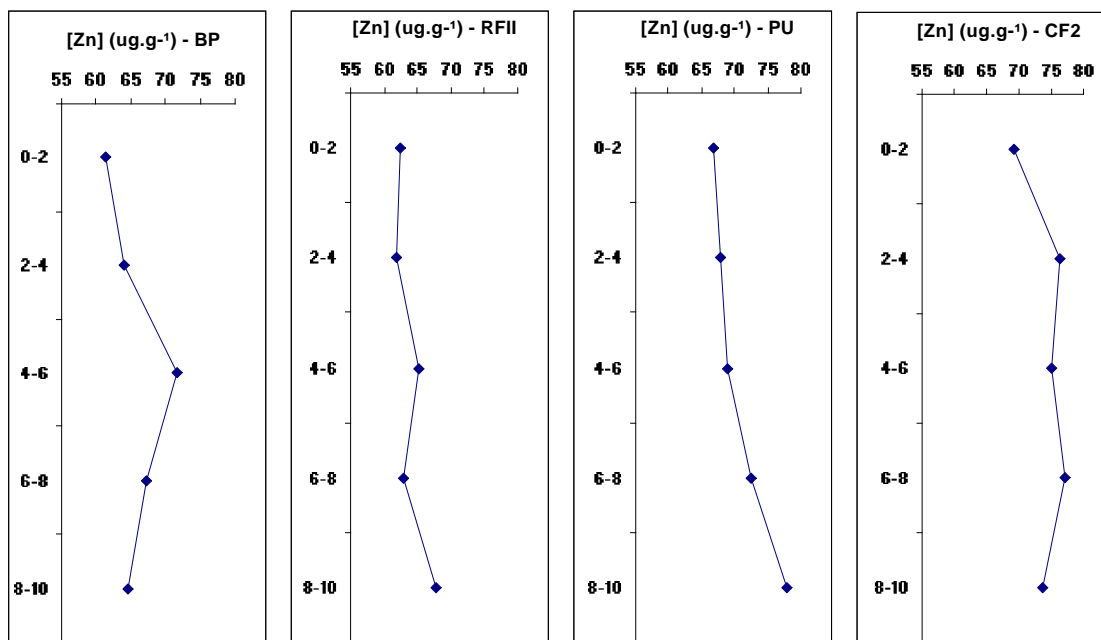


FIGURA 19. Concentração de Zinco (Zn) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

A faixa de concentração de zinco variou de 61,48 a 77,85  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 19). Os maiores valores foram encontrados em CF2, seguido por PU. BP apresentou a menor concentração.

Zinco demonstrou ter uma distribuição semelhante em RFII e em PU. Em BP, a maior concentração deste elemento foi encontrada na profundidade de 2-4 cm.

No presente trabalho, a concentração média deste elemento, foi de 69  $\text{mg kg}^{-1}$ . Este valor está de acordo com os valores reportados por Santos *et al.* (2005), os quais variaram de 89  $\text{mg kg}^{-1}$  no sedimento a 52  $\text{mg kg}^{-1}$  no solo.

Santos *et al.* (2005) observaram que os sedimentos em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz estavam mais enriquecidos por Zn e Cu que os sedimentos de outras áreas, sugerindo que isto esteja relacionado à uma possível influência do esgoto e dos resíduos de tinta da estação.

Assim como o Cu, o Zn também seria mais tóxico e biodisponível quando presente em sua forma livre na água intersticial, ou seja, mais biodisponível em ambientes arenosos (WEBER e MONTONE, 2006; CAMPOS, 2007).

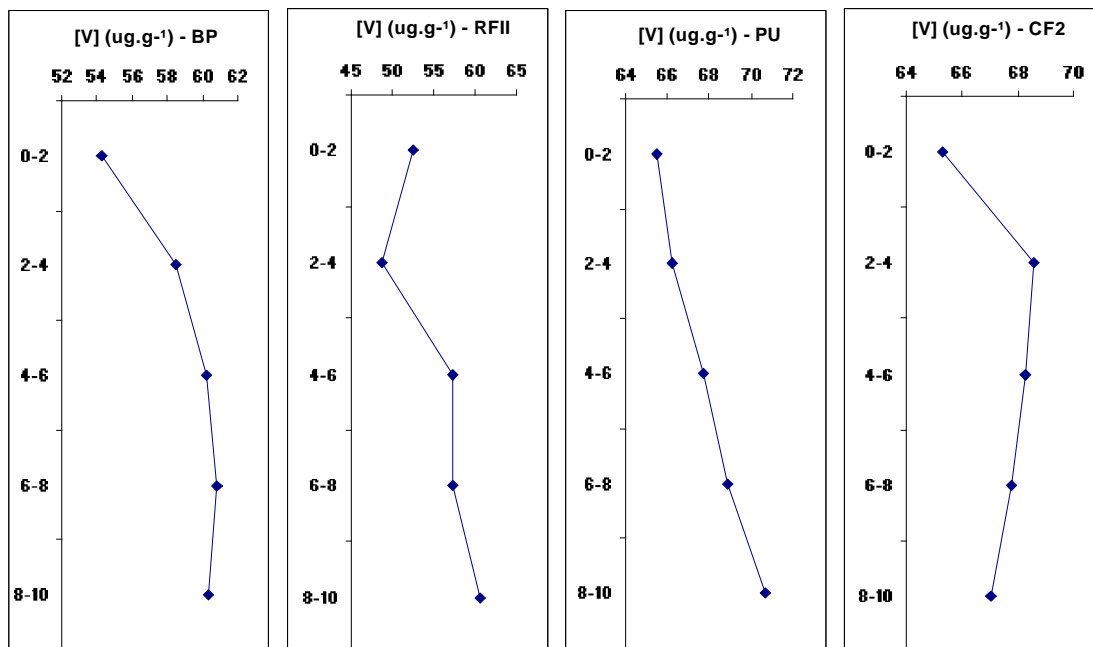


FIGURA 20. Concentração de Vanádio (V) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

As concentrações de vanádio variaram entre 48,68 e 68,88  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 20) com média de 62,34  $\text{mg kg}^{-1}$ . A área com menor concentração foi RFII e a com maior concentração foi PU seguida da área CF2.

O V apresentou uma distribuição inversa nas áreas RFII e CF2. Os primeiros 6 cm de RFII apresentaram um decréscimo na concentração do elemento no estrato de 2-4 cm enquanto CF2 apresentou um acréscimo na mesma profundidade.

Os valores reportados por Schaefer *et al.* (2004a) foram bem menores que os encontrados aqui, variando entre 1,50-5,78  $\text{mg kg}^{-1}$ . A concentração média de V encontrada no trabalho de Santos *et al.* (2005) foi maior, variando de 204  $\text{mg kg}^{-1}$  nos sedimentos marinhos e 91  $\text{mg kg}^{-1}$  no solo.

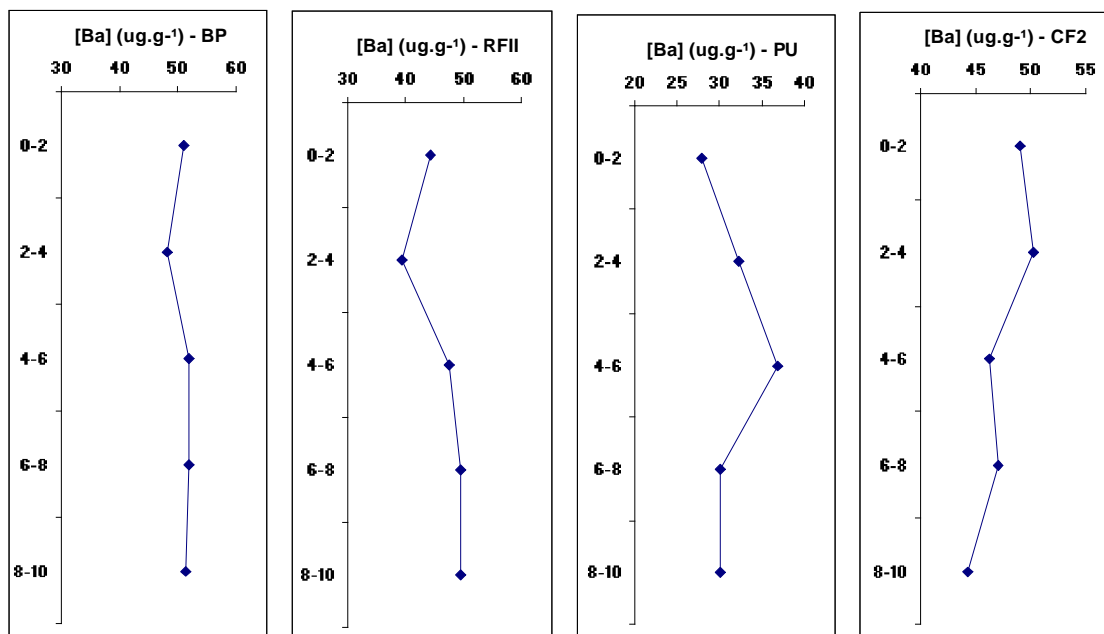


FIGURA 21. Concentração de Bário (Ba) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de bário variaram na faixa de 27,91 a 51,98  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 21). RFII e PU apresentaram as menores concentrações enquanto BP apresentou as maiores. Em CF2, as maiores concentrações foram encontradas nas profundidades de 0-2, 2-4 e 4-6 cm.

Os valores encontrados neste trabalho foram mais altos do que os reportados no trabalho de Schaefer *et al.* (2004a), que variaram entre 0,44 e 9,34  $\text{mg kg}^{-1}$ . De acordo com este autor, o Ba em sedimentos carbonáticos estaria associado a argilominerais (na estrutura ou adsorvido).

Os resultados aqui encontrados ainda contradizem a afirmação de Friedman (1969) *apud* Schaefer *et al.* (2004a) que afirma que os sedimentos marinhos apresentam valores de Ba totais inferiores a 20  $\text{mg kg}^{-1}$ , variando pouco durante a diagênese (conjunto de transformações que o material sedimentar sofre após a sua deposição).

A concentração média de Ba aqui encontrada foi de 44  $\text{mg kg}^{-1}$ . Este valor está de acordo ao valor reportado por Santos *et al.* (2005) para sedimentos marinhos que foi de 41  $\text{mg kg}^{-1}$ .

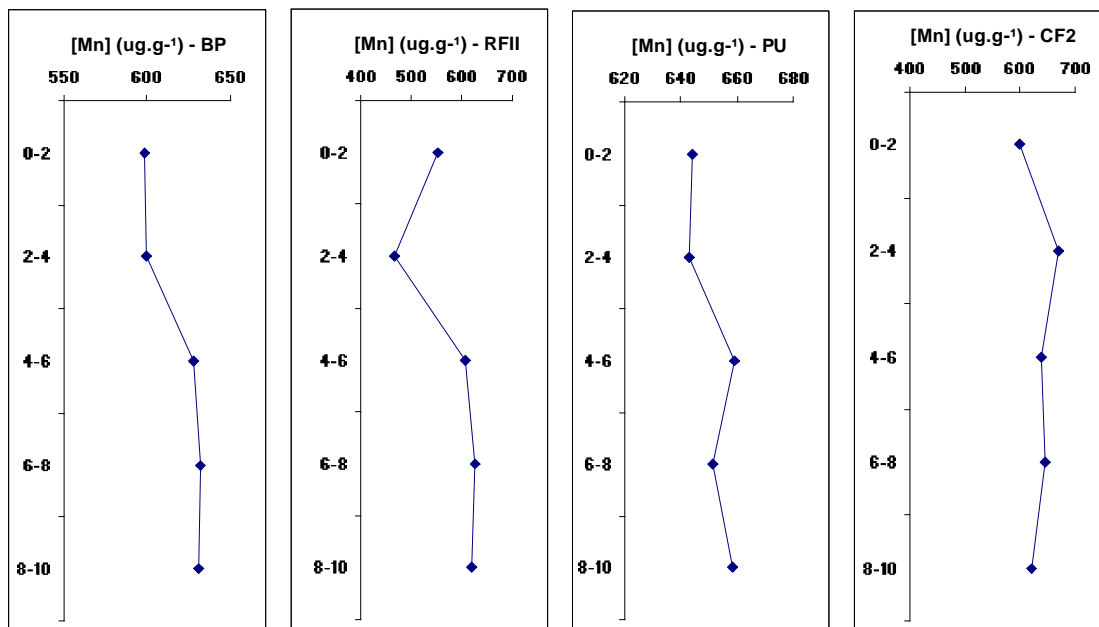


FIGURA 22. Concentração de Manganês (Mn) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de manganês variaram de 468,01 a 668,96  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 22) com média de 619  $\text{mg kg}^{-1}$ . A maior concentração foi encontrada na profundidade de 2-4cm em CFII. Mas na média, os maiores valores foram encontrados em PU.

Nas estações BP, RFII e PU observou-se uma diminuição na concentração deste elemento na profundidade de 2-4 cm. O decréscimo da concentração destes metais nesta profundidade coincide com uma maior concentração das frações granulométricas areia fina e areia muito fina (0,1-13%) no local.

Os valores aqui encontrados estão acima dos reportados por Schaefer *et al.* (2004a), os quais variaram entre 33,4 e 130  $\text{mg kg}^{-1}$ . Segundo este autor, o manganês estaria relacionado tanto à mineralogia do sedimento original quanto às condições físico-químicas da água no ambiente de deposição.

A concentração média de Mn aqui encontrada está de acordo ao valor reportado por Santos *et al.* (2005) para sedimentos marinhos, que foi de 624  $\text{mg kg}^{-1}$ .

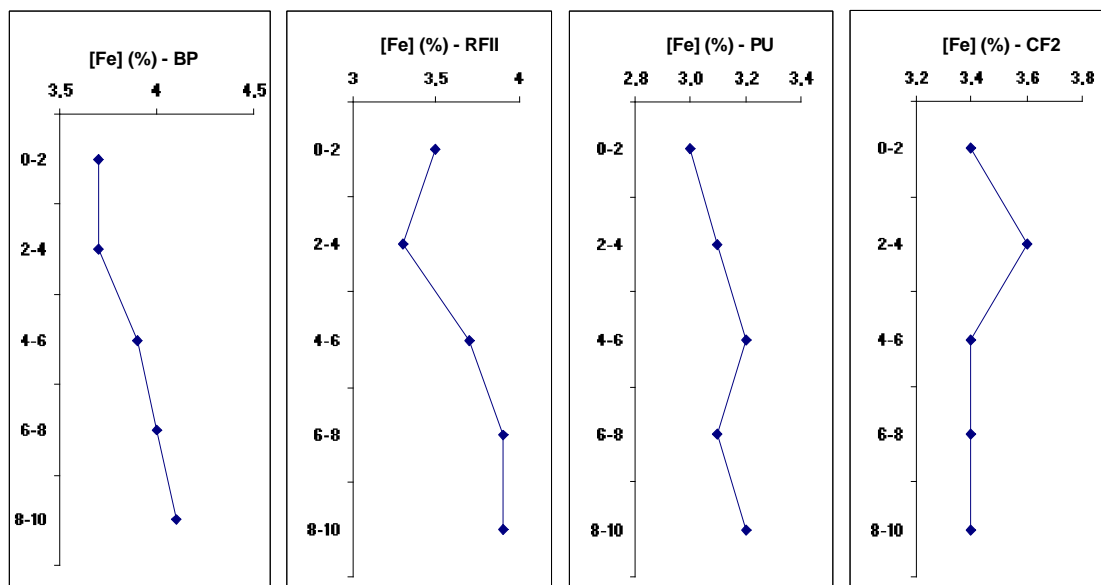


FIGURA 23. Concentração de Ferro (Fe) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em % (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Observam-se altos teores de ferro, que variaram de 3,0% em PU a 4,1% em BP (TAB. 6, FIG. 23) com média de 3,5 %. A distribuição do ferro foi semelhante em BP e RFII. Em CF2 houve um aumento na concentração de Fe na camada de 2-4 cm. Em BP, a concentração de Fe apresentou um acréscimo na camada de 8-10 cm, variando de 3,7 a 3,9 %.

Os valores de ferro observados neste trabalho (3,0% em PU a 4,1% em BP) estão muito acima dos reportados por Schaefer *et al.* (2004a), os quais variaram de 494 a 1,190 mg Kg<sup>-1</sup>, mas estão de acordo com os valores encontrados por Santos *et al.* (2005) que apresentaram uma média de 6,15 %.

O ferro e o manganês, através de mecanismos como precipitação e adsorção são elementos carreadores de elementos-traço, principalmente nas formas de óxidos e hidróxidos (LEMES, 2001).



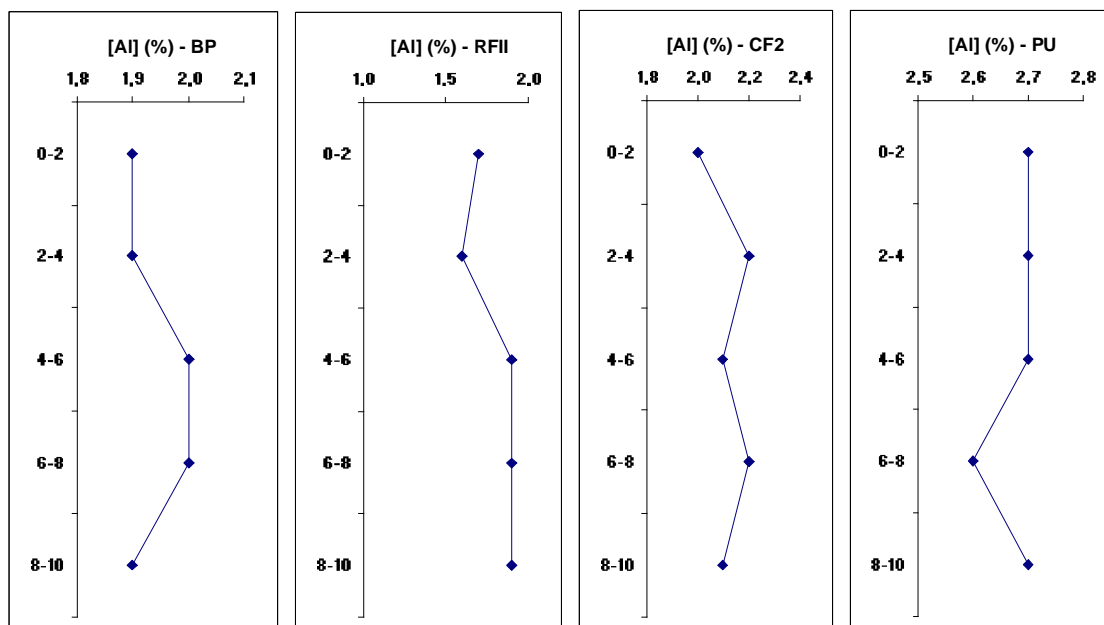


FIGURA 24. Concentração de Alumínio (Al) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em % (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de alumínio variaram de 1,6% a 2,7% (TAB. 6, FIG. 24). A área que apresentou a menor concentração deste metal foi RF II (1,6 -1,9%). PU, seguida por CF2, apresentaram os maiores valores, variando de 2,6 - 2,7% e 2,0 - 2,2% respectivamente.

O Al apresentou um acréscimo na sua concentração na camada de 2-4 cm em CF2 e um decréscimo, na mesma camada, em RFII. Esta diminuição na concentração estaria associada a uma maior quantidade da fração granulométrica areia muito fina nesta profundidade.

A concentração média de Al aqui encontrada foi de 2 %. Este valor está de acordo ao valor reportado por Santos *et al.* (2005) para sedimentos marinhos que foi de 3 %.

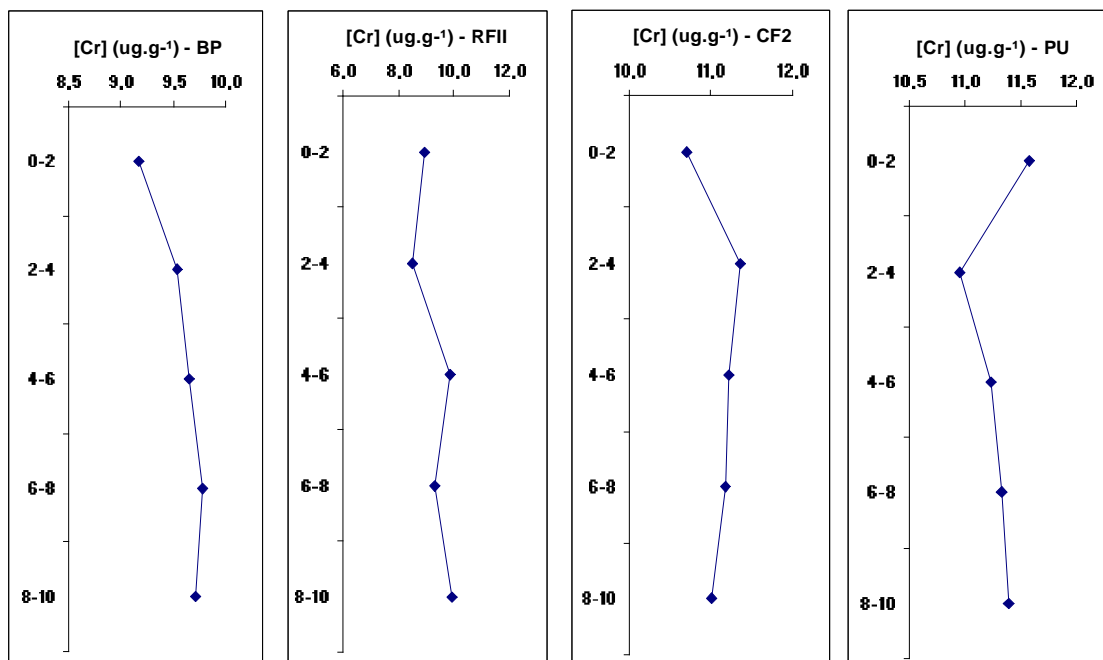


FIGURA 25. Concentração de Cromo (Cr) em um testemunho de 10cm (estratos de 2 em 2 cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Unidade em  $\text{mg kg}^{-1}$  (peso seco). Escala diferenciada de acordo com a estação amostrada. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Os teores de cromo variaram de 8,50 a 11,57  $\text{mg kg}^{-1}$  (TAB. 6, FIG. 25). A área com menor concentração foi RFII e a com maior concentração foi PU seguida da área CF2.

O Cr apresentou uma distribuição semelhante nas camadas de 0-2 a 4-6 cm nas áreas de RFII e PU. Este elemento teve um decréscimo na camada de 6-8 cm em RFII (de 9,37 para 9,31  $\text{mg kg}^{-1}$ ) enquanto aumentou de 11,23 para 11,33  $\text{mg kg}^{-1}$  em PU. As outras áreas (BP e CF2) não apresentaram diferenças na profundidade.

No trabalho de Schaefer *et al.* (2004a), os valores encontrados foram muito menores, variando de 0 a 0,56  $\text{mg kg}^{-1}$ , com os mais altos sendo encontrados em CF2.

A concentração média de Cr aqui encontrada foi de 10  $\text{mg kg}^{-1}$ . Este valor está abaixo do valor reportado por Santos *et al.* (2005) para sedimentos marinhos que foi de 31  $\text{mg kg}^{-1}$ .

O cromo pode ser encontrado associado a altos valores de ferro, podendo substituir isomorficamente o ferro, indicando contribuição terrígena de óxidos de Fe (SCHAEFER *et al.*, 2004a).

Todos os 11 metais estudados apresentaram um aumento em suas concentrações na profundidade de 2-4 cm em CF2 enquanto que, em RFII, todos os metais apresentaram uma diminuição em suas concentrações nesta profundidade (com exceção de Cd).

Em CF2, a distribuição dos metais através da profundidade de 0-10 cm foi semelhante para Pb, Ni, V e Cr. Zn e Cu demonstraram esta semelhança, independente dos outros metais.

Todos os resultados observados neste trabalho foram menores que os reportados por Schaefer *et al.* (2004a). Isso pode ser explicado pelo método de abertura de amostra utilizado por ele. Os metais foram extraídos pelo método Mehlich-3, composto por  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{HNO}_3$  e EDTA, com pH ajustado para 2,5. O método utilizado neste trabalho para a extração dos metais foi mais ácido ( $\text{HNO}_3$  bidestilado +  $\text{H}_2\text{O}_2$  suprapuro), o que explicaria as maiores concentrações encontradas.

Os resultados aqui observados estão de acordo com os publicados por Santos *et al.* (2005) e outros trabalhos anteriormente publicados, como pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7. Comparação dos valores de concentração de metais-traço encontrados neste trabalho (sedimento) com os de outros trabalhos (sedimento, solo e rochas vulcânicas) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e em outras regiões da Antártica.

Fonte	Matriz	Local	Metais										
			Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Cd
Este trabalho	Sedimento	Ferraz, BA, IRG	2	44	10	83	4	619	11	8	62	69	0,17
Santos <i>et al.</i> (2005)	Sedimento	Ferraz, BA, IRG	3,16	41	31	92	6,47	624	10,1	10,5	204	89	***
Santos <i>et al.</i> (2005)	Solo	Ferraz, BA, IRG	3,44	109	40	44	6,15	442	5,1	11,5	91	52	***
Ahn <i>et al.</i> (1996)	Sedimento	Collins Harbour, IRG	***	***	7,6	77	2,42	640	15,4	8,7	***	69	0,22
Lenihan <i>et al.</i> (1990)	Sedimento	Estação McCurdo	***	***	***	11	***	***	68	7	***	32	1,0
Gomes (1999)	Sedimento	Ferraz, BA, IRG	5,44	***	***	68	6,28	***	41,3	14,9	***	60	0,05
Alam e Sadiq (1993)	Sedimento	Área intertidal, IRG	***	28	2,6	52	2,37	280	11,5	121	82	47	***
Merlin <i>et al.</i> (1989)	Sedimento	Ross Sea	***	***	47	25	***	***	23	15	49	50	***
Webster <i>et al.</i> (2003)	Solo	Próximo ao lago Vanda	***	***	***	28	1	104	11,2	3,9	***	24	***
Ciaralli <i>et al.</i> (1998)	Sedimento	Terra Nova Bay	5,61	***	20,3	***	1,64	359	6,3	20,7	***	42	***
Machado <i>et al.</i> (2001)	Rochas Vulcânicas	IRG	5,18	198	***	***	2,92	1100	60,7	***	***	***	***
Groeneweg e Beunk (1992)	Rochas Vulcânicas	BA, IRG	4,77	333	***	111	2,79	1500	12,5	7,7	107	66	***
Wedepohl (1995)	Rochas	Média global	7,96	584	126	25	4,32	716	56	14,8	98	65	***

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*, 2005.

Obs.: Unidade =  $\text{mg Kg}^{-1}$  (peso seco). Unidade Fe e Al = %. BA= Baía do Almirantado. IRG= Ilha Rei George.

Tabela 8. Matriz de correlação mostrando os coeficientes de correlação entre metais-traço, granulometria e composição elementar da matéria orgânica nos testemunhos de sedimento (0-10cm) de cada estação de coleta na Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Correlação de Spearman (n=20)																	
	Ba	V	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Al	Mn	Argila	Silte	Areia	C/N	C org (%)	N org (%)
Ba																	
V	-0,38																
Cr	-0,51	<b>0,96</b>															
Ni	-0,70	<b>0,61</b>	<b>0,73</b>														
Cu	<b>0,67</b>	-0,51	-0,55	-0,29													
Pb	<b>0,75</b>	0,07	-0,06	-0,26	<b>0,63</b>												
Zn	-0,20	<b>0,86</b>	<b>0,80</b>	<b>0,35</b>	-0,41	<b>0,20</b>											
Cd	0,08	-0,68	-0,69	-0,48	<b>0,24</b>	-0,16	-0,47										
Fe	<b>0,87</b>	-0,45	-0,60	-0,60	<b>0,79</b>	<b>0,63</b>	-0,33	<b>0,26</b>									
Al	-0,77	<b>0,79</b>	<b>0,84</b>	<b>0,79</b>	-0,62	-0,40	<b>0,53</b>	-0,46	-0,68								
Mn	-0,13	<b>0,83</b>	<b>0,76</b>	<b>0,56</b>	-0,09	<b>0,29</b>	<b>0,62</b>	-0,58	-0,06	<b>0,70</b>							
Argila	0,07	0,09	-0,01	0,16	<b>0,35</b>	<b>0,19</b>	0,07	<b>0,18</b>	<b>0,34</b>	0,11	<b>0,39</b>						
Silte	0,02	0,00	0,01	0,10	0,18	0,09	-0,24	-0,23	0,09	0,11	<b>0,22</b>	-0,30					
Areia	-0,08	-0,09	0,00	-0,21	-0,45	-0,24	0,04	-0,08	-0,40	-0,16	-0,51	-0,90	-0,14				
C/N	0,20	-0,11	-0,19	-0,06	<b>0,44</b>	0,20	-0,35	-0,02	<b>0,44</b>	0,01	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>	<b>0,37</b>	-0,32			
C org (%)	<b>0,46</b>	-0,35	-0,32	-0,46	0,14	0,16	-0,14	-0,07	<b>0,13</b>	-0,55	-0,50	-0,38	-0,27	<b>0,51</b>	-0,32		
N org %	<b>0,54</b>	-0,39	-0,40	-0,54	<b>0,25</b>	0,19	-0,17	0,09	<b>0,29</b>	-0,54	-0,40	-0,12	-0,25	<b>0,23</b>	-0,27	<b>0,91</b>	

Obs.: PU = Punta Ullman; CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz; RFII = Refúgio II e BP = Botany Point. Em negrito com fundo cinza, valores significativos ( $p < 0,05$ ).

Fonte: dados trabalhados pelo autor.

A fração granulométrica argila apresentou correlação positiva com quase todos os metais analisados, significativamente com Ni, Cu, Pb, Cd, Fe e Mn (TAB. 8). Isto era esperado já que as frações finas do sedimento são reconhecidas por serem eficientes na adsorção dos metais (SANTOS *et al.*, 2005). O Cr foi o único metal a apresentar correlação negativa com esta fração. Já o silte apresentou correlação negativa com Zn e Cd, e correlação positiva com o restante dos metais. A fração areia foi negativa com todos os metais, com exceção do Zn.

Os componentes elementares da matéria orgânica apresentaram correlação positiva entre si e com os teores de areia, Ba, Pb, Fe e Cu. Já os metais V, Cr, Ni e Zn, apresentaram uma correlação negativa.

Foi observada uma correlação positiva e significativa entre Cr e V. Cd apresentou correlação positiva apenas com os metais Fe, Cu e com a fração granulométrica argila. Já o Al e o Mn apresentaram correlação positiva com V, Cr, Ni e Zn.

#### 6.4. METAIS-TRAÇO EM ORGANISMOS

Para o molusco bivalve *Laternula elliptica* (FIG. 26 - 29) e para a estrela-do-mar *Odontaster validus* (FIG. 30 - 32), a diferença das concentrações de metais foi feita entre os metais analisados (Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Ba, Pb e Zn) e os respectivos compartimentos corpóreos de cada organismo.

A variabilidade na concentração dos metais pode ocorrer através da variação na massa do compartimento corpóreo ou através de variações ocorridas durante o ciclo anual de disponibilidade do metal no ambiente. Também poderia ocorrer pela combinação de ambos os fatores citados (TEMARA *et al.*, 1997).

Para o molusco bivalve *Laternula elliptica*, a menor concentração de cádmio foi encontrada na concha,  $0,21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , enquanto a maior foi encontrada nos rins,  $321 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (FIG. 26, TAB. 9).

No trabalho de Choi *et al.* (2003a), foram encontradas altas concentrações de Cd no rim de *L. elliptica* ( $\sim 350 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  no peso seco). No presente estudo as concentrações deste elemento variaram de  $65,72$  a  $320,51 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  no peso seco. As maiores concentrações deste elemento foram encontradas no rim e na glândula digestiva. Este resultado está de acordo com trabalhos realizados por Ahn *et al.* (1996); Ahn *et al.* (2001) e Choi *et al.* (2003a).

No trabalho realizado por Dalla-riva *et al.* (2004) a concentração média de Cd foi de  $13,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  nas gônadas,  $48,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na glândula digestiva e  $0,48 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na concha. No presente trabalho, as concentrações médias deste elemento foram de  $4,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  nas gônadas,  $17,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na glândula digestiva e  $0,67 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na concha. Com exceção da concha, todos os outros valores estiveram abaixo dos reportados por Dalla-riva *et al.* (2004).

De acordo com Santos (2005), determinados órgãos (ex. rim) acumulariam mais metais do que outros, diminuindo os problemas de detecção analítica, sendo então indicados para estes estudos.

A alta concentração de Cd nos compartimentos corpóreos de *L. elliptica* tem sido considerada uma característica comum nos organismos marinhos da Antártica devido ao

enriquecimento natural deste elemento nas águas antárticas (MORENO *et al.*, 1997; CHOI *et al.* 2003a; CHOI *et al.*, 2003b).

As águas antárticas apresentam elevados níveis de Cd (DALLA-RIVA *et al.*, 2004). Este elemento possui uma afinidade com fosfato, sendo assimilado pelo fitoplâncton e resultando no acúmulo deste elemento nos tecidos de organismos de níveis tróficos superiores através da trama alimentar (RODRIGUES *et al.*, 2007; CHOI *et al.* 2003a; CHOI *et al.*, 2003b; BARCELLOS, 1995).

Segundo Choi (2006), o Cd é encontrado em maior quantidade, em *L. elliptica*, associado à fração insolúvel, nas brânquias, enquanto que na glândula digestiva, as frações solúvel e insolúvel sequestram a mesma quantidade. Esta espécie apresenta importantes mecanismos ecofisiológicos que resultam na inativação de metais, principalmente Cd, Cu, Zn e Fe, tais como a presença de arginases e metalotioneínas (RODRIGUES *et al.*, 2007).

A bioacumulação de Cu e Cd nos tecidos da espécie *L. elliptica* ocorreria principalmente no rim e na glândula digestiva, onde a maior porção destes metais estaria imobilizada dentro da fração insolúvel da célula, conforme indicado por Rodrigues *et al.* (2007). Ainda de acordo com este autor, na fração solúvel da célula, estes metais estariam associados a proteínas cujo peso molecular seria semelhante ao das metalotioneínas.

Para o elemento chumbo, a menor concentração foi encontrada no pé ( $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) enquanto a maior foi encontrada nos rins ( $56 \mu\text{g g}^{-1}$ ). As maiores concentrações deste elemento, entre todos os indivíduos analisados, foram encontradas nos rins, com valores entre  $16,46$  e  $56 \mu\text{g g}^{-1}$  (FIG. 26, TAB. 9).

A menor concentração de níquel foi encontrada no pé,  $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$  e a maior no rim,  $21 \mu\text{g g}^{-1}$  (FIG. 27, TAB. 9). Depois do rim, o sifão foi o compartimento a apresentar a maior concentração deste elemento ( $2,3 - 8,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

As concentrações de manganês variaram entre  $2,6 \mu\text{g g}^{-1}$  no pé e  $729 \mu\text{g g}^{-1}$  no sifão (FIG. 28, TAB. 9). O segundo compartimento a apresentar alta concentração deste elemento foi o “restos”, variando entre  $124$  e  $504 \mu\text{g g}^{-1}$ .

O elemento ferro, sendo um macronutriente, apresentou as maiores concentrações (FIG. 28, TAB. 9). Os valores encontrados variaram entre  $86 \mu\text{g g}^{-1}$  no pé e  $55031 \mu\text{g g}^{-1}$  no “restos”.

As menores concentrações de vanádio foram encontradas no pé e nas gônadas,  $0,37 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $0,42 \mu\text{g g}^{-1}$  respectivamente. Já as maiores foram encontradas no sifão, variando de  $35,7$  a  $57,2 \mu\text{g g}^{-1}$  (FIG. 29, TAB. 9).

As menores concentrações de zinco foram encontradas na concha, com valores entre 4,1 e 35,24  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . As maiores concentrações foram encontradas nos rins, variando de 804 a 5739  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (FIG. 29, TAB. 9).

Tabela 9. Concentração de metais-traço ( $X \pm DP$ ,  $n=8$ , unidade em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco) nos diferentes órgãos do molusco bivalve *Laternula elliptica*.

Espécie	Metal	Brânquia	Concha	Glândula Digestiva	Gônada	Pé	Restos	Rim	Sifão
<i>L.elliptica</i>	Mn	11 $\pm$ 3,4	17,6 $\pm$ 8,6	13,4 $\pm$ 16,4	9,8 $\pm$ 6,4	3,5 $\pm$ 0,8	245 $\pm$ 146	124 $\pm$ 71	513 $\pm$ 203
	Ba	2,0 $\pm$ 1,6	8,4 $\pm$ 2,8	3,8 $\pm$ 1,8	1,7 $\pm$ 1,7	***	13,2 $\pm$ 8,7	5,8 $\pm$ 2,9	24 $\pm$ 12
	Al	281 $\pm$ 120	378 $\pm$ 196	216 $\pm$ 222	224 $\pm$ 175	70 $\pm$ 22	2515 $\pm$ 1208	557 $\pm$ 649	4464 $\pm$ 1934
	V	2,4 $\pm$ 0,7	2,9 $\pm$ 1,1	5,2 $\pm$ 2,0	2,6 $\pm$ 2,8	0,8 $\pm$ 0,3	20 $\pm$ 9,8	13,7 $\pm$ 6,9	34 $\pm$ 14
	Cr	2,1 $\pm$ 0,5	0,9 $\pm$ 0,5	2,5 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 0,8	1,4 $\pm$ 0,5	4 $\pm$ 1,7	2,1 $\pm$ 0,8	3,7 $\pm$ 1,0
	Ni	1,7 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,4	2,5 $\pm$ 0,8	1,2 $\pm$ 1,3	0,5 $\pm$ 0,2	3,9 $\pm$ 1,7	12,7 $\pm$ 4,3	5,6 $\pm$ 2,1
	Cu	9,3 $\pm$ 3,1	9,94 $\pm$ 2,3	60 $\pm$ 26	14,3 $\pm$ 18,4	4 $\pm$ 1	55 $\pm$ 35	13,3 $\pm$ 3,9	78 $\pm$ 36
	Cd	7,3 $\pm$ 8,2	0,67 $\pm$ 0,8	17,3 $\pm$ 8	4,9 $\pm$ 2,7	3,1 $\pm$ 2,6	3,8 $\pm$ 2,9	192 $\pm$ 100	3,8 $\pm$ 3
	Pb	0,6 $\pm$ 0,2	0,88 $\pm$ 0,4	3,1 $\pm$ 1,3	1,4 $\pm$ 1,3	0,4 $\pm$ 0,2	5,8 $\pm$ 2,4	41,6 $\pm$ 13,5	8 $\pm$ 3,9
	Zn	93 $\pm$ 29	12,8 $\pm$ 12,7	97 $\pm$ 28	77 $\pm$ 18	62 $\pm$ 27	106 $\pm$ 64	3143 $\pm$ 1516	93 $\pm$ 41
	Fe	1203 $\pm$ 674	2040 $\pm$ 1255	2022 $\pm$ 902	891 $\pm$ 756	556 $\pm$ 637	1962 $\pm$ 1704	2686 $\pm$ 2443	2908 $\pm$ 1209

Fonte: dados trabalhados pelo autor.



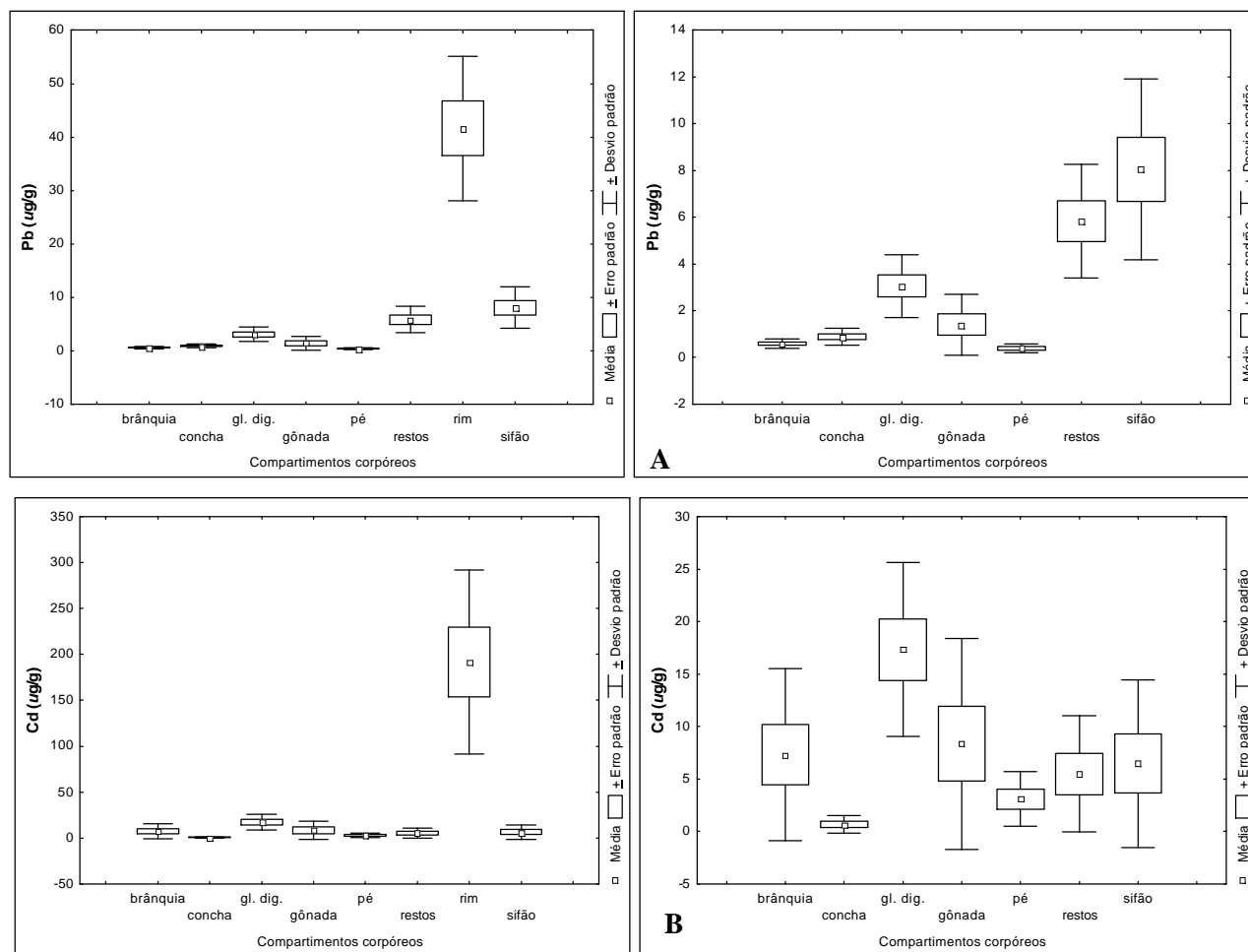


FIGURA 26. *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Pb e Cd) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Distribuição dos seguintes metais sem o compartimento rim: **A**- Pb e **B**- Cd. Fonte: Dados trabalhados pelo autor.

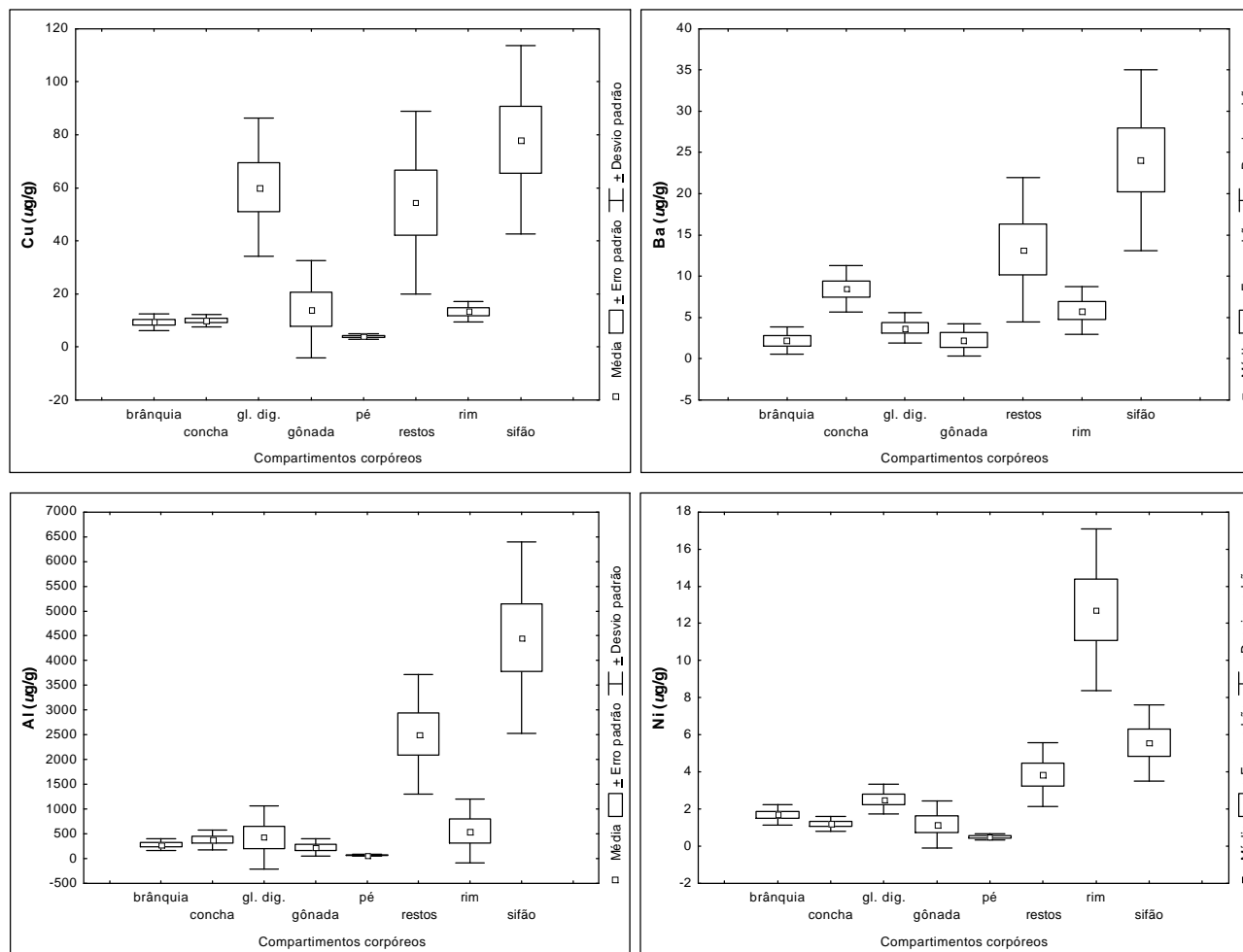


FIGURA 27. *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Cu, Ba e Ni) e do macronutriente Al nos diferentes compartimentos corpóreos.

Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Unidade Al = %. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

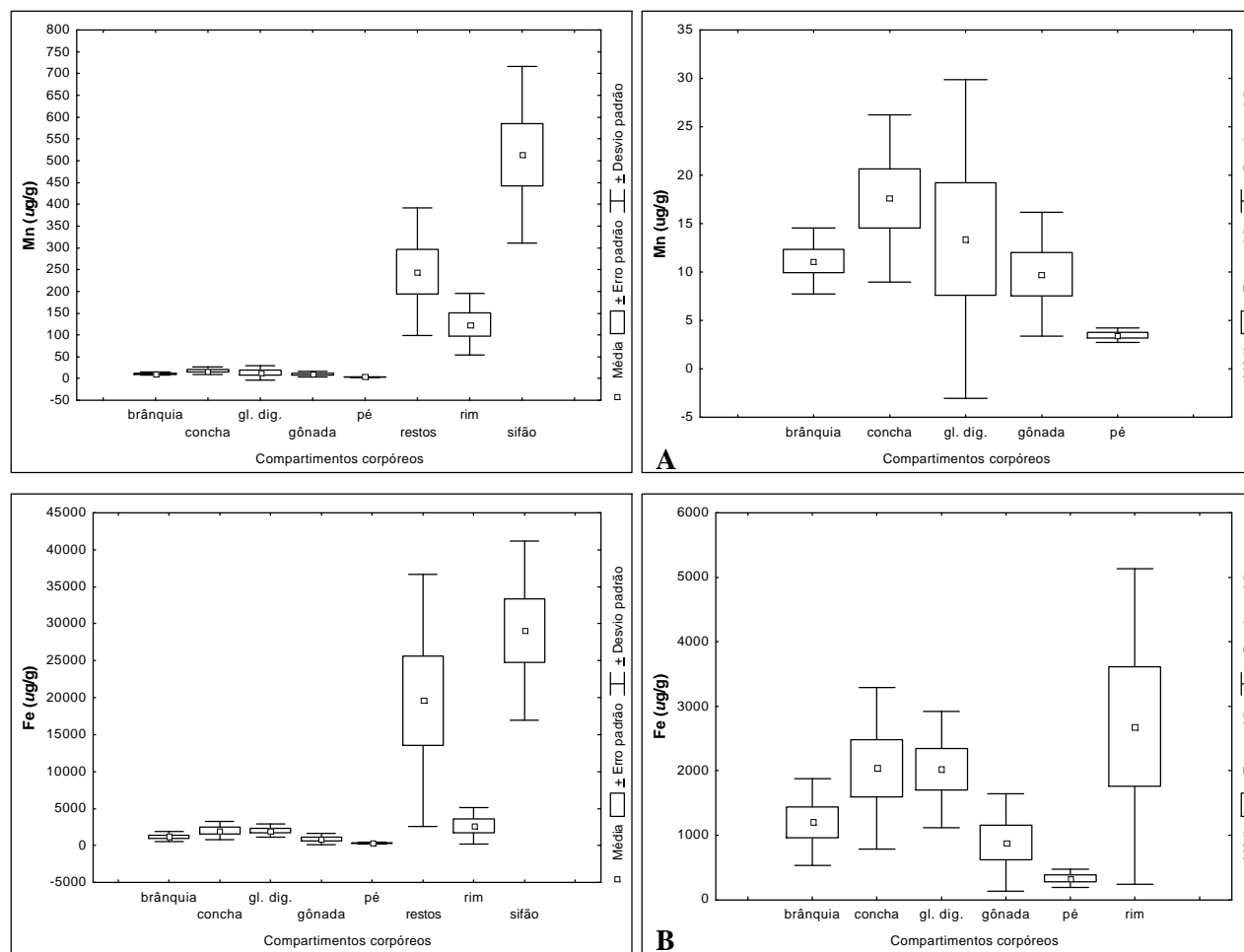


FIGURA 28. *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (Mn) e do macronutriente Fe nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Unidade Fe=%. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Distribuição dos seguintes elementos sem o compartimento sifão: **A**- Mn e **B**- Fe. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

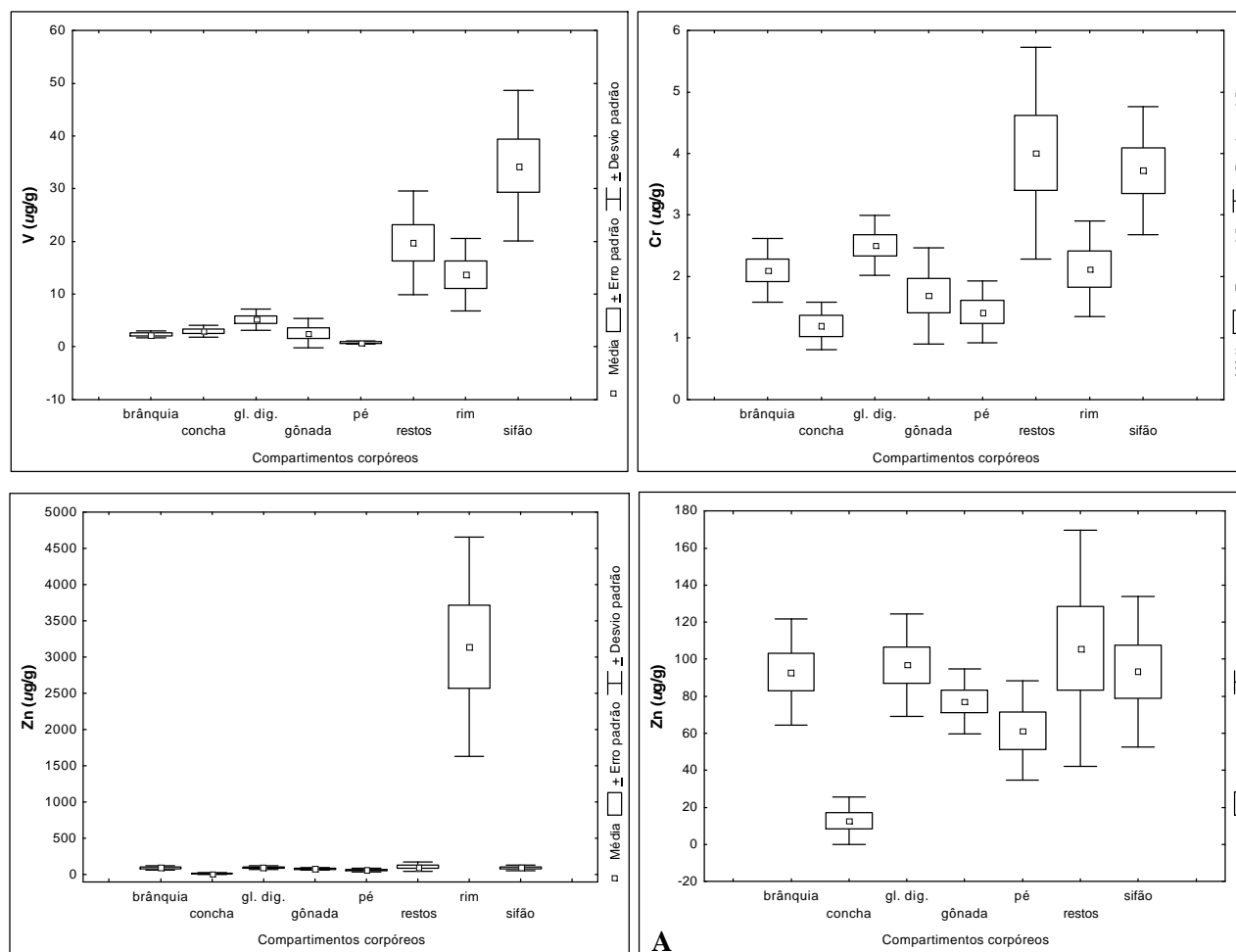


FIGURA 29. *Laternula elliptica* (n=8): concentração de metais-traço (V, Cr e Zn) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. A- Distribuição do elemento Zn sem o compartimento rim. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

As concentrações de cobre (FIG. 27, TAB. 9) variaram entre 3,1 e 133  $\mu\text{g g}^{-1}$  com a menor concentração no pé e a maior no sifão. A glândula digestiva foi o segundo compartimento a apresentar as maiores concentrações deste elemento, com valores entre 12,3 e 92  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

De acordo com os trabalhos de Anh *et al.* (1996) e Rodrigues *et al.* (2007) a elevada concentração de Cu no sedimento superficial da Baía de Maxwell, na Ilha Rei George, acontece por um processo natural de erosão das rochas vulcânicas seguido pela introdução do material erodido nas águas costeiras pelo processo de degelo no verão austral.

No trabalho de Choi *et al.* (2003b), foi analisada a concentração de Cu em *L. elliptica*, em 3 compartimentos corpóreos: rim, glândula digestiva e brânquia. Foi observado que a concentração de Cu varia com o tipo de tecido e que ele está associado tanto com a fração particulada insolúvel quanto com a fração citossólica solúvel.

A concentração de alumínio, também considerado macronutriente, foi elevada variando entre 16,5 nas gônadas e 6228  $\mu\text{g g}^{-1}$  no sifão (FIG. 27, TAB. 9). Os valores encontrados no “restos”, segundo compartimento a apresentar altas concentrações, variaram entre 552 e 4463  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

As concentrações de bário variaram entre 0,8 e 41,9  $\mu\text{g g}^{-1}$ , sendo o menor valor encontrado na gônada e o maior no sifão (FIG. 27, TAB. 9). Não foi possível avaliar as concentrações deste elemento no compartimento pé, pois os valores ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho ( $> 0,70$ ).

As concentrações de cromo variaram entre 0,5 e 7,1  $\mu\text{g g}^{-1}$ , sendo o menor valor encontrado na concha e o maior no “restos” (FIG. 29, TAB. 9). O sifão foi o segundo compartimento a apresentar as maiores concentrações deste elemento, com valores entre 1,7 a 4,9  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Os valores encontrados no presente estudo foram equivalentes às concentrações médias de Cr observadas por Ahn *et al.* (1996) (TAB. 10).

Anh *et al.* (2001), em seu trabalho, demonstrou que a concentração da maioria dos metais era maior nos rins (por uma ou duas ordens de grandeza), seguida pela glândula digestiva, brânquia, gônadas e músculo (sifão na maior parte). Ainda segundo este autor, as gônadas não seriam indicadas como um compartimento corpóreo biomonitor por poderem apresentar variações significativas nos diferentes estágios do ciclo reprodutivo.

Tabela 10. Comparação dos valores de metais-traço (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr e Fe) encontrados neste trabalho com os de Ahn *et al.* (1996) para a espécie de estrela-do-mar *Odontaster validus*.

Metal	Órgão	Ahn <i>et al.</i> (1996) (X+DP, µg.g <sup>-1</sup> )	Este trabalho (X+DP, µg.g <sup>-1</sup> )
<b>Mn</b>	Gl. Digestiva	18,6 ± 7,5	13,4 ± 16,4
	Gônada	30,1 ± 22	9,8 ± 6,4
	Brânquia	44,7 ± 16,3	11 ± 3,4
	Rim	190 ± 112	124 ± 71
<b>Cu</b>	Gl. Digestiva	38,1 ± 5	60 ± 26
	Gônada	15 ± 6	14,3 ± 18,4
	Brânquia	21,4 ± 8,9	9,3 ± 3,1
	Rim	33,3 ± 13,6	13,3 ± 3,9
<b>Zn</b>	Gl. Digestiva	153 ± 39	97 ± 28
	Gônada	84,9 ± 13,9	77 ± 18
	Brânquia	206 ± 72	93 ± 29
	Rim	1687 ± 926	3143 ± 1516
<b>Pb</b>	Gl. Digestiva	5,49 ± 4,18	3,1 ± 1,3
	Gônada	2,15 ± 0,65	1,4 ± 1,3
	Brânquia	2,77 ± 1,74	0,6 ± 0,2
	Rim	37,7 ± 21,9	41,6 ± 13,5
<b>Cd</b>	Gl. Digestiva	11,5 ± 4,1	17,3 ± 8
	Gônada	4,75 ± 1,88	4,9 ± 2,7
	Brânquia	7,21 ± 1,82	7,3 ± 8,2
	Rim	41,9 ± 14,5	192 ± 100
<b>Ni</b>	Gl. Digestiva	6,27 ± 1,83	2,5 ± 0,8
	Gônada	4,47 ± 1,91	1,2 ± 1,3
	Brânquia	6,16 ± 1,71	1,7 ± 0,5
	Rim	21 ± 13,9	12,7 ± 4,3
<b>Cr</b>	Gl. Digestiva	2,9 ± 0,72	2,5 ± 0,5
	Gônada	1,7 ± 0,51	1,7 ± 0,8
	Brânquia	2,9 ± 0,81	2,1 ± 0,5
	Rim	4,7 ± 2,6	2,1 ± 0,8
<b>Fe</b>	Gl. Digestiva	2003 ± 719,8	2022 ± 902
	Gônada	1832 ± 956,7	891 ± 756
	Brânquia	1998 ± 646,2	1203 ± 674
	Rim	4318 ± 2652	2686 ± 2443

Fonte: dados trabalhados pelo autor.

Para a espécie *L. elliptica*, o órgão com maior concentração de metais foi o sifão (Fe, Ba, Cu, Al, Mn e V), seguido pelo rim (Zn, Cd, Pb e Ni). Em outros trabalhos publicados sobre o acúmulo de metais nesta espécie, o sifão não foi utilizado para análise (TAB. 11). Outro compartimento não utilizado em outras publicações e analisado neste trabalho foi o chamado “restos” (manto, restos de tecidos, etc.). Este compartimento, depois do sifão, apresentou as maiores concentrações de alumínio e manganês. O órgão com menor concentração de elementos-traço foi a glândula digestiva.

Tabela 11. Comparação dos resultados da concentração de metais-traço nos diferentes compartimentos corpóreos do molusco bivalve *Laternula elliptica* em relação a outros estudos encontrados na literatura, realizados em outras áreas da Antártica.

<i>Laternula elliptica</i> - Órgão maior [ ]					
Metal	Este trabalho	Lohan <i>et al.</i> , 2001	Ahn <i>et al.</i> , 2001	Vodopivec <i>et al.</i> , 2007	Dalla-Riva <i>et al.</i> , 2004
Zn	Rim	Rim	Rim	****	****
Fe	Sifão	Rim	Rim	Rim	****
Cd	Rim	Rim	Rim	Rim	Gl. Digestiva
Pb	Rim	Rim	Rim	Rim	****
Ba	Sifão	****	****	****	****
		Gl.	Gl.		
Cu	Sifão	Digestiva	Digestiva	Gl. Digestiva	****
Ni	Rim	Rim	Rim	****	****
Al	Sifão	****	****	****	****
Mn	Sifão	Rim	Rim	****	****
V	Sifão	****	****	****	****

Fonte: Lohan *et al.* 2001; Ah *et al.* 2007; Vodopivec *et al.* 2007; Dalla-Riva *et al.* 2004.

Tabela 12. Concentração de metais-traço ( $X \pm DP$ ,  $n=20$ , unidade em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco) nos diferentes órgãos da estrela-do-mar *Odontaster validus*.

<b>Espécie</b>	<b>Metal</b>	<b>Cecos</b>	<b>Gônadas</b>	<b>Parede do corpo</b>	<b>Estômago</b>
<b><i>O.validus</i></b>	<b>Mn</b>	4,0 $\pm$ 0,8	4,6 $\pm$ 1,6	7,3 $\pm$ 2,3	5,2 $\pm$ 1,4
	<b>Ba</b>	0,7 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,2	4,4 $\pm$ 1,1	2,3 $\pm$ 2,4
	<b>Al</b>	22,3 $\pm$ 23,8	17,2 $\pm$ 8,8	102 $\pm$ 91	69,9 $\pm$ 59,7
	<b>V</b>	1,2 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,8
	<b>Cr</b>	2,5 $\pm$ 0,7	1,6 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 1,1	3,5 $\pm$ 2,3
	<b>Ni</b>	1,2 $\pm$ 0,4	0,6 $\pm$ 0,2	1,3 $\pm$ 0,3	1,1 $\pm$ 0,5
	<b>Cu</b>	62 $\pm$ 23,4	15,6 $\pm$ 5,4	49 $\pm$ 18	217 $\pm$ 71
	<b>Cd</b>	3,8 $\pm$ 2,2	3,9 $\pm$ 2,4	43 $\pm$ 19	19 $\pm$ 25
	<b>Pb</b>	0,3 $\pm$ 0,1	0,14 $\pm$ 0,05	1,1 $\pm$ 0,6	0,8 $\pm$ 0,4
	<b>Zn</b>	176,4 $\pm$ 64,9	60 $\pm$ 9,6	25 $\pm$ 5,4	191 $\pm$ 90
	<b>Fe</b>	2306 $\pm$ 1942	121 $\pm$ 49	217 $\pm$ 128	2206 $\pm$ 2217

Fonte: dados trabalhados pelo autor.



São conhecidos poucos trabalhos sobre o acúmulo de metais-traço nos tecidos da espécie de estrela-do-mar *Odontaster validus*, na Baía do Almirantado, Antártica. Os resultados deste trabalho podem ser comparados aos trabalhos referentes à espécie de estrela-do-mar *Asterias Rubens*, predadora comum na região nordeste do oceano atlântico (TEMARA *et al.*, 1997; DANIS *et al.*, 2006).

Neste trabalho, para a espécie *O. validus*, a concentração de metais no compartimento parede do corpo apresentou, para a maioria dos metais estudados, a maior concentração encontrada entre os diferentes órgãos do organismo (TAB. 12).

Para a estrela-do-mar *O. validus* (TAB. 12, FIG. 30), as menores concentrações de cádmio foram encontradas nas gônadas,  $0,72 - 9,51 \mu\text{g g}^{-1}$  e nos cecos pilóricos,  $1,22 - 8,55 \mu\text{g g}^{-1}$ , enquanto as maiores foram encontradas na parede do corpo,  $25,06 - 68,83 \mu\text{g g}^{-1}$ . Na média, a concentração deste elemento foi maior nas gônadas ( $3,94 \mu\text{g g}^{-1}$ ) do que nos cecos pilóricos ( $3,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

O segundo órgão com maior concentração de Cd foi o estômago cárdico, seguido pelas gônadas. Isso contradiz o trabalho de Dalla-Riva *et al.* (2004) onde as gônadas apresentam a maior concentração de Cd. Dalla-Riva *et al.* (2004), encontraram uma concentração média de Cd de  $117 \mu\text{g g}^{-1}$  nos cecos pilóricos e  $178 \mu\text{g g}^{-1}$  nas gônadas. Estes valores estão bem acima dos reportados no presente trabalho.

De acordo com Temara *et al.* (1997), o período do ciclo gametogênico irá influenciar significativamente as concentrações de todos os metais nas gônadas.

Erk *et al.* (2005) realizou um estudo sobre o acúmulo de Cd em tecidos da estrela-do-mar *Asterias rubens* utilizando o radiotraçador  $^{109}\text{Cd}$  como marcador. Em seu trabalho foi verificado que as maiores concentrações deste elemento foram encontradas na parede corpórea do organismo. Este resultado está de acordo com os resultados encontrados no presente trabalho, para a espécie *O. validus*.

A menor concentração de zinco foi encontrada na parede do corpo ( $17,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ) enquanto a maior foi encontrada no estômago ( $469 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Os cecos pilóricos foram o segundo compartimento a apresentar as maiores concentrações, variando de 99 a  $312 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAB. 12, FIG. 30). As gônadas foram o segundo compartimento corpóreo a apresentar a menor concentração deste elemento,  $37,5 - 73 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Moreno *et al.* (1997) afirma que os organismos marinhos acumulariam Zn preferencialmente nas gônadas. Os resultados encontrados no presente trabalho não estão de acordo com este fato.

O elemento Zn é utilizado em muitas reações como co-fator para um determinado número de enzimas, isto explicaria a alta concentração deste elemento nos cecos pilóricos que apresentam alta atividade metabólica e são responsáveis pela redistribuição de nutrientes para o resto do corpo (TEMARA *et al.*, 1997).

A menor concentração de chumbo foi encontrada nas gônadas,  $0,06 \mu\text{g g}^{-1}$ , enquanto a maior foi encontrada na parede do corpo,  $2,7 \mu\text{g g}^{-1}$ . O compartimento cecos pilóricos também apresentou baixas concentrações deste elemento, variando de  $0,12$  a  $0,48 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAB. 30, FIG. 23).

A assimilação de Pb pelos compartimentos corpóreos da espécie de estrela-do-mar *Asterias rubens* estaria diretamente relacionada às concentrações deste elemento na coluna d'água (TEMARA *et al.*, 1998). Este comportamento também é observado para o elemento Cd.

As concentrações de cobre variaram entre  $7,3$  e  $360 \mu\text{g g}^{-1}$ , sendo o menor valor encontrado nas gônadas (TAB. 12, FIG. 30). As maiores concentrações de Cu foram encontradas no estômago variando de  $120$  a  $360 \mu\text{g g}^{-1}$ . Os cecos pilóricos apresentaram a segunda maior concentração deste elemento,  $36 - 96 \mu\text{g g}^{-1}$ , com média de  $62,3 \mu\text{g g}^{-1}$ . Na parede do corpo as concentrações variaram entre  $20$  e  $74 \mu\text{g g}^{-1}$ , com média de  $48,8 \mu\text{g g}^{-1}$ .

O elemento vanádio apresentou a menor concentração nas gônadas,  $0,4 \mu\text{g g}^{-1}$  e a maior no estômago,  $3,6 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAB. 12, FIG. 31). Os cecos pilóricos foram o segundo compartimento a apresentar a maior concentração deste elemento, variando de  $0,8$  a  $1,7 \mu\text{g g}^{-1}$ .

As concentrações de níquel variaram entre  $0,3$  nas gônadas e  $2,3$  no estômago (TAB. 12, FIG. 31). Na média, as concentrações deste elemento foram maiores na parede do corpo ( $1,31 \mu\text{g g}^{-1}$ ) do que no estômago ( $1,09 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

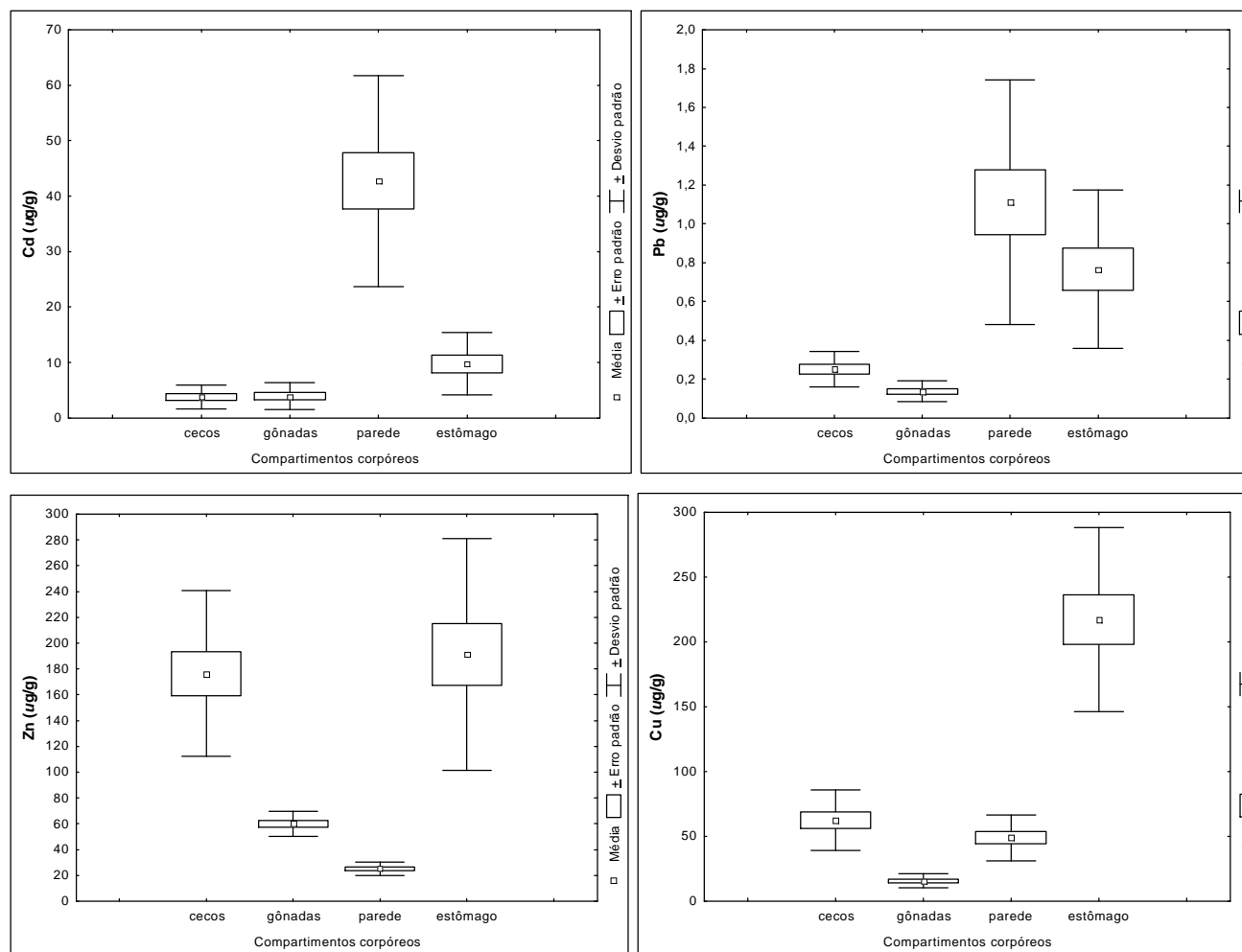


FIGURA 30. *Odontaster validus* (n=20): concentração de metais-traço (Cd, Pb, Zn e Cu) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

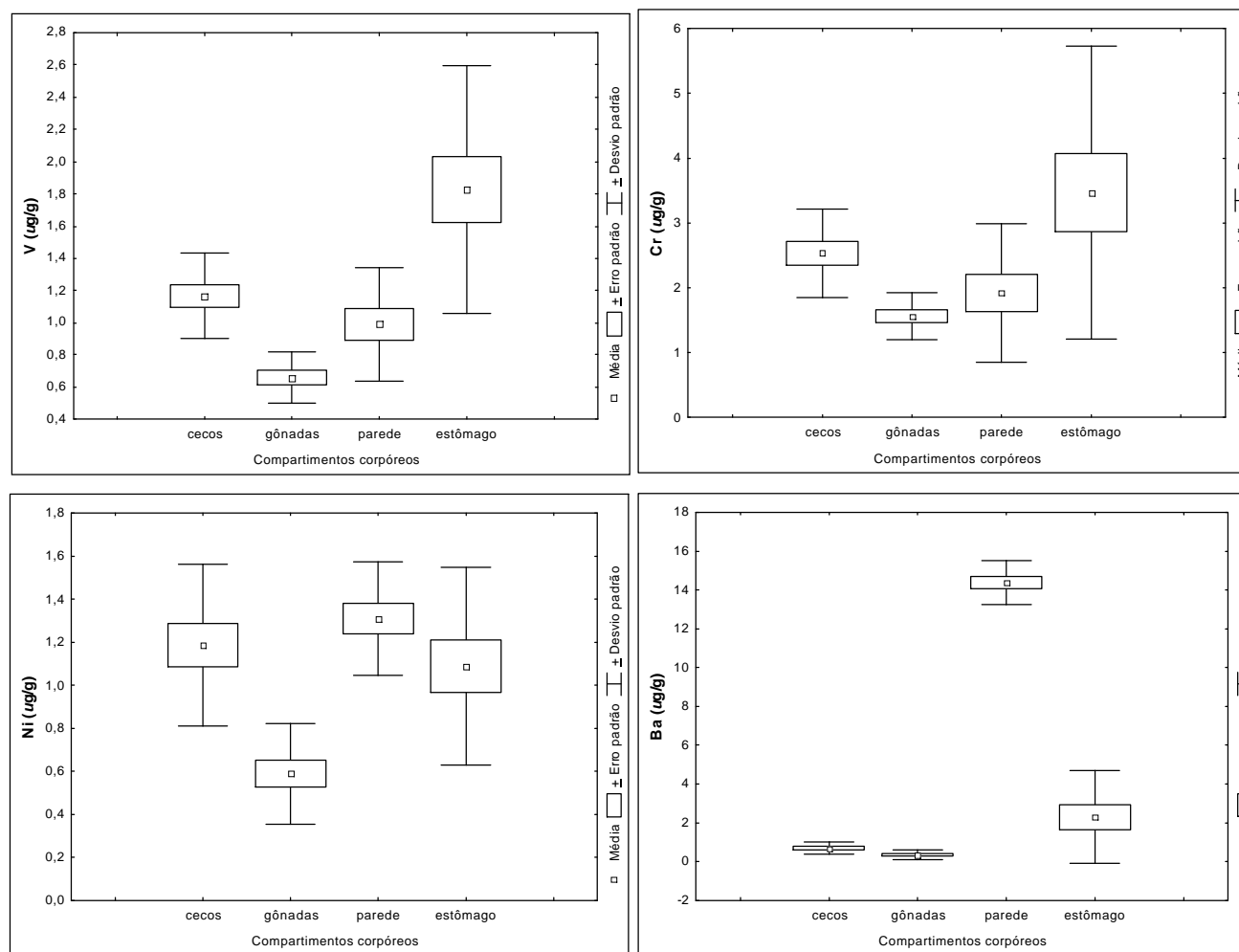


FIGURA 31. *Odontaster validus* (n=20): concentração de metais-traço (V, Cr, Ni e Ba) nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

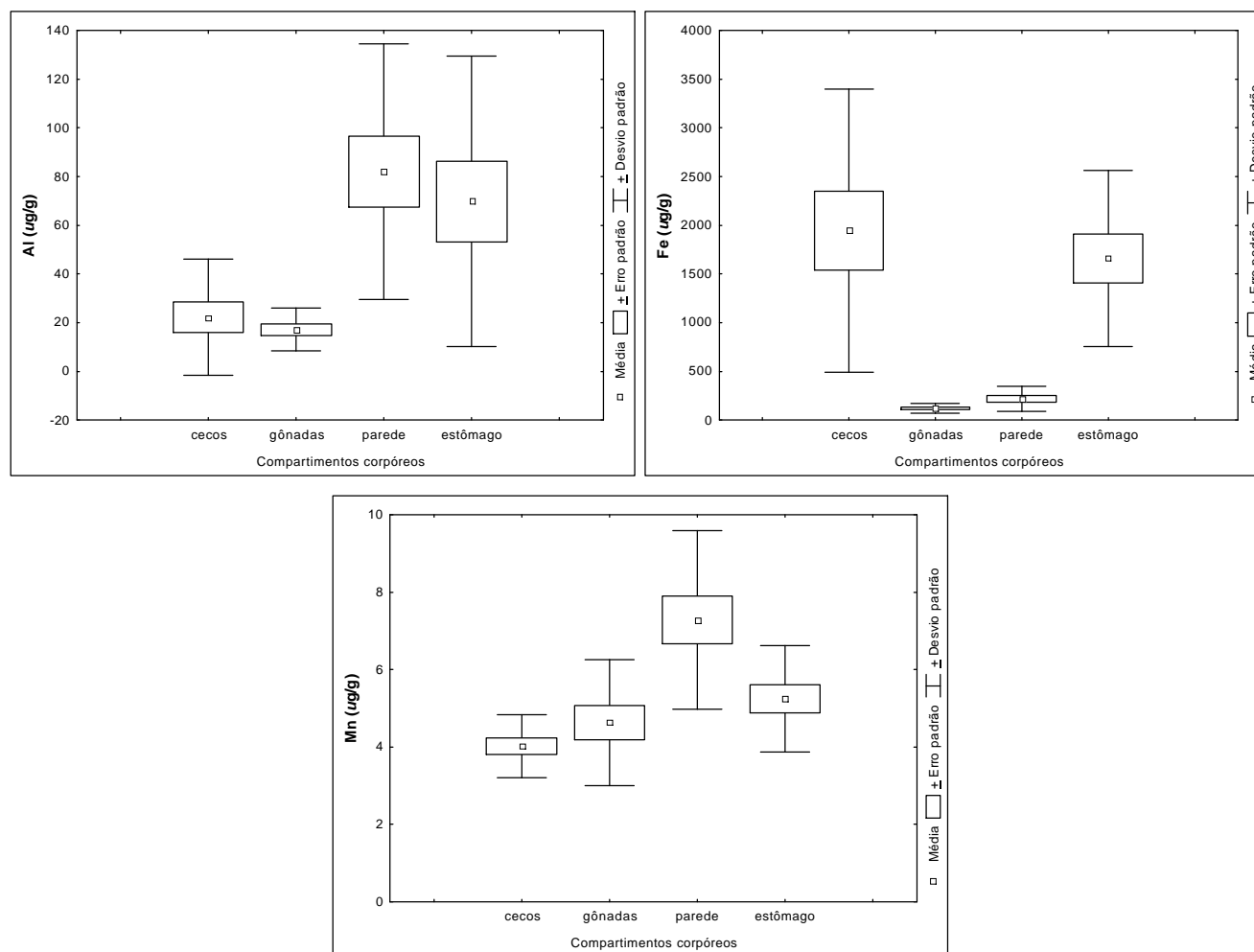


FIGURA 32. *Odontaster validus* (n=20): concentração de metal-traço (Mn) e dos macronutrientes Fe e Al nos diferentes compartimentos corpóreos. Unidades em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  peso seco. Escala diferenciada de acordo com o elemento amostrado. Fonte: dados trabalhados pelo autor.

O macronutriente ferro (TAB. 12, FIG. 32) apresentou as maiores concentrações. Os valores encontrados variaram entre  $70 \mu\text{g g}^{-1}$  nas gônadas e  $6989 \mu\text{g g}^{-1}$  nos cecos pilóricos. O estômago também apresentou altas concentrações deste elemento, variando de 678 a  $3200 \mu\text{g g}^{-1}$ .

A concentração do macronutriente alumínio variou entre 8,04 nas gônadas e  $365 \mu\text{g g}^{-1}$ , na parede do corpo. O segundo órgão a apresentar altas concentrações deste elemento foi o estômago, 12,8 –  $72 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAB. 12, FIG. 32).

As concentrações de bário variaram de 0,13 a  $16,3 \mu\text{g g}^{-1}$ , sendo o menor valor encontrado nas gônadas e o maior na parede do corpo (TAB. 12, FIG. 31). Em dois indivíduos coletados em PU as concentrações de Ba ficaram abaixo do limite de detecção ( $< 0,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ) para as gônadas, cecos pilóricos e estômago, sendo estes compartimentos desconsiderados para a análise.

As concentrações de cromo variaram entre 0,68 e  $11,02 \mu\text{g g}^{-1}$  com a menor concentração na parede do corpo e a maior no estômago (TAB. 12, FIG. 31). Os cecos pilóricos foram o segundo compartimento a apresentar alta concentração deste elemento ( $1,8$ – $3,9 \mu\text{g g}^{-1}$ ). As concentrações deste elemento nas gônadas variaram entre 0,99 e  $2,28 \mu\text{g g}^{-1}$ .

As concentrações de manganês variaram de 2,2 a  $11,89 \mu\text{g g}^{-1}$  com a menor concentração nas gônadas e a maior na parede do corpo. Na média, as menores concentrações deste elemento foram encontradas nos cecos pilóricos, onde as mesmas variaram entre 2,8 e  $6,2 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAB. 12, FIG. 32).

Foi observado um comportamento semelhante da concentração dos metais Cr e V tanto para a espécie *L. elliptica* quanto pra espécie *O. validus*. Este fato também pode ser observado através da análise de correlação dos sedimentos amostrados na região.

Em geral, as maiores concentrações da maioria dos metais ocorreram preferencialmente na parede do corpo e no estômago. No trabalho de Temara *et al.* (1996) elementos como Zn, Cu, Cd e Fe demonstraram se acumular preferencialmente nos cecos pilóricos e na parede do corpo (TAB. 13).

Tabela 13. Comparação dos resultados da concentração de metais-traço nos diferentes compartimentos corpóreos de *Odontaster validus* e *Asterias rubens* em relação a outros estudos encontrados na literatura, realizados com estrelas-do-mar.

Metal	Este trabalho	Temara <i>et al.</i> (1997)	Dalla-Riva <i>et al.</i> (2004)
	<i>O. validus</i>	<i>A. rubens</i>	<i>O. validus</i>
Zn	Estômago	Cecos pilóricos	****
Fe	Estômago	Cecos pilóricos	****
Cd	Parede do corpo	Parede do corpo e Cecos pilóricos	Gônadas
Pb	Parede do corpo	Parede do corpo	****
Ba	Parede do corpo	****	****
Cu	Estômago	Cecos pilóricos	****
Ni	Parede do corpo	****	****
Al	Estômago e Parede do corpo	****	****
Mn	Parede do corpo	****	****
V	Estômago	****	****

Fonte: Temara *et al.* 1997; Dalla-Riva *et al.* 2004.

Apesar da parede do corpo e do endoesqueleto da estrela-do-mar acumularem metais rapidamente (com longa retenção destes elementos no compartimento), os cecos pilóricos seriam mais indicados para o estudo de contaminação ambiental, já que demonstram ter uma rápida assimilação e posterior perda destes metais (TEMARA *et al.*, 1996; TEMARA *et al.*, 1998). Estes autores indicam os cecos pilóricos como órgão bioindicador de curto período (dias, semanas), já que refletiria a contaminação atual do local amostrado.

## 6.5. FATOR DE BIOACUMULAÇÃO (FB)

O Fator de Bioacumulação - FB (concentração de metal no organismo/concentração de metal no sedimento) foi analisado para a estrela-do-mar *O. validus* e para o molusco bivalve *L. elliptica* (TAB. 14 e 15, respectivamente). A taxa de acumulação foi calculada apenas para os organismos coletados em CF2 e PU, já que não foi realizada coleta de sedimento em Punta Plaza. O resultado do FB foi calculado para os seguintes metais: Cd, Pb, Cu e Zn.

Tabela 14. Concentração de metais no organismo em relação à concentração de metais no sedimento, i.e, Fator de Bioacumulação dos metais-traço em cada compartimento corpóreo da estrela-do-mar *Odontaster validus*.

Espécie	Parte do Corpo	Fator de Bioacumulação			
		Cd	Pb	Cu	Zn
<b><i>Odontaster validus</i></b>	Parede do corpo	91,6 - 595,4 (355 ± 171)	0,05 - 0,32 (0,15 ± 0,09)	0,3 - 1,00 (0,65 ± 0,25)	0,3 - 0,5 (0,34 ± 0,09)
	Cecos pilóricos	10,6 - 67,1 (29 ± 19)	0,02 - 0,05 (0,03 ± 0,009)	0,5 - 1,2 (0,75 ± 0,28)	1,4 - 3,5 (2,25 ± 0,69)
	Estômago	31,3 - 172,2 (87 ± 56)	0,04 - 0,2 (0,10 ± 0,05)	1,6 - 4,5 (2,66 ± 0,77)	1,2 - 3,3 (2,30 ± 0,60)
	Gônada	6,2 - 46,7 (25 ± 13)	0,01 - 0,04 (0,02 ± 0,01)	0,09 - 0,3 (0,18 ± 0,06)	0,5 - 1,0 (0,78 ± 0,13)

Obs.: Valores = Mínimo e Máximo (X±DP), n=20, unidade em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco.

Para a estrela-do-mar *O. validus* (TAB. 14), o compartimento corpóreo cecos pilóricos apresentou o FB alto para Cd, variando de 10,6 a 67, em todas as áreas de coleta. O valor de FB para Zn foi o segundo maior para este órgão, ficando entre 1,4 e 3,5.

Os valores de FB para Zn (variando de 1,4 em frente à CF2 a 3,5 em PU) e para Cu (0,49 a 1,19, todos localizados em CF2) apesar de bem menores do que os valores reportados para Cd, foram acima de 1, o que os diferencia dos valores encontrados para o restante dos metais analisados. O valor do FB para Pb foi baixo, variando de 0,02 a 0,32.

O estômago apresentou o FB alto para Cd em todas as áreas de coleta, variando de 31,3 a 172. Os valores de Cu (1,61 a 4,45) e Zn (1,2 a 3,3) novamente se destacaram dos resultados obtidos para o restante dos metais. O valor do FB para Pb não foi significativo, variando de 0,04 a 0,19.

As gônadas apresentaram o FB alto somente para Cd, variando de 6,2 a 46,7, em todas as áreas de coleta. Os outros elementos apresentaram  $\text{FB} < 1$ .



A parede do corpo também apresentou altos valores de FB para Cd, variando de 91,6 em PU a 595 em CF2, onde foram encontrados os maiores valores. Os valores de FB para Cu variaram de 0,27 a 1,00, enquanto os de Zn e Pb foram menores que 0,50.

De acordo com Moreno *et al.* (1997) a alta taxa de bioacumulação de Cd nestes organismos ocorreria pela longevidade dos mesmos, que por serem pouco predados apresentariam longo tempo de vida.

Tabela 15. Concentração de metais no organismo em relação à concentração de metais no sedimento, i.e, Fator de Bioacumulação dos metais-traço em cada compartimento corpóreo do molusco bivalve *Laternula elliptica*.

Espécie	Parte do Corpo	Fator de Bioacumulação			
		Cd	Pb	Cu	Zn
<i>Laternula elliptica</i>	Brânquia	8,9 - 111,4 (41,2 ± 43,7)	0,05 - 0,13 (0,07 ± 0,03)	0,07 - 0,2 (0,11 ± 0,04)	0,9 - 1,9 (1,2 ± 0,36)
	Concha	0,9 - 11,8 (3,8 ± 4,6)	0,03 - 0,2 (0,11 ± 0,05)	0,07 - 0,2 (0,12 ± 0,03)	0,06 - 0,5 (0,19 ± 0,18)
	Glândula digestiva	40,9 - 151,7 (99 ± 41)	0,2 - 0,6 (0,4 ± 0,2)	0,1 - 1,2 (0,7 ± 0,3)	1,0 - 1,9 (1,4 ± 0,4)
	Gônada	13,4 - 44,8 (28 ± 12)	0,06 - 0,6 (0,2 ± 0,17)	0,06 - 0,7 (0,17 ± 0,2)	0,8 - 1,5 (1,1 ± 0,2)
	Pé	5,1 - 43 (16 ± 14)	0,02 - 0,08 (0,05 ± 0,02)	0,04 - 0,06 (0,05 ± 0,01)	0,7 - 1,8 (0,9 ± 0,4)
	Restos	6,2 - 95,5 (30,5 ± 29,5)	0,3 - 1,1 (0,8 ± 0,3)	0,3 - 1,4 (0,6 ± 0,4)	0,7 - 3,1 (1,5 ± 0,9)
	Rim	436 - 2554 (1212 ± 739)	2,3 - 7,8 (5,2 ± 1,6)	0,1 - 0,2 (0,2 ± 0,04)	11,3 - 77,3 (45,7 ± 20,8)
	Sifão	3,4 - 51,6 (22 ± 16)	0,4 - 1,9 (1,02 ± 0,48)	0,3 - 1,7 (0,9 ± 0,4)	0,7 - 2,7 (1,4 ± 0,6)

Obs.: Valores = Mínimo e Máximo (X±DP), n=8, unidade em  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco.

Para o molusco bivalve *L. elliptica*, a brânquia apresentou os maiores valores de FB para Cd variando de 8,95 em PU a 111,4 em BP (TAB. 15). BP apresentou os maiores valores. Os resultados de Zn variaram de 0,93 a 1,92 em BP. Os outros metais não apresentaram resultados representativos (> 0,20).

A concha apresentou valores de FB altos somente para Cd, variando de 0,92 a 11,76. BP apresentou os maiores valores.

Os valores de Cd encontrados na glândula digestiva variaram de 40,9 em BP a 151,7 em CF2. Os valores de Zn variaram de 1,03 a 1,9 em BP e os valores de Cu variaram de 1,05 em RFII a 1,17 em PU.

O rim apresentou os maiores valores de FB para Cd em todo o organismo, variando de 436,12 em PU a 2554,55 em CF2. Este fato ocorreu para todos os indivíduos analisados. Os valores encontrados para o Pb no rim também foram os mais altos entre todos os compartimentos e entre os indivíduos (2,32 em PU a 7,17 em RFII). Cu apresentou baixos valores de FB no rim (0,11 – 0,23), como na maioria dos compartimentos analisados. O Zn também apresentou os maiores valores de FB no rim (11,34 em PU a 77,3 em CF2).

Tabela 16. Fator de Bioacumulação dos metais-traço, por indivíduo, na estrela-do-mar *Odontaster validus* e no molusco bivalve *Laternula elliptica*, em cada estação de coleta da Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Fator de Bioacumulação						
	Local	Peso (g)	Cd	Pb	Cu	Zn
<i>O. validus</i>	PU	3,5	77,6	0,1	0,4	0,9
	PU	3,0	120,9	0,1	0,4	0,7
	PU	6,2	226,9	0,2	0,6	1,0
	PU	7,4	297,4	0,1	0,8	0,6
	PU	3,2	116,7	0,0	0,5	0,7
	CF2	7,3	287,9	0,1	0,9	1,1
	CF2	3,0	257,1	0,2	0,8	1,1
	CF2	5,6	238,5	0,1	0,9	1,0
	CF2	10,0	346,7	0,1	0,8	0,9
	CF2	8,4	307,4	0,1	0,6	0,9
<i>L. elliptica</i>	CF2	11,2	34,5	0,5	0,6	1,4
	CF2	14,2	20,4	0,2	0,2	1,4
	PU	10,7	9,1	0,2	0,2	0,5
	BP	15,4	47,2	0,4	0,2	0,8
	BP	9,2	38,7	0,7	0,5	2,5
	BP	11,2	39,6	0,5	0,3	0,7
	RFII	8,3	21,8	0,6	0,5	1,0
	RFII	9,9	18,9	0,4	0,4	0,8

Obs.: PU = Punta Ullman, BP = Botany Point, CF2 = em frente à Estação Antártica Comandante Ferraz e RFII = Refúgio II.

Quando calculado para o organismo inteiro (Concentração de metal no organismo inteiro / Concentração de metal no sedimento), sem separação por compartimentos corpóreos, o Fator de Bioacumulação apresentou os maiores resultados para Cd e Zn em CF2. Os outros metais não apresentaram resultados expressivos nas diferentes áreas (TAB. 16).

Verificou-se que a concentração de elementos-traço nos compartimentos corpóreos da estrela-do-mar *O. validus* e no molusco bivalve *L. elliptica* não foi influenciada pelo tamanho do organismo (peso total do indivíduo).

Tabela 17. Comparação dos valores do Fator de Bioacumulação (FB) encontrados neste trabalho com os de Negri *et al.* (2006) para a espécie de molusco bivalve *Laternula elliptica*.

Fonte	Órgão	Metais			
		Cu	Zn	Cd	Pb
Negri <i>et al.</i> (2006)	Organismo inteiro	0,31 - 11	1,0 - 2,2	10 - 690	0,27 - 4,3
	Organismo inteiro	0,2 - 0,6	0,5 - 2,5	9,1 - 47,2	0,2 - 0,7
Este trabalho	Rim	0,1 - 0,2	11,3 - 77,3	436 - 2554	2,3 - 7,8
	Brânquia	0,07 - 0,2	0,9 - 1,9	8,9 - 111,4	0,05 - 0,13
	Gônadas	0,06 - 0,7	0,8 - 1,5	13,4 - 44,8	0,06 - 0,6
	Glândula digestiva	0,1 - 1,2	1,0 - 1,9	40,9 - 151,7	0,2 - 0,6
	Sifão	0,3 - 1,7	0,7 - 2,7	3,4 - 51,6	0,4 - 1,9
	Concha	0,07 - 0,2	0,06 - 0,5	0,9 - 11,8	0,03 - 0,2
	Restos	0,3 - 1,4	0,7 - 3,1	6,2 - 95,5	0,3 - 1,1
	Pé	0,04 - 0,06	0,7 - 1,8	5,1 - 43	0,02 - 0,08

Obs.: Valores = Mínimo e Máximo.

Fonte: adaptado de Negri *et al.* 2006.

Os valores de FB calculados para o organismo inteiro foram menores do que os calculados para os órgãos em separado, especialmente para Zn (rim), Cd (rim, brânquia, glândula digestiva e restos) e Pb (rim e sifão).

No presente trabalho, os valores de Cu ficaram abaixo dos valores encontrados por Negri *et al.* (2006), tanto para o organismo inteiro quanto para os compartimentos em separado (TAB. 17).

## 7 CONCLUSÃO

1. A granulometria apresentou o predomínio das frações silte e argila. Com exceção do elemento Cr, todos os outros metais apresentaram correlação positiva com a fração argila.
2. Em comparação com trabalhos realizados anteriormente na área, não foram detectáveis grandes alterações na concentração de metais-traço no sedimento;
3. Para a espécie de estrela-do-mar *Odontaster validus*, as maiores concentrações de metais-traço (Mn, Ni, Cd, Ba, Pb) e do macronutriente Al, foram encontradas na parede do corpo. Os metais Cu, Cr, V e Zn apresentaram maior concentração no estômago enquanto o macronutriente Fe concentrou-se preferencialmente nos cecos pilóricos.
4. Para a espécie de molusco bivalve *Laternula elliptica*, as maiores concentrações de metais-traço (Mn, V, Ba, Cu) e dos macronutrientes Fe e Al, foram encontradas no sifão. Os metais Cd, Ni, Pb e Zn apresentaram maior concentração no rim enquanto o Cr foi mais concentrado no compartimento restos.

5. Para a estrela-do-mar *O. validus* os maiores valores do Fator de Bioacumulação (FB) para os metais Cd e Pb foram encontrados na parede do corpo, enquanto os metais Cu e Zn apresentaram maiores valores no estômago e nos cecos pilóricos respectivamente.
6. Para o molusco bivalve *L. elliptica*, os maiores valores do Fator de Bioacumulação (FB) para os metais Cd, Pb e Zn foram encontrados no rim, enquanto o metal Cu apresentou o maior valor no sifão.
7. A concentração de elementos-traço nos compartimentos corpóreos da estrela-do-mar *O. validus* e no molusco bivalve *L. elliptica* não foi influenciada pelo tamanho do organismo (peso total do indivíduo).

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBE, G.R.; RIEDEL, G.F.; SANDERS, J. G. Factors that influence the accumulation, of copper and cadmium by transplanted eastern oyster (*Crassostrea virginica*) in Patuxent River, Maryland. **Marine Environmental Research**. v. 49, p. 377-396, 2000.

ABOLLINO, O.; ACETO, M.; LA GIOIA, C.; SARZANINI, C.; MENTASTI, E. Spatial and seasonal variations of major, minor and trace elements in Antarctic seawater. Chemometric investigation of variable and site correlations. **Advances in Environmental Research**. v. 6, p. 29-43, 2001.

AHN, I.Y.; KANG, J.; KIM, K.W. The effect of body size on metal accumulations in the bivalve *Laternula elliptica*. **Antarctic Science**, v.13 n.4, p.355-362, 2001.

AHN, I.Y.; SHIM, J. H. Summer metabolism of the Antarctic clam, *Laternula elliptica* (King and Broderip) in Maxwell Bay, King George Island and its implications. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 224, p. 253-264, 1998.

ANH, I.Y.; LEE, S.H.; KIM, K.T.; SHIM, J.H.; KIM, D.Y. Baseline heavy metal concentrations in the Antarctic clam, *Laternula elliptica* in Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. **Reports**. Elsevier Science, p. 592-598, 1996.

ANDRADE, L. **Metais Pesados – Características e Interações com o Meio Ambiente**. Apostila elaborada durante curso de pós-graduação em biofísica. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 1997, 50p.

ASPILA, K. I.; AGEMIAN, H.; CHAU, A. S. Y. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. **Analyst**, v. 101, p. 187-197, 1976.

BARCELLOS, C. **Geodinâmica de Cádmio e Zinco na Baía de Sepetiba**. (Tese de Doutorado). Departamento de Geoquímica – Universidade Federal Fluminense. 1995, 148p.

BERTAUX, J. *et al.* Multicomponent analysis of FTIR Spectra: Quantification of amorphous and crystallized mineral phases in synthetic and natural sediments. **Journal of sedimentary research**. v. 68, n. 3, p. 440-447, 1998.

BEVILACQUA, J. E. **Estudos sobre a caracterização e estabilidade de amostras de sedimento do Rio Tietê, São Paulo**. (Tese de Doutorado). Instituto de Química – Universidade de São Paulo – USP, 1996.

BLOTT, S.; GRADISTAT. Version 4.0. **A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer**. Surface Processes and Modern Environments Research Group. Department of Geology, Royal Holloway, University of London, U.K., 2000.

BRAGA, E.B. **Hidrogeoquímica da Baía do Almirantado**. Relatório de atividades, 2003-2004. 64p.

BEVERIDGE, T.J.; HUGHES, M.N.; LEE, H.; LEUNG, K.J.; POOLE, R.K.; SAVVAIDIS, I.; SILVER, S.; TREVORS, J.T. Metal-microbe interactions contemporary approaches. In: POOLE R.K. (Ed). **Advances in Microbial Physiology**. Academic Press. v. 38, 1997, p.178-243.

BROMBERG, S. **Distribuição dos anelídeos poliquetas na zona costeira rasa da Enseada Martel, Baía do Almirantado (Ilha Rei George, Antártica).** (Dissertação de Mestrado). Instituto Oceanográfico – USP. 1999, 82p.

CAMPOS, L.S. Implantação de estratégia de monitoramento de impacto na fauna bentônica da zona costeira rasa da Baía do Almirantado (Ilha Rei George, Antártica). (Relatório técnico final de atividades) Projeto GEAMB/ UFRJ – PROANTAR – REDE 2. 2007, 120p.

CAMPOS, L.S.; LAVRADO, H.P. **Relatório das atividades de campo, Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF).** Operação Antártica XXII. Rede 2. Gerenciamento Ambiental da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica, 2004.

CAMPOS, L. S. **Os Asteroidea do Estreito de Bransfield (Península Antártica).** Relatório FAPESP. Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo – USP, 1986.

CARVALHO, C.E.V.; CAVALCANTE, M.P.O.; GOMES, M.P.; FARIA, V.V.; REZENDE, C.E. Distribuição de metais pesados em mexilhões (Perna perna, L.) da Ilha de Santana, Macaé, SE, Brasil. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**. v. 4 n.1, p.1-5, 2001.

CARMOUZE, J.P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos:** fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Editora Edgard Blücher- FEPESP, 1994, 253p.

CHOI, H.J.; AHN, I.-A.; KIM, K.-W.; KIM, H.-A.; LEE, I.-S. Subcellular distribution of naturally elevated cadmium in the Antarctic clam *Laternula elliptica*. **Bulletin Environmental Contamination and Toxicology**, v. 71, p.83-89, 2003.

CHOI, H.J.; AHN, I.-A.; KIM, K.-W.; LEE, Y.-S.; LEE, I.-S.; JEONG, K.-H. Subcellular accumulation of Cu in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* from a naturally Cu-elevated bay of King George Island. **Polar Biology**, v. 26, p. 601-609, 2003b.

CLARK, R. B. **Marine Pollution**. 4.ed. Oxford University Press, Great Britain, 1998, 161p.



CLARKE, A. Marine benthic populations in Antarctica: Patterns and processes. Ecological Research West of the Antarctic Peninsula, **Antarctic Research Series**. v. 70, p. 373-388, 1996.

COIMBRA, A.G. **Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e da Enseada das Garças, Baía de Sepetiba, RJ.** (Dissertação de Mestrado). Departamento de Geoquímica Ambiental. Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense. 2003, 72p.

COTEUR, G.; GOSSELIN, P.; WANTIER, P.; CHAMBOST-MANCIET, Y.; DANIS, B.; PERNET, Ph.; WARNAU, M.; DUBOIS, Ph. Echinoderms as bioindicators, bioassays, and impact assessment tools of sediment-associated metals and PCBs in the North Sea. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** v. 45, p.190–202, 2003.

DALLA RIVA, S.; ABELMOSCHI, E. M.; SOGGIA, F. The utilization of the Antarctic environmental specimen bank (BCAA) in monitoring Cd and Hg in na Antareti coastal área in Terra Nova Bay (Ross Sea – Northern Victoria Land). **Chemosphere**, v. 56, p. 59-69, 2004.

DANIS, B.; WANTIER, P.; FLAMMANG, R.; PERNET, PH.; CHAMBOST-MANCIET, Y.; COTEUR, G.; WARNAU, M.; DUBOIS, PH. Bioaccumulation and effects of PCBs and heavy metals in sea stars (*Asterias rubens*, L.) from the North Sea: A small scale perspective. **Science of the Total Environment**. v. 356, p. 275– 289, 2006.

ECHEVERRÍA, C. A.; LAVRADO, H. P.; PAIVA, P. C.; CAMPOS, L. S. A new Mini Box Corer for sampling Antarctic shallow mud-sediments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, 2007.

ERK, M.; ANDERS, R.; INGEBRIGTSEN, K.; KETIL, H. Cadmium accumulation and Cd-binding proteins in marine invertebrates – A radiotracer study. **Chemosphere**. v. 61, p. 1651–1664, 2005.

FILGUEIRAS, V.L. **Distribuição vertical da endofauna bentônica em duas áreas da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica.** (Monografia). Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005, 46p.

FROUIN, P. Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 194, p. 39-53, 2000.

GOMES, M.S. **Determinação de elementos metálicos em sedimentos da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica.** (Dissertação de Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1999, 181p.

GRANGE, L.J.; TYLER, P.A.; PECK, L.S. Multi-year observations on the gametogenic ecology of the antarctic sea star *Odontaster validus*. **Marine Biology**, v. 153, p.15-23, 2007.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis.** Verlag Chemie, 1983, 419 p.

HEINE, J. N.; MCCLINTOCK, J. B.; SLATTERY, M.; WESTON, J. Energetic composition, biomass, and chemical defense in the common antarctic nemertean *Parborlasia corrugatus* McIntosh. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. v. 153, n.1, p.15-25, 1991.

JAZDZEWSKI, K.; JURASZ, W.; KITTEL, W.; PRESLER, E.; PRESLER, P.; SICINSKI, J. Abundance and biomass estimates of the benthic fauna in Admiralty Bay, King George Island, South Shetlands islands. **Polar Biology**, v. 6, p. 5-16, 1986.

KIDAWA, A. Behavioural and metabolic responses of the Antarctic sea star *Odontaster validus* to food stimuli of different concentration. **Polar Biology**, v. 28, p. 449-455, 2005.

KING, C.K.; RIDDLE, M.J. Effects of metal contaminants on the development of the common Antarctic sea urchin *Sterechinus neumayeri* and comparisons of sensitivity with tropical and temperate echinoids. **Marine Ecology Progress Series**. v. 215, p.143-154, 2001.

KIRSCH, H. **Mineralogia aplicada**: para engenheiros, tecnólogos e estudantes. São Paulo, Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo, 1972, 291p.

LARNER, B.L.; SEEN, A.J.; PALMER, A.S., SNAPE, I. A study of metal and metalloid contaminant availability in Antarctic marine sediments. **Chemosphere**, v. 67, p. 1967-1974, 2007.

LEMES, M. J. L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das Bacias Hidrográficas dos rios Mogiguaçu e Pardo, São Paulo**. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares (IPEN) – Universidade de São Paulo – USP, 2001, 248p.

LICÍNIO, M.V.S.L. **Impacto Ambiental Atmosférico na Baía do Almirantado, Ilha Rei George: Ocupação Humana e Testes Atômicos**. (Tese Doutorado). Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. 2006, 160p.

LIMA, M. R. B. L. M. A. **Natureza e origem da matéria orgânica depositada nos sedimentos superficiais ao longo da plataforma continental entre as cidades do Rio de Janeiro (RJ) e São Francisco do Sul (SC)**. (Dissertação de Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo – USP, 2000, 115 p.

LUOMA, S.N. Can we determine the biological availability of sediment-bound trace elements? **Hydrobiologia**. v.176/177, p.379-396, 1989.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/1125.html>> Acesso em 07 de janeiro de 2008.

MACIEL, M.S.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; PIMENTEL, D.C.; GOBO, R.R.; GOBO, A.A.R.; CAMPOS, L.S.; LAVRADO, H.P.; REZENDE, C.E. Concentração de metais pesados nos sedimentos costeiros na Baía do Almirantado, Península Antártica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOLOGIA MARINHA, 1, 2006, Niterói. **Resumos**. Niterói, 2006. p.163-164

McCLINTOCK, J.B.; PEARSE, J.S.; BOSCH, L. Population structure and energetics of the common Antarctic sea star *Odontaster validus*. **Marine Biology**, v. 99, p. 235-246, 1988.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/antar20.html>> Acesso em 10 de junho de 2008.

MORAES, R.; CRAPEZ, M.; PFEIFFER, W.; FARINA, M.; BAINY, A.; TEIXEIRA, V. **Efeitos de Poluentes em Organismos Marinhos**. Arte & Ciência Villipress, 2001.

MORENO, J. E. A.; GERPE, M. S.; MORENO, V. J.; VODOPIVEZ, C. Heavy metals in Antarctic organisms. **Polar Biology**, v.17, p. 131-140, 1997.

NEGRI, A.; KATHRYN, B.; BOYLE, S.; BRINKMAN, D.; WEBSTER, N. Contamination in sediments, bivalves and sponges of McMurdo Sound, Antarctica. **Environmental Pollution**, v. 143, p. 456-467, 2006.

NONATO, E.F.; PETTI, M.A.V.; PAIVA, P.C.; BRITO, T.A.S. Programa Antártico Brasileiro: amostragens de organismos bentônicos realizadas nas seis primeiras expedições (1982 a 1988), com a participação do N/Oc. “Prof. W. Besnard”. **Relat. Int. IOUSP**, v.32, p.1-12, 1992.

NOVAES, R.G. **Concentrações potencialmente biodisponíveis de elementos químicos em sedimentos da Baía de Guanabara**. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense – UFF, 2004, 106p.

OLSGARD, F. Effects of copper contamination on recolonisation of subtidal marine soft sediments – an experimental field study. **Marine Pollution Bulletin**. v. 38, n.6, p.448-462, 1999.

POLAND, J.S.; RIDDLE, M.J.; ZEEB, B.A. Contaminants in the Arctic and the Antarctic: a comparison of sources, impacts and remediation options. **Polar Record**. v. 39, n.211, p.369-383, 2003.

POLLERY, R.C.G. **Disponibilidade e distribuição dos nutrientes e da clorofila-a nas águas adjacentes à Península Antártica (verões de 2000/01, 2001/02 e 2002/03).** (Tese de Doutorado). Departamento de Geoquímica - Instituto de Química - Universidade Federal Fluminense, 2005, 158p.

RAINBOW, P.S. Trace metals bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. **Environment International**. v. 33, p. 576–582, 2007.

RAINBOW, P.S. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? **Environmental Pollution**. v. 120, p. 497–507, 2002.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Introduction: the structure and functioning of the nearshore ecosystem. In: **The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay**. Ed Rakusa-Suszczewski, S. 1993, p. 6-14.

RIPPERGER, S.; REHKÄMPER, M.; PORCELLI, D.; HALLIDAY, A.N. Cadmium isotope fractionation in seawater – A signature of biological activity. **Earth and Planetary Science Letters**. v. 261, p. 670–684, 2007.

RODRIGUES, E.; VANI, G.S.; LAVRADO, H.P. Nitrogen metabolism of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* (King & Broderip) and its potential use as biomarker. **Oecol. Bras.**, v. 11 n.1, p. 37-49, 2007.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Invertebrate Zoology**. 7th edition. Saunders College Publishing. 1994, 1179p.

SANTOS, M.A.P.F. **Influências de substâncias húmicas nas características bionômicas, toxicidade e bioacumulação de cobre por *Ceriodaphnia silvestrii* Daday (Crustácea, Cladocera).** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. 2004, 126p.

SANTOS, I.R. **Geoquímica de solos e sedimentos costeiros, contaminação ambiental e bioacumulação de mercúrio na baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense – UFF. 2005, 80p.

SANTOS, I.R.; SILVA FILHO, E.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; CAMPOS, L.S. Heavy metals contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, p. 185-194, 2005.

SANTOS, I.R.; SILVA-FILHO, E.V.; SCHAEFER, C.; SELLA, S.M.; SILVA, C.A.; GOMES, V.; PASSOS, M.J.A.C.R.; NGAN, P.V. Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. **Environmental Pollution**, v. 140, p. 304-311, 2006.

SCHAEFER, C.E.G.R.; DIAS, L.E.; CAMPOS-CREASEY, L.S.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; COSTA, L.M.; BORGES JÚNIOR, M. Monitoramento ambiental em sedimentos costeiros da Baía do Almirantado: granulometria, teores de macronutrientes e metais biodisponíveis. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. (Eds.) **Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. NEPUT – Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004a, 192 p.

SCHAEFER, C.E.G.R.; DIAS, L.E.; ALBUQUERQUE, M.A.; FRANCELINO, M.R.; COSTA, L.M.; RIBEIRO JUNIOR, E.S. Monitoramento ambiental e avaliação dos impactos nos ecossistemas terrestres da antártica marítima: princípios e aplicação. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; FRANCELINO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. (Eds.) **Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. NEPUT – Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004b, 192 p.

SEIBERT, E.L. **Determinação de elementos traço em amostras de água do mar, sedimento, mexilhões e ostras, da região costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**,

**por Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado.** (Tese de Doutorado). Centro de Ciências Físicas e Matemáticas – UFSC. 2002, 166p.

STARK, J.S.; SNAPE, I.; RIDDLE, M.J.; STARK, S.C. Constraints on spatial variability in soft-sediment communities affected by contamination from an Antarctic waste disposal site. **Marine Pollution Bulletin.** v. 50, p. 276-290, 2005.

STARK, J.S.; RIDDLE, M.J.; SIMPSON, R.D. Human impacts in soft-sediment assemblages at Casey Station, East Antarctica: Spatial variation, taxonomic resolution and data transformation. **Austral Ecology.** v. 28, p. 287-304, 2003.

TEMARA, A.; SKEI, J.M.; GILLAN, D.; WARNAU, M.; JANGOUX, M.; DUBOIS, P. Validation of the Asteroid *Asterias rubens* (Echinodermata) as a Bioindicador of spatial and temporal trends of Pb, Cd e Zn contamination in the field. **Marine Environmental Research.** v. 45, n. 4/5, p. 341-356, 1998.

TEMARA, A.; WARNAU, M.; JANGOUX, M.; DUBOIS, P. Factors influencing the concentrations of heavy metals in the asteroid *Asterias rubens* L. (Echinodermata). **The Science of the Total Environment.** v. 203, p. 51-63, 1997.

UNIVERSIDADE DO ALGARVE, 2008. <Disponível em: <http://si-wagner.ualg.pt/cmqa/papelbiologico.html>.> Acesso em 25 de janeiro de 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992. <Disponível em: <http://cfpub1.epa.gov/ncea/cfm>.> Acesso em 15 de fevereiro de 2008.

WEBER, R. R.; MONTONE, R. C. **Gerenciamento Ambiental na Baía do Almirantado.** (Relatório da Rede 2), 2006, 259p. <Disponível em: <http://cfpub1.epa.gov/ncea/cfm>> Acesso em 20 de janeiro de 2008.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)