

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE SALES DE FREITAS

**DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO (P) EM SEDIMENTOS
RECENTES DA BAÍA DO ALMIRANTADO,
PENÍNSULA ANTÁRTICA**

PONTAL DO PARANÁ
2008

FELIPE SALES DE FREITAS

**DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO (P) EM SEDIMENTOS
RECENTES DA BAÍA DO ALMIRANTADO,
PENÍNSULA ANTÁRTICA**

Monografia apresentada à disciplina de Estágio Supervisionado I como requisito parcial à conclusão do Curso de Oceanografia com Habilitação em Pesquisa Oceanográfica, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. César de Castro Martins

PONTAL DO PARANÁ
2008

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento vai para aqueles que são os responsáveis por eu chegar até aqui, minha família. Meus pais (Lucia e Hamilton), irmãos (Juliane, Junior, Lineu e Victor) e demais familiares sempre acreditaram e me apoiaram, fizeram tudo o que estava ao alcance deles para que eu concluísse essa jornada, mesmo que isso representasse privá-los de suas necessidades em nome das minhas. Por tudo isso, muitíssimo obrigado!!!

Ao Prof. César de Castro Martins por ter sido, com certeza, o melhor orientador que eu poderia ter tido. César, muito obrigado pela oportunidade de trabalhar com você, por confiar no meu trabalho, pelo aprendizado, amizade, paciência e por tudo que você tem feito por mim!

Aos Profs. Rosalinda Carmela Montone, Rubens César Lopes Figueira e Lúcia Campos por cederem as amostras com as quais desenvolvi esse trabalho.

Às Profas. Eunice da Costa Machado e Hedda Elisabeth Kolm pela utilização de seus laboratórios para a realização das análises.

Ao Oceanógrafo Luiz Carlos Cotovicz Junior e à Msc. Nilva Brandini pelo auxílio na implementação do método analítico.

À Liciane Carla Siqueira por tudo que ela me ensinou no laboratório, por todas as vezes que ela me ajudou e, acima de tudo, pela amizade. Lici, obrigado por tudo!

A aqueles que têm sido minha família em Pontal, Breno e Vader. Como em toda família, há momentos em que a convivência não é fácil, mas que são superados por muitos outros momentos ótimos. E contra todas as expectativas, deu certo nós morarmos juntos. Já são quase três anos e eu só tenho a agradecer a vocês por isso. Muito obrigado por tudo!

À CDM2004, a última turma de Ciências do Mar, por esses cinco anos juntos. Em meio a muitas brigas, discussões por motivos mais diversos, almoços juntos, saídas de campo, festas, reuniões, etc. ganhei muitos amigos: Lívia, Taiana, Cristina, Cíntia, Vader, Breno, Giovanni, Carlos, Bruno, Guilherme, Fabiana, Rogério, Cássio, Ana, Tami, Ricardo, Jair, Mylene, Michelle, Lamila, Rafael, Renan, Sâmia, Daniel, Marlon, Yuri e Otávio. Valeu galera!!!

Ao pessoal dos laboratórios de química por toda a ajuda prestada em análises, lavagem de vidrarias, bons momentos, conversas e risadas. Liziane, Juliane, Taiana, Lívia, Marília, Camila, Byanka, Rodrigo, Junior, Edna, Mariana, Sabrina, Tathiane, Andressa, Larissa, Sarah, Mylene, Michelle e Tailisi obrigado!

Aos professores que tiveram de fato uma importante participação na minha formação: César Martins, Eunice Machado, Mauricio Camargo, Hedda Kolm, Paulo Lana, Marcelo Lamour e Wilson Soares. Obrigado!

A todos meus amigos do CEM, tanto alunos quanto funcionários, que acompanharam e me apoiaram no desenvolvimento desse trabalho e na minha formação. Obrigado a todos!!!

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica PIBIC-CNPq edital 2007/2008.

RESUMO

O fósforo (P) é um dos principais elementos constituintes da matéria orgânica. É um nutriente essencial para o transporte energético e crescimento utilizado por todos os organismos. Esse elemento é capaz de limitar a produtividade primária dos oceanos. Na Baía do Almirantado há duas fontes principais e distintas de fósforo. A primeira delas é biogênica, com origem na produtividade primária marinha e na drenagem de solos ornitogênicos por processos de degelo. A segunda fonte, mais recente e pontual, tem origem antrópica e corresponde ao esgoto lançado na Baía do Almirantado pela Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e pelos navios que circulam na região.

O objetivo desse trabalho foi estudar a distribuição temporal do fósforo como indicador de variações no aporte e condições de preservação e degradação da matéria orgânica no ambiente marinho em testemunhos de sedimento da Baía do Almirantado, Península Antártica. Para a análise das concentrações do fósforo sedimentar, foram coletados dez testemunhos em locais com características peculiares da Baía do Almirantado durante as Operações Antárticas XXIV (2005/2006) e XXV (2006/2007). As concentrações de fósforo total e fósforo inorgânico foram determinadas por extração ácida ($\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) seguida de análise colorimétrica dos extratos. O fósforo orgânico foi determinado indiretamente através da diferença entre o fósforo total e o fósforo inorgânico.

As médias de concentração de fósforo total variaram entre $750,7 \pm 41,6$ e $917,8 \pm 106,7 \mu\text{g g}^{-1}$ na Enseada Martel, $792,0 \pm 99,5$ e $1001,2 \pm 146,6 \mu\text{g g}^{-1}$ na Enseada MacKellar e $535,9 \pm 62,8$ e $875,5 \pm 79,9 \mu\text{g g}^{-1}$ na Enseada Ezcurra e na entrada da Baía do Almirantado. As diferenças de concentração de fósforo observadas entre os diferentes locais ocorrem em função da diferença na composição granulométrica dessas áreas. Os perfis verticais em todos os testemunhos mostraram que não houve variações significativas no aporte de fósforo total entre a base e a porção média desses testemunhos, sendo esses valores considerados o *background* para essas áreas. Acima da seção mediana dos testemunhos foram registradas variações no aporte do fósforo total, as quais podem ser atribuídas tanto a variações naturais quanto antrópicas. Os teores de fósforo inorgânico se mostraram predominantes ao longo de quase todos os testemunhos analisados (>90%), mostrando que o aporte de fósforo para o sedimento ocorre predominantemente na fração inorgânica. No entanto, houve períodos em que o fósforo orgânico apresentou proporções mais elevadas (>10%), indicando um aumento no aporte de fósforo orgânico para o sedimento. A aplicação das taxas de sedimentação sobre os perfis verticais permitiu traçar a distribuição temporal do fósforo, sendo possível estimar as atividades antrópicas responsáveis por variações no aporte de matéria orgânica na Baía do Almirantado. Para algumas dessas variações foi possível estabelecer relação com as atividades britânicas na Base G e, principalmente, às atividades recentes da EACF. As concentrações de fósforo encontradas na Baía do Almirantado foram comparadas a outras regiões e verificou-se que os valores registrados estão dentro da faixa relatada para diversas configurações costeiras e oceânicas do globo.

Palavras-chave: fósforo, matéria orgânica, sedimento, testemunhos, Baía do Almirantado, Antártica.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is one of main constituents of organic matter. It is an essential nutrient for growth and energetic transport used for all organisms. It may limit the primary production into the oceans. In Admiralty Bay there are two main sources of phosphorus. The first one is biogenic and has origin in the marine primary production and in the drainage of ornotogenic soils due to ice smelt. The second one is earlier and local due to sewage of Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF) and ships presence in the region.

The aim of this work was study the temporal distribution of phosphorus as an indicator of input of organic matter in sedimentary columns in the Admiralty Bay, Antarctic Peninsula. During the Brazilian Antarctic Operations XXIV (2005/2006) and XXV (2006/2007), ten sedimentary columns were collected for the determination of phosphorus contents. Total phosphorus, inorganic phosphorus and organic phosphorus concentrations were assessed by acid extraction ($\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) followed by spectrometric analysis.

Mean total phosphorus concentration varied from $750,7 \pm 41,6$ and $917,8 \pm 106,7 \mu\text{g g}^{-1}$ in Martel Inlet, $792,0 \pm 99,5$ and $1001,2 \pm 146,6 \mu\text{g g}^{-1}$ in MacKellar Inlet and $535,9 \pm 62,8$ and $875,5 \pm 79,9 \mu\text{g g}^{-1}$ in Ezcurra Inlet and the entrance of Admiralty Bay. The differences of phosphorus concentrations showed among the locations are due to differences in the sediment composition. The vertical profiles of all sedimentary columns showed none significant variations between bottom and mid-depth layer, so these values were considered the background for these areas. The significant variations on input of total phosphorus above intermediate sections were recorded and it may be due to natural and anthropogenic variations. Inorganic phosphorus was predominant in the majority of sedimentary columns (>90%), showing that the input of phosphorous in the sediment occurs mainly in its inorganic form. In some periods, organic phosphorus presented an increased input (>10%) in sediment. Using the sedimentary rates at the vertical profiles, it was possible to determinate a temporal dated-phosphorus distribution. Consequently, it was possible to assess that the recent human activities could be responsible for the variations on the input of organic matter in Admiralty Bay sediment. Total Phosphorus concentration observed in Admiralty Bay was compared with tropical and temperate regions, and it was quite similar to various coastal and marine environments.

Key-words: phosphorus; organic matter; sediment; Admiralty Bay; Antarctica

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO. MAPA 1 – CONTINENTE ANTÁRTICO. MAPA 2 – PENÍNSULA ANTÁRTICA, ESTREITO DE BRANSFIELD E ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL. MAPA 3 – BAÍA DO ALMIRANTADO. MAPA 4 – ENSEADA MARTEL. FONTE: MARTINS (2001)	19
FIGURA 2 - PONTOS DE AMOSTRAGEM DOS TESTEMUNHOS NA BAÍA DO ALMIRANTADO....	23
FIGURA 3 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL E FÓSFORO INORGÂNICO	28
FIGURA 4 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ.....	30
FIGURA 5 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM STEINHOUSE	32
FIGURA 6 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA ULMANN	34
FIGURA 7 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM BOTANY POINT ..	35
FIGURA 8 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM FERRAZ.....	37
FIGURA 9 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ.....	38
FIGURA 10 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN	40
FIGURA 11 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM REFUGIO II.....	42
FIGURA 12 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM PONTA CREPIN.....	43
FIGURA 13 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN	45
FIGURA 14 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL	47
FIGURA 15 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA THOMAS	49
FIGURA 16 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM MONSIMET COVE.....	50
FIGURA 17 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM PONTA BARREL	51
FIGURA 18 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL	53
FIGURA 19 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM DEMAY POINT ..	54
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ	68
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM STEINHOUSE	70
FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA ULMANN.....	71
FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM BOTANY POINT.....	72
FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM MONSIMET COVE.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS DA CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL E FÓSFORO INORGÂNICO	28
TABELA 2 - RESULTADOS DO TESTE DE REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO.....	29
TABELA 3 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA MARTEL.	31
TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ.....	39
TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA MACKELLAR.....	41
TABELA 6 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN	45
TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA EZCURRA	48
TABELA 8 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL	52
TABELA 9 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NO TESTEMUNHO DA ENTRADA BAÍA DO ALMIRANTADO.....	55
TABELA 10 – PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS E CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS (VERÃO 2004/2005) DA BAÍA DO ALMIRANTADO. FONTE: BERBEL (2008).....	59
TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E ORGÂNICO EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS (VERÃO 2004/2005) DA BAÍA DO ALMIRANTADO. FONTE: BERBEL (2008).....	67
TABELA 12 – TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA BAÍA DO ALMIRANTADO.....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 CICLO DA MATÉRIA ORGÂNICA NO AMBIENTE MARINHO.....	8
1.2 O FÓSFORO COMO ELEMENTO CONSTITUINTE DA MATÉRIA ORGÂNICA.....	10
1.3 FÓSFORO COMO INDICADOR DE PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR	12
1.4 FÓSFORO NOS SEDIMENTOS DA BAÍA DO ALMIRANTADO.....	14
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. ÁREA DE ESTUDO	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 AMOSTRAGENS	23
4.2 ANÁLISES LABORATORIAIS	26
5. RESULTADOS	28
5.1 CURVA DE CALIBRAÇÃO E TESTE DE REPRODUTIBILIDADE.....	28
5.2 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO FÓSFORO NA ENSEADA MARTEL	30
5.2.1 <i>Fósforo Total</i>	30
5.2.2 <i>Fósforo Inorgânico e Orgânico</i>	37
5.3 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO FÓSFORO NA ENSEADA MACKELLAR.....	39
5.3.1 <i>Fósforo Total</i>	39
5.3.2 <i>Fósforo Inorgânico e Orgânico</i>	43
5.4 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO FÓSFORO NA ENSEADA EZCURRA.....	47
5.4.1 <i>Fósforo Total</i>	47
5.4.2 <i>Fósforo Inorgânico e Orgânico</i>	51
5.5 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO FÓSFORO NA ENTRADA DA BAÍA DO ALMIRANTADO	54
5.5.1 <i>Fósforo Total</i>	54
6. DISCUSSÃO	56
6.1 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO FÓSFORO NA BAÍA DO ALMIRANTADO	56
6.1.1 <i>Fósforo Total</i>	56
6.1.2 <i>Fósforo Inorgânico e Fósforo Orgânico</i>	64
6.2 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL NA BAÍA DO ALMIRANTADO	67
6.3 FÓSFORO TOTAL NA BAÍA DO ALMIRANTADO E EM OUTROS SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS	74
7. CONCLUSÕES	76
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
APÊNDICES.....	82

1. INTRODUÇÃO

1.1 Ciclo da Matéria Orgânica no Ambiente Marinho

A matéria orgânica nos oceanos tem sua principal fonte na produção primária dos organismos do fitoplâncton. A produção primária é o resultado do crescimento desses organismos devido ao processo fotossintético. Eles removem CO_2 e nutrientes (nitrogênio e fósforo) da água e, utilizando energia solar, convertem-nos em compostos orgânicos complexos (MILLERO, 1996). Sua produção, no entanto, é limitada às camadas superficiais da coluna d'água, devido à redução da penetração da luz com o aumento da profundidade. Em geral, a luz penetra na coluna d'água a apenas algumas dezenas de metros, sendo essa faixa denominada zona eufótica. A produção de matéria orgânica é também limitada no ambiente marinho pela disponibilidade de nitrogênio e fósforo, os quais são requeridos nas formas inorgânicas como nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{3-}) (JAMES, 2005).

A fixação do nitrogênio molecular em nitrato é realizada principalmente nos continentes por microorganismos do solo, enquanto o fosfato é derivado do intemperismo das rochas continentais. Isso torna os ambientes marinhos altamente dependentes das descargas de áreas continentais para manutenção de seus suprimentos de nitrato e fosfato (MEYERS, 1997).

A matéria orgânica produzida na zona eufótica, ao afundar na coluna d'água, fornece não apenas alimento para organismos filtradores zooplantônicos e outros animais, mas também é utilizada como substrato para microorganismos decompositores. Cerca de três quartos do material orgânico que deixa a zona eufótica é decomposto e reciclado na coluna d'água acima da termoclina

permanente. Em média, apenas 1% do material orgânico originado na zona eufótica, o qual não sofreu os processos de reciclagem na coluna d'água, alcança os sedimentos marinhos (JAMES, 2005).

A principal fonte de matéria orgânica para o sedimento marinho é de origem detrítica fitoplanctônica. Porém, em regiões costeiras detritos de plantas terrestres contribuem significativamente devido à proximidade com desembocaduras de rios e estuários. A matéria orgânica de origem detrítica animal não é uma fonte significativa para o sedimento (MEYERS, 1997).

A preservação da matéria orgânica no sedimento depende do aporte desse material e das condições de degradação da coluna d'água sobre esse material, além das próprias condições de oxigenação ou anoxia do sedimento. Em colunas d'água bem oxigenadas, a matéria orgânica tende a ser quase que totalmente degradada por bactérias aeróbicas, chegando ao sedimento uma porção muito pequena desse material. A parcela que alcança o fundo marinho sofre ainda processos de consumo por organismos bentônicos e bactérias antes de ser aprisionada no sedimento.

Em regiões muito produtivas, como as zonas de ressurgência e as desembocaduras de grandes estuários, a matéria orgânica sofre os mesmos processos já citados, porém, como a quantidade desse material é muito grande, uma maior parcela da matéria orgânica alcança o fundo marinho e é aprisionada no sedimento.

No sedimento, a degradação da matéria orgânica é feita nas camadas superficiais, ainda oxigenadas, por bactérias aeróbicas. Nas camadas inferiores, onde já não há oxigênio molecular disponível, a degradação é feita principalmente por bactérias anaeróbicas sulfo-redutoras. A degradação anaeróbica é mais lenta em

relação à aeróbica, favorecendo a preservação da matéria orgânica no sedimento sob condições anóxicas.

Os processos de degradação e acumulação da matéria orgânica em sedimentos marinhos, assim como as variações no aporte desse material podem ser estudados a partir de um elemento essencial na constituição da matéria orgânica, o fósforo (P).

1.2 O Fósforo como elemento constituinte da matéria orgânica

O fósforo é um nutriente essencial utilizado por todos os organismos para transporte energético e crescimento. Esse elemento, assim como o nitrogênio, constitui um nutriente limitante da produtividade primária.

O fósforo é o 17º elemento mais abundante na crosta terrestre (BENITEZ-NELSON, 2000), sendo que sua principal fonte são as rochas continentais.

As principais vias naturais de entrada do fósforo em ambientes marinhos são os aportes fluvial, eólico e vulcânico.

O aporte fluvial é a fonte predominante de fósforo para os oceanos. O intemperismo da crosta, a qual contém em média 0,1% de P_2O_4 , é a maior fonte de fósforo fluvial (BENITEZ-NELSON, 2000).

O aporte atmosférico apresenta poucas informações quando comparado ao aporte fluvial. Em geral, espera-se que a disponibilidade de fósforo na atmosfera dependa de sua solubilidade em aerossóis, da fonte de fósforo e do tamanho das partículas. A importância relativa da deposição atmosférica de fósforo aumenta na medida em que distância da costa aumenta, uma vez que se torna uma fonte

significativa para mares oligotróficos, onde o aporte fluvial não é capaz de chegar (BENITEZ-NELSON, 2000).

Pouco se conhece das atividades vulcânicas como uma potencial fonte de fósforo para o ecossistema marinho. As emissões vulcânicas são eventos pontuais na natureza e assim é provável que possuam um impacto limitado em escala local e temporal, dependendo da magnitude e extensão da erupção (BENITEZ-NELSON, 2000).

O fósforo liberado para o ambiente marinho não é diretamente disponibilizado para os organismos. A conversão de formas não-disponíveis para ortofosfato dissolvido, o qual pode ser diretamente assimilado, ocorre através de reações geoquímicas e bioquímicas em vários estágios.

O fósforo orgânico ocorre na água do mar nas formas dissolvida e particulada. Há ocorrência de açúcares, fosfolipídeos, fosfonucleotídeos e seus produtos hidrolizados. No entanto, ésteres de fósforo e ácidos aminofosfônicos mais estáveis compõem a porção mais considerável de compostos orgânicos de fósforo. Já o fósforo inorgânico dissolvido ocorre na forma de produtos ionizados de H_3PO_4 (MILLERO, 1996).

A distribuição das várias formas de fósforo nos oceanos é controlada por processos físicos e biológicos. Nas águas superficiais o fósforo é assimilado pelo fitoplâncton durante a fotossíntese. Compostos de fósforo como ATP e nucleotídeos desempenham um papel chave na fotossíntese e em outros processos no fitoplâncton (MILLERO, 1996).

O fósforo retorna para a coluna d'água, em locais e profundidades diferentes da qual foi assimilada, através da morte, sedimentação e decomposição dos organismos que o consumiram (ARMSTRONG, 1965), ou ainda por excreção.

Quando o fitoplâncton morre, o fósforo orgânico é rapidamente convertido em fósforo inorgânico. O fitoplâncton é consumido pelo zooplâncton, o qual obtém fósforo inorgânico nesse processo. O material não assimilado é perdido na forma de pelotas fecais, ricas em fósforo orgânico (MILLERO, 1996). Esse material pode então ser degradado por bactérias, disponibilizando o fósforo em sua forma inorgânica ou ainda ser aprisionado em sedimentos marinhos.

Como o fósforo não possui forma gasosa estável, ele é removido dos oceanos apenas através do soterramento sedimentar. Entretanto, esse processo é ineficiente e menos de 1% do fósforo que alcança o fundo marinho é aprisionado no sedimento e removido do ciclo marinho do fósforo (BENITEZ-NELSON, 2000).

Há essencialmente quatro processos que podem ser identificados como importantes mecanismos de remoção de fósforo da coluna d'água: (I) soterramento de matéria orgânica; (II) absorção e precipitação com argilas e partículas de óxi-hidróxidos de ferro; (III) soterramento de fosforita; e (IV) processos hidrotermais (BENITEZ-NELSON, 2000).

1.3 Fósforo como indicador de processos de transformação da matéria orgânica sedimentar

Os registros sedimentares de fósforo refletem dois processos: variações no aporte e eficiência de seqüestro de fósforo pelo sedimento marinho (RUTTENBERG & GOÑI, 1997).

Estudos dos processos da diagênese recente em ambientes neríticos são cruciais na determinação e compreensão dos ciclos biogeoquímicos globais de elementos como o fósforo. O estabelecimento de tal compreensão requer controle

temporal preciso das últimas centenas a milhares de anos em sedimentos costeiros (LOUCHOUARN *et al.*, 1997).

Devido ao sedimento ser potencialmente importante em modificar tanto a magnitude quanto a sazonalidade do aporte de fósforo para a zona fótica de mares costeiros e oceano aberto, há uma nítida necessidade em compreender melhor o ciclo do fósforo nesse compartimento (JENSEN *et al.*, 1995).

Os teores de fósforo total podem fornecer um histórico do aporte de matéria orgânica por meio da avaliação da distribuição temporal dos teores de fósforo no sedimento. Os teores de fósforo sedimentar podem também ser correlacionados à produtividade local, bem como a atividades antrópicas, como o aporte de esgoto doméstico.

Os teores de fósforo orgânico e inorgânico nos sedimentos marinhos podem ser indicativos de preservação ou degradação da matéria orgânica. Elevados teores de fósforo inorgânico em relação ao fósforo orgânico são indicativos de degradação da matéria orgânica. Já teores de fósforo orgânico elevados são representativos de preservação da matéria orgânica.

FILIPPELLI (1997) reuniu inúmeros dados a respeito das concentrações de fósforo em diferentes ambiente marinhos. Com isso, observou-se que as concentrações de fósforo apresentaram variações entre 217 e 9517 $\mu\text{g P g}^{-1}$, tanto em oceano aberto quanto em margens continentais não fosfogênicas. Além disso, verificou-se que não há diferença significativa entre as concentrações em oceano aberto e margens continentais e, portanto, as concentrações de fósforo são similares em várias configurações oceânicas.

1.4 Fósforo nos sedimentos da Baía do Almirantado

Os organismos presentes na coluna d'água correspondem a principal fonte de matéria orgânica de origem biogênica e, conseqüentemente, de lipídeos para os sedimentos antárticos. Esta contribuição está estritamente associada à sazonalidade e ao ciclo de vida destes organismos.

Na Antártica, as diatomáceas do microfitoplâncton são consideradas a base da trama trófica por constituírem a maior parte da biomassa primária, sendo o principal alimento para organismos bentônicos, planctônicos e nectônicos (MEDLIN & PRIDDLE, 1990) e, portanto, a principal fonte de matéria orgânica para o ambiente marinho local.

Na Antártica, os principais *blooms* do microfitoplâncton ocorrem durante períodos de máxima intensidade luminosa, entre dezembro e fevereiro. Estes *blooms* contribuem com uma série de compostos orgânicos, os quais são essenciais para o crescimento e reprodução dos componentes de altos níveis tróficos (SKERATT *et al.* 1995).

Os solos cuja formação resulta da interação entre o substrato mineral e a mineralização de materiais orgânicos com origem na avifauna (guano fresco, casca de ovos, penas e restos de animais) são denominados solos ornitogênicos. Esses solos, os quais são ricos em formas de fosfato, são de ampla ocorrência na Antártica Marítima. A principal implicação desses solos na dinâmica ambiental da região é o controle sobre os fluxos de fósforo entre o ambiente terrestre e marítimo. O avanço de glaciares sobre esses solos tende a remover horizontes fosfáticos, retornando o enorme acúmulo de fosfatos de volta aos sedimentos marinhos pela erosão glacial (SCHAEFER *et al.*, 2004a).

Nas águas da Baía do Almirantado as principais fontes de fósforo, as quais são de origem biogênica, são: o aporte de água doce enriquecida com materiais biogênicos a partir da drenagem solos ornitogênicos; decaimento de matéria orgânica derivada da decomposição das macroalgas presentes próximas à costa da baía; e, em menor escala, excreção de peixes e macrozoobêntos (NEDZAREK, 2008).

Além das fontes de origem biogênica, há ainda uma segunda fonte, mais recente e pontual, a qual tem origem antrópica. Ela se constitui pelo esgoto despejado pela Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) na Enseada Martel e pelos navios que circulam na região.

BERBEL *et al.* (2005) verificaram concentrações mais elevadas de fósforo orgânico dissolvido tanto nas águas de superfície quanto no fundo nas imediações da EACF em relação a outros locais da Baía do Almirantado. Tais concentrações podem estar relacionadas ao despejo de esgoto pela EACF.

O fósforo apresenta variações sazonais e espaciais nas águas superficiais da Baía do Almirantado. Tanto o fósforo inorgânico quanto o orgânico apresentam maiores concentrações no inverno do que no verão. Isso ocorre, pois os processos de assimilação do fósforo inorgânico e de quebra da matéria orgânica contendo fósforo ocorrem mais intensamente no verão. O fósforo apresenta maiores concentrações próximo à costa e na parte central da Baía do Almirantado, sendo que em direção ao Estreito de Bransfield há um declínio nas concentrações. Essa variação espacial das concentrações de fósforo reflete as interações que ocorrem entre a drenagem costeira de compostos biogênicos e as trocas de água entre a Baía do Almirantado e o Estreito de Bransfield (NEDZAREK, 2008).

Em relação à Baía do Almirantado, poucos estudos foram realizados envolvendo a distribuição de carbono, nitrogênio e fósforo em sedimentos superficiais. Estes estudos mostraram que a concentração destes elementos está diretamente associada à granulometria, caracterizada pela alta heterogeneidade no tamanho dos grãos, onde as diversas frações granulométricas encontradas são oriundas da abrasão costeira e pelo degelo de *icebergs* (SICINSKI, 2004).

SCHAEFER *et al.* (2004b) obteve elevados teores de fósforo biodisponível ($116 - 380 \mu\text{g g}^{-1}$) através de extração ácida, evidenciando uma continuidade entre a riqueza terrestre em fósforo e o ambiente marinho da Baía do Almirantado (SCHAEFER *et al.*, 2004a). Um aspecto notável são as concentrações de fósforo mais elevadas nos sedimentos costeiros de áreas não-ornitogênicas e sob forte geliturbção em comparação a áreas sob reconhecida influência ornitogênica (SCHAEFER *et al.*, 2004b). Tufos vulcânicos ricos em apatita constituem a maior fonte de fósforo disponível em comparação com fontes marinhas e terrígenas (ornitogênicas).

BERBEL (2008) verificou que as concentrações de fósforo total em sedimentos superficiais da Baía do Almirantado variam de $820,9$ a $1642,7 \mu\text{g P g}^{-1}$, enquanto os teores de fósforo biodisponível estão no intervalo de $17,7$ e $78,1 \mu\text{g g}^{-1}$.

Ao contrario do que ocorre para elementos raros na Terra e outros metais (U, As, Fe, Th, Br, Cr) que já dispõem de uma caracterização vertical em sedimento na Baía do Almirantado (SANTOS *et al.*, 2007), não há estudos que contemplem aspectos geoquímicos da distribuição temporal do fósforo, o qual é um importante elemento constituinte da matéria orgânica.

Neste contexto, o estudo do fósforo em colunas sedimentares da Baía do Almirantado irá agregar um número significativo de novas informações para o

entendimento de processos pós-deposicionais da matéria orgânica em sedimentos marinhos de uma região antártica ainda pouco estudada. Este aspecto ratifica a importância do presente estudo para um conhecimento amplo de uma área onde pesquisas multidisciplinares são desenvolvidas.

O estudo do fósforo em colunas sedimentares de regiões antárticas pode, ainda, ser de grande importância em termos globais. O conhecimento dos teores desse elemento nos sedimentos marinhos em períodos pré e pós-presença antrópica de regiões antárticas pode auxiliar na compreensão dos processos envolvendo o fósforo em regiões temperadas e tropicais, as quais sofrem com intensas ações antrópicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Estudar a distribuição temporal do fósforo como indicador de variações no aporte e condições de preservação e degradação da matéria orgânica no ambiente marinho em colunas sedimentares da Baía do Almirantado, Península Antártica.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar os teores sedimentares de fósforo total em dez testemunhos distribuídos em quatro áreas da Baía do Almirantado.
- Estimar variações no aporte de matéria orgânica sedimentar a partir das variações de concentração do fósforo total.
- Estimar as tendências de preservação e degradação da matéria orgânica sedimentar com base nas frações orgânica e inorgânica do fósforo sedimentar em três áreas da Baía do Almirantado.
- Estabelecer os níveis de base (*background*) para as concentrações de fósforo total no sedimento da Baía do Almirantado.
- Comparar os valores de concentração de fósforo da Baía do Almirantado com outras regiões do globo.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área estudada é a Baía do Almirantado, localizada na Ilha Rei George, Arquipélago Shetland do Sul, Península Antártica (Fig. 1).

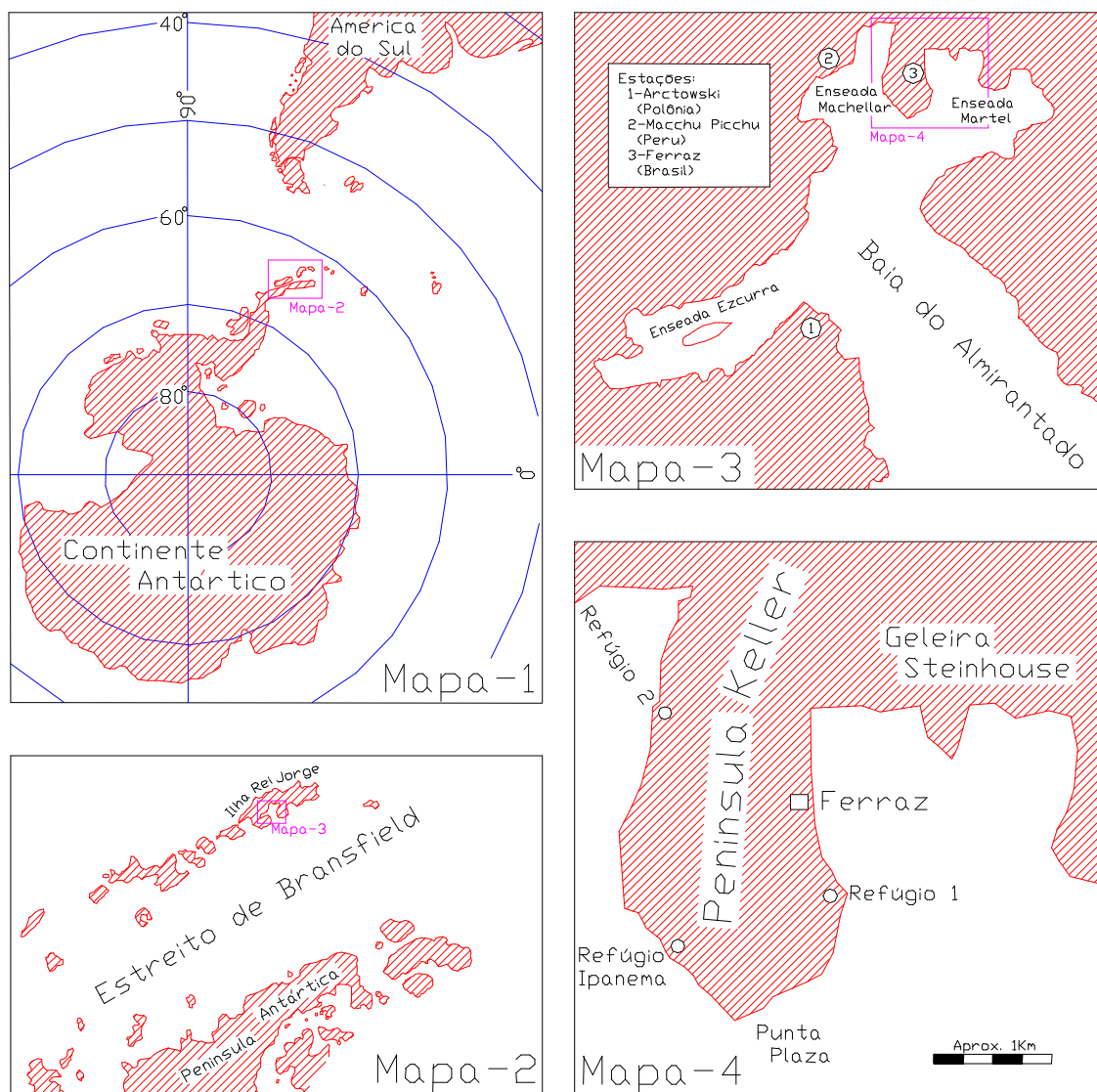


FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO. MAPA 1 – CONTINENTE ANTÁRTICO. MAPA 2 – PENÍNSULA ANTÁRTICA, ESTREITO DE BRANSFIELD E ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL. MAPA 3 – BAÍA DO ALMIRANTADO. MAPA 4 – ENSEADA MARTEL. FONTE: MARTINS (2001)

A Ilha Rei George é a maior ilha do Arquipélago Shetland do Sul, totalizando uma área de 1338 km² (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

A Baía do Almirantado é a maior baía do Arquipélago Shetland do Sul, sendo caracterizada como um *fjord*, o qual se ramifica em enseadas. Possui uma área de 122,08 km². A linha de costa é diversificada e se estende por 83,4 km. A porção oeste da baía é dominada por praias de rochas e seixos, enquanto praias de glaciares prevalecem ao norte e leste (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1995).

As praias a oeste, as quais são de fácil acesso por água, são áreas de especial importância para aves e mamíferos marinhos (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

O fundo da Baía do Almirantado apresenta uma microplataforma com profundidades que alcançam algumas dezenas de metros. A parte central da baía tem uma configuração plana. A profundidade máxima é de 530 metros. A comunicação com o Estreito de Bransfield se dá por meio de uma ampla abertura ao sul (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

Ao norte da baía há três ramos: Enseada Ezcurra a sudoeste; Enseada MacKellar a norte; e Enseada Martel a nordeste (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

As maiores profundidades da Enseada Ezcurra são 270 metros na parte leste e 80 metros a oeste. Na parte central, a leste da Ilha Dufayel, há uma abrupta redução de profundidade para 75 metros. As Enseadas Martel e MacKellar apresentam profundidades bem variáveis, sendo que o fundo tem sido fortemente modificado por processos de erosão e acumulação glacial (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

A Baía do Almirantado apresenta terraços e elevações de fundo, os quais são importantes características morfológicas da região. Essa morfologia favorece a ocorrência de ressurgências na Baía do Almirantado (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

A hidrologia e a hidrodinâmica da Baía do Almirantado são influenciadas por trocas de água com o Estreito de Bransfield, fluxos de água doce do derretimento das geleiras e processos característicos de *fjords*. No fundo da Baía do Almirantado há um fluxo de água fria e salina oriunda no Estreito de Bransfield. Em períodos de ventos predominantes de oeste, essa água entra na Enseada Ezcurra e ressurge na superfície, causando um enriquecimento de nutrientes, aumento de salinidade e redução da temperatura (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

Os ventos, fortes e freqüentes, causam uma intensa mistura das águas superficiais. Estratificações térmicas raramente ocorrem, exceto em períodos de tempo calmo. A principal causa de circulação das águas e sua mistura com águas do Estreito de Bransfield são as marés. Essas, porém, são inconstantes na região, variando irregularmente a cada 5 a 14 horas (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

Um ano de observações na entrada da Baía do Almirantado, na costa sul da Ilha Rei George, indicaram a presença de uma corrente permanente fluindo nas direções nordeste e norte-nordeste. Através do Estreito de Bransfield, essas águas entram na Baía do Almirantado (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1995). Essas águas se movem, então, em direção noroeste para a Enseada Ezcurra e retornam ao Estreito de Bransfield pelo lado leste da baía (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

Em cada uma das enseadas da Baía do Almirantado há uma estação de pesquisa. A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), pertencente ao Brasil, localiza-se na Enseada Martel. Na Enseada MacKellar encontra-se a estação peruana Machu Picchu. A estação polonesa Henryk Arctowski está localizada na Enseada Ezcurra.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostragens

Os pontos de coletas foram escolhidos de acordo com peculiaridades locais. As amostragens foram realizadas nos seguintes pontos (Fig. 2):

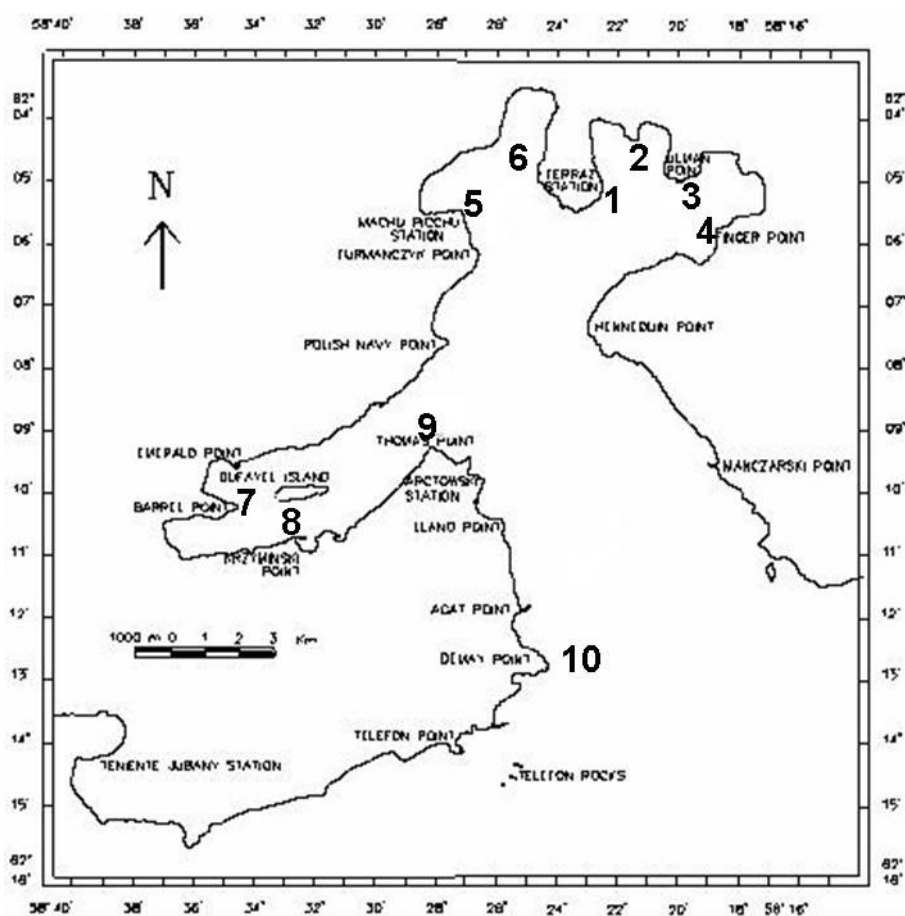


FIGURA 2 - PONTOS DE AMOSTRAGEM DOS TESTEMUNHOS NA BAÍA DO ALMIRANTADO.

- Enseada Martel

1. Ferraz ($62^{\circ}05,033'S$, $058^{\circ}22,898'W$). Esse ponto está localizado a aproximadamente 400 m da saída de esgotos da EACF. A coleta

foi feita a 40 m de profundidade, onde nota-se o aparecimento de sedimentos finos, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica.

2. Steinhouse (62°04,310'S, 058°22,104'W). MARTINS *et al.* (2002) detectaram a presença de indicadores químicos de poluição fecal, sugerindo que o esgoto descartado pela EACF poderia estar atingindo esse local. Esse local é utilizado para a atracação de navios. A coleta foi realizada a aproximadamente 30 metros de profundidade.
 3. Ponta Ulmann (62°05,169'S, 058°159'W). Esse ponto situa-se a leste da Península Keller e a coleta foi feita a aproximadamente 20 metros de profundidade.
 4. Botany Point (62°05,831'S, 058°21,047'W). Na Enseada Martel é o ponto mais distante da EACF. A coleta foi feita a 30 metros de profundidade aproximadamente.
- Enseada MacKellar
 5. Ponta Crepin (62°05,324'S, 058°27,443'W). Esse Ponto corresponde a um local próximo da estação peruana Machu Picchu e, portanto, recebe influência das atividades exercidas nesta estação de pesquisa. O testemunho foi coletado a aproximadamente 30 metros de profundidade.
 6. Refúgio II (62°04,771'S, 058°25,647'W). Situa-se em frente ao módulo de abrigo da estação brasileira na margem oposta à estação peruana. A coleta foi feita a aproximadamente 20 metros de profundidade.

- Enseada Ezcurra
 7. Ponta Barrel (62°10,274'S, 058°35,504'W). Posicionado na porção mais interior da Enseada Ezcurra, esse ponto constitui o local mais distante de qualquer atividade antrópica. A coleta foi feita a uma profundidade de 30 metros, aproximadamente.
 8. Monsimet Cove (62°10,420'S, 058°34,060'W). Situa-se ao sul da Ilha Dufayel. Recebe aporte contínuo da Geleira Roscizewski. A profundidade de coleta foi de 20 metros.
 9. Ponta Thomas (62°09,024'S, 058°28.284'W). Localizado em frente aos tanques da estação polonesa, foi coletado a aproximadamente 30 metros de profundidade.

- Entrada da Baía do Almirantado
 10. Demay Point (62°11,700'S, 058°24,100'W). Situa-se próximo à margem leste da Baía do Almirantado. De acordo com o modelo de circulação proposto por RAKUSA-SUSZCZEWSKI (1980) esse ponto recebe águas do Estreito de Bransfield. Foi coletado com auxílio de navio oceanográfico do programa antártico peruano, a 333 metros de profundidade.

Os testemunhos foram coletados durante as Operações Antárticas XXIV (2005/2006) e XXV (2006/2007). Utilizou-se para isso um testemunhador do tipo *box corer* com capacidade para coletar um pacote sedimentar de até 50 cm. O sedimento amostrado foi então seccionado em parcelas de 1 cm cada. As amostras foram armazenadas em potes plásticos e congeladas até posterior análise.

4.2 Análises Laboratoriais

As análises de fósforo total, fósforo inorgânico total e fósforo orgânico foram realizadas segundo descrito por ASPILA *et al.* (1976) no Laboratório de Biogeoquímica Marinha – CEM/UFPR, coordenado pela Profa. Dra. Eunice da Costa Machado.

A análise para fósforo total consistiu na calcinação de 0,2 gramas de sedimento em mufla (450 °C) por duas horas. Em seguida fez-se a adição de 10 mL de HCl 1 mol L⁻¹ e agitação em mesa agitadora por 16 horas para extração. Em seguida as amostras foram centrifugadas durante 15 minutos a 2500 rpm, sendo então retirada uma alíquota de 0,5 mL, a qual foi completada com 19,5 mL de água deionizada (fator de diluição de 40). Feito isso, seguiu-se como a análise colorimétrica descrita por GRASSHOFF *et al.* (1983) para fósforo inorgânico dissolvido.

A determinação do fósforo inorgânico total foi realizada de modo semelhante ao fósforo total, porém em alíquota de sedimento não calcinado.

Os teores de fósforo orgânico foram obtidos de maneira indireta, a partir da diferença entre o fósforo total e o fósforo inorgânico total ($P_{\text{orgânico}} = P_{\text{total}} - P_{\text{inorgânico total}}$).

A determinação das frações inorgânica e orgânica do fósforo foi realizada apenas em um testemunho de cada enseada. Tais testemunhos foram Ferraz na Enseada Martel, Ponta Crepin na Enseada MacKellar e Ponta Barrel na Enseada Ezcurra.

Os cálculos das concentrações de fósforo total e fósforo inorgânico total no sedimento foram realizados mediante a construção de uma curva de calibração. A partir de uma solução estoque de KH_2PO_4 de $10.000 \mu\text{mol L}^{-1}$ foram realizadas diluições seqüenciais, das quais se obteve as seguintes concentrações de íons fosfato: 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; e $25,0 \mu\text{mol L}^{-1}$. Para determinação do “branco”, ou seja, equivalente a concentração de fosfato igual a zero, utilizou-se apenas água deionizada. A cada uma das soluções foi adicionado $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ conforme o fator de diluição dos extratos. Para cada concentração fez-se a análise colorimétrica descrita por GRASSHOFF *et al.* (1983) para fósforo inorgânico dissolvido em três alíquotas da mesma amostra. Com os resultados obtidos a curva de calibração foi construída e, a partir dela, a equação que relaciona concentração vs absorvância foi determinada.

Para avaliar a reprodutibilidade do método, fez-se a extração em sete réplicas de uma mesma amostra para fósforo total. Com isso, pode-se estimar o percentual médio de desvio padrão das análises.

Os dados granulométricos para sedimentos superficiais dos locais estudados foram obtidos em BERBEL (2008).

5. RESULTADOS

5.1 Curva de calibração e teste de reprodutibilidade

Os resultados para a curva de calibração obtida a partir da solução estoque de KH_2PO_4 são apresentados na Tabela 1 e na Figura 3.

TABELA 1 - RESULTADOS DA CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL E FÓSFORO INORGÂNICO

[] P ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0,0	1,0	2,5	5,0	10,0	25,0
Absorbância	0,0603	0,1499	0,3035	0,5820	1,1366	2,7992
	0,0435	0,1510	0,3059	0,5851	1,1416	2,8341
	0,0350	0,1422	0,3116	0,5839	1,1409	2,7992

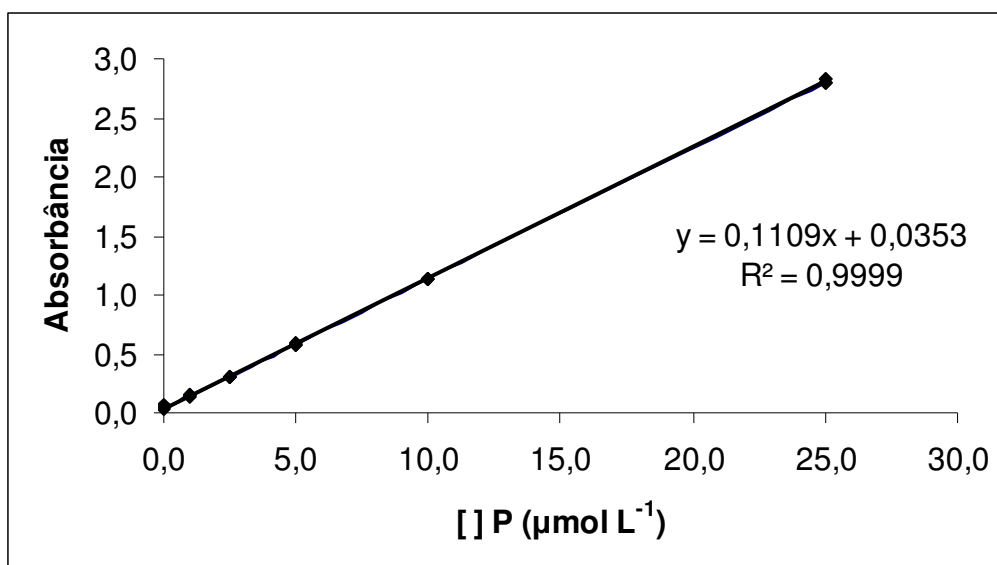


FIGURA 3 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL E FÓSFORO INORGÂNICO

Com base nessa curva de calibração, determinou-se a equação que permitiu calcular os teores de fósforo total e fósforo inorgânico total no sedimento. Tal equação é expressa por: $y = 0,1109 \cdot x + 0,0353$, onde y

corresponde a absorvância e x equivale a concentração de fósforo. O coeficiente de correlação linear dessa equação (R^2) foi de 0,9999.

Os resultados do teste de reprodutibilidade do método são demonstrados na Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS DO TESTE DE REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO

<i>Réplica</i>	<i>[] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>[] Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Desvio Padrão Relativo (%)</i>
1	790,1			
2	697,8			
3	837,1*			
4	728,5	740,9	37,6	5,1
5	670,3*			
6	768,7			
7	719,3			

* Valores desconsiderados no cálculo da média e desvio padrão.

A amostra adotada para a realização do teste (Ponta Crepin 13 -15) foi escolhida por duas razões principais: (I) por apresentar valor de concentração semelhante às médias de todos os perfis de distribuição de fósforo na Baía do Almirantado; (II) por ser uma amostra localizada na base do testemunho, que já teria sofrido os processos de transformação no sedimento e se encontra imobilizada nesse compartimento.

O valor médio encontrado no teste, descartando a maior e a menor concentração, foi $740,9 \mu\text{g g}^{-1}$ e o desvio padrão foi 37,6. Em relação à média encontrada, esse valor representa 5,1%. A esse valor foi atribuída a variabilidade do método, sendo então considerado o desvio padrão médio relativo das análises. Esse valor foi adotado em todas as amostras dos perfis de distribuição do fósforo.

5.2 Distribuição Vertical do Fósforo na Enseada Martel

As variações registradas nas concentrações de fósforo que estiveram acima ou abaixo de 10% do valor médio de concentração de fósforo observado em cada coluna sedimentar foram consideradas como variações significativas. Esse intervalo de 10% em relação à média foi o valor adotado para esse trabalho.

5.2.1 Fósforo Total

O perfil vertical de distribuição do fósforo total para Ferraz é apresentado na Figura 4.

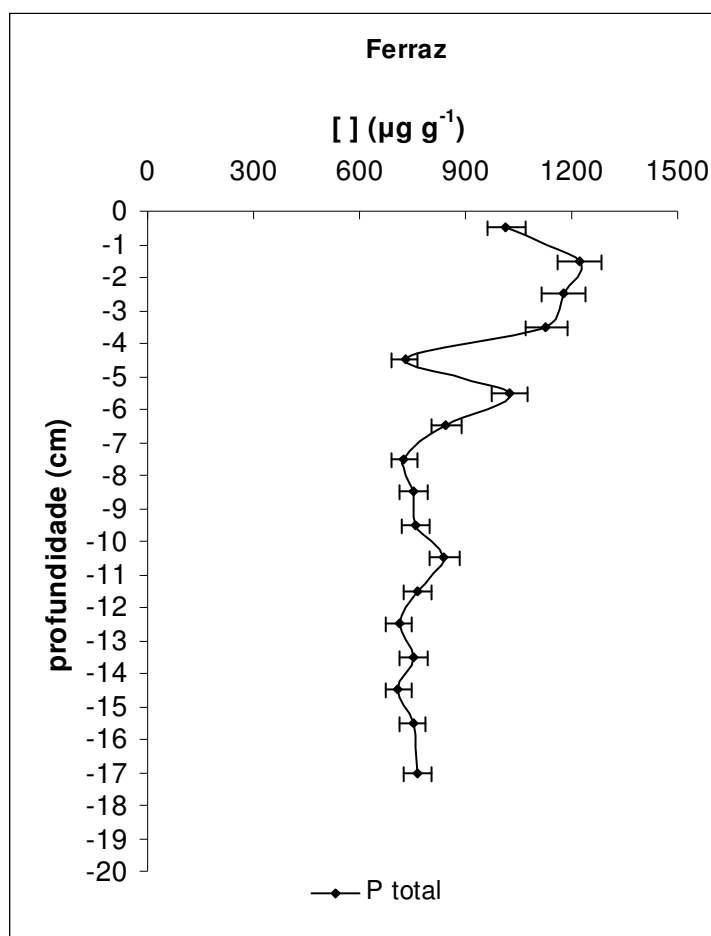


FIGURA 4 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ

O valor médio de concentração de fósforo total para esse testemunho foi de $863,5 \pm 171,5 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão foi de 19,9% (Tab. 3). Isso indica que há uma variação significativa nos teores de fósforo total ao longo da coluna sedimentar.

As concentrações de fósforo total apresentaram pouca variação desde a base do testemunho (17 cm) até a seção 7,5 cm. Porém, as concentrações de fósforo total encontradas nesse intervalo foram cerca de 10% menores que o valor médio observado para esse testemunho, exceto para a seção 10,5 cm.

TABELA 3 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA MARTEL.

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Ferraz 40m [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Steinhouse [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Ponta Ulmann [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Botany Point [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>
- 0,5	1015,8 ^a	971,6	854,3 ^a	798,9
- 1,5	1223,1 ^a	872,0	760,2	791,4
- 2,5	1177,9 ^a	841,3	785,9	767,8
- 3,5	1129,0 ^a	898,0	754,6	736,1
- 4,5	727,7 ^b	895,4	775,5	719,2
- 5,5	1025,4 ^a	1147,4 ^a	764,0	738,9
- 6,5	845,5	1143,8 ^a	737,6	762,4
- 7,5	726,4 ^b	1033,3 ^a	661,8 ^b	756,5
- 8,5	754,3 ^b	1090,0 ^a	-	792,4
- 9,0	-	-	694,7*	-
- 9,5	759,4 ^b	973,0	-	836,1
- 10,5	840,2	815,0 ^b	776,3	741,8
- 11,5	762,6 ^b	828,0	773,2	739,0
- 12,5	712,0 ^b	921,0	749,7	785,0
- 13,5	752,9 ^b	854,9	730,3	822,0
- 14,5	709,6 ^b	844,4	749,9	771,7
- 15,5	750,6 ^b	852,6	755,0	806,4
- 16,5	-	859,5	714,4	-
- 17,0	766,3 ^b	-	-	-
- 17,5	-	838,8	-	-
- 18,0	-	-	725,1*	-
- 18,5	-	830,9	-	-
- 19,5	-	845,5	-	-
média	863,5	917,8	750,7	772,8
desvio padrão	171,5	106,7	41,6	33,7
% desvio padrão	19,9	11,6	5,5	4,4

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

* seções em que o testemunho foi seccionado a cada 2 cm

A partir da seção 6,5 cm nota-se uma tendência de enriquecimento nas concentrações de fósforo total, exceto pela redução observada em 4,5 cm. Esse enriquecimento torna-se significativo para esse testemunho, uma vez que as concentrações observadas nessas seções do testemunho estão 10% acima do valor médio obtido.

A Figura 5 mostra o perfil vertical de distribuição do fósforo total para Steinhouse. O valor médio observado nessa coluna sedimentar foi de $917,8 \pm 106,7 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo o percentual do desvio padrão igual a 11,6% (Tab. 3). Esse valor percentual indica que houve uma variação significativa nas concentrações de fósforo total ao longo desse testemunho.

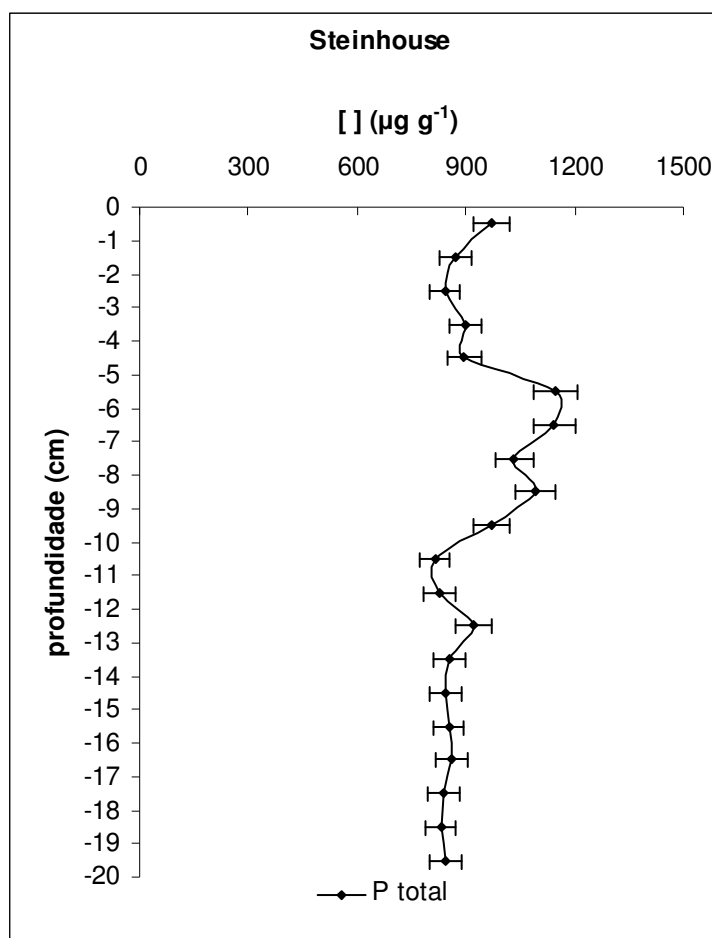


FIGURA 5 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM STEINHOUSE

Os teores de fósforo total mostraram pouca variação desde a base do testemunho (19,5 cm) e a seção 10,5 cm. A variação apresentada nesse intervalo do testemunho foi considerada não significativa, pois os teores de fósforo estão dentro do intervalo de 10% em relação à média observada.

Houve um enriquecimento significativo nas concentrações de fósforo total entre as seções 8,5 e 5,5 cm. Os valores observados estão 10% acima em relação ao valor médio relatado para essa coluna sedimentar. Entre a seção 4,5 cm e o topo do testemunho há uma redução nos teores de fósforo total em relação às seções anteriores. Nesse intervalo, a variação dos teores de fósforo total em relação ao valor médio do testemunho foi inferior a 10% da média, não sendo considerados como variações significativas.

O perfil vertical de distribuição do fósforo total para Ponta Ulmann é apresentado na Figura 6. O valor médio de concentração de fósforo total observado para esse testemunho foi de $750,7 \pm 41,6 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo de 5,5% o percentual de desvio padrão (Tab. 3). Tal percentual indica que não houve variações significativas nos teores de fósforo total para esse testemunho.

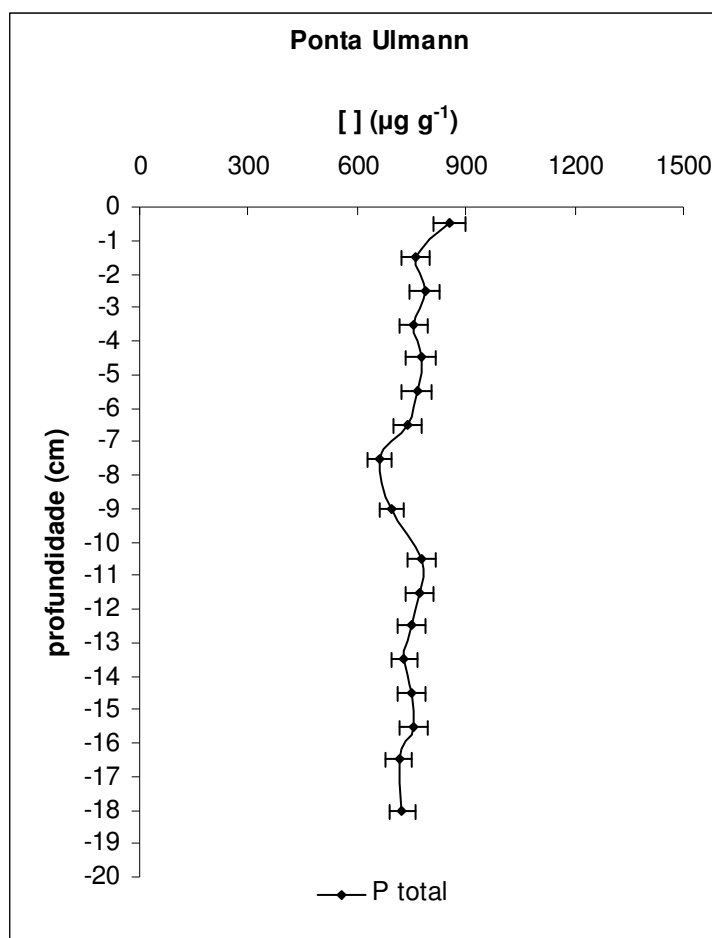


FIGURA 6 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA ULMANN

Os teores de fósforo total pouco variaram desde a base do testemunho (18 cm) até a seção 10,5 cm. Entre as seções 9 e 7,5 cm observou-se uma pequena redução nos teores de fósforo total. Porém, apenas foi considerada como significativa a variação apresentada em 7,5 cm, uma vez que a

concentração nessa profundidade foi abaixo de 10% do valor médio obtido para fósforo total nesse testemunho.

Entre as seções 6,5 e 1,5 cm não houve uma variação significativa nos teores de fósforo total. Já no topo do testemunho foi observado um leve enriquecimento na concentração de fósforo total, o qual foi considerado significativo, pois a concentração observada está acima de 10% do valor médio desse testemunho.

A Figura 7 apresenta o perfil vertical de distribuição do fósforo total para Botany Point.

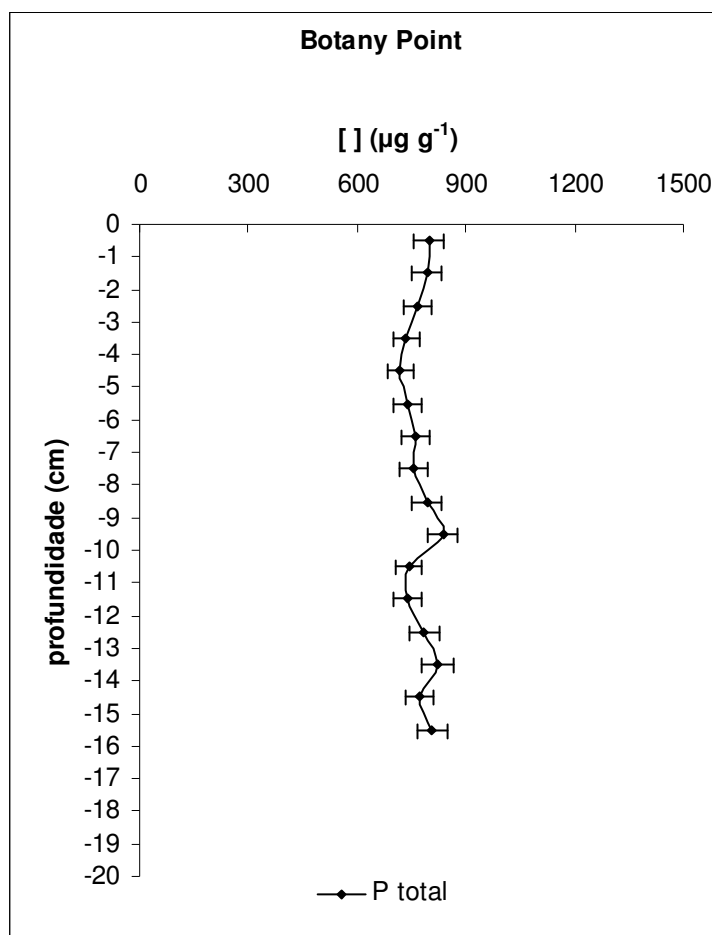


FIGURA 7 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM BOTANY POINT

O valor médio de concentração de fósforo nessa coluna sedimentar foi de $772,8 \pm 33,7 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual de variação do desvio padrão em relação

à média foi de 4,4% (Tab. 3). Tal percentual indica que a variação nos teores de fósforo total ao longo da coluna sedimentar não foi significativa. Embora pequenas oscilações nos teores de fósforo total sejam observadas ao longo da coluna de sedimentar, estas variações não foram significativas, uma vez que todos os valores encontrados estiveram dentro de uma faixa de variação de 10% do valor médio obtido para esse testemunho.

Entre a base do testemunho (15,5 cm) e a seção 9,5 cm leves oscilações podem ser observadas. Da seção 8,5 cm até a seção 4,5 cm, nota-se uma suave tendência de decréscimo nos teores de fósforo. Já entre a seção 3,5 cm e o topo do testemunho, verifica-se uma tendência de enriquecimento nos teores de fósforo.

5.2.2 Fósforo Inorgânico e Orgânico

A Figura 8 apresenta o perfil vertical de distribuição do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico para Ferraz.

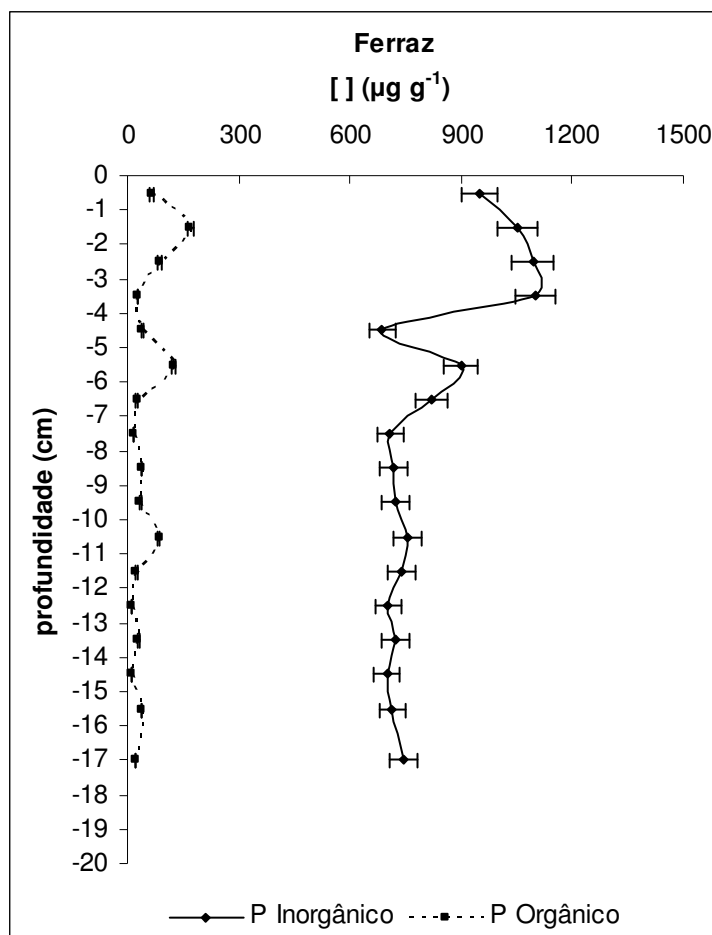


FIGURA 8 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM FERRAZ

A concentração média observada de fósforo inorgânico foi $813,9 \pm 147,1$ $\mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão em relação à média foi 18,1% (Tab. 4). Isso indica uma variação significativa nas concentrações de fósforo inorgânico ao longo do testemunho. O fósforo orgânico apresentou concentração média de $49,5 \pm 43,5$ $\mu\text{g g}^{-1}$, sendo o percentual de desvio padrão sobre a média de 87,9% (Tab. 4). Tal valor é um indicativo de que as variações de concentração ocorridas ao longo do testemunho foram muito significativas.

As concentrações de fósforo inorgânico pouco variaram desde a base do testemunho (17 cm) e a seção 7,5 cm. Com exceção das seções 11,5 e 10,5, as concentrações observadas estão abaixo de 10% do valor médio obtido para fósforo inorgânico nesse testemunho.

Em 5,5 cm houve um aumento significativo na concentração de fósforo inorgânico, o qual foi seguido por uma redução na seção superior (4,5 cm). A partir da seção 3,5 cm até o topo do testemunho houve um significativo enriquecimento de fósforo inorgânico. Do ponto de vista qualitativo, esse perfil se assemelha ao perfil vertical de fósforo total (Fig. 4).

As concentrações de fósforo orgânico apresentaram importantes variações ao longo do testemunho. As oscilações mais significativas ocorreram nas seções 10,5, 5,5 e 1,5 cm, nas quais foi identificado um destacado aumento nas concentrações de fósforo orgânico em relação às demais profundidades.

A Figura 9 apresenta o perfil vertical das proporções do fósforo inorgânico e orgânico em relação ao total para Ferraz.

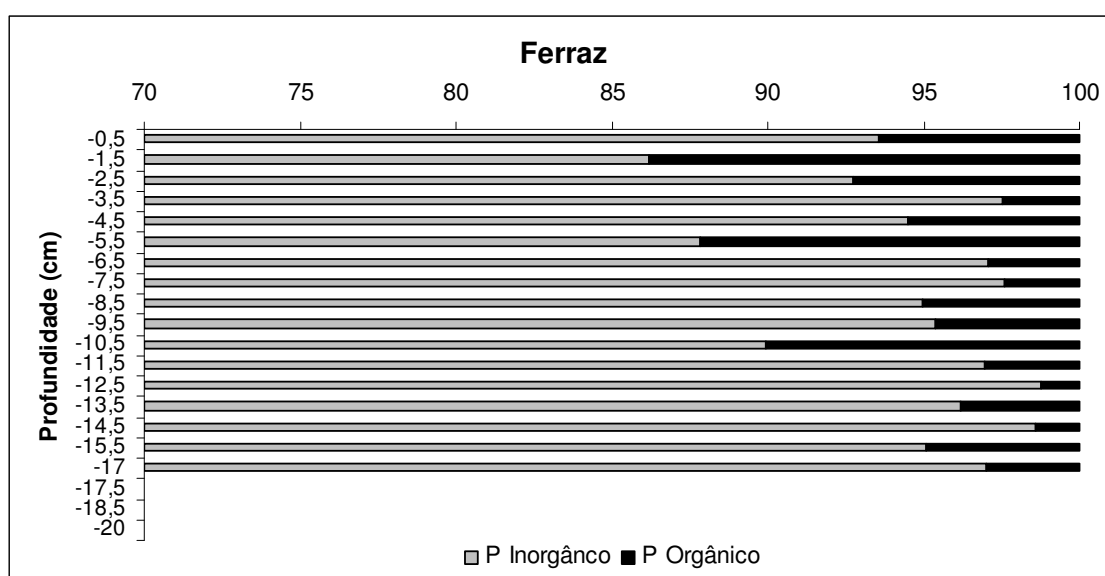


FIGURA 9 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ

TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>[] P Inorgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>[] P Orgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>% P Inorgânico</i>	<i>% P Orgânico</i>
- 0,5	950,6 ^a	65,2	93,6	6,4
- 1,5	1054,5 ^a	168,5	86,2	13,8
- 2,5	1092,8 ^a	85,1	92,8	7,2
- 3,5	1101,0 ^a	28,0	97,5	2,5
- 4,5	687,8 ^b	39,9	94,5	5,5
- 5,5	900,5 ^a	124,9	87,8	12,2
- 6,5	821,0	24,5	97,1	2,9
- 7,5	708,9 ^b	17,5	97,6	2,4
- 8,5	716,4 ^b	38,0	95,0	5,0
- 9,5	724,4 ^b	35,0	95,4	4,6
- 10,5	755,7	84,5	89,9	10,1
- 11,5	739,4	23,3	96,9	3,1
- 12,5	703,1 ^b	8,8	98,8	1,2
- 13,5	724,1 ^b	28,7	96,2	3,8
- 14,5	699,8 ^b	9,9	98,6	1,4
- 15,5	713,6 ^b	37,0	95,1	4,9
- 17,0	743,4 ^b	22,9	97,0	3,0
média	813,9	49,5	94,7	5,3
desvio padrão	147,1	43,5	3,7	3,7
% desvio padrão	18,1	87,9	3,9	69,1

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

De modo geral, os teores de fósforo inorgânico prevaleceram sobre os teores de fósforo orgânico ao longo do testemunho. O fósforo inorgânico representou mais de 90% do total, exceto pelas seções 10,5, 5,5 e 1,5 cm, onde os teores de fósforo orgânico foram proporcionalmente maiores.

5.3 Distribuição Vertical do Fósforo na Enseada MacKellar

5.3.1 Fósforo Total

O perfil vertical de distribuição do fósforo total para Ponta Crepin é apresentado na Figura 10. A concentração média de fósforo total observada nesse testemunho foi $792,0 \pm 99,5 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão em

relação à média foi de 12,6% (Tab. 5). Esse valor indica uma variação significativa nas concentrações de fósforo ao longo do testemunho.

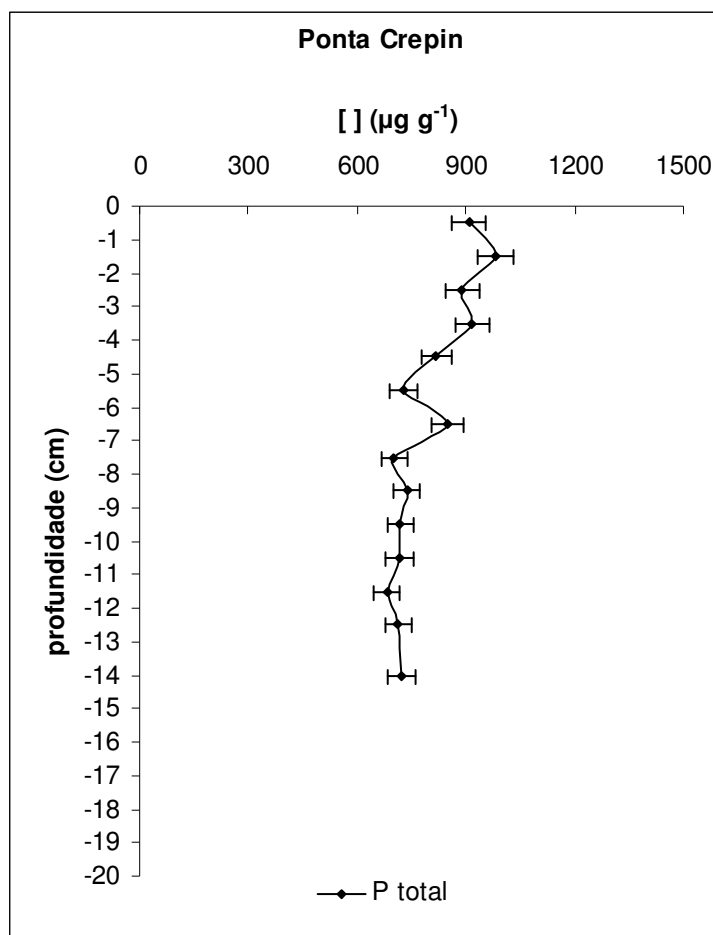


FIGURA 10 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN

As concentrações de fósforo apresentaram pouca variação desde a base do testemunho (14 cm) e a seção 7,5 cm. Em 6,5 cm houve um aumento significativo na concentração de fósforo total, estando essa acima de 10% do valor médio obtido para esse testemunho.

A partir da seção 5,5 cm houve um enriquecimento nos teores de fósforo total, sendo que valores acima de 10% do valor médio ocorreram entre a seção 3,5 cm e o topo do testemunho.

TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA MACKELLAR

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Ponta Crepin [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Refúgio II [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>
- 0,5	908,6 ^a	763,6 ^b
- 1,5	983,3 ^a	1116,5 ^a
- 2,5	890,3 ^a	1236,5 ^a
- 3,5	917,0 ^a	1223,1 ^a
- 4,5	816,5	908,9
- 5,5	729,0	1054,5
- 6,5	850,7	1186,2 ^a
- 7,5	701,5 ^b	1037,0
- 8,5	737,1	911,6
- 9,5	719,6	922,0
- 10,5	717,0	963,2
- 11,5	682,1 ^b	914,6
- 12,5	712,7 ^b	961,7
- 14	723,1	818,2 ^b
média	792,0	1001,2
desvio padrão	99,5	146,6
% desvio padrão	12,6	14,6

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

A Figura 11 mostra o perfil vertical de distribuição do fósforo total em Refugio II. O valor médio de concentração observado foi $1001,2 \pm 146,6 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo de 14,6% o percentual do desvio padrão em relação à média (Tab. 5). Tal valor indica uma variação significativa nas concentrações de fósforo total nessa coluna sedimentar.

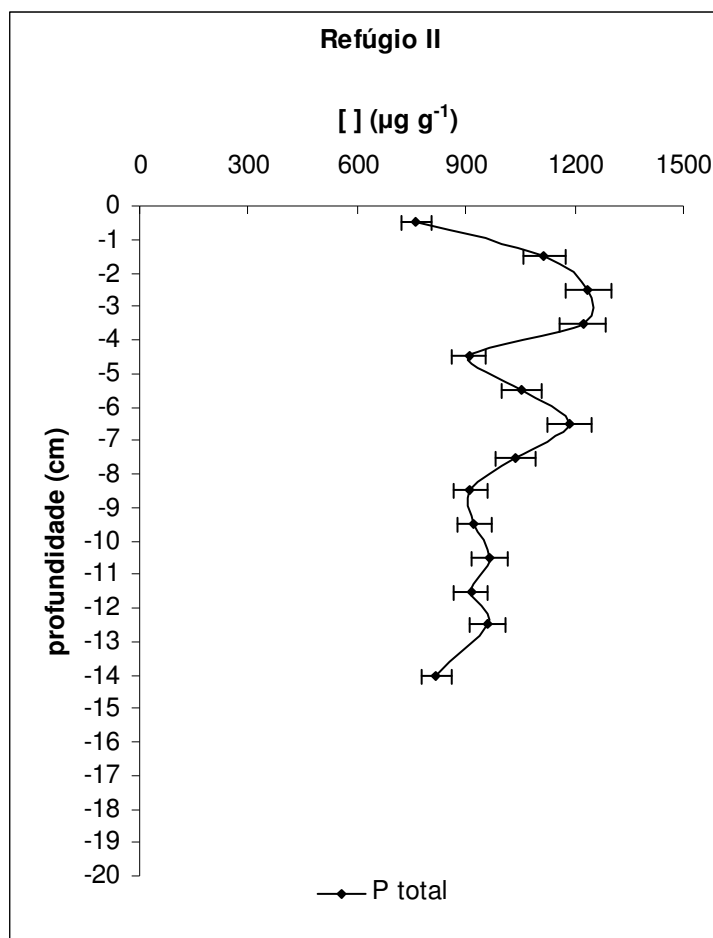


FIGURA 11 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM REFUGIO II

A base da coluna sedimentar (14 cm) apresentou uma variação significativa em relação às seções superiores, pois a concentração registrada foi inferior a 10% do valor médio. Entre as seções 12,5 e 8,5 cm não houve variações significativas nas concentrações de fósforo total.

Em 6,5 cm e entre as seções 3,5 e 1,5 cm há um aumento significativo nas concentrações de fósforo total, estando os valores acima de 10% do valor médio obtido para essa coluna. Porém, no topo da coluna sedimentar houve uma abrupta redução na concentração de fósforo total.

5.3.2 Fósforo Inorgânico e Orgânico

O perfil vertical de distribuição do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico em Ponta Crepin é apresentado na Figura 12.

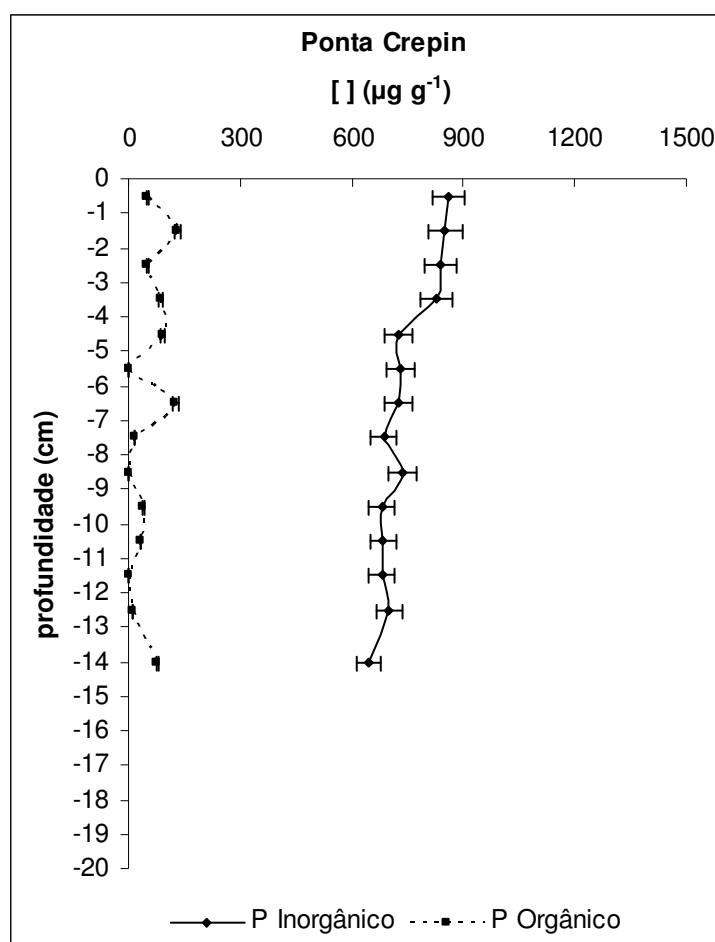


FIGURA 12 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM PONTA CREPIN

A concentração média de fósforo inorgânico nessa coluna sedimentar foi $741,4 \pm 72,3 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão em relação à média foi 9,8% (Tab. 6). Esse valor indica que houve poucas variações significativas nas concentrações de fósforo inorgânico ao longo dessa coluna sedimentar. O valor médio de concentração para fósforo orgânico foi $50,6 \pm 45,4 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo o percentual do desvio padrão sobre a média igual a 89,7% (Tab. 6).

A base do testemunho (14 cm) apresentou concentração de fósforo inorgânico abaixo de 10% do valor médio para essa coluna, sendo considerada uma variação significativa. Entre a seção 12,5 e 4,5 cm houve poucas variações nas concentrações de fósforo inorgânico, as quais não foram significativas em relação ao valor médio observado.

Entre a seção 3,5 cm e o topo da coluna sedimentar houve um enriquecimento nas concentrações de fósforo inorgânico. Tal aumento nas concentrações nessas seções foi significativo, pois os valores observados estão acima de 10% do valor médio.

As concentrações de fósforo orgânico apresentaram grandes variações ao longo do testemunho. As variações mais significativas ocorreram nas seções de 14, 6,5, 4,5, 3,5 e 1,5 cm, onde houve um marcado aumento nas concentrações de fósforo orgânico, em relação ao valor médio.

TABELA 6 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN

Profundidade (cm)	[] P Inorgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)	[] P Orgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)	% P Inorgânico	% P Orgânico
- 0,5	858,7 ^a	49,9	94,5	5,5
- 1,5	852,0a	131,3	86,6	13,4
- 2,5	839,4 ^a	50,9	94,3	5,7
- 3,5	829,4 ^a	87,6	90,4	9,6
- 4,5	726,1	90,4	88,9	11,1
- 5,5	729,0	ND	100,0	ND
- 6,5	724,9	125,8	85,2	14,8
- 7,5	687,0	14,5	97,9	2,1
- 8,5	737,1	ND	100,0	ND
- 9,5	681,0	38,6	94,6	5,4
- 10,5	685,3	31,7	95,6	4,4
- 11,5	682,1	ND	100,0	ND
- 12,5	701,4	11,3	98,4	1,6
- 14,0	646,2 ^b	76,9	89,4	10,6
média	741,4	50,6	94,0	6,0
desvio padrão	72,3	45,4	5,1	5,1
% desvio padrão	9,8	89,7	5,4	84,8

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

ND - não detectado

O perfil vertical das proporções de fósforo inorgânico e do fósforo orgânico em relação ao total para Ponta Crepin é apresentado na Figura 13.

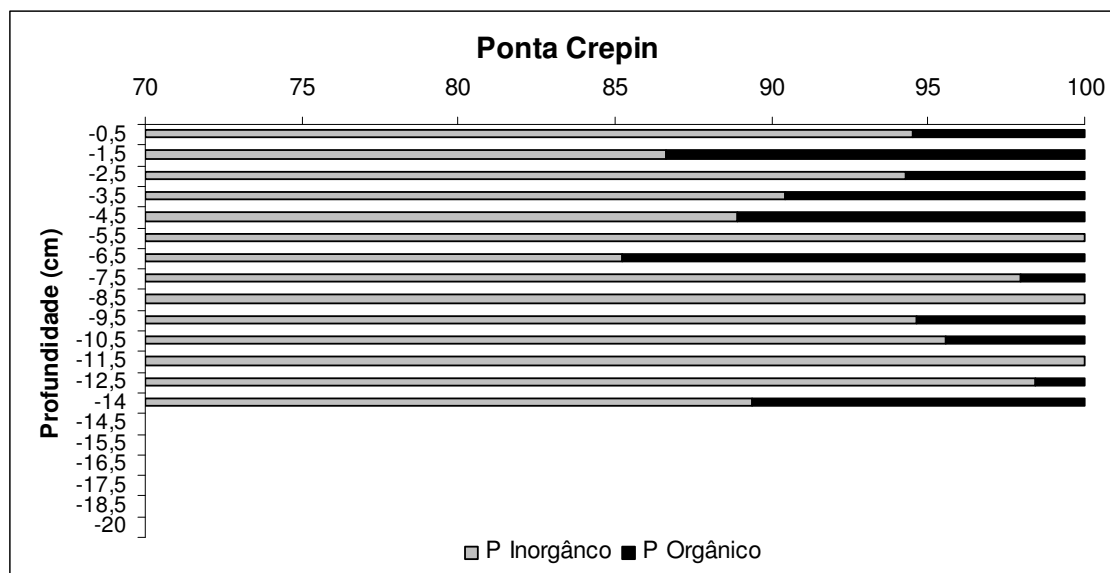


FIGURA 13 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA CREPIN

Os maiores teores de fósforo inorgânico ocorreram entre as seções 12,5 e 7,5 cm, 5,5, 3,5, 2,5 cm e topo. Nessas seções o fósforo inorgânico representou acima de 90% do total, sendo que nas seções de 9,5 e 5,5 cm o fósforo inorgânico representou 100% do total.

Na base do testemunho (14 cm) e nas seções 6,5, 4,5 e 1,5 cm os teores de fósforo orgânico respondem pelo aumento significativo nos teores de fósforo total verificados anteriormente.

5.4 Distribuição Vertical do Fósforo na Enseada Ezcurra

5.4.1 Fósforo Total

A Figura 14 mostra o perfil vertical de distribuição do fósforo total em Ponta Barrel. A concentração média observada nesse testemunho foi $875,5 \pm 79,9 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão em relação à média foi 9,1% (Tab 7). Esse percentual indica que houve poucas variações significativas de concentração ao longo do testemunho.

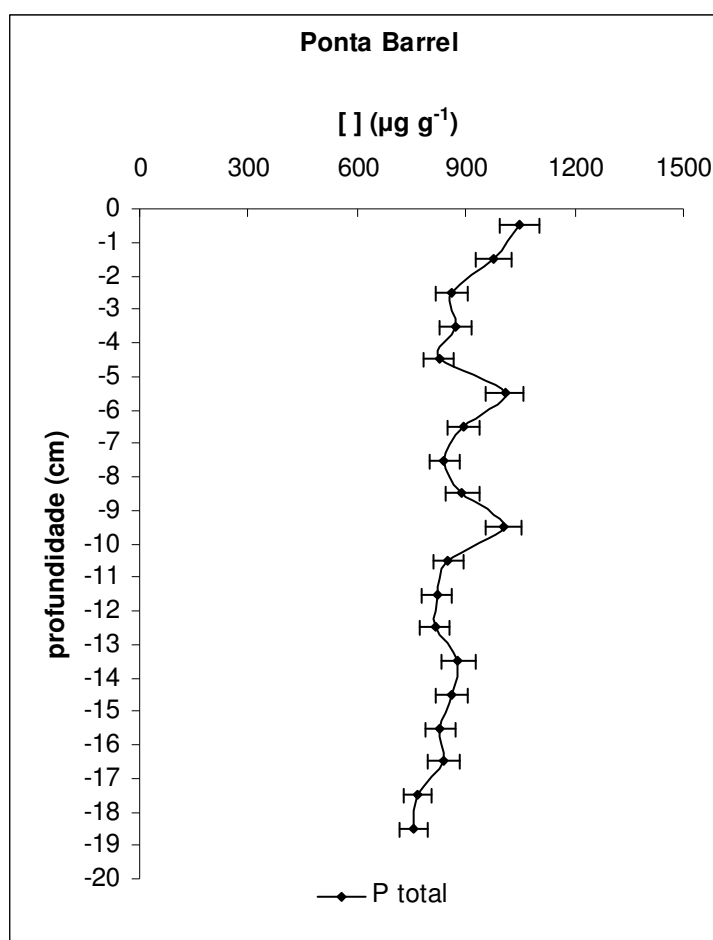


FIGURA 14 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL

Na base do testemunho (18,5 e 17,5 cm) verifica-se uma redução significativa nas concentrações de fósforo total em relação à média, uma vez

que os valores encontrados estão 10% abaixo da média obtida para esse testemunho. Entre as seções 16,5 e 10,5 cm não ocorre variação significativa nas concentrações de fósforo total.

Na seção 9,5 cm, há um significativo enriquecimento de fósforo total. Entre as seções 8,5 e 6,5 cm, as concentrações apresentam uma redução, porém se encontram na faixa de variação de 10% em relação à média. Em 5,5 cm há novamente um enriquecimento significativo nos valores de concentração de fósforo.

Entre as seções 4,5 e 2,5 cm os valores encontrados estão dentro do percentual de variação da média de concentração do testemunho. Entretanto, observa-se no topo do testemunho (1,5 e 0,5 cm) um aumento significativo nas concentrações de fósforo total, com valores superiores a 10% da média.

TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NOS TESTEMUNHOS DA ENSEADA EZCURRA

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Ponta Barrel [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Ponta Thomas [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>Monsimet Cove [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>
- 0,5	1047,0 ^a	736,1	691,1 ^a
- 1,5	976,5 ^a	736,1	650,2 ^a
- 2,5	862,8	758,8	586,9
- 3,5	871,1	670,0	556,9
- 4,5	826,2	684,4	526,3
- 5,5	1007,5 ^a	694,4	516,2
- 6,5	892,8	663,4	541,6
- 7,5	840,2	671,5	507,4
- 8,5	890,5	744,0	515,3
- 9,5	1003,5 ^a	680,9	496,7
- 10,5	851,7	699,6	465,3 ^b
- 11,5	820,6	681,9	481,0 ^b
- 12,5	815,8	699,0	491,6
- 13,5	879,2	-	506,6
- 14,5	860,7	-	505,9
- 15,5	828,4	-	-
- 16,5	838,1	-	-
- 17,5	768,7 ^b	-	-
- 18,5	753,7 ^b	-	-
média	875,5	701,5	535,9
desvio padrão	79,9	31,6	62,8
% desvio padrão	9,1	4,5	11,7

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

O perfil vertical de distribuição do fósforo total para Ponta Thomas é apresentado na Figura 15.

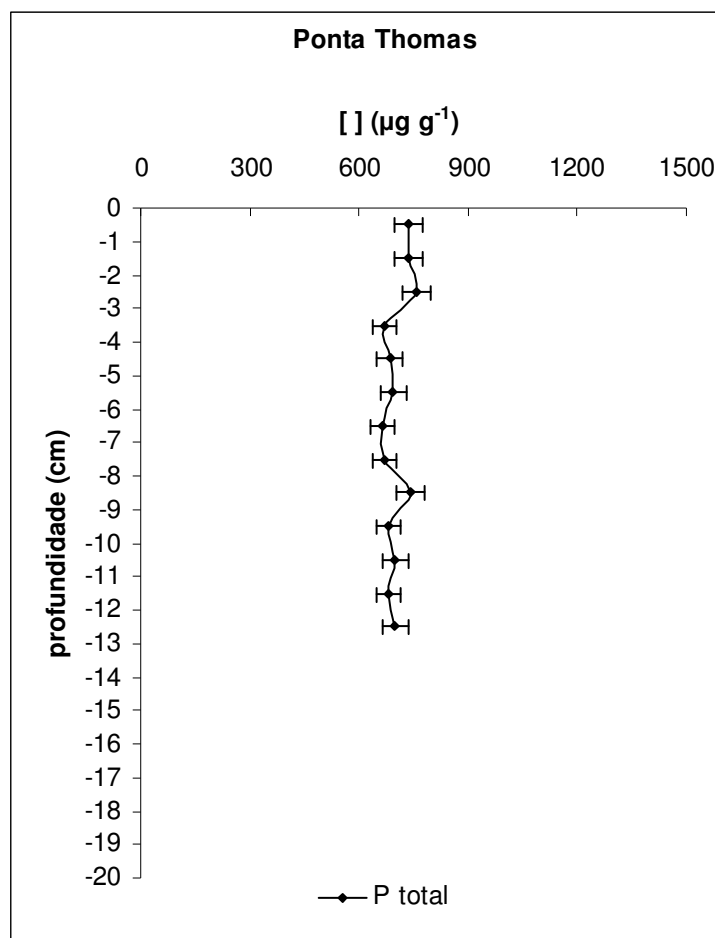


FIGURA 15 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA THOMAS

O valor médio de concentração foi de $701,5 \pm 31,6 \mu\text{g g}^{-1}$ e o desvio padrão relativo foi de 4,5% (Tab. 7). Tal percentual indica que não houve variações significativas nos teores de fósforo total ao longo dessa coluna sedimentar.

Entre a base da coluna sedimentar (12,5 cm) e a seção 9,5 cm, os teores de fósforo não apresentam variações significativas. Na seção 8,5 cm há um pequeno acréscimo no teor de fósforo total, mas não configura uma variação significativa, pois não está acima de 10% do valor médio.

Entre as seções 7,5 e 3,5 cm os teores de fósforo se encontram dentro da faixa de 10% de variação em relação à média. A partir da seção de 2,5 cm há um leve aumento nos teores de fósforo total, o qual permanece até o topo da coluna sedimentar. No entanto, tal aumento não se configura um acréscimo significativo nos teores de fósforo total.

O perfil vertical de distribuição do fósforo total em Monsimet Cove é apresentado na Figura 16.

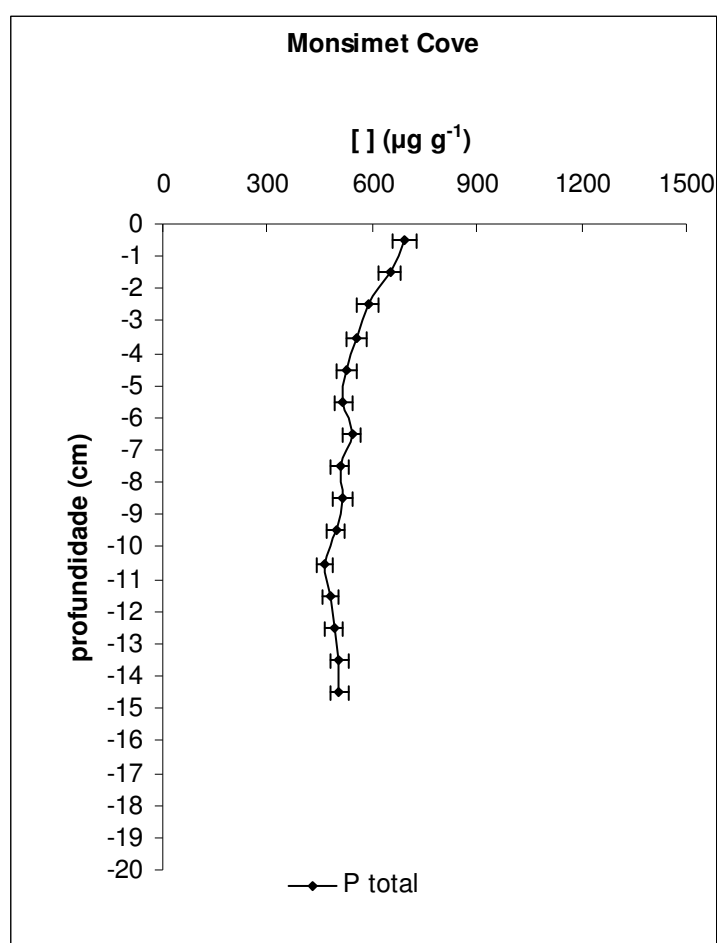


FIGURA 16 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM MONSIMET COVE

A concentração média observada nesse testemunho foi $535,9 \pm 62,8 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão em relação à média foi 11,7% (Tab. 7). Isso indica uma variação significativa nas concentrações de fósforo total ao longo do testemunho.

Entre a base do testemunho (14,5 cm) e a seção 12,5 cm não houve variação significativa nas concentrações de fósforo total. Porém, nas seções 11,5 e 10,5 cm há uma redução nas concentrações de fósforo total, estando essas abaixo de 10% do valor médio observado para o testemunho.

A partir da seção 9,5 cm observa-se um discreto aumento nas concentrações de fósforo total. Entretanto, tal aumento somente é considerado significativo no topo do testemunho (1,5 e 0,5 cm), onde as concentrações estão acima de 10% do valor médio encontrado.

5.4.2 Fósforo Inorgânico e Orgânico

O perfil vertical de distribuição do fósforo inorgânico e fósforo orgânico para Ponta Barrel é apresentado na Figura 17.

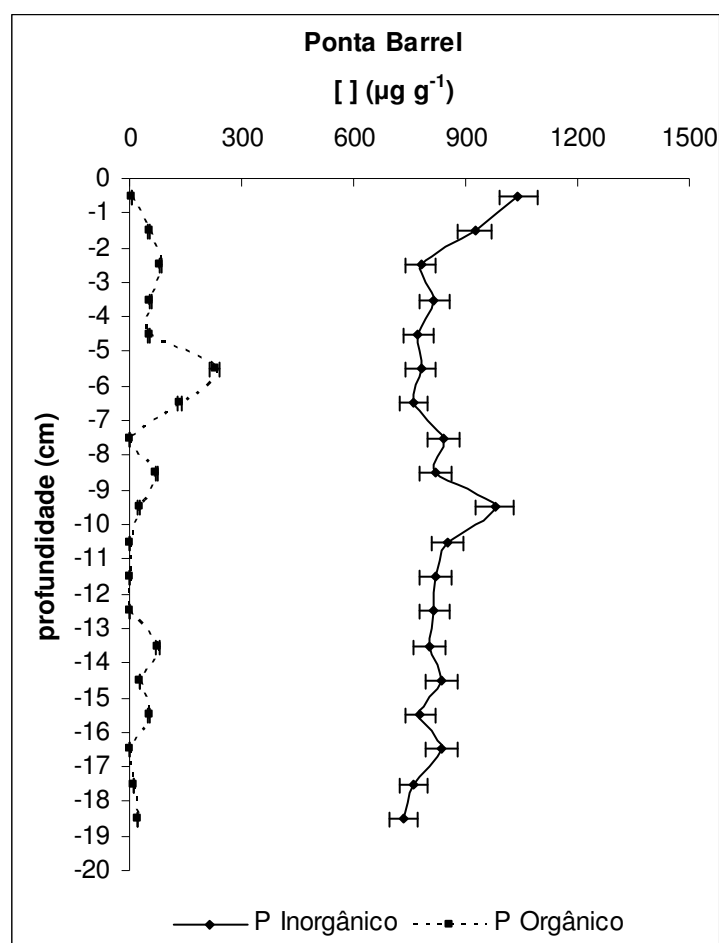


FIGURA 17 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM PONTA BARREL

A concentração média de fósforo inorgânico foi $828,8 \pm 77,5 \mu\text{g g}^{-1}$ e o percentual do desvio padrão sobre a média foi 9,4% (Tab. 8). Esse percentual indica que, embora o desvio padrão seja baixo, variações significativas podem ser observadas. O valor médio de concentração de fósforo orgânico foi $46,7 \pm 57,1 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo o percentual do desvio padrão em relação à média de 122,3% (Tab. 8). Tal percentual mostra uma elevada variabilidade nos teores de fósforo orgânico ao longo do testemunho.

TABELA 8 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E FÓSFORO ORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>[] P Inorgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>[] P Orgânico ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>	<i>% P Inorgânico</i>	<i>% P Orgânico</i>
- 0,5	1041,9 ^a	5,2	99,5	0,5
- 1,5	924,4 ^a	52,1	94,7	5,3
- 2,5	780,5	82,3	90,5	9,5
- 3,5	815,8	55,3	93,7	6,3
- 4,5	773,9	52,3	93,7	6,3
- 5,5	779,5	228,1	77,4	22,6
- 6,5	760,0	132,8	85,1	14,9
- 7,5	840,2	ND	100,0	ND
- 8,5	819,8	70,6	92,1	7,9
- 9,5	979,1 ^a	24,4	97,6	2,4
- 10,5	851,7	ND	100,0	ND
- 11,5	820,6	ND	100,0	ND
- 12,5	815,8	ND	100,0	ND
- 13,5	803,2	75,9	91,4	8,6
- 14,5	833,6	27,1	96,9	3,1
- 15,5	777,4	51,0	93,8	6,2
- 16,5	838,1	ND	100,0	ND
- 17,5	759,7	8,9	98,8	1,2
- 18,5	732,4 ^b	21,4	97,2	2,8
média	828,8	46,7	94,8	5,2
desvio padrão	77,5	57,1	5,9	5,9
% desvio padrão	9,4	122,3	6,2	114,9

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

ND - não detectado

A base do testemunho (18,5 cm) apresentou concentração de fósforo inorgânico abaixo de 10% do valor médio encontrado, sendo uma variação

significativa. Entre as seções 17,5 e 10,5 cm, as concentrações de fósforo inorgânico permaneceram constantes.

Em 9,5 cm, houve um aumento significativo nas concentrações de fósforo inorgânico. Entre as seções 8,5 e 2,5 cm as concentrações variaram dentro do intervalo de 10% em relação ao valor médio. No topo do testemunho (1,5 e 0,5 cm) houve um enriquecimento significativo de fósforo inorgânico. As concentrações de fósforo orgânico apresentaram grande variabilidade ao longo do testemunho. As variações mais significativas ocorreram nas de seções 13,5, 8,5, 6,5, 5,5 e 2,5 cm, onde houve um destacado aumento nas concentrações de fósforo orgânico.

O perfil vertical das proporções do fósforo inorgânico e fósforo orgânico em relação ao total para Ponta Barrel é apresentado na Figura 18.

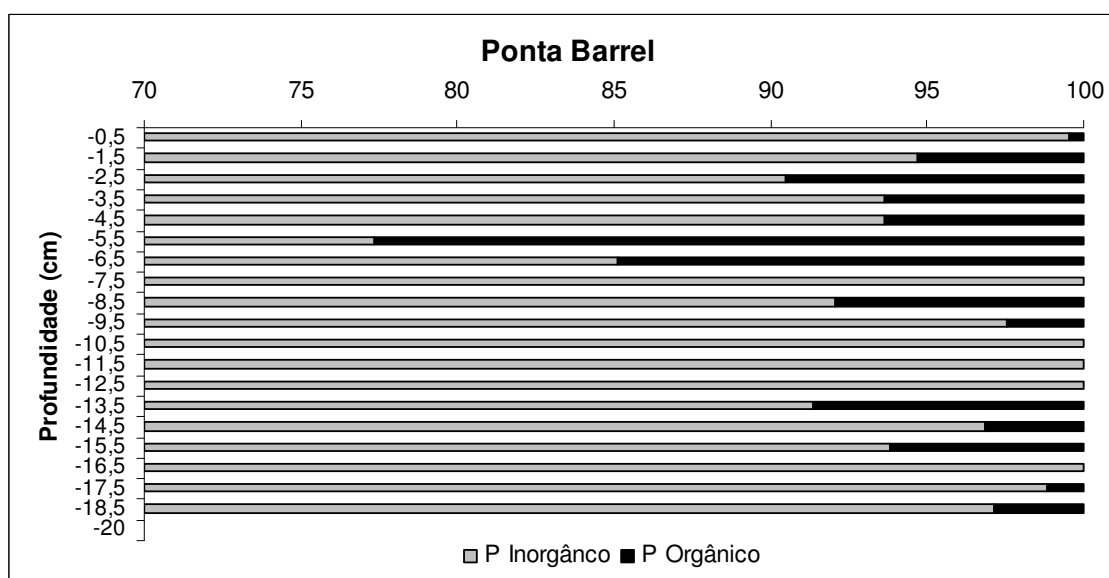


FIGURA 18 - PERFIL VERTICAL DAS PROPORÇÕES DO FÓSFORO ORGÂNICO E DO FÓSFORO INORGÂNICO EM RELAÇÃO AO FÓSFORO TOTAL EM PONTA BARREL

Os teores de fósforo inorgânico, de modo geral, predominaram ao longo de todo o testemunho. Com exceção das seções 6,5 e 5,5 cm, o fósforo inorgânico representou mais de 90% do total. Nas seções 16,5, 12,5, 11,5, 10,5 e 7,5 o fósforo inorgânico representou 100% do total.

Nas seções 6,5 e 5,5 cm houve um aumento significativo nas proporções de fósforo orgânico.

5.5 Distribuição Vertical do Fósforo na Entrada da Baía do Almirantado

5.5.1 Fósforo Total

A Figura 19 mostra o perfil vertical de distribuição do fósforo total em Demay Point. A média de concentração observada foi $658,7 \pm 57,5 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo de 8,7% o percentual de desvio padrão em relação à média (Tab. 9). Esse valor indica a ocorrência de poucas variações significativas nas concentrações de fósforo total ao longo da coluna sedimentar.

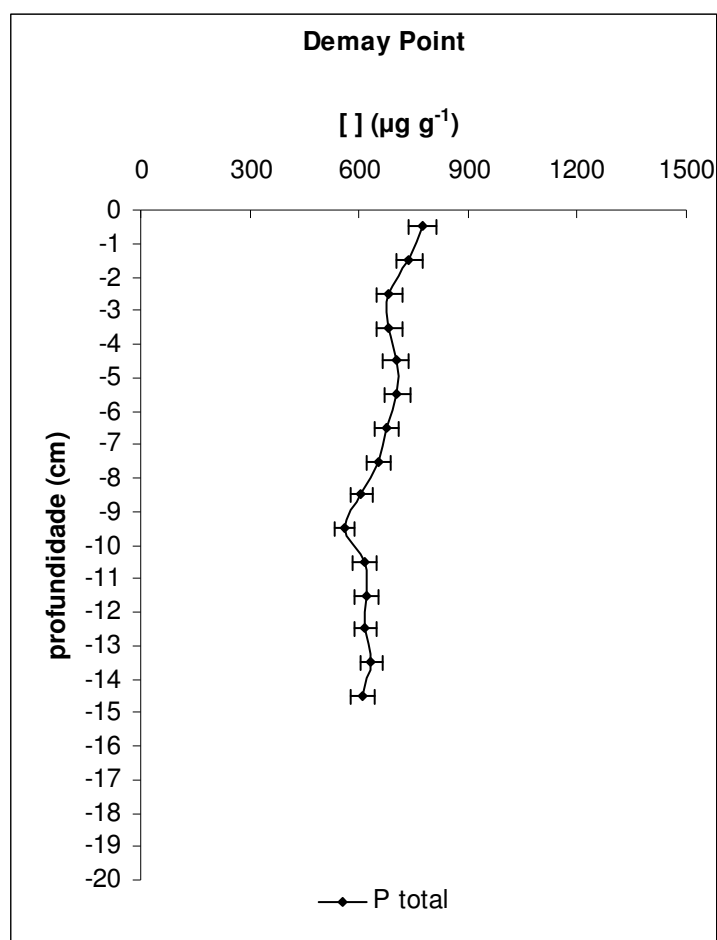


FIGURA 19 - PERFIL VERTICAL DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO TOTAL EM DEMAY POINT

As concentrações de fósforo total apresentaram valores constantes desde a base da coluna sedimentar (14,5 cm) e a seção 10,5 cm. Em 9,5 cm houve uma redução significativa na concentração de fósforo, estando essa abaixo de 10% do valor médio registrado.

Entre as seções 8,5 e 2,5 cm houve um aumento discreto nas concentrações de fósforo total, porém pouco significativos em relação ao valor médio. No topo da coluna sedimentar (1,5 e 0,5 cm) foi registrado um enriquecimento importante nas concentrações de fósforo total, uma vez que os valores observados estão acima de 10% do valor médio obtido para essa coluna sedimentar.

TABELA 9 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NO TESTEMUNHO DA ENTRADA BAÍA DO ALMIRANTADO

<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Demay Point [] P ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>
- 0,5	776,0 ^a
- 1,5	738,5 ^a
- 2,5	682,8
- 3,5	683,3
- 4,5	703,1
- 5,5	705,4
- 6,5	675,8
- 7,5	651,7
- 8,5	605,5
- 9,5	559,7 ^b
- 10,5	616,2
- 11,5	619,5
- 12,5	618,1
- 13,5	634,5
- 14,5	610,3
média	658,7
desvio padrão	57,5
% desvio padrão	8,7

^a concentrações acima de 10% do valor médio

^b concentrações abaixo de 10% do valor médio

6. DISCUSSÃO

6.1 Distribuição Vertical do Fósforo na Baía do Almirantado

6.1.1 Fósforo Total

Os dez perfis verticais de distribuição do fósforo total analisados na Baía do Almirantado são apresentados conjuntamente no Apêndice 1.

Os perfis de distribuição vertical do fósforo total na Enseada Martel apresentaram duas tendências diferentes. Essas diferenças são em relação às concentrações médias de fósforo total, bem como em relação à sua distribuição nos testemunhos.

Ferraz e Steinhouse apresentaram $863,5 \pm 171,5 \mu\text{g g}^{-1}$ e $917,8 \pm 106,7 \mu\text{g g}^{-1}$ de valor médio de concentração de fósforo total, respectivamente. Os perfis verticais desses testemunhos mostraram poucas variações desde a base até a porção média (10 cm). Acima dessa seção, houve intensas variações nas concentrações de fósforo total, sendo que no topo dos testemunhos foi registrado um marcado enriquecimento.

Ponta Ulmann e Botany Point apresentaram respectivamente $750,7 \pm 41,6 \mu\text{g g}^{-1}$ e $772,8 \pm 33,7 \mu\text{g g}^{-1}$ de concentração média de fósforo total. Seus perfis verticais mostraram pouca variação desde a base até a seção 3,5 cm, a partir da qual foi verificado um enriquecimento até o topo.

As variações apresentadas entre a base e a porção média dos testemunhos (10 cm) mostram que não houve variações significativas no aporte de fósforo total nos períodos correspondentes. Dessa forma, sugere-se que o aporte de matéria orgânica na Enseada Martel não tenha sofrido

variações significativas nesse período. Pode-se ainda inferir que toda a matéria orgânica depositada já foi degradada até um ponto que o fósforo restante está imobilizado.

As variações que ocorrem acima da porção média dos testemunhos Ferraz e Steinhouse, mas não em Ponta Ulmann e Botany Point, podem ser uma resposta à presença da EACF e das atividades nela desenvolvidas. Tais atividades estariam inserindo material orgânico no ambiente próximo à estação.

Se considerados os valores médios de concentração de fósforo total somente entre a base e a porção 10,5 cm, nota-se que Ferraz, Ponta Ulmann e Botany Point mostram valores médios semelhantes, os quais diferem de Steinhouse.

Steinhouse apresenta valor médio de concentração de fósforo total ($849,1 \pm 28,7 \mu\text{g g}^{-1}$) superior a Ferraz ($756,3 \pm 43,5 \mu\text{g g}^{-1}$), Ponta Ulmann ($746,8 \pm 22,2 \mu\text{g g}^{-1}$) e Botany Point ($777,7 \pm 36,6 \mu\text{g g}^{-1}$), considerando esse intervalo de profundidade.

As maiores concentrações observadas em Steinhouse, em relação à Ferraz, ocorrem em função da existência de sedimentos finos em proporções mais elevadas (Tab. 10), considerando que não houve alterações no tamanho de grãos ao longo dessas colunas sedimentares nos períodos em questão. Esses sedimentos finos estariam favorecendo a acumulação e preservação da matéria orgânica no sedimento e, conseqüentemente, do fósforo total.

Ponta Ulmann e Botany Point apresentam sedimentos finos em proporções superiores às observadas em Steinhouse (Tab. 10). No entanto, as concentrações de fósforo total nesses testemunhos são inferiores à Steinhouse.

MARTINS (2006), avaliando a distribuição de esteróis biogênicos nos sedimentos da Baía do Almirantado, verificou menor acumulação de material orgânico em Ponta Ulmann e Botany Point em relação aos pontos próximos a EACF. Isso ocorre provavelmente devido à menor produtividade primária nesses locais, o que estaria resultando em menor aporte de matéria orgânica para a coluna d'água e sedimento.

Steinhouse apresenta um marcado enriquecimento de fósforo total entre as seções 9,5 e 5,5 cm, o qual não ocorre nos outros testemunhos da Enseada Martel. Dessa forma, esse aumento nas concentrações de fósforo total é uma resposta a algum evento isolado e de ocorrência local, como alteração na granulometria, no aporte de matéria orgânica, nos padrões de circulação ou associados a processos de degelo do glaciário existente nesse local.

Em todos os perfis da Enseada Martel houve um enriquecimento superficial de fósforo total. Esse aumento se refere à matéria orgânica recém depositada no sedimento, mas que ainda não foi retrabalhada ou liberada para a coluna d'água.

O enriquecimento apresentado em Ferraz, no entanto, foi muito maior ao relatado nos outros testemunhos. Tal aumento pode ser consequência do despejo de efluentes de esgoto feito pela EACF, o qual ocorre desde 1994. Esses efluentes representam uma importante, porém pontual fonte de material orgânico que tanto se deposita no sedimento quanto pode contribuir com o aumento da produtividade local, gerando maior aporte de matéria orgânica para o sedimento.

TABELA 10 – PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS E CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS (VERÃO 2004/2005) DA BAÍA DO ALMIRANTADO. FONTE: BERBEL (2008)

<i>Testemunho</i>	<i>Sedimento Fino (%) Silte + Argila</i>	<i>Sedimento Grosso (%) Areia + Grânulos</i>	<i>Fósforo Total ($\mu\text{g g}^{-1}$)</i>
Ferraz	60,0	40,0	1342,6
Steinhouse	70,8	29,2	1642,7
Ponta Ulmann/Botany Point	94,0	6,0	1459,5
Ponta Crepin	46,4	53,0	1177,7
Refúgio II	89,6	10,4	1025,2
Ponta Barrel	77,8	22,2	1331,1
Monsimet Cove	39,6	60,4	1328,4
Ponta Thomas	34,4	65,6	1098,6
Demaney Point	34,0	66,0	817,9

Os perfis verticais do fósforo total da Enseada MacKellar apresentaram a mesma tendência de distribuição. Entre a base e porção média dos testemunhos (8 cm) há poucas variações. Da porção média até o topo do testemunho ocorrem marcadas oscilações na distribuição do fósforo total. Há um enriquecimento em 6,5 cm e entre 3,5 e 1,5 cm. No topo dos testemunhos registrou-se uma redução nas concentrações de fósforo total.

Embora a tendência de distribuição de fósforo total seja semelhante entre os testemunhos, as concentrações registradas diferem entre eles. O valor médio de concentração de fósforo total observado em Ponta Crepin foi $792,0 \pm 99,5 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto em Refúgio II foi $1001,2 \pm 146,6 \mu\text{g g}^{-1}$.

Essa diferença nas concentrações observada entre os testemunhos ocorre em função da diferença granulométrica entre os locais, considerando que o tamanho de grãos permaneceu constante ao longo da coluna sedimentar (Tab. 10). Ponta Crepin, onde a concentração média de fósforo total foi menor, apresenta 46,5% de sedimentos finos. Em Refúgio II há a predominância de sedimentos finos (89,6 %), favorecendo a acumulação e preservação do fósforo total.

As variações apresentadas entre a base e a porção média (8 cm) dos testemunhos mostram que não houve variações significativas no aporte de fósforo total nos períodos correspondentes. O valor médio de concentração observado em Ponta Crepin foi $715,3 \pm 18,2 \mu\text{g g}^{-1}$ e em Refúgio II foi $915,2 \pm 52,9 \mu\text{g g}^{-1}$. A diferença observada entre os testemunhos ocorre em função da granulometria.

As variações que ocorrem acima da porção média dos testemunhos mostram uma oscilação significativa no aporte de fósforo total, provavelmente causado por flutuações no aporte de matéria orgânica na Enseada MacKellar.

O enriquecimento superficial de fósforo total corresponde à matéria orgânica recém depositada, a qual pode ser reflexo de alguma contribuição proveniente das atividades humanas desenvolvidas na Estação Machu Picchu. Ainda, as concentrações são mais elevadas, pois a matéria orgânica está sendo retrabalhada no sedimento, ou seja, ainda não se encontra degradada e imobilizada.

A redução de concentração de fósforo total apresentada no topo dos testemunhos reflete uma redução no aporte de material orgânico. Isso pode ser associado à redução na produtividade primária nas águas da Enseada MacKellar ou no aporte terrígeno de material rico em fósforo nesse local.

Os perfis verticais de fósforo total da Enseada Ezcurra apresentaram a mesma tendência de distribuição. Entre a base e a porção mediana (10 cm) dos testemunhos não houve variações relevantes nas concentrações de fósforo total. A partir da porção média até os 3 cm verificou-se oscilações e no topo dos testemunhos constatou-se um enriquecimento de fósforo total.

Os perfis, no entanto, diferiram entre si com relação às médias de concentração de fósforo total observada em cada um. Ponta Barrel apresentou o maior valor médio de concentração ($875,5 \pm 79,9 \mu\text{g g}^{-1}$), seguido de Ponta Thomas ($701,5 \pm 31,6 \mu\text{g g}^{-1}$) e Monsimet Cove ($535,9 \pm 62,8 \mu\text{g g}^{-1}$), o qual apresentou a menor concentração de fósforo total.

Essa diferença pode ser associada à granulometria apresentada na região (Tab. 10). Monsimet Cove situa-se próximo a um glaciar onde ocorre desprendimento de gelo e sedimentos grossos, o que não favorece a acumulação e preservação do fósforo total.

Ponta Thomas também apresenta predominância de sedimentos grossos, porém as concentrações de fósforo total são maiores em relação à Monsimet Cove. Ponta Barrel, no entanto, apresenta predominância de sedimentos finos, sendo que a acumulação e a preservação do fósforo total são favorecidas.

A análise dos testemunhos em relação às médias de concentração de fósforo total entre a base e a porção mediana (10 cm) mostrou que não houve variações significativas no aporte de fósforo total, indicando que o aporte de matéria orgânica não sofreu alterações no referido período ou que toda a matéria orgânica depositada no sedimento já esteja degradada e imobilizada.

Em Monsimet Cove, a concentração média de fósforo total foi $490,1 \pm 17,5 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto em Ponta Thomas o valor médio apresentado foi $693,5 \pm 10,0 \mu\text{g g}^{-1}$. Já em Ponta Barrel a média de concentração de fósforo total foi $824,1 \pm 41,0 \mu\text{g g}^{-1}$.

Ponta Barrel em 9,5 cm e Ponta Thomas em 8,5 cm apresentaram um acréscimo de fósforo total. Tais aumentos podem estar relacionados ao mesmo

evento. Esse aumento pode ser relacionado a uma variação da produtividade local, ao maior aporte de material terrígeno ou alterações na granulometria e nas taxas de sedimentação.

Ponta Barrel apresentou outro aumento significativo de fósforo total em 5,5 cm. Esse aumento pode ser relacionado às mesmas causas acima citadas, porém sua ocorrência foi mais localizada, restrita à área mais interna da Enseada Ezcurra.

Todos os testemunhos da Enseada Ezcurra mostraram um enriquecimento superficial de fósforo total. Esse aumento corresponde ao material orgânico recém depositado no sedimento e que ainda não foi retrabalhado e disponibilizado novamente ao ambiente, o que também foi verificado nas outras enseadas da Baía do Almirantado.

O perfil vertical do fósforo total em Demay Point mostrou uma tendência de variações não significativas entre a base e a porção média (10 cm) do testemunho, pequeno aumento nas concentrações nas seções superiores e um enriquecimento superficial de fósforo total.

A média de concentração de fósforo total observada foi $658,7 \pm 57,5 \mu\text{g g}^{-1}$. Esse valor ocorre em função da granulometria local, na qual predominam sedimentos grossos (Tab. 10), e da proximidade do Estreito de Bransfield, onde são relatadas concentrações de fósforo na coluna d'água inferiores às observadas nas regiões mais internas da Baía do Almirantado (NEDZAREK, 2008).

Ainda, trata-se de uma região profunda (333 m), dessa forma até que a matéria orgânica e, conseqüentemente, o fósforo total alcance o fundo, os

processos de degradação agem sobre esse material, permitindo apenas uma pequena parcela se depositar no sedimento.

As pequenas variações registradas entre a base e a porção média (10 cm) do testemunho mostram que não houve mudanças no aporte de fósforo total no período em questão, o que indicaria não haver variações no aporte de matéria orgânica, a qual já está imobilizada no sedimento. O valor médio de fósforo total apresentado nessas seções foi $619,7 \pm 8,9 \mu\text{g g}^{-1}$.

O enriquecimento superficial constatado ocorreu em resposta ao aporte de material orgânico recém depositado. Esse material se apresenta em maiores concentrações, uma vez que ainda não foi retrabalhado e disponibilizado novamente para o ambiente.

Conforme verificado em todos os perfis analisados na Baía do Almirantado, não houve variações significativas no aporte de fósforo total entre a base e a porção mediana desses testemunhos. Isso sugere que os valores médios observados nessas seções correspondam às concentrações naturais desses locais, ou seja, ao *background* de fósforo imobilizado total.

Estudos referentes à distribuição do fósforo em sedimentos de regiões antárticas, como a Baía do Almirantado, são escassos, tornando difícil comparar os resultados do presente estudo com outros.

As concentrações de fósforo total observadas no topo de todos os testemunhos analisados (Tab. 3, 5, 7 e 9) são sistematicamente inferiores às encontradas por BERBEL (2008) (Tab. 10). Essa diferença poder estar relacionada ao método analítico empregado, resultando em diferenças nos resultados obtidos.

ZHU *et al.* (2006) verificaram elevadas concentrações de fósforo total em matrizes ricas em fosfina (PH₃) da Península Fields, na Ilha Rei George. Essas matrizes, as quais são compostas por sedimentos marinhos ou solos, ambos ricos em guano de animais marinhos, apresentaram um intervalo de concentração de fósforo total de 3000 - 84300 µg g⁻¹. Tais concentrações são muito superiores às encontradas por BERBEL (2008) e pelo presente trabalho. ZHU *et al.* (2006) afirma que as concentrações de fósforo no ambiente antártico são significativamente menores quando o ambiente não é afetado por esse material.

6.1.2 Fósforo Inorgânico e Fósforo Orgânico

Os três perfis verticais de distribuição e das proporções de fósforo inorgânico e fósforo orgânico analisados na Baía do Almirantado são apresentados no Apêndice 2.

Os perfis verticais do fósforo inorgânico, de modo geral, mostraram a mesma tendência de distribuição nos três testemunhos analisados. Da base até os 4 cm dos testemunhos, pequenas variações nas concentrações de fósforo inorgânico foram registradas. A partir dessa porção até o topo dos testemunhos, um enriquecimento de fósforo inorgânico foi observado.

A ausência de grandes oscilações nas concentrações de fósforo inorgânico entre a base e a porção de 4 cm mostra que o aporte de fósforo inorgânico não sofreu alterações ao longo do período correspondente a essas seções ou, ainda, trata-se do material imobilizado. O aumento superficial das concentrações de fósforo inorgânico corresponde, assim como para o fósforo

total, ao material orgânico recém depositado no sedimento e que ainda não foi retrabalhado e disponibilizado para o ambiente.

Ferraz apresentou o maior enriquecimento superficial nas concentrações de fósforo inorgânico. Tal aumento pode ser consequência do aporte de efluentes de esgoto da EACF que são descartados na Enseada Martel.

Ponta Barrel apresentou um aumento na concentração de fósforo inorgânico em 9,5 cm. A esse acréscimo pode ser atribuído um aumento na produtividade primária ou no aporte de material terrígeno rico em fósforo ou ainda alterações na granulometria e na taxa de sedimentação local, os quais se restringiram apenas à Enseada Ezcurra.

Ponta Crepin apresentou o menor valor médio de concentração de fósforo inorgânico ($741,1 \pm 72,3 \mu\text{g g}^{-1}$), seguido por Ferraz ($813,9 \pm 147,1 \mu\text{g g}^{-1}$) e por Ponta Barrel ($828,8 \pm 77,5 \mu\text{g g}^{-1}$). Essas diferenças encontradas entre os locais podem estar associadas, principalmente, às diferenças granulométricas observadas nesses locais (Tab. 10), considerando que não houve variações significativas quanto ao tamanho dos grãos depositados ao longo dos anos.

Os perfis verticais de fósforo orgânico apresentaram grande variação em suas distribuições. Os três testemunhos apresentaram valor médio de concentração de fósforo orgânico semelhantes, porém apresentaram elevada variabilidade, conforme verificado no desvio padrão. Em Ferraz, a concentração média foi $49,5 \pm 43,5 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto Ponta Crepin apresentou $50,6 \pm 45,4 \mu\text{g g}^{-1}$ e Ponta Barrel $46,7 \pm 57,1 \mu\text{g g}^{-1}$. Isso mostra que houve variações significativas no aporte de fósforo orgânico em toda a Baía do Almirantado, sendo que esse foi preservado no sedimento.

Os perfis verticais das proporções do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico em relação ao total dos três testemunhos mostraram que o fósforo inorgânico prevalece sobre o orgânico em toda a Baía do Almirantado, representando mais de 90% do total. Isso indica que o aporte de fósforo para o sedimento ocorre predominantemente na fração inorgânica.

Notavelmente, algumas seções em Ponta Crepin (11,5, 8,5 e 5,5 cm) e em Ponta Barrel (16,5, 12,5, 11,5, 10,5 e 7,5 cm) apresentaram 100% de fósforo inorgânico. Isso indica que a degradação da matéria orgânica foi ainda mais intensa ou que o aporte desse material sofreu uma redução nesse período.

Em algumas seções de Ferraz (10,5, 5,5 e 1,5 cm), Ponta Crepin (14, 6,5, 4,5 e 1,5 cm) e Ponta Barrel (6,5 e 5,5 cm) houve um significativo aumento nas proporções do fósforo orgânico. Tal aumento pode ser resultado de eventos como o aumento significativo na produtividade primária, levando a um aumento no aporte de matéria orgânica da coluna d'água para o sedimento, associada à degradação pouco eficiente desse material. Pode-se ainda ser atribuído ao maior aporte de material terrígeno rico em fósforo, devido a verões mais longos e quentes, resultando em maior degelo e drenagem dos solos ou o aumento na taxa de sedimentação, causando soterramento e preservação da matéria orgânica.

Os valores de porcentagem de fósforo inorgânico e fósforo orgânico em relação ao total apresentados por BERBEL (2008) (Tab. 11) são semelhantes ao valor médio encontrado nesse trabalho (Tab. 4, 6 e 8). Esses valores também são semelhantes aos valores do topo dos testemunhos Ferraz e Ponta Crepin, diferindo apenas em Ponta Barrel.

Tabela 11 - CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO E ORGÂNICO EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS (VERÃO 2004/2005) DA BAÍA DO ALMIRANTADO. FONTE: BERBEL (2008)

<i>Testemunho</i>	<i>Fósforo Inorgânico</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	<i>Fósforo Orgânico</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	<i>Fósforo Inorgânico</i> (%)	<i>Fósforo Orgânico</i> (%)
Ferraz	1275,5	67,1	95	5
Ponta Crepin	1142,4	35,3	97	3
Ponta Barrel	1277,9	53,2	96	4

Assim como verificado nesse trabalho, os valores apresentados por BERBEL (2008) indicam uma elevada eficiência na degradação da matéria orgânica em sedimentos da Baía do Almirantado, uma vez que o fósforo inorgânico corresponde a mais de 90% do total.

6.2 Distribuição temporal do fósforo total na Baía do Almirantado

As taxas de sedimentação, calculadas a partir dos níveis de ^{137}Cs no sedimento, para os testemunhos Ferraz, Steinhouse, Ponta Ulmann, Botany Point e Monsimet Cove são apresentados na Tabela 12. Essas taxas foram aplicadas nos perfis verticais de distribuição, fornecendo a data estimada de cada profundidade, considerando que a taxa de sedimentação foi constante no período estudado. Assim, fez-se uma tentativa de associar possíveis eventos antrópicos que seriam responsáveis por variações no aporte de fósforo total.

TABELA 12 – TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA BAÍA DO ALMIRANTADO

<i>Testemunho</i>	<i>Taxa de sedimentação (cm ano⁻¹)</i>	<i>Autor</i>
Ferraz	0,37 ± 0,03	NASCIMENTO <i>et al.</i> (2008)
Steinhouse	0,32 ± 0,03	NASCIMENTO <i>et al.</i> (2008)
Ponta Ulmann	0,11 ± 0,01	NASCIMENTO <i>et al.</i> (2008)
Botany Point	0,23 ± 0,02	VENDRAME (2007)
Monsimet Cove	0,134 ± 0,012	NASCIMENTO <i>et al.</i> (2008)

MARTINS (2007) descreve uma série de eventos históricos relacionados à ocupação humana da Baía do Almirantado, desde a descoberta da Ilha Rei George, em 1819. A partir das datas estimadas, realizou-se uma tentativa de verificar se as principais variações nas concentrações de fósforo total ocorreram no período que os eventos listados por esse autor.

A Figura 20 apresenta a distribuição temporal do fósforo total nos sedimentos de Ferraz.

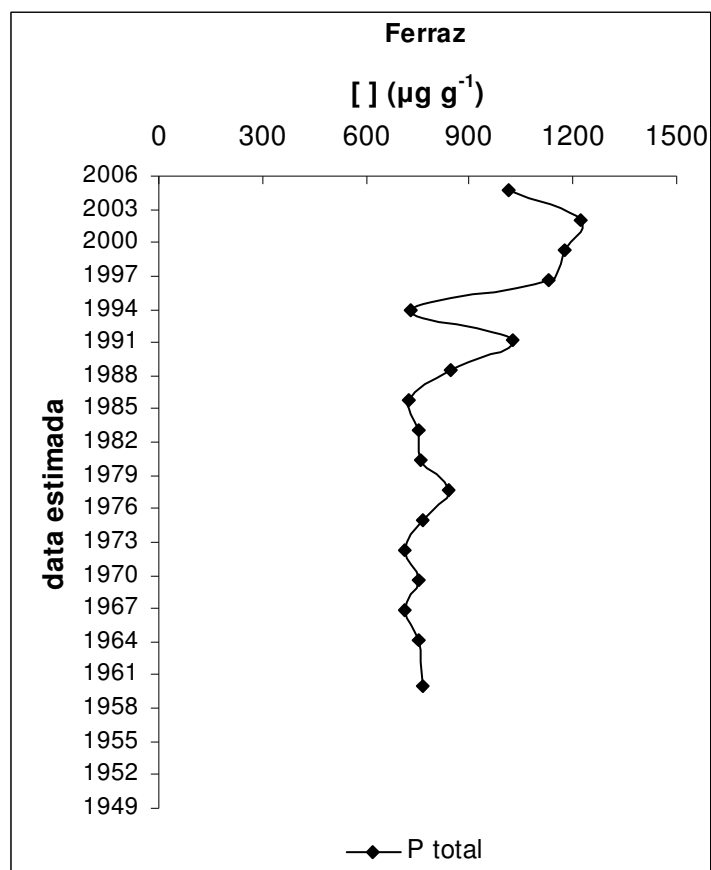


FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM FERRAZ

O aumento de concentração de fósforo total verificado em 1978 ± 2 poderia ter origem nas atividades antrópicas iniciadas em 1977 com a implantação dos primeiros módulos da estação polonesa na Baía do

Almirantado. No entanto, devido à distância entre Ferraz e a Estação Henryk Arctowski (10 km), tais atividades podem não ser as responsáveis por tal aumento nas concentrações de fósforo total. Esse aumento seria, então, causado por processos naturais que interferiram no aporte de matéria orgânica nessa região.

O aumento de concentração de fósforo total apresentado em 1991 ± 1 é, provavelmente, uma resposta a algum evento natural de ocorrência local, pois não há registro de atividades antrópicas nesse período, as quais se possam atribuir esse aumento.

O forte enriquecimento de fósforo total observado a partir de 1994 ± 1 até o presente pode estar associado ao descarte de efluentes de esgoto na Enseada Martel pela EACF, o qual ocorre desde 1994. MARTINS *et al.* (2002) verificaram que o percentual de coprostanol sobre os esteróis totais encontrados nessa região mostram que a introdução de esgoto no ambiente atinge até 500 metros do ponto de descarte de esgoto, confirmando a origem antrópica das altas concentrações de fósforo total encontradas.

MARTINS (2006) encontrou altas concentrações de esteróis fecais próximos à área de descarte de esgoto. Também constatou maiores concentrações de esteróis biogênicos, os quais são associados a diversos organismos marinhos, sugerindo uma maior produtividade primária local, a qual poderia resultar em um processo de eutrofização em pequena escala devido ao aporte de esgoto.

A Figura 21 mostra a distribuição temporal do fósforo total nos sedimentos de Steinhouse.

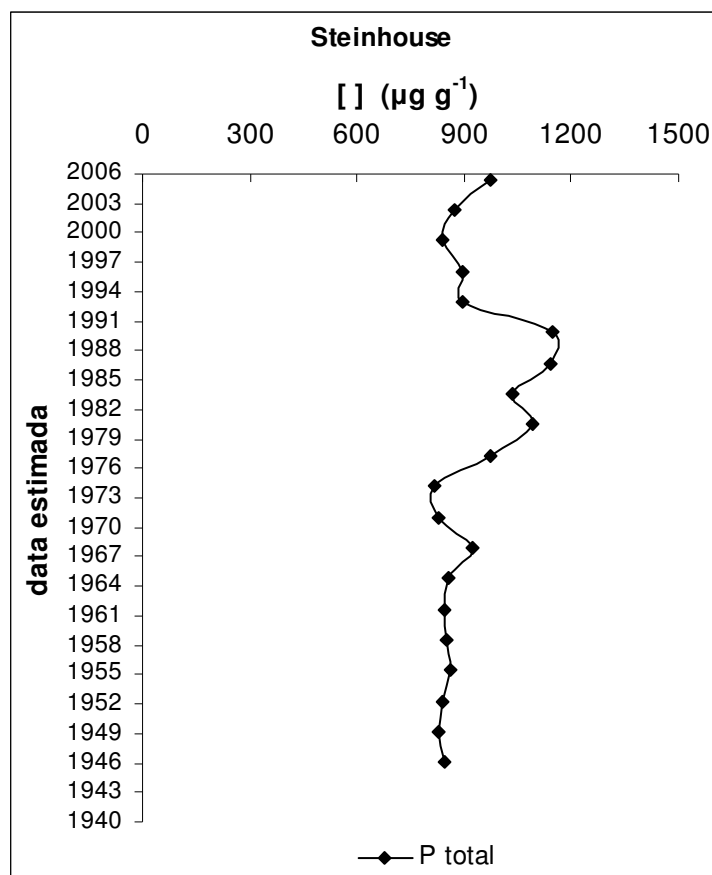


FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM STEINHOUSE

Em 1968 ± 3 houve um aumento nas concentrações de fósforo total, o qual a provável causa está relacionada às variações naturais no aporte de matéria orgânica. Isso porque não há registro de atividades antrópicas nesse período. Uma variação semelhante, porém em menor intensidade, foi verificada em Ferraz (Fig. 20).

Entre 1974 ± 3 e 1993 ± 2 um forte enriquecimento nas concentrações de fósforo total foi registrado. Considerando que as atividades na EACF apenas se iniciaram em 1984, o aumento registrado no período entre 1974 ± 3 e 1984 parecem não ter origem antrópica, o que não pode ser descartado no período entre 1984 e 1993 ± 2 , quando se iniciaram as atividades na EACF.

A Figura 22 apresenta a distribuição temporal do fósforo total em Ponta Ulmann.

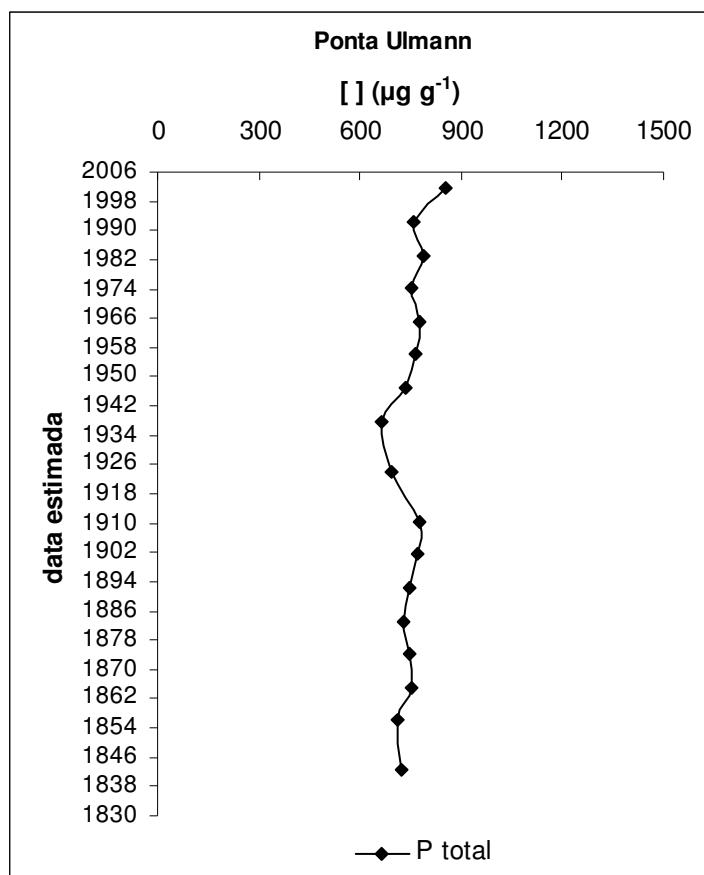


FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM PONTA ULMANN

Esse testemunho não apresentou variações significativas, porém no período compreendido entre 1924 ± 8 e 1938 ± 7 houve uma pequena redução nas concentrações de fósforo total. Tal redução no aporte de fósforo total ocorreu num período em que era esperado um aumento desse aporte, uma vez que esse é o período em que foi intensificado o povoamento da região em função das atividades da caça da baleia.

A Figura 23 mostra a distribuição temporal do fósforo total em Botany Point.

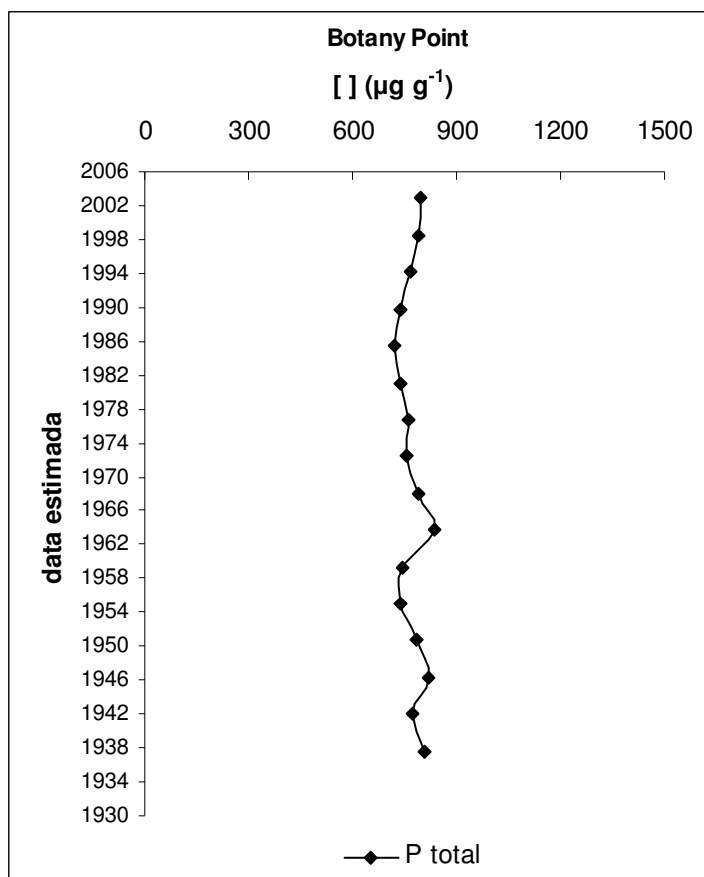


FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM BOTANY POINT

Assim como em Ponta Ulmann, Botany Point não apresentou variações destacadas nas concentrações de fósforo total. Assim, qualquer atribuição entre data e evento é dificultada, tendo um caráter demasiadamente especulativo.

Em 1946 ± 5 um pequeno aumento nas concentrações de fósforo total foi observado. Tal aumento poderia ser reflexo da implantação da Base G (Britânica), a qual passou a desenvolver atividades contínuas em 1947.

Em 1964 ± 3 também foi verificado um aumento nas concentrações de fósforo total. Essa época corresponde ao final do período de funcionamento da Base G.

A Figura 24 mostra a distribuição temporal do fósforo total em Monsimet Cove.

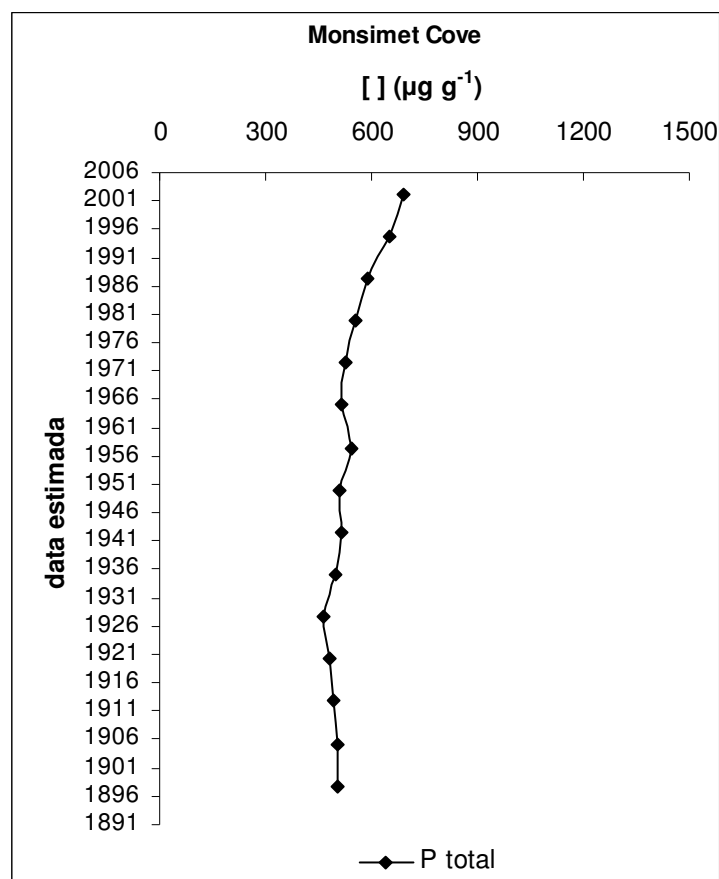


FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DO FÓSFORO TOTAL EM MONSIMET COVE

A partir de 1980 ± 2 até o presente verificou-se uma tendência de enriquecimento de fósforo total. Esse aumento, em parte, pode corresponder às atividades antrópicas desenvolvidas na estação polonesa Henryk Arctowski. Em 1977, foram instalados os primeiros módulos de pesquisa e habitação na região. A partir desse período os poloneses iniciaram suas atividades de pesquisa. Porém esse aumento pode ter origem natural, ou seja, na matéria orgânica recém depositada no sedimento.

6.3 Fósforo total na Baía do Almirantado e em outros sistemas costeiros e oceânicos

As concentrações de fósforo total nos testemunhos da Baía do Almirantado foram comparadas a outras regiões do globo utilizando o valor médio de cada testemunho (Tab. 3, 5, 7 e 9). O intervalo de concentração adotado foi a menor e maior média observada, igual a $535,9 \pm 62,8 \mu\text{g g}^{-1}$ (Monsimet Cove) e $1001,2 \pm 146,6 \mu\text{g g}^{-1}$ (Refúgio II). Essas concentrações de fósforo se encontram dentro dos valores propostos por FILIPPELLI (1997) para diversas configurações costeiras e oceânicas. No entanto, em sua compilação de dados, o referido trabalho não contemplou regiões costeiras subpolares, como é o caso da Baía do Almirantado.

Embora as regiões antárticas possam ser consideradas oligotróficas por terem sua produtividade primária limitada por ferro e, durante um longo período do ano, por luz, elas apresentam elevadas concentrações de nutrientes como nitrogênio, fósforo e silício (LALLI & PARSONS, 1997). Isso foi evidenciado pelas concentrações de fósforo total encontradas nos sedimentos analisados, as quais são maiores do que as verificadas em ambientes tipicamente oligotróficos. MARINS *et al.* (2007) relataram concentrações de fósforo total em sedimentos superficiais do Estuário do Rio Jaguaribe, no Ceará, variando entre $77,5 \pm 11,4$ e $157,1 \pm 3,2 \mu\text{g g}^{-1}$ e concluíram que esses valores se encontram dentro da faixa relatada para outros ambientes marinhos carbonáticos não impactados, ou seja, ambientes oligotróficos.

HARRIS *et al.* (2001) encontraram elevadas concentrações de fósforo total nos sedimentos da Laguna Papeete, Polinésia Francesa. Essa é uma

região de recifes de coral, ou seja, trata-se de uma região que se esperava ser pobre em nutrientes. No entanto, as concentrações se encontram em torno de $1400 \mu\text{g g}^{-1}$. Os autores atribuem a essas elevadas concentrações de fósforo total ao constante crescimento populacional na região. Esse crescimento causou erosão e carreamento do solo basáltico para a laguna. Além disso, houve um aumento na descarga de material orgânico devido ao despejo de efluentes de esgoto, como também ocorre na Baía do Almirantado devido aos efluentes da EACF.

As concentrações de fósforo total encontradas em testemunhos de sedimento do Leque do Amazonas por RUTTENBERG & GOÑI (1997) se mostraram semelhantes às observadas na Baía do Almirantado. O intervalo de concentração descrito pelos autores foi de $300,1$ a $1118,2 \mu\text{g g}^{-1}$.

O fato de sedimentos de uma região tropical e sob influência de um rio de proporções tão grandes, como o Rio Amazonas, apresentarem concentrações semelhantes às observadas na Baía do Almirantado só vem confirmar o que foi proposto por FILIPPELLI (1997), ou seja, as concentrações de fósforo podem ser similares em diversas configurações oceânicas.

As concentrações de fósforo total observadas por JENSEN *et al.* (1995) nos sedimentos da Baía de Aarhus na Dinamarca encontram-se no intervalo de 620 a $1860 \mu\text{g g}^{-1}$. Esses valores são comparáveis aos encontrados na Baía do Almirantado. Além do intervalo de concentração, o fato de os *blooms* de primavera serem os principais responsáveis pela transferência de fósforo para o sedimento assemelha esses dois sistemas. Os autores sugerem que a Baía de Aarhus parece ser representativa de sedimentos costeiros de regiões temperadas.

7. CONCLUSÕES

As variações nas concentrações de fósforo total observadas entre os dez testemunhos analisados na Baía do Almirantado ocorrem principalmente em função das diferenças granulométricas apresentadas entre esses locais, considerando que não houve variações significativas no tamanho de grão ao longo do período correspondente.

A ocorrência de variações não significativas entre a base e a porção média de todos os testemunhos mostra que o aporte de fósforo não sofreu variações nos períodos correspondentes. Dessa forma, pode-se afirmar que o aporte de matéria orgânica na Baía do Almirantado foi constante nesses períodos ou alcançou um estágio em que se encontra imobilizado, não sofrendo mais degradação.

As variações apresentadas acima da porção mediana dos testemunhos apontam à existência de oscilações no aporte de fósforo nos períodos mais recentes, ou seja, o aporte de matéria orgânica na Baía do Almirantado pode ter sofrido alterações. Essas variações poderiam ser atribuídas a processos naturais como oscilações na produtividade primária local, alterações no aporte de origem terrígena ou ainda mudanças granulométricas e nas taxas de sedimentação. Ainda, a contribuição antrópica deve ser considerada.

Os valores médios de concentração observados entre a base e a porção mediana dos testemunhos analisados correspondem ao *background* de fósforo imobilizado total desses locais da Baía do Almirantado. Entretanto, não foi possível determinar um único valor de *background* para toda a Baía do Almirantado dado a heterogeneidade ambiental dessa região.

Os altos teores de fósforo nas seções próximas ao topo dos testemunhos correspondem ao material orgânico recente, o qual ainda não sofreu os processos de remineralização ou foi disponibilizado para o ambiente.

As proporções de fósforo inorgânico e orgânico em relação ao total mostraram que, em geral, o aporte de fósforo para o sedimento ocorre predominantemente na forma inorgânica. No entanto, houve períodos em que o aporte de fósforo na forma orgânica apresentou um marcado acréscimo.

A avaliação temporal das colunas sedimentares, com base em níveis de ^{137}Cs e taxas de sedimentação, permitiu especular sobre a ocorrência de processos antrópicos que seriam responsáveis pelo aumento nas concentrações de fósforo e, conseqüentemente, de matéria orgânica na Baía do Almirantado. As atividades britânicas na Base G e, principalmente, as atividades brasileiras recentes na EACF poderiam explicar a entrada de material orgânico de origem antrópica na Baía do Almirantado.

Os valores de concentração de fósforo observados na Baía do Almirantado se encontram dentro da faixa relatada para diversos sistemas costeiros e oceânicos.

A determinação das faixas de concentração de fósforo na Baía do Almirantado, bem como a identificação de padrões de distribuição e das causas de variação no aporte desse elemento e de matéria orgânica sedimentar podem contribuir para uma melhor compreensão das mudanças ambientais que ocorrem nessa região. Além disso, os resultados desse trabalho servirão como base para outros estudos de cunho geoquímico e ambiental dessa região, a qual possui grande importância internacional, por se tratar de um ambiente ainda pouco estudado pelo homem.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMSTRONG, F. A. J., Phosphorus. In: RILEY, J. P., SKIRROW, G. (Eds) **Chemical Oceanography**. v. 1. London and New York: Academic Press. 1965. p. 323-364.

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.

BENITEZ-NELSON, C. R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. **Earth Science Reviews**, v. 51, p. 109-135, 2000.

BERBEL, G. B. B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e plataforma continental sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas**. p. Tese (Doutor em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BERBEL, G. B. B., BRAGA, E. S.; CHIOZZINI, V. G. Distribuição de fósforo orgânico dissolvido (POD), na Baía do Almirantado (Antártica) no verão 2003-2004. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PESQUISA ANTÁRTICA, 2005, São Paulo. **XIII Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica: Programas e Resumos**. São Paulo: Instituto de Geociências USP, 2005. p. 49-50.

FILIPPELLI, G. M. Controls on phosphorus concentration and accumulation in oceanic sediments. **Marine Geology**, v. 139, p. 231-240, 1997.

GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2nd edition revised and extended, Weinheim: Verlag Chemie, 1983.

HARRIS, P., FICHEZ, R., FERNANDEZ, J. M., GOLTERMAN, H., BADIE, C. Using geochronology to reconstruct the evolution of particulate phosphorus inputs during the last past century in the Papeete Lagoon (French Polynesia). **Oceanologica Acta**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2001.

JAMES, R. **Marine biogeochemical cycles**. 2nd edition, England: The Open University, 2005.

JENSEN, H. S.; MORTENSEN, P. B.; ANDERSEN, F. O.; RASMUSSEN, E.; JENSEN, A. Phosphorus cycling in a coastal marine sediment, Aarhus Bay, Denmark. **Limnology and Oceanography**, v. 40, n. 5, p. 908-917, 1995.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. **Biological Oceanography : an introduction**. 2nd edition. Oxford: Pergamon Press, 1997.

LOUCHOUARN, P; LUCOTTE, M; DUSCHEMIN, E.; VERNAL, A. Early diagenetic processes in recent sediments of the Gulf of St-Lawrence: phosphorus, carbon and iron burial rates. **Marine Geology**, v. 139, p. 181-200, 1997.

MARINS, R. V., PAULA-FILHO, F. J., ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - Costa Nordeste Oriental Brasileira. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MARTINS, C. C. **Avaliação da introdução de esteróis fecais e hidrocarbonetos marcadores geoquímicos em sedimentos da Baía do Almirantado, Península Antártica**. 116p. Dissertação (Mestre em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MARTINS, C. C. **Distribuição espacial e temporal de esteróis marcadores geoquímicos em sedimentos superficiais e testemunhos da Baía do Almirantado, Península Antártica**. 73p. Relatório Final (Pós-Doutor em Oceanografia Química e Geológica), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARTINS, C. C. **Registro deposicional de partículas *fly ash* e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) em testemunhos de sedimentos da Baía do Almirantado, Península Antártica**. 55p. Relatório Final (Pós-Doutor em Oceanografia Química e Geológica), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARTINS, C. C.; VENKATESAN, M. I.; MONTONE, R. C. Sterols and linear alkylbenzenes in marine sediments from Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v. 14, n. 3, p. 244-252, 2002.

MEDLIN, L. K.; PRIDDLE, J. Polar Marine Diatoms. **British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council**, 214pp, 1990.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic process. **Organic Geochemistry**, v. 27, n. 5/6, p. 213-250, 1997.

MILLERO, F. J. **Chemical Oceanography**. 2nd edition, Boston: CRC Press, 1996.

NASCIMENTO, M. G.; MARTINS, C. C.; FIGUEIRA, R. C. L.; MONTONE, R. C. Níveis do radionuclídeo Cs-137 e taxas de sedimentação em testemunhos de sedimento da Baía do Almirantado, Península Antártica. In: III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza. **III Congresso Brasileiro de Oceanografia 2008**: Fortaleza (CE). 1 CD-Rom.

NEDZAREK, A. Sources, diversity and circulation of biogenic compounds in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, p. 1-11, 2008.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetlands Islands) as a part of a part of near shore Antarctic ecosystem. **Polish Polar Research**, v. 1, p. 11-27, 1980.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. The hidrography of Admiralty Bay and its inlets, coves and lagoons (King George Island, Antarctic). **Polish Polar Research**, v. 16, p. 61-70, 1995.

RUTTENBERG, K. C.; GOÑI, M. A. Depth trends in phosphorus distribution and C:N:P ratios of organic matter in Amazon Fan sediments: indices of organic matter sources and burial history. In: FLOOD, R. D.; PIPER, D. J. W.; KLAUS, A.; PETERSEN, L. C. (Eds). **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results**. 1997. p. 505-517.

SANTOS, I. R.; FÁVARO, D. I. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA-FILHO, E. V. Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George Island): Evidence from rare earth and other elements. **Marine Chemistry**, p. 464-474, 2007.

SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M., VIANA, J. H. M.; TATUR, A. Fosfatização: processos de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER, C. E. G. R., FRANCELINO, M. R., SIMAS, F. N. B., ALBUQUERQUE-FILHO, M. R. (Eds) **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. 2004b. p 47-58.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DIAS, L. E., CAMPOS-CREASEY, L. S.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R. BORGES-JUNIOR, M. Monitoramento ambiental em sedimentos costeiros da Baía do Almirantado: granulometria, teores se macronutrientes e metais biodisponíveis. In: SCHAEFER, C. E. G. R., FRANCELINO, M. R., SIMAS, F. N. B., ALBUQUERQUE-FILHO, M. R. (Eds) **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT. 2004b. p. 119-129.

SICINSKI, J. Polychaetes os Antartic sublitoral in the proglacial zone (King George Island, South Shetlands Islands). **Polar Polish Research**, v. 25, n. 1, p. 67-96, 2004a.

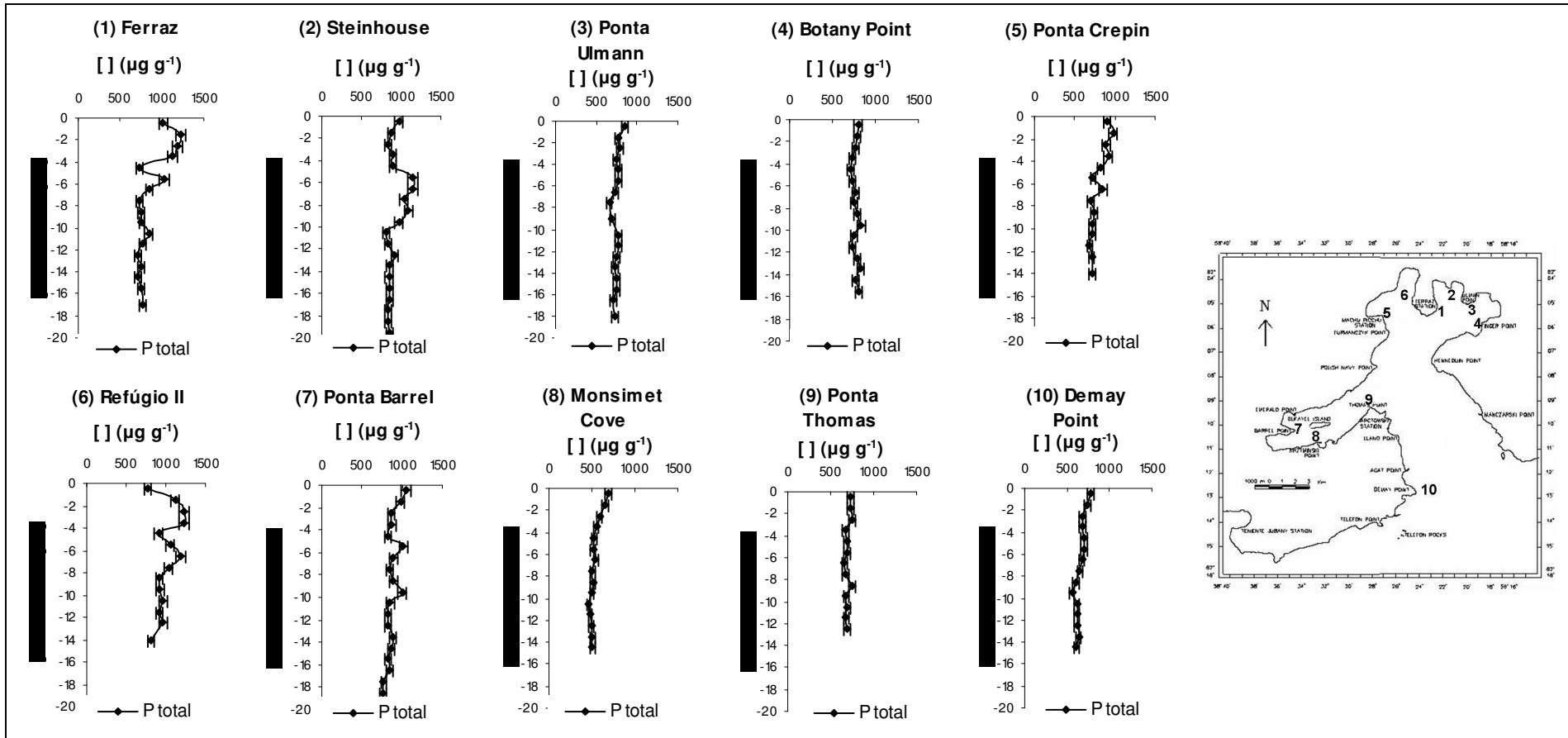
SKERRATT, J. H.; NICHOLS, P. D., McMEEKIN, T. A., BURTON, H. Seasonal and inter-annual changes in planktonic biomass and community structure in eastern Antarctica using signature lipids. **Marine Chemistry**, v. 51, p. 93-113, 1995.

VENDRAME, A. C. F. **Níveis de ^{137}Cs em colunas sedimentares da Região da Baía do Almirantado, Península Antártica**. 63p. Dissertação (Mestre em Química Ambiental e Ecotoxicologia) - Universidade de Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2007.

ZHU, R.; SUN, L.; KONG, D.; GENG, J., WANG, N.; WANG, Q., WANG, X. Matrix - bound phosphine in Antarctic biosphere. **Chemosphere**, v. 64, p. 1429-1435, 2006

APÊNDICES

Apêndice 1 - Perfis verticais de distribuição do fósforo total na Baía do Almirantado. (1) Ferraz; (2) Steinhouse; (3) Ponta Ulmann; (4) Botany Point; (5) Ponta Crepin; (6) Refúgio II; (7) Ponta Barrel; (8) Monsimet Cove; (9) Ponta Thomas; (10) Demay Point



Apêndice 2 - Perfis verticais de distribuição e das proporções do fósforo inorgânico e orgânico na Baía do Almirantado. (1) Ferraz; (5) Ponta Crepin; (7) Ponta Barrel

