

LUIZ CARLOS COTOVICZ JUNIOR

**DINÂMICA GEOQUÍMICA DO FÓSFORO (P) NOS SEDIMENTOS  
RECENTES DA BAÍA DE GUARATUBA, PARANÁ.**

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

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eunice da Costa Machado

Co-orientadora: Msc. Nilva Brandini  
Co-orientador: Prof. Dr. Mauricio Camargo



m  
551 7601  
C845d  
2006  
p. 01

PONTAL DO PARANÁ

2006

## TERMO DE APROVAÇÃO

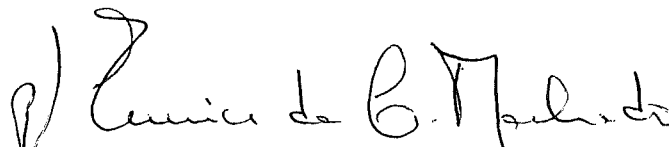
Luiz Carlos Cotovicz Junior

### “DINÂMICA GEOQUÍMICA DO FÓSFORO (P) NOS SEDIMENTOS RECENTES DA BAÍA DE GUARATUBA PARANÁ- BRASIL”.

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Cesar de Castro Martins- UFPR/CEM



Prof. Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers - UFF



Profª Drª Eunice da Costa Machado - UFPR/CEM  
Presidente

Pontal do Paraná 30 de novembro 2006.

*"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano."*  
Isaac Newton

*"Homem livre, tu sempre gostarás do mar!"*  
Charles de Gaulle

## AGRADECIMENTOS

À orientadora Prof. Dra. Eunice da Costa Machado pela oportunidade, confiança, amizade criada e fortalecida, orientação e incentivos constantes nesses 2 anos de estágio no laboratório de Biogeoquímica Marinha do CEM, que muito contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

À co-orientadora Msc. Nilva Brandini, pelos grandes ensinamentos, principalmente nos procedimentos analíticos, pelo apoio, amizade e, claro, "puxões de orelha" que muito me fizeram aprender, porque acompanhar seu ritmo no laboratório não é fácil.

Ao professor Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers, por ceder o Laboratório de Biogeoquímica Marinha da Universidade Federal Fluminense para a realização das análises de fósforo e pela sua participação na banca julgadora, contribuindo com suas fundamentais correções.

Ao professor Dr. César de Castro Martins, que apesar das pequenas dificuldades; marca data, desmarca, marca horário, desmarca, conseguiu comparecer na defesa e contribuiu e muito para o melhoramento do trabalho através das suas valiosas sugestões e correções.

A todos os membros do laboratório de Biogeoquímica Marinha do CEM, que proporcionaram um ambiente de trabalho em grande harmonia, e contribuem através de brincadeiras, sugestões, ajudas e muitas risadas para realização de qualquer atividade. Em especial, ao Fabian por suas dicas e ensinamentos, à Liciane pela grande ajuda principalmente nas análises químicas de laboratório e ao Carlos "Birigui" pelos anos de convivência sob o mesmo teto e intermináveis discussões sobre o tema em comum de nossas monografias.

Ao pessoal do Laboratório de Oceanografia Geológica do CEM, em especial à Ghisi e a Rafaela Zen (hoje na Uff) pela grande ajuda nos procedimentos e análises sedimentológicas.

A minha namorada, a Ju, pela intensa ajuda, apoio, amizade, carinho, companheirismo e dedicação, estando sempre ao meu lado quando precisei, com sua enorme paciência, mesmo nos momentos críticos. Você é especial!!!

Aos barqueiros do CEM, Abraão, Zezé, Ronei e Josias pela ajuda indispensável durante as coletas.

A todos os amigos e amigas que tive a oportunidade e o privilégio de conhecer e conviver em Pontal do Sul, e fizeram esses 5 anos de graduação muito especiais, com muitas risadas, conversas, brincadeiras, estudos, discussões, festas, viagens, pirações, futebol, surfe e tantas outras formas de interações que não esquecerei!!!

Meus sinceros agradecimentos aos professores, funcionários e todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram na realização dessa monografia. Se há algo que aprendi e levo de lição é que Ciência não se faz sozinho!!!

Aos meus pais e irmãos, que formam o meu alicerce e a minha fortaleza. Obrigado pela oportunidade e incentivo de estudar esse "mundo" fascinante que é as Ciências do Mar.

Enfim, agradeço a Deus, a força superior. Porque não deixei de recorrer à minha fé, principalmente nos momentos difíceis, e sempre fui atendido!!!

## SUMÁRIO

<b>FOLHA DE APROVAÇÃO</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Fundamentação teórica .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1 Objetivo Geral .....	10
2.2 Objetivos Específicos .....	10
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>10</b>
3.1 Litoral Paranaense.....	10
3.2 Baía de Guaratuba .....	12
3.2.1 Delimitação, geomorfologia e aspectos gerais.....	12
3.2.2 Hidrografia .....	14
3.2.3 Circulação, processos de transporte e deposição .....	15
3.2.4 Características climáticas .....	17
3.2.5 Aspectos antrópicos .....	18
4.1 Amostragem e procedimentos analíticos .....	23
4.1.1. Coluna d'água.....	23
4.1.2 Sedimentos.....	25
4.2 Dados climatológicos.....	28
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
5.1 Precipitação .....	29
5.2 Água.....	30
5.2.1 Variação da maré .....	30
5.2.2 Variáveis físico-químicas.....	31
5.3 Sedimentos .....	43
5.3.1 Setor Interno .....	43
5.3.2 Setor Intemediário .....	54
5.3.3 Setor Externo.....	65
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>76</b>
6.1 Dinâmica espacial e temporal das variáveis físico-químicas da coluna d'água .....	76
6.2 Dinâmica espacial e temporal do fracionamento do fósforo nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba .....	81
6.3 Comparação com outros estuários do Brasil e do mundo.....	88
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>91</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>92</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Atividades agrícolas na bacia de drenagem da Baía de Guaratuba. Fonte: TODESCHINI, 2004. ....	19
<b>Tabela 02:</b> Dados de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido (OD), CO <sub>2</sub> , pH, clorofila, feofitina e material particulado em suspensão (seston) encontrados no mês de setembro de 2005 para os três setores da Baía de Guaratuba analisados. ....	32
<b>Tabela 03:</b> Concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrogênio inorgânico dissolvido total, fósforo total, nitrogênio total e razões NID:PID e NT:PT encontradas no mês de setembro de 2005 para os três setores da Baía de Guaratuba analisados. ....	33
<b>Tabela 04:</b> Dados de temperatura, salinidade, OD, CO <sub>2</sub> , pH, clorofila, feofitina e material particulado em suspensão (seston) encontrados no mês de março de 2006 para os três setores da Baía de Guaratuba. ....	34
<b>Tabela 05:</b> Concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrogênio inorgânico dissolvido total, fósforo total, nitrogênio total e razões NID:PID e NT:PT encontradas no mês de março de 2006 para os três setores da Baía de Guaratuba. ....	35
<b>Tabela 06:</b> Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos grãos das amostras de sedimento dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0. ....	46
<b>Tabela 07:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (1A e 1B) coletados em setembro de 2005. ....	50
<b>Tabela 08:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total em dois testemunhos (1A e 1B) coletados em março de 2006. ....	50
<b>Tabela 09:</b> Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos grãos das amostras de sedimento dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0. ....	57
<b>Tabela 10:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total em dois testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba. ....	61
<b>Tabela 11:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total em dois testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba. ....	61
<b>Tabela 12:</b> Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos sedimentos dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0. ....	68
<b>Tabela 13:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total em dois testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor externo da Baía de Guaratuba. ....	72
<b>Tabela 14:</b> Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba. ....	72
<b>Tabela 15:</b> Fracionamento do fósforo (PT, PI e PO) nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba e outros sistemas estuarinos do Brasil e do mundo. ....	90

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Mapa do litoral paranaense mostrando os principais rios e área de mangue, com o Complexo Estuarino de Paranaguá, mais ao norte, e a Baía de Guaratuba, mais ao sul, onde foi desenvolvido o projeto. ....	12
<b>Figura 02:</b> Imagem de satélite da Baía de Guaratuba. ....	14
<b>Figura 03:</b> Mapa da área de estudo contendo os pontos de amostragem. ....	22
<b>Figura 04:</b> Precipitação média mensal acumulada entre os períodos de realização das duas campanhas de amostragem. ....	29
<b>Figura 05:</b> Precipitação acumulada em sete dias anteriores às coletas. ....	30
<b>Figura 06:</b> Variação da maré verificada no dia da amostragem do mês de setembro. Fonte: <a href="http://www.cem.ufpr.br">www.cem.ufpr.br</a> .....	30
<b>Figura 07:</b> Variação da maré verificada no dia da amostragem do mês de março. Fonte: <a href="http://www.cem.ufpr.br">www.cem.ufpr.br</a> .....	31
<b>Figura 08:</b> Concentrações de PTD (fósforo total dissolvido), PID (fósforo inorgânico dissolvido) e POD (fósforo orgânico dissolvido) da água de contato retirada dos testemunhos coletados em setembro de 2005. ....	42
<b>Figura 09:</b> Concentrações de PTD (fósforo total dissolvido), PID (fósforo inorgânico dissolvido) e POD (fósforo orgânico dissolvido) da água de contato retirada dos testemunhos coletados em março de 2006. ....	42
<b>Figura 10:</b> Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno na Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento. ....	43
<b>Figura 11:</b> Variação do pH em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento. .	44
<b>Figura 12:</b> Teores de CaCO <sub>3</sub> (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno da Baía de Guaratuba. ....	45
<b>Figura 13:</b> Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno da Baía de Guaratuba. ....	45
<b>Figura 14:</b> Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005. ....	47
<b>Figura 15:</b> Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006. ....	47
<b>Figura 16:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1A" coletado em setembro de 2005. ....	48
<b>Figura 17:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1B" coletado em setembro de 2005. ....	48
<b>Figura 18:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1A" coletado em março de 2006. ....	49
<b>Figura 19:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1B" coletado em março de 2006. ....	49
<b>Figura 20:</b> Concentrações de clorofila e feoftina (µg/L) do testemunho "1C" coletado em setembro de 2005 no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: este testemunho (1C) também foi utilizado para as análises granulométricas... 51	51
<b>Figura 21:</b> Concentrações de clorofila e feoftina (µg/L) do testemunho "1A" coletado em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba. ....	51
<b>Figura 22:</b> Concentrações de clorofila e feoftina (µg/L) do testemunho "1B" coletado em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba. ....	51
<b>Figura 23:</b> Teores de Carbono Orgânico Total (%) das réplicas de testemunhos (1A e 1B) coletados em setembro de 2005 no setor interno da Baía de Guaratuba. ....	52



<b>Figura 24:</b> Teores de Carbono Orgânico Total (%) das réplicas de testemunhos (1A e 1B) coletados em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.	53
<b>Figura 25:</b> Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006,, no setor mediano na Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento .....	54
<b>Figura 26:</b> Variação do pH em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento. .	55
<b>Figura 27:</b> Teores de CaCO <sub>3</sub> (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor mediano da Baía de Guaratuba.....	55
<b>Figura 28:</b> Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor intermediário da Baía de Guaratuba. .	56
<b>Figura 29:</b> Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005 no setor intermediário da baía. ....	57
<b>Figura 30:</b> Diâmetro médio dos grãos (%) nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006 no setor intermediário da baía...	58
<b>Figura 33:</b> Concentrações de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2A" coletado em março de 2006. ....	60
<b>Figura 34:</b> Concentrações de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2B" coletado em março de 2006. ....	60
<b>Figura 31:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2A" coletado em setembro de 2005. ....	60
<b>Figura 32:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2B" coletado em setembro de 2005. ....	60
<b>Figura 35:</b> Concentrações de clorofila e feoftina (µg/L) do testemunho "2C" coletado em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba. Obs: este testemunho (2C) também foi utilizado para as análises granulométricas...	62
<b>Figura 36:</b> Concentrações de clorofila e feoftina (µg/L) do testemunho "2B" coletado em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.....	62
<b>Figura 37:</b> Teores de Carbono Orgânico Total (%) dos testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba. ....	64
<b>Figura 38:</b> Teores de Carbono Orgânico Total (%) dos testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.....	64
<b>Figura 39:</b> Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006,, no setor externo da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento. ....	65
<b>Figura 40:</b> Variação do pH em função da profundidade dos testemunhos de setembro de 2005 e março de 2006, no setor externo da baía. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento. ....	66
<b>Figura 41:</b> Teores de carbonato de cálcio de (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor externo da Baía de Guaratuba. ....	67
<b>Figura 42:</b> Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor externo da Baía de Guaratuba.....	67
<b>Figura 43:</b> Diâmetro médio (%) nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005.....	69
<b>Figura 44:</b> Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006.....	69
<b>Figura 45:</b> Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3A" coletado em setembro de 2005. ....	70

<b>Figura 46:</b> Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3B" coletado em setembro de 2005. ....	70
<b>Figura 47:</b> Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3A" de março de 2006. ....	71
<b>Figura 48:</b> Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3B" de março de 2006. ....	71
<b>Figura 49:</b> Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) de clorofila e feofitina em testemunho coletado em setembro de 2005. Setor externo da Baía de Guaratuba. ....	73
<b>Figura 50:</b> Teores de carbono orgânico total (%) em dois testemunhos coletados no mês de setembro de 2005 no setor externo da Baía de Guaratuba. ....	74
<b>Figura 51:</b> Teores de carbono orgânico total (%) em dois testemunhos coletados no mês de março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba. ....	74

## RESUMO

O fósforo é um nutriente essencial para a vida na Terra, sendo constantemente citado como limitante na produtividade aquática, porém o seu excesso, principalmente com a contribuição antrópica, pode desencadear sérios problemas de eutrofização. A análise do conteúdo de P total (PT), inorgânico (PI) e orgânico (PO) foi investigada, em escala espacial e temporal, nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba. Além do P, foram realizadas análises de pH, Eh, granulometria, teores de matéria orgânica, carbonatos, carbono orgânico, clorofila e feofitina. Análises das principais variáveis físico-químicas da coluna de água foram realizadas concomitantemente com as duas campanhas de amostragem dos sedimentos, que foram em setembro de 2005 e em março de 2006. Em cada foram retirados três colunas sedimentares, em três setores da Baía de Guaratuba: interno, mediano e externo, totalizando um número de 18 testemunhos. A metodologia utilizada para a partição do P seguiu a descrita por ASPILA *et al.*, (1976). As maiores concentrações de PO, PI e PT foram verificadas no setor mais a montante da baía, sendo relacionadas com a maior porcentagem de sedimentos finos, a baixa hidrodinâmica e a maior abundância de matéria orgânica vinda das fontes fluviais. O setor mediano apresentou as maiores proporções de PO em relação ao PT, atribuídas a maior produtividade do ecossistema, corroborada com os maiores índices de clorofila e feofitina na coluna de água. O setor externo foi caracterizado por uma maior porcentagem de areia, e valores similares de P aos encontrados no setor mediano, sendo em alguns testemunhos teores mais elevados que o setor mediano. Foi nítida uma maior diferença do setor interno quando comparado com os setores mediano e externo, sendo esses dois últimos mais parecidos entre si. De uma maneira geral, salvo pequenas oscilações, as concentrações superficiais de P foram mais elevadas que a parte mais profunda dos testemunhos. Não foi identificada uma variação temporal nas concentrações de P entre os dois períodos analisados. As concentrações mínimas e máximas do PI, PO e PT na baía foram, respectivamente, (53 – 388  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ), (30 – 203  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) e (98 – 546  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ). As concentrações de PI foram superiores que as de PO em praticamente todos os testemunhos analisados, padrão que pode ser explicado pela excreção, degradação e reassimilação do PO mesmo antes de acontecer a sedimentação. O sedimento pode atuar como fonte ou sumidouro para o fósforo que entra no sistema, e, portanto, os sedimentos do setor a montante da baía parecem ser o principal reservatório de P para o sistema, sendo o elemento liberado sob determinadas características específicas reinantes no ambiente. Os teores de P encontrados no presente estudo encontram-se dentro daqueles reportados na literatura, com baixas concentrações relativas se comparadas com estuários e rios poluídos por fosfatos. A Resolução CONAMA 344/2004, que prevê um limite de 2000 ppm de fósforo total em sedimentos, não foi violada na baía de Guaratuba.

*Palavras chave:* sedimentos, coluna de água, dinâmica do fósforo, Baía de Guaratuba.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Fundamentação teórica

A margem oceânica, formada pelos sistemas estuarinos, costeiros e a plataforma continental, contribui com mais de 25% da produtividade dos oceanos apesar de representar menos que 10% (abrange aproximadamente 27,15 milhões de Km<sup>2</sup>) da área total (CARNEIRO, 1998; LENCA, 2005). Nessas regiões, as águas apresentam maior disponibilidade de nutrientes em parte devido ao aporte terrestre, além de sofrer com o aumento contínuo da densidade demográfica, sugerida pelos altos índices de crescimento populacional e desenvolvimento urbano.

Os estuários constituem uma importante região de transição entre ambientes terrestres e marinhos, sendo os rios as principais vias de transporte dos produtos da denudação dos continentes para os estuários e águas costeiras (GARRELS e MACKENZIE, 1971). Este ambiente de mistura entre a água doce e marinha mantém uma associação entre componentes físicos, químicos e biológicos, favorecendo uma alta produtividade biológica e teores elevados da biomassa auto e heterotróficos (NIXON, 1981; CARNEIRO, 1998).

A dinâmica dos estuários e a capacidade de importação ou exportação de matéria do sistema são controladas por diversos fatores, tais como: o aporte fluvial, a amplitude e extensão das faixas de misturas das massas de água, o tempo de residência da água fluvial dentro do estuário, a amplitude da maré, a geomorfologia e o impacto humano na bacia de drenagem e no próprio estuário (CARNEIRO, 1998). As reações mais importantes que ocorrem em um estuário são, em grande parte, transformações entre as formas de materiais dissolvido e particulado, inorgânico e orgânico (DAY *et al.*, 1989). Os processos químicos que regulam o ganho ou a perda de constituintes como os nutrientes nos estuários são: os fluxos advectivos e difusivos; as reações químicas como precipitação, adsorção, dessorção, floculação, etc; a assimilação biológica, a denitrificação e a degradação da matéria orgânica (PRITCHARD e SCHUBEL, 1979 *in* CARNEIRO, 1998). A disponibilidade de luz ao longo do gradiente salino pode ser um fator controlador da biomassa fitoplanctônica e fitobêntica e, conseqüentemente, da utilização dos nutrientes no ambiente estuarino.

A sedimentação de matéria da superfície ao fundo representa o elo principal da exportação entre a camada produtiva da zona eufótica e a deposição e o seqüestro de material no fundo (LENCA, 2005). Segundo KLUMP e MARTENS (1981), a matéria orgânica que sedimenta pode ser lábil, originada da produção primária na coluna d'água, e outra refratária, de origem continental ou produto final da reciclagem interna. A qualidade e a quantidade da sedimentação são governadas por processos como: ressuspensão de material de fundo em função da intensa homogeneização da coluna de água e o transporte advectivo das massas de água (BLOMQUIST e HAKANSON, 1981).

Os sedimentos marinhos representam um importante sítio de oxidação da matéria orgânica sedimentada (atividade biogeoquímica pelo menos quatro ordens de grandeza mais concentrada em relação à coluna de água). Esse processo se intensifica em sedimentos costeiros, considerando que suas águas são muito produtivas como consequência do aporte de nutrientes pelos rios, ressurgência costeira e efluentes urbanos, sendo parte dessa contribuição temporariamente retida como biomassa dos produtores primários (NIXON, 1981; KLUMP e MARTENS, 1983).

O sedimento é um compartimento importante, principalmente em ecossistemas rasos, pois o grande acoplamento entre o sistema pelágico e bêntico influencia a dinâmica da ciclagem da matéria orgânica e a produção do sistema. Assim, o material perdido pelo processo de sedimentação tem que ser compensado através da entrada de material alóctone e da remobilização do material autóctone, sendo este mecanismo de compensação, fornecido pela íntima interação entre o sedimento e a água (MACHADO, 1989). O sedimento pode funcionar como uma armadilha para determinados elementos, como o macronutriente fósforo (P) (CALMANO, 1981; ARMEGOL *et al.*, 1986).

O P é o 10º elemento mais abundante no planeta Terra, com uma concentração média na crosta de 0,1%. A média em sedimentos marinhos é de 0,12% (OGLESBY & BOULDIN, 1984 *in* SILVEIRA, 1993). O fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida, sendo um elemento fundamental no controle de reações bioquímicas (WESTHEIMER, 1987) envolvendo material genético (DNA, RNA) e transferência de energia (ATP), no suporte estrutural de organismos providos de membranas (fosfolipídios) e

ossos (o biomineral hidroxiapatita). Ele também tem um importante papel na fotossíntese, respiração e regulação de um grande número de enzimas. Os organismos fotossintéticos utilizam fósforo dissolvido, carbono e outros nutrientes essenciais para formar seus tecidos usando energia solar. A produtividade biológica é dependente da disponibilidade de nutrientes para esses organismos simples, os quais constituem a base da cadeia alimentar e são responsáveis pela entrada desses nutrientes na cadeia trófica em sistemas terrestres e aquáticos (RUTTENBERG, 2003).

Atualmente, os minerais de fosfato conhecidos são mais de 250. Os mais comuns são poucos e pertencem à família da apatita, a qual constitui o principal grupo de fosfatos primários da litosfera (FLICOTEAUX & LUCAS, 1984 *in* SILVEIRA, 1993). Outros fatores naturais que permitem o aporte de P na água do mar são: o material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos alóctones (GRASSHOFF, 1983; ESTEVES, 1998; HANRAHAN *et al.*, 2005). O íon fosfato se combina com mais de 30 elementos para formar minerais de fosfato, sendo que os principais, em termos de porcentagem, são: 45% ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ ) como componente maior; 30 - 35% alumínio; 30 - 35% cálcio e 25% manganês como um componente principal. Essas porcentagens podem variar de acordo com características específicas de cada local (SILVEIRA, 1993).

O fósforo presente em leitos rochosos (bedrocks), solos e sedimentos não está diretamente disponível 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. A produção de biomassa depende da biodisponibilidade de fósforo e resulta na deposição de matéria orgânica nos sedimentos, onde ela atua como uma fonte de energia e nutrientes para comunidades microbianas. A atividade microbiana em solos e sedimentos, por sua vez, influencia fortemente a concentração e a forma química do fósforo incorporado no registro geológico (RUTTENBERG, 2003), ou seja, algumas bactérias e fungos têm grande relevância na reciclagem do fósforo inorgânico (MILLERO, 1996; ESTEVES, 1998).

Na água do mar, o fósforo inorgânico (ortofosfato) está presente, essencialmente, como produtos ionizados do ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), que são

os íons  $\text{PO}_4^{3-}$  (10%),  $\text{HPO}_4^{2-}$  (90%) e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (1%) (CARMOUZE, 1994; BAUMGARTEN *et al.*, 1996). As frações destas formas são controladas principalmente pelo pH, pela composição da água e pela pressão (profundidade). Nem todos os ácidos fosfóricos condensados, isto é, ácido difosfórico  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  e nem os ácidos polifosfóricos com ligações P-O-P ocorrem em mar aberto, mas são conhecidos por ocorrerem em estuários e águas costeiras como resultado da introdução por detergentes (GRASSHOFF, 1983; MILLERO, 1996). Portanto, toda forma de fósforo presente em águas naturais, seja iônica ou complexada, encontra-se exclusivamente como fosfato (ESTEVES, 1998). Recentes evidências bioquímicas, entretanto, sugerem que fosfitos e hipofosfitos são importantes fontes alternativas do P para os organismos (HANRAHAN *et al.*, 2005).

Na zona eufótica dos sistemas marinhos, o fósforo orgânico particulado e o dissolvido são derivados principalmente da decomposição das plantas. Apesar destes compostos não serem completamente conhecidos, são relacionados como produtos da excreção e decomposição de organismos marinhos e, nesses processos, uma porção deste fósforo retorna para a água. Essa liberação do P ainda na água, sem a participação do sedimento, é formada principalmente por fosfato orgânico dissolvido, que é rapidamente decomposto pelos microorganismos e reassimilado pela comunidade fitoplanctônica. Este padrão de circulação, sem o envolvimento do sedimento, foi denominado de circulação em "curto circuito" (OHLE, 1938 *in* ESTEVES, 1998). O material que não é assimilado na coluna d'água é perdido em pelotas fecais, as quais contêm considerável quantidade de P orgânico. Aliado aos movimentos da água, esses processos de remoção e retorno dão origem a variações sazonais na distribuição do elemento. Ésteres de fosfato (ligações O-P) e ácidos aminofosfóricos (ligações C-P) também representam uma considerável porção dos compostos de P orgânico (GRASSHOFF, 1983; MILLERO, 1996; ESTEVES, 1998).

O P é um dos mais importantes, ecologicamente, de todos os elementos contidos em organismos vivos. As razões principais são: 1) porque os organismos vivos tendem a concentrar fósforo elevando seu nível consideravelmente acima daquela fonte; 2) uma deficiência de P disponível muito provavelmente limitará a reprodução e, portanto, a produtividade de uma

região da superfície terrestre mais do que em qualquer outro material, exceto água (FAIRBRIDGE, 1972). O P biologicamente disponível é retirado do ambiente por organismos vivos. Parte é transformada em uma diversidade de compostos orgânicos e parte é retirada como P inorgânico móvel no fluido das células. A forma inorgânica mantém um alto grau de mobilidade dentro dos organismos vivos. O P é, assim, concentrado de um nível muito diluído no habitat para um nível satisfatoriamente alto nos organismos. Assim, todos os organismos vivos imobilizam o P temporariamente para incorporá-lo em suas células (FAIRBRIDGE, 1972; SILVEIRA, 1993).

O P, como um elemento importante e necessário do protoplasma, tende a circular na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos e destes, novamente, ao ambiente. Estas vias mais ou menos circulares se chamam ciclos biogeoquímicos. A movimentação desse elemento e de seus compostos inorgânicos essenciais para a vida, pode ser adequadamente denominada ciclagem de nutrientes. Do ponto de vista da biosfera como um todo, o ciclo biogeoquímico do P é tido como um tipo sedimentar, no qual o reservatório localiza-se na crosta terrestre. Os depósitos de P, constituídos pelas rochas e outros reservatórios secundários formados em idades geológicas passadas, sofrem gradualmente intemperismo e erosão liberando fosfatos para o ecossistema. Porém, grande quantidade de fosfato escapa para o mar, onde parte se deposita nos sedimentos rasos e outra parte se perde nos sedimentos profundos. Os mecanismos de devolução do P ao ciclo podem ser insuficientes para compensar a perda. As aves marinhas aparentemente desempenham um papel importante na devolução ao ciclo (grandes depósitos de guano na costa do Peru), porém, não na velocidade em que ocorria no passado. Um fato agravante é a utilização antrópica do P na composição em detergentes e fertilizantes fosfatados. Por esses fatores, o P é classificado como um recurso não-renovável (ODUM, 1988).

Partículas orgânicas, geradas por diversos processos na coluna d'água, são degradadas durante o processo de sedimentação ao fundo. Após sua deposição e incorporação na superfície do sedimento, essas partículas continuam a ser degradadas pela atividade microbiana e transformadas por outros processos físico-químicos e biogeoquímicos. Esta fase de transformação no sedimento é denominada diagênese recente. Depois da



diagênese recente, ocorre a acumulação de matéria no sedimento, ou seja, não há retorno deste material para o sistema (SCHULZ; ZABEL, 2000 *in* DIAS, 2006).

Em sedimentos marinhos e lacustres, os parâmetros ambientais que afetam as reações diagenéticas recentes do fósforo são: 1) a produtividade da água sobrejacente, 2) a profundidade da coluna d'água, 3) a taxa de sedimentação, 4) a quantidade e o tipo de aporte fluvial, e 5) o estado redox da água sobrejacente e do sedimento. Esses parâmetros atuam não só independentemente, mas também combinados no controle das características das reações diagenéticas recentes envolvendo o fósforo (DIAS, 2006).

A concentração de P em águas sobrejacentes e sedimentos é tamponada pela solubilidade e dessorção, ou equilíbrio de troca iônica na interface água sedimento. Portanto, os sedimentos atuam como sumidouro, e também como fonte de P para a coluna de água, e conseqüentemente para a biota, dependendo das condições específicas de cada local (JIANG *et al.*, 2006). Interações químicas de fosfatos com ferro (III), alumínio e cálcio são relevantes. Microorganismos influenciam a extensão dessas reações.

A solubilidade de fosfatos de cálcio, ferro (III) e alumínio dependem fortemente do potencial redox e pH do meio. Em um ambiente oxidante, o P é fixado por oxi-hidróxidos. A dessorção dessa parte do P que está precipitada em sedimentos com oxi-hidróxidos de ferro e manganês ocorre quando condições oxidantes tornam-se redutoras. Quando formas férricas são convertidas a ferrosas ele é liberado para a água intersticial, podendo sofrer fluxos de difusão molecular no sentido sedimento-água. O pH, através do seu incremento nos sedimentos, aumenta a competição entre hidróxidos e íons fosfatos, portanto enfraquece as combinações de fosfatos com ferro (III) e alumínio, o que libera o fosfato para a água de fundo, ou libera o P adsorvido ao material particulado (BACCINI, 1985 *in* SILVEIRA, 1993; FRANKOWSKI *et al.*, 2002). A adsorção de fosfatos a argilo-minerais também é um importante processo de precipitação do P, principalmente aqueles que têm na sua composição ferro e alumínio. A adsorção em argilo-minerais é maior em pH baixo (devido à menor concorrência com os íons  $\text{OH}^-$ , que aumentam em concentração com a elevação do pH). Em ecossistemas tropicais a adsorção em argilo-minerais torna-se relevante, uma vez que os corpos de água

recebem grandes aportes de argila de suas bacias de drenagem, podendo precipitar grandes quantidades de fosfato, reduzindo a concentração deste íon na água (ESTEVES, 1998).

Dentre as fontes antrópicas de fósforo, as mais relevantes são: efluentes domésticos, industriais e agropastoris, e material particulado de origem industrial contido na atmosfera. Em algumas regiões industrializadas e de elevada densidade populacional, as fontes de fosfatos antropogênicas podem ser mais importantes do que as naturais (ESTEVES, 1998). Na Europa Central, por exemplo, calcula-se que cada habitante é responsável pela eliminação de 1,5 g de fosfatos por dia através de seus dejetos e 2,7 g através de produtos de limpeza. Grande parte desses efluentes pode atingir o ambiente marinho (AMBUHL, 1978, *in* ESTEVES, 1998).

Este elemento, sendo um nutriente de fundamental importância, pode influenciar na produção primária inibindo-a, quando aparece em quantidades insuficientes. Por outro lado, o seu excesso pode provocar drásticas conseqüências para o meio aquático. As altas concentrações no ambiente sugerem fontes antropogênicas e desencadeiam processos de eutrofização, quando há aumento de fosfatos em ambientes com boa disponibilidade de nutrientes nitrogenados.

A eutroficação (ou eutrofização) artificial (ou "cultural") é o termo empregado para diferenciar a ação do homem daquela de causas naturais na evolução dos ambientes aquáticos. Segundo BEETON e EDMONSON, (1972), *in* HENRY, (1981), é o resultado de um aumento no suprimento de nutrientes nos corpos d'água, principalmente N e P, através de algum tipo de atividade humana, enquanto que a eutroficação natural seria devido a um influxo nutritivo por algum fator natural, configurando um processo mais lento. Essa modificação, de um ambiente de natureza oligotrófica para um quadro eutrófico, é resultado da aceleração na taxa de desenvolvimento evolutivo do ecossistema (HENRY, 1981).

O homem tem contribuído, principalmente a partir da metade do século passado, para acelerar esses processos através do aumento da população, da industrialização, do uso de fertilizantes químicos na agricultura e com a produção, desde 1945, de produtos de limpeza contendo compostos

polifosfatados (HENRY, 1981). Portanto a poluição por fosfatos compreende fontes difusas (mais difícil de controlar e eliminar) e pontuais.

A eutrofização pode causar florações algais “(bloom)” indesejáveis trazendo sérias conseqüências para o meio aquático, como: a) impedem a penetração da luz no ecossistema; b) a sedimentação em massa da floração algal fará com que os decompositores consumam o oxigênio disponível para outras espécies; c) a depleção do oxigênio resulta na morte de outras espécies, como os peixes; d) a decomposição dos animais mortos gera um odor fétido na água, comprometendo a utilização do local para usos como recreação e pesca, pois microorganismos patógenos desenvolver-se-ão nas águas poluídas; e) em casos extremos, pode ocorrer a perda total da biodiversidade do sistema afetado; f) esse panorama terá como conseqüência sérios prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Na taxa de uso atual do P pelo homem, principalmente em fertilizantes, fontes disponíveis de fosfatos em rochas podem ser exauridas nos próximos 60 a 90 anos. Ironicamente, muitas regiões tropicais são afetadas com excessivo aporte de nutrientes, incluindo P, através de intensivos sistemas baseados na agricultura. Europa e Estados Unidos, principalmente, tem enfrentado problemas constantes de enriquecimento de nutrientes, e os níveis de P freqüentemente excedem o requerido para o crescimento, porém até no Brasil esse problema já é identificado. (RAGHOTAMA, 1999; PAGLIOSA *et al.*, 2005).

Vários autores têm discutido e investigado a dinâmica do P nos ambientes costeiros em diversas regiões do mundo, alertando sobre a preocupação com o aumento de processos de eutrofização, a grande utilização na sociedade atual, a relevância como um fator limitante para o crescimento de comunidades aquáticas e a importância do seu monitoramento (ODUM, 1988; RUTTEMBERG, 1990; ZWOLSMAN, 1994; KENNISH, 1997; ESTEVES, 1998; RAGHOTAMA, 1999; BAIRD, 2002; COELHO *et al.*, 2004; CHA *et al.*, 2005; PAGLIOSA *et al.*, 2005; ASHRAF *et al.*, 2006; DIAS, 2006).

Nas últimas décadas, a crescente urbanização das zonas costeiras provocou um intenso povoamento das margens e bacias de drenagem dos sistemas estuarinos, tornando-os vulneráveis a diversas atividades antrópicas (KENNISH, 1997). O desenvolvimento destas atividades ocorre muitas vezes de forma antagônica: usos, como a agricultura, indústrias, cidades e

desmatamentos, promovem a introdução nestes sistemas de grandes quantidades de nutrientes, sedimentos, substâncias tóxicas, esgoto, lixo, calor e microorganismos patogênicos, que comprometem usos como, a pesca, a recreação, a aquicultura e a captação de água (MANTOVANELLI, 1999). GESAMP (2001) também alertaram sobre crescimentos algais excessivos e degradação das condições ambientais. Segundo os autores, os sedimentos e a comunidade bêntica constituem provavelmente a parte mais sensível de tais sistemas ao enriquecimento de nutrientes, tornando-os bons indicadores de alterações ambientais. BAIRD (2002) relatou que o destino final de muitas substâncias químicas é a sua deposição e soterramento nos sedimentos. Por esta razão, é importante conhecer a natureza deste sistema e seus mecanismos de funcionamento. As análises de testemunhos dos sedimentos podem fornecer um registro histórico da contaminação por diferentes substâncias. Em resumo, os sedimentos atuam como vastos túmulos e reservatórios na retenção de diversas substâncias, ou como fontes de recontaminação da água que flui sobre os mesmos. O P é um exemplo, pois mesmo depois de cessada a fonte para o ambiente e a implementação de tratamento de efluentes, elevados níveis de contaminação podem persistir por vários anos (PAGLIOSA *et al.*, 2005).

Devido à importância vital nos ambientes aquáticos, os nutrientes devem ser estudados, conhecidos e monitorados, no sentido da prevenção de possíveis malefícios, ao invés de estudos com caráter de remediação e reparação. Os estuários, que constituem a interface de ligação entre o continente e o oceano, e conseqüentemente, por permitirem intensas e múltiplas atividades humanas, além de serem reconhecidamente um dos mais produtivos e ricos ecossistemas existentes (grandes estoques de peixes juvenis), necessitam de estudos que forneçam dados a respeito da qualidade do ambiente.

O Estado do Paraná, região sul do Brasil, possui um litoral marcado por dois sistemas estuarinos: ao norte o complexo das Baías de Paranaguá e Laranjeiras, e ao sul, a Baía de Guaratuba. Ambos os sistemas são importantes para a região, sob os pontos de vista sócio-econômico e ambiental. No entanto, são raros os estudos sobre o sistema estuarino da Baía de Guaratuba sob o ponto de vista biogeoquímico. Estudos especificamente

relacionados com a distribuição espacial e temporal do fósforo nos compartimentos pelágico e bêntico, na Baía de Guaratuba, ainda não foram realizados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Investigar em escalas espacial e temporal a distribuição de fósforo total (PT) e suas frações inorgânica (PI) e orgânica (PO) nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba, em duas estações do ano: verão e inverno.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a distribuição vertical das concentrações de fósforo total, inorgânico e orgânico nas camadas superiores do sedimento (até 21 cm) nos setores interno, mediano e externo da Baía de Guaratuba.
- Verificar a relação entre a distribuição de fósforo nos sedimentos com as características sedimentológicas, geoquímicas e condições redox;
- Descrever as principais características físico-químicas da água nas duas campanhas de amostragem realizadas e relacionar as frações de P com a contribuição fluvial e marinha no ambiente.
- Fornecer subsídios para um plano de gestão ambiental em vistas ao desenvolvimento sustentável da Baía de Guaratuba devido a grande importância de monitoramento deste elemento.

## **3. ÁREA DE ESTUDO**

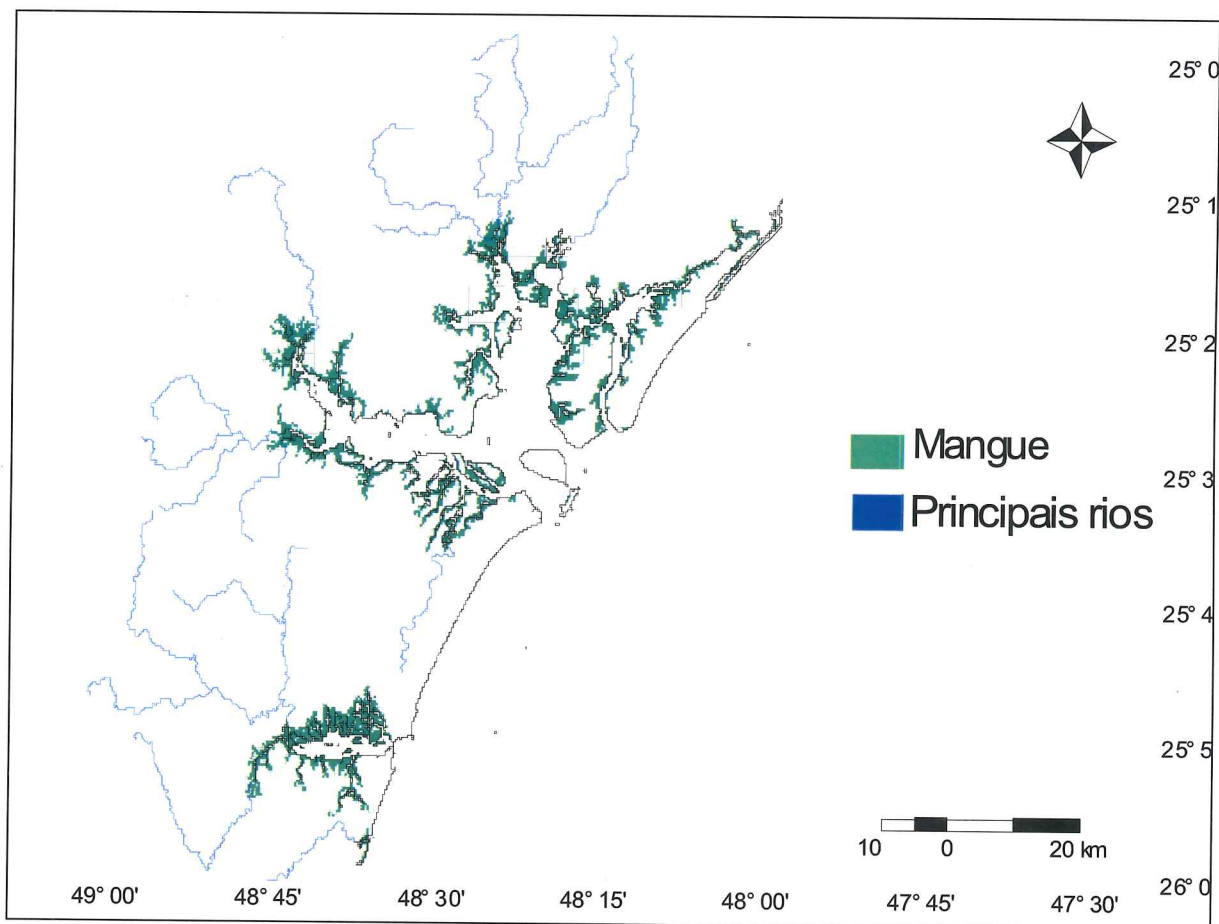
### **3.1 Litoral Paranaense**

O litoral paranaense situa-se entre as latitudes de 25°19'S e 25°58'30"S e as longitudes 48°06'W e 48°35'30"W (ANGULO, 1993). A região litorânea do Estado do Paraná localiza-se entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico no sentido leste-oeste, e entre o litoral sul do Estado de São Paulo e litoral norte de Santa Catarina no sentido norte-sul. A região tem extensão aproximada de 6.600 km<sup>2</sup> e abrange as bacias hidrográficas das Baías de Paranaguá e Guaratuba, incluindo pequenas áreas pertencentes às bacias do Mar do Ararapira e do Rio Saí-Guaçu (ANGULO *et al.*, no prelo).

A região litorânea caracteriza-se por apresentar extensas planícies arenosas, formadas durante o Quaternário, quando o mar apresentava níveis relativos mais altos que o atual (ANGULO, 1993). As formas cumulativas resultantes são representadas por planícies arenosas, com estuários e lagunas recortando o terreno, feições estas observadas em toda a costa brasileira (SUGUIO, 1973).

A planície costeira paranaense, constituída por dois terraços marinhos, é interpretada por LESSA *et al.*, (2000) como sistema laguna-ilha barreira, que prograram em pelo menos duas fases, quando o nível do mar esteve mais alto que o atual. No Pleistoceno Superior, quando o nível do mar estaria a  $\pm 8,0$  m ( $\pm 2$  m), e no Holoceno,  $\pm 2,5$  m ( $\pm 0,5$  m), (LESSA *et al.*, 1998; ANGULO *et al.*, 1999).

A geomorfologia da planície costeira paranaense apresenta em geral alturas inferiores a 20 m e um comprimento de aproximadamente 90 Km, com largura máxima de 55 Km na região de Paranaguá (ANGULO, 1992). A continuidade das planícies litorâneas é interrompida por três sistemas estuarino-lagunares denominados baías de Guaratuba, Paranaguá e Pinheiros (Figura 01). Esses sistemas são importantes para a região sob os pontos de vista sócio-econômico e ambiental. Na região das planícies, também ocorrem morros e colinas, sustentados por rochas do embasamento pré-cambriano e, em alguns casos, por sedimentos cenozóicos. O interior das baías apresenta uma forma recortada e uma constituição geralmente lamosa. A faixa entre marés caracteriza-se por estar coberta por uma comunidade biótica altamente especializada a esse ambiente: os mangues. Estes muitas vezes fornecem matéria orgânica que se deposita junto aos sedimentos terrígenos. A extensão dos mangues no interior dos complexos estuarinos-lagunares paranaenses é estimada em 310 Km<sup>2</sup> (ANGULO, 1993).



**Figura 01:** Mapa do litoral paranaense mostrando os principais rios e áreas de mangue, com o Complexo Estuarino de Paranaguá, mais ao norte, e a Baía de Guaratuba, mais ao sul, onde foi desenvolvido o projeto.

### 3.2 Baía de Guaratuba

#### 3.2.1 Delimitação, geomorfologia e aspectos gerais

A Baía de Guaratuba (Figura 02) é um estuário encaixado na planície costeira do litoral sul do Paraná e está inserida no Município de Guaratuba ( $25^{\circ} 51'80''S$ ,  $48^{\circ} 38'20''W$ ), tendo uma área total de aproximadamente  $48,57 \text{ km}^2$ . O distrito municipal de Guaratuba localiza-se na margem sul da baía (33.058 habitantes), enquanto na margem norte localiza-se o município de Matinhos (32.240 habitantes) (IBGE, 2005). A foz da baía é estreita e se comunica com o Oceano Atlântico por uma abertura de aproximadamente 500 metros, limitada por dois pontais rochosos correspondentes ao extremo meridional da serra da Prata, ao norte, e ao morro de Guaratuba, ao sul. Prolonga-se para dentro do continente por cerca de 15 quilômetros e, nessa direção, a baía alarga-se até atingir 2 a 3 Km. Apresenta numerosos canais e ilhas, sendo margeada em

quase todo seu perímetro por extensos manguezais (ANGULO, 1993). Florestas de mangue bem preservadas localizam-se no interior da baía, enquanto o desenvolvimento urbano ocupa a área na região da desembocadura. A margem norte possui 2/3 dos rios e canais de maré que deságuam no sistema, além de bancos de gramíneas e bosques de mangues bem preservados, a margem sul apresenta afluentes de menor porte (ZEM *et al.*, 2005a).

Regiões pouco profundas (de cota inferior a 1,0 m), bem como margens do estuário sob condições de baixa energia hidrodinâmica, podem ser observadas principalmente nos setores mediano e interno da Baía de Guaratuba. Estes fundos rasos ocorrem próximos às margens do estuário na forma de baixios e planícies de maré, que chegam a ficar parcialmente ou totalmente expostos durante a baixa-mar de sizígia. As profundidades mais expressivas na Baía de Guaratuba são observadas na estreita boca estuarina, onde os valores ultrapassam os 20 m de profundidade. A região mediana-central da baía apresenta pouca profundidade, associada com os sistemas de ilhas localizadas nesta região. De maneira geral, os valores de diâmetro médio dos sedimentos e a profundidade decrescem de jusante para a montante, mas podem variar lateralmente estuário adentro (ZEM *et al.*, 2005a).

Segundo MIZERKOWSKI (2005), considerando seis variáveis descritoras da qualidade da água (clorofila-*a*, profundidade de Secchi, saturação de CO<sub>2</sub>, fósforo e nitrogênio inorgânicos dissolvidos e oxigênio dissolvido), pode-se dizer que a baía apresenta qualidade de água intermediária e que o seu metabolismo é predominantemente heterotrófico, ou seja, processos de respiração superaram a produção de matéria orgânica.



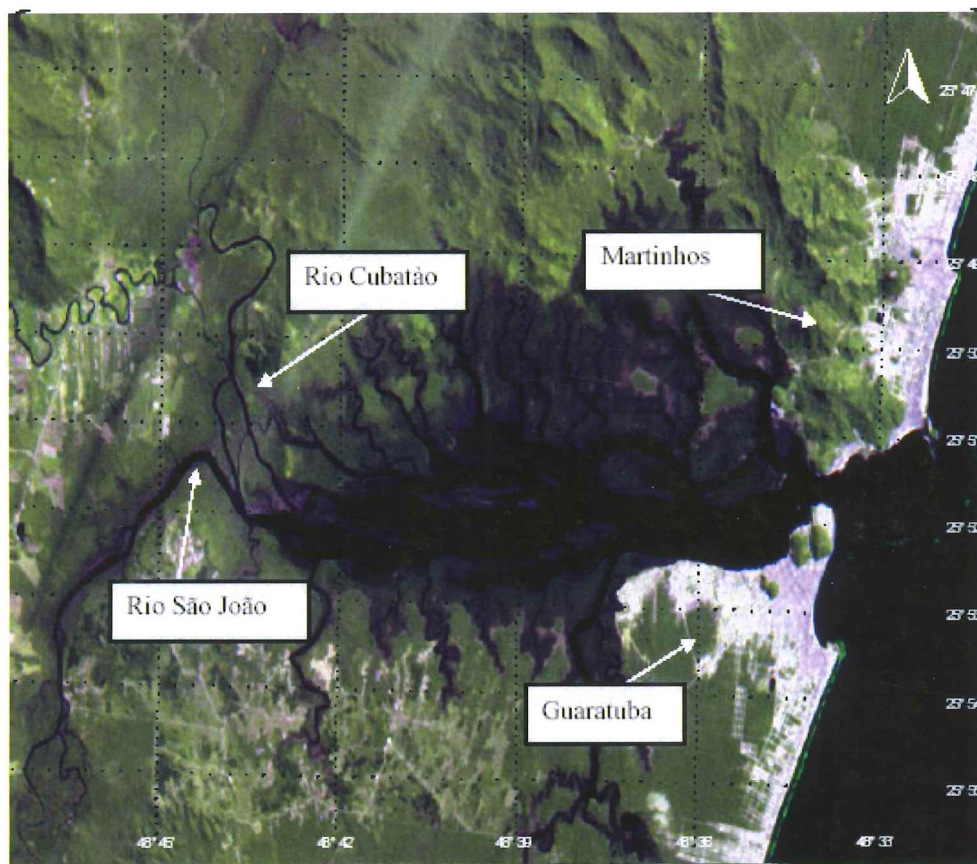


Figura 02: Imagem de satélite da Baía de Guaratuba.

### 3.2.2 Hidrografia

Trinta rios deságuam no interior da Baía de Guaratuba (JACOBI, 1953). Existe uma área de 1724 Km<sup>2</sup> de bacia de drenagem, que fornecem água doce ao estuário (SANDERS, 2005). A baía recebe o aporte de água doce de dois principais rios originários na Serra do Mar: o Cubatão e o São João, que contribuem com mais de 80m<sup>3</sup>/s de água doce (MARONE *et al.*, 2004). Com uma extensão de 28,5 Km, o Rio Cubatão mostra uma grande declinação, que indica um alto potencial de erosão (TODESCHINI, 2004). A profundidade da lâmina de água, em alguns pontos da baía, alcança 6 metros, chegando a 27 m na desembocadura, local onde as correntes podem chegar a 2 m/s (MARONE *et al.*, 2004). A salinidade da água, primeiramente estudada por JACOBI (1953), apresenta variações sazonais atingindo valores mais altos no inverno e mais baixos no verão (respectivamente 37 e 3). Para SANDERS (2005), a salinidade no estuário varia entre 0 e 34 da parte inferior à parte superior, respectivamente.

A bacia de drenagem da Baía de Guaratuba possui uma área de aproximadamente 50,19 km<sup>2</sup>, com 24% composta por ambientes rasos ou bancos de lama e areia (MARONE *et al.*, 2004). O tempo de residência da água doce na baía é de aproximadamente 9,3 dias. Em diferentes escalas de tempo o estuário pode mudar de águas bem estratificadas para águas bem misturadas, dependendo principalmente de fatores como a maré e a mistura pelos ventos. A baía apresenta estratificação horizontal diferente ao se considerar a escala temporal: no período chuvoso a estratificação horizontal é mais definida devido ao fluxo fluvial mais intenso, e uma melhor distinção entre a zona de domínio fluvial e os demais setores (dominância dos processos controlados pela drenagem continental), enquanto no período seco as flutuações da maré podem constituir o processo hidrodinâmico que, em grande parte, regula a dinâmica no sistema, promovendo a homogeneização da coluna de água (MIZERKOWSKI, 2005). As marés são caracteristicamente semidiurnas, alcançando aproximadamente amplitudes máximas e mínimas de, respectivamente, 2,0 m e 0,5 m (KNOPPERS *et al.*, 1987). De acordo com MARONE *et al.*, (2004), a Baía de Guaratuba pode ser classificada como um sistema estuarino onde a força dominante é a maré, seguida pela descarga dos rios.

São escassos os dados que possam caracterizar o regime de ondas na região. Os únicos registros (PORTOBRAS, 1983, *in* BARROS JR., 1997) foram realizados durante somente cinco meses, e as maiores alturas foram observadas nos quadrantes ESSE e SE. O regime de ondas está vinculado aos seus longínquos centros de geração em áreas oceânicas distantes, com ondas mais altas provenientes dos quadrantes ESSE e SE e direção média principal de chegada SE, gerando uma deriva litorânea orientada para norte que é intensificada em eventos de chegada de sistemas frontais (RIBEIRO, 2006).

### **3.2.3 Circulação, processos de transporte e deposição**

A partir da foz da baía, em direção ao mar, existem extensos baixios em forma de arco, que se estendem desde a Praia de Caieiras até o início da Praia Brava de Caiobá. Apesar da sua forma complexa, nesses baixios são identificáveis duas barras em pontal. Segundo ANGULO (1992), as barras configuram um delta de maré vazante. Também são identificáveis os canais de

maré enchente e vazante. Não é visível o delta de maré enchente no interior da baía. SALAMUNI e BIGARELLA, (1962), *in* ANGULO, (1993) notaram maior eficiência de transporte nas correntes de maré vazante.

Na década de 1970, houve um drástico aumento nas taxas de acumulação de sedimento na bacia de drenagem, e o aumento continua progressivo (SANDERS, 2005). Em 1953, a largura da boca da entrada do estuário era de 700 m (JACOBI, 1953), hoje, aproximadamente 50 anos depois, a largura da entrada é de 500 m (MARONE *et al.*, 2004; SANDERS, 2005).

Areias grossas e médias ocorrem nas desembocaduras dos rios São João e o Rio Cubatão, e na região da boca do estuário, caracterizando regiões de alta energia hidrodinâmica. No primeiro caso a hidrodinâmica é influenciada pelo elevado volume de água fluvial e, no segundo, pela extrema velocidade das correntes de maré, intensificadas pelo afunilamento do corpo estuarino (MARONE *et al.*, 2005; ZEM *et al.*, 2005a). A ampla distribuição de sedimentos finos no setor mediano e interno da baía possivelmente está relacionada ao decréscimo da velocidade das águas dos rios e da maré ao penetrarem no sistema, perdendo a capacidade de transportar os sedimentos por saltação e arrasto (ZEM *et al.*, 2005a).

Os mapas batimétrico e de distribuição dos sedimentos de fundo realizados por ZEM *et al.*, (2005a) demonstram que a Baía de Guaratuba possui características sedimentológicas e morfológicas espacialmente diversificadas, resultado da complexa interação entre a hidrodinâmica, a geomorfologia e o leito estuarino. Segundo os autores, a baía pode ser classificada em três grandes áreas: (1) setor interno ou de domínio fluvial, que compreende desde a foz dos rios São João e Cubatão até as proximidades do extremo leste da Ilha da Corda Grande, na margem norte, as proximidades da foz do Rio Descoberto, na margem sul. Processos de transporte e sedimentação, bem como a conformação do fundo parecem estar sendo influenciados principalmente pela descarga fluvial. (2) Setor mediano ou de amortecimento, do limite do setor anterior até a região da foz do Rio Boguaçu. Os padrões de distribuição dos sedimentos e das profundidades são resultados do decréscimo das correntes, relacionado tanto à diminuição do aporte de águas fluviais quanto à necessidade das águas se redistribuírem numa maior e mais irregular (mais obstáculos no caminho) superfície de inundação, contribuindo para a

gênese de ambientes de baixa energia. Nesta área os fundos são rasos e são representados por baixios e planícies de maré. (3) Setor de domínio da desembocadura ou de alta energia: compreendido das proximidades da foz do rio Boguaçu até a boca da baía propriamente dita. Esta região é caracterizada canais profundos (variando entre 5 m e 20 m) e depósitos arenosos formados por processos de arrasto e saltação, caracterizando um ambiente de alta energia hidrodinâmica, onde provavelmente predominam processos erosivos e sedimentos não coesos.

Esta classificação (setorização em região interna, mediana e externa) também foi sugerida por MIZERKOWSKI (2005) em seu trabalho sobre a qualidade de água na Baía, principalmente de acordo com o gradiente de salinidade observado, além de outras informações físico-químicas da água levantadas pela autora. RIBEIRO (2006) também evidenciou um gradiente espacial nítido de concentrações de metais nos sedimentos (Al, Fe, Ti, Mn, Cr e Ni) em três compartimentos da baía, diminuindo desde fontes fluviais até a desembocadura do estuário, gradiente espacial que também foi notado por SANDERS (2005), principalmente para teores de matéria orgânica e fluxos de mercúrio.

#### **3.2.4 Características climáticas**

O clima da região, segundo classificação de Koeppen, é do tipo Cfa; C= pluvial temperado; f= sempre úmido com chuvas em todos os meses do ano; a= temperatura média do mês mais quente acima de 22 °C. O período mais chuvoso corresponde ao verão, com pico em fevereiro, o mais seco ocorre no inverno, principalmente entre julho e agosto (BARROS JR, 1997). Segundo IPARDES (1990), o clima é definido como subtropical úmido mesotérmico com verão quente, sendo a temperatura o principal elemento regionalizador do clima do litoral paranaense.

As precipitações médias anuais variam entre 2248 mm e 3530 mm (TODESCHINI, 2004). Segundo o Laboratório de Física Marinha, CEM – UFPR, a pluviosidade média anual é de 1988 mm. A temperatura média anual do ar fica em torno de 21 °C. Segundo JACOBI (1953), a temperatura chega a ultrapassar 28 °C e baixar a pelo menos 15 °C, conforme a estação. Os ventos

predominantes apresentam sentidos SE, E e NE, e os mais fortes são dos quadrantes S e SSW.

### **3.2.5 Aspectos antrópicos**

O estuário de Guaratuba apresenta três principais forçantes antrópicas: práticas agrícolas nas bacias de drenagem na região à montante; aqüicultura em alguns canais de maré no setor norte; urbanização da cidade de Guaratuba na porção sul (RIBEIRO, 2006) e em menor grau, urbanização da cidade de Matinhos na porção norte (contaminação praticamente pontual por esgoto) na desembocadura.

As principais atividades desenvolvidas na região são o turismo: a pesca artesanal e esportiva, o cultivo de ostras e camarão, a pecuária e a agricultura (principalmente com o cultivo intensivo de banana e cítricos na área à montante da baía). Tais atividades vêm se intensificando nas últimas décadas ao longo da baía e nas praias adjacentes (NAZARIO, 2005). Na plataforma continental adjacente ocorre pesca empresarial de mercado (ANDRIGUETTO, 1999), predominando o arrasto de camarão. A pesca artesanal se restringe próximo e/ou no interior da baía.

Alguns fatos e eventos recentes nos rios Cubatão e São João podem afetar a quantidade e a qualidade dos sedimentos que chegam na Baía de Guaratuba, como por exemplo, dragagem, eliminação da vegetação ciliar, despejo de esgoto sem tratamento, canalizações, barragens e a instalação de duas centrais hidroelétricas, Guaricana e Chaminé. Essas centrais hidrelétricas vêm passando constantemente por mudanças. Para se ter idéia, Guaricana em 1957 gerava 15.000 KW, já em 1971 atingiu 39.000 KW. Chaminé começou operar em 1930 e nos anos de 1946 e 1952 teve sua potencia ampliada. Chaminé possui 4 unidades geradoras que atingem 18.000 kW (TODESCHINI, 2004).

A taxa de sedimentação na Baía de Guaratuba varia entre 3,7 e 4,5 mm por ano, e a taxa de acumulação de sedimentos está aumentando no estuário (SANDERS, 2005). Tais alterações constituem evidências de impactos humanos, pois aumentos nas taxas de sedimentação são indicadores de mudanças ambientais, como o desmatamento e aumento das atividades agrícolas na bacia de drenagem a partir da década de 1960, o que pode

aumentar a fonte de matéria orgânica alóctone para o sistema. O fluxo de mercúrio (Hg) também está aumentando em acordo com as atividades humanas, em particular as agrícolas, assim como estão sendo verificadas variações nas distribuições verticais de ferro (Fe) possivelmente por distúrbios antrópicos (SANDERS, 2005).

A Tabela 1 mostra outros exemplos de atividades humanas que podem causar impacto no ambiente relacionado com o desenvolvimento da agricultura na bacia de drenagem da baía (TODESCHINI, 2004). Estes rios são as principais fontes de água doce e provavelmente são as maiores fontes do material que sedimenta no estuário.

**Tabela 01:** Atividades agrícolas na bacia de drenagem da Baía de Guaratuba. Fonte: TODESCHINI, 2004.

<b>Tipo de Cultivo</b>	<b>Ano do início da atividade</b>	<b>Área cultivada</b>
Fazendas de banana	1980	2800 ha
Fazendas de arroz	1965	470 ha
Cultivo de palmáceas	NA	250 ha

Ainda em relação à produção agrícola dos municípios ao entorno da baía, segundo dados do IBGE (2005) a cidade de Matinhos tem pecuária predominante de aves (1500 cabeças), agricultura permanente de banana (142 ton.), laranja (8 ton.), tangerina (17 ton.) e palmito (1 ton.). Guaratuba apresenta pecuária de bovinos (1770 cabeças) e frangos (8500 cabeças), agricultura permanente de banana (76.334 ton.), laranja (96 ton.) maracujá (20 ton.) e tangerina (150 ton.), ressaltando que a agricultura citada é a permanente, porém produtos como arroz, cana-de-açúcar, mandioca e milho são importantes em certas épocas do ano para os dois municípios, principalmente devido à sazonalidade do fluxo turístico, para qual é direcionada a produção nos meses de verão.

Nas últimas três décadas a desembocadura da Baía de Guaratuba vem sofrendo forte pressão urbana devido ao seu desenvolvimento, que utiliza a sua vocação turística como importante recurso financeiro, já que as praias e a própria baía oferecem boas opções de lazer e recreação (MIZERKOWSKI, 2005). A ocupação do entorno da baía é praticamente toda irregular, principalmente na margem sul onde se localiza a cidade de Guaratuba (KRUEGER, 2004).

Tais atividades caracterizam o crescente desenvolvimento urbano das regiões costeiras, como o uso e ocupação do solo e da coluna d'água, interferindo na dinâmica natural do sistema estuarino e praias adjacentes (ZEM *et al.*, 2005a).

Estas atividades, bem como o progressivo uso das águas para aquicultura, a ocupação irregular e desordenada, a falta de tratamento de esgotos (segundo SANTOS (2003), até 2003 o município contava com apenas 30% das residências com manilhamento), a possibilidade de aumento de barragens, o aumento do turismo, até as propostas de obras de infra-estrutura (ponte Caiobá-Guaratuba, obras costeiras de apoio ao turismo, a navegação turística, etc.), demandam o conhecimento da ecologia, da hidrodinâmica, da qualidade da água e sedimentos, bem como do zoneamento ambiental da baía.

Outro agravante que merece destaque é a flutuação populacional que a região sofre ao longo do ano. Na época de veraneio, principalmente no feriado de Ano Novo e no Carnaval, a população das cidades de Guaratuba e Matinhos pode até triplicar. A circulação de embarcações é constante ao longo do ano mas, nos meses de verão, o fluxo é exacerbado principalmente na travessia de ferry-boat que liga a cidade de Guaratuba ao balneário de Caiobá (cidade de Matinhos).

Apesar de toda a problemática acima exposta, da área total de 1.316,51 Km<sup>2</sup> que constitui o município de Guaratuba, 95% é área de proteção ambiental – APA (Área de Proteção Ambiental Estadual de Guaratuba) – instituída pelo Decreto n.º 1.234/92. O Município de Guaratuba abriga ainda dois parques, o Parque Estadual do Boguaçu (6.600,64 ha), criado pelo Decreto Estadual n.º 40.056/98, e o Parque Nacional Saint Hilaire-Lange (25.000 ha), criado pela Lei Federal n.º 10.227/01, elevando o grau de comprometimento da região em relação às fragilidades ambientais. Essas unidades de conservação objetivam preservar belezas cênicas, proteger recursos hídricos, incentivar o desenvolvimento regional, através da conservação e uso sustentável dos recursos naturais, e ainda servir como zona-tampão entre áreas de proteção mais rigorosas.

A Baía de Guaratuba apresenta uma natureza exuberante, com bosques de manguezais e marismas ainda preservados principalmente na margem norte, além de abrigar uma das florestas mais ricas, diversas e ameaçadas no

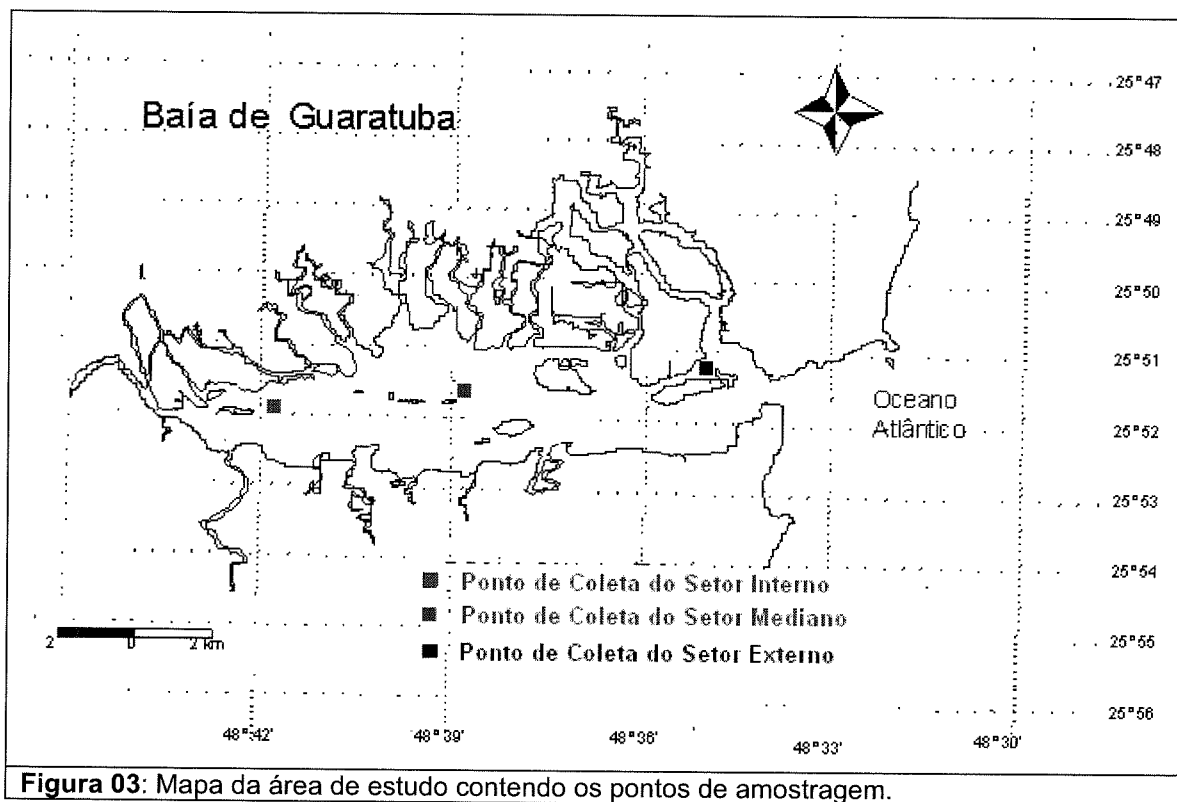
mundo inteiro: a Mata Atlântica. Segundo CHAVES e VENDEL (1997), a baía abriga populações de peixes para fins reprodutivos, constituindo um local importante no ciclo de vida de diversas espécies estuarinas e marinhas que ocupam a região costeira.

Até meados da década de 90, os estudos na baía eram basicamente de caráter biológico, tais como: estudo da reprodução da tainha na Baía de Guaratuba (MARTERER, 1989), migração, recrutamento e reprodução de peixes (CHAVES e VENDEL, 1997; CHAVES, 1998). Trabalhos recentes foram realizados em diferentes áreas do conhecimento, destacando-se: com enfoque físico (MARONE *et al.*, 2004), físico-químico (MIZERKOWSKI, 2005; NAZARIO, 2005), geoquímico (SANDERS, 2005; ZEM *et al.*, 2005; RIBEIRO 2006), biológico (HOSTIN, 2003; BORDIGNON, 2006) e de gestão ambiental (SENNES, 2004; KRUEGER, 2004), entre outros, evidenciando a crescente preocupação de pesquisadores no levantamento de informações que possam subsidiar no monitoramento ambiental e na tomada de decisões de autoridades competentes no estuário da Baía de Guaratuba.



#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo contemplou duas campanhas de amostragem, sendo uma realizada no mês de setembro de 2005 (considerado período seco) e outra realizada em março de 2006 (período chuvoso). Em cada campanha amostral foram realizadas amostragens na água e nos sedimentos (retirada de testemunhos sedimentares) em três setores da Baía de Guaratuba: interno, intermediário e externo, segundo um gradiente espacial de salinidade (Figura 03). O planejamento amostral foi elaborado com base em trabalhos realizados anteriormente (MARONE *et al.*, 2004; MIZERKOWSKI, 2005; SANDERS, 2005; ZEM *et al.*, 2005a) na Baía de Guaratuba que propuseram uma subdivisão da mesma, considerando propriedades como: qualidade da água (aspectos físico-químicos), geologia, geomorfologia, hidrografia, taxas de deposição e sedimentação, entre outros.



#### 4.1 Amostragem e procedimentos analíticos

As determinações analíticas foram realizadas em três laboratórios, a saber:

1. Laboratório de Biogeoquímica Marinha (Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná) – Água: análises de pH, oxigênio dissolvido, saturação de CO<sub>2</sub>, filtração e extração de clorofila-*a* e feopigmentos, material particulado em suspensão (seston), nutrientes inorgânicos dissolvidos, fósforo e nitrogênio total. Sedimentos: clorofila-*a* e feopigmentos.
2. Laboratório de Geologia Marinha (Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná) – Sedimentos: análises granulométricas, teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica.
3. Laboratório de Biogeoquímica Marinha (Departamento de Geoquímica, Instituto de Química /Universidade Federal Fluminense) – Sedimentos: análises de fósforo total, inorgânico e orgânico.

##### 4.1.1. Coluna d'água

Em cada campanha foram retiradas amostras de água do setor interno (25°52'10"S e 48°42'02"W), intermediário (25°51'28"S e 48°38'34"W) e externo (25°51'18"S e 48°34'56"W) da Baía de Guaratuba. Amostras de água foram tomadas em sub-superfície no local da coleta dos testemunhos (baixios). Além disso, amostras de fundo e superfície também foram tomadas, quando possível, nos canais adjacente aos baixios, coletados com auxílio de uma garrafa de Van Dorn, para a determinação das variáveis físico-químicas. Foram determinados *in situ* a salinidade, a profundidade, o pH e a temperatura. Em laboratório foram analisados o oxigênio dissolvido (OD), a alcalinidade (fixada em campo com HCl 0,01 M), a saturação de CO<sub>2</sub>, os nutrientes inorgânicos dissolvidos, fósforo e nitrogênio total, clorofila-*a*, feofitina e o material particulado em suspensão (Seston).

A seguir, são descritas as metodologias utilizadas nessa pesquisa para todos os parâmetros analisados na coluna de água.

#### 4.1.1.1 Salinidade

A salinidade da água (conteúdo de sais dissolvidos na água do mar) foi medida através de um refratômetro de mão da marca Atago, sendo a unidade em partes por mil (‰).

#### 4.1.1.2 Profundidade

A profundidade da coluna de água foi mensurada com auxílio de um cabo graduado.

#### 4.1.1.3 pH

A determinação foi realizada segundo procedimentos descritos em STRICKLAND e PARSONS (1972), utilizando-se de um pH-metro HANNA intruments H18424 devidamente calibrado.

#### 4.1.1.4 Temperatura

A temperatura da água foi medida em campo com um termômetro padrão a mercúrio. O termômetro foi mergulhado a uns 30 cm da superfície para as medidas de sub-superfície e em um béquer contendo uma sub-amostra de água de fundo para as amostras de águas mais profundas.

#### 4.1.1.5 Oxigênio Dissolvido

O método utilizado nesse trabalho é o descrito por GRASSHOFF *et al.*, (1983), sendo que a determinação está baseada no método iodométrico clássico descrito por Winkler (titrimetria de oxidação e redução), 1888.

#### 4.1.1.8 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

Análises de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e silicato) foram realizadas por métodos colorimétricos descritos em GRASSHOFF *et al.*, (1983). A leitura das absorbâncias foi realizada em um Spectrofotômetro UV-1601PC da marca Shimadzu.

#### 4.1.1.9 Nitrogênio e Fósforo Total (NT e PT)

As amostras para a determinação de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) foram estocadas em frascos de polietileno e refrigeradas até a chegada no laboratório, onde foram congeladas até a análise. O método utilizado foi descrito em GRASSHOFF *et al.*, (1983) e consiste na oxidação da amostra não filtrada com persulfato de potássio em autoclave seguida pela determinação de

cada um dos nutrientes. A oxidação é a responsável pela conversão de toda a porção orgânica em inorgânica. Após a oxidação, parte da amostra é utilizada para a determinação do NT e outra para a determinação de PT na forma de nutrientes inorgânicos (NT na forma de nitrito e PT na forma de fosfato), através do método colorimétrico descrito por GRASSHOFF *et al.*, (1983).

#### **4.1.1.10 Clorofila-a e Feopigmentos**

A clorofila-a presente na água (Chl-a) e a feofitina (feopigmentos), foram determinadas por fluorimetria, segundo método descrito em STRICKLAND e PARSONS (1972), como segue: as amostras foram filtradas em filtros GF-52C  $\varnothing$  47 mm (Schleicher & Schuell) segundo um volume conhecido. Em seguida os filtros foram colocados em tubos de ensaio, sendo adicionados 10 ml de acetona 90% em cada amostra. Os tubos foram colocados dentro de sacos plásticos escuros e acondicionados no freezer por no mínimo 20 horas de extração. Depois, centrifugados a 2500 rpm por 20 minutos. As amostras foram então lidas em um fluorômetro Turner Designs, modelo AU-10. Após a leitura de cada amostra, foram adicionadas HCl 0,1 M e a leitura realizada novamente para a determinação dos feopigmentos.

#### **4.1.1.11 Material particulado em suspensão (Seston)**

A distinção entre o material em suspensão e o material dissolvido é arbitrária: partículas com diâmetro maior que 0,45  $\mu$ m são consideradas, quimicamente, em suspensão, e as menores estão dissolvidas. O método utilizado está descrito em STRICKLAND & PARSONS (1972). O princípio do método consiste na gravimetria de volatilização. Um volume conhecido de amostra passa por um filtro, pré-pesado. Após a secagem, o filtro contendo o material retido é pesado novamente. Foram utilizados filtros GF-52C  $\varnothing$  47 mm (Schleicher & Schuell) e uma balança Mettler H51AR com precisão de cinco casas decimais.

#### **4.1.2 Sedimentos**

As amostragens consistiram na inserção manual de testemunhos no sedimento em locais conhecidos como planícies de marés, onde a profundidade não passou de 1,5 m (maré baixa).

Em cada uma das duas campanhas amostrais, de aproximadamente 30 cm de comprimento foram coletados testemunhos em triplicata: 1 para granulometria, pH, Eh, carbonato e MO, outros dois utilizados para clorofila, carbono orgânico total e fósforo (PT, PI, PO), cobrindo os três setores da baía: setor interno, intermediário e externo. Então, em cada coleta foram retirados nove testemunhos, totalizando dezoito testemunhos coletados.

Em campo, com auxílio de um eletrodo redox Analion ROX-500 e de um pH-metro Analion PM-602, foram realizadas medidas de Eh e pH, respectivamente, a cada 2 cm do testemunho, abrangendo a água de contato, a camada superficial, e assim por diante, sempre em intervalos de 2 cm, imediatamente após a coleta. Os testemunhos utilizados para essas medidas foram dotados de pequenos orifícios dispostos ao longo dos tubos para a mensuração com os eletrodos específicos.

No laboratório, os testemunhos foram seccionados da seguinte maneira: 0 – 2, 2 – 5, 5 – 8, 8 – 11, 11 – 16 e 16 – 21 cm. Com a finalidade de reduzir ao máximo a interferência do oxigênio, uma vez que as frações do fósforo são extremamente sensíveis as condições redox, as secções foram feitas no glove bag, alimentada com nitrogênio molecular, inerte. Uma alíquota de cada amostra foi seca até peso constante em estufa a temperatura de 60 °C e utilizada para as análises de fósforo, após a maceração.

#### 4.1.2.1 Fósforo

A análise de fósforo total, inorgânico e orgânico no sedimento foi baseada na metodologia descrita por ASPILA *et al.*, (1976). O P-total (orgânico + inorgânico) foi determinado através de calcinação em mufla (450 °C) de 0,5 g de sedimento seco por 2 horas. Após a queima em mufla, foram adicionados 10 ml de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> por um tempo de extração de 16 horas em mesa agitadora para cada amostra. Após as 16 horas de extração, as amostras foram centrifugadas durante 15 minutos a 2500 rpm. Após a centrifugação, foram retiradas alíquotas de 0,5 ml do extrato sendo completadas com 9,5 ml de água deionizada (fator de diluição de 20). Após esses procedimentos, a metodologia segue como análise colorimétrica para o fósforo inorgânico dissolvido (GRASSHOFF *et al.*, 1983). O fósforo inorgânico (PI) foi determinado conforme o mesmo procedimento usado para o fósforo total,

porém em alíquota de sedimento seco não calcinado. O fósforo orgânico (PO) foi determinado pela diferença entre o teor de fósforo total e o inorgânico:

$$PO = P\text{-total} - PI$$

#### 4.1.2.2 *Carbono orgânico total*

A metodologia utilizada para a determinação do carbono orgânico total é derivada do método de STRICKLAND & PARSONS (1972) onde a matéria orgânica é determinada a partir do seu equivalente em carbono. O sedimento é inicialmente seco e macerado, toma-se uma porção (0,015 g) que é aquecida a 100 °C com uma solução de dicromato de potássio em meio de ácido sulfúrico empregado em excesso. A quantidade de  $Cr^{3+}$  pela matéria e a quantidade em excesso é então medida pela titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal. O titulador utilizado é da marca Metrohm, modelo 702 SM Titrimo.

#### 4.1.2.3 *Clorofila-a e Feofitina*

Para as análises de clorofila, foram utilizados 1 g de sedimento úmido, ou seja, para essa análise o sedimento deve estar o mais parecido possível com aquele que é verificado em campo, sempre evitando a incidência de luz. As amostras foram colocadas em tubo de ensaio seguidas com extração de acetona P.A.. Depois da adição do reagente, as amostras foram colocadas em um agitador Quimis, sendo então levadas para o freezer, onde permaneceram por no mínimo 20 horas. Após a extração, as amostras foram colocadas em uma centrífuga Excelsa Baby 206 a 2500 rpm por 20 minutos. A leitura foi realizada posteriormente através de varredura de comprimentos de onda no espectrofotômetro, antes e após a adição de  $HCl\ 1\ mol.L^{-1}$ . A diferença entre as absorvâncias das amostras que não receberam ácido e entre as acidificadas fornece os níveis de clorofila-a e feofitina.

#### 4.1.2.4 *Análises Granulométricas*

A metodologia utilizada foi a de pipetagem e peneiramento. A análise granulométrica de sedimentos por pipetagem (determinação das frações finas) e peneiramento (determinação das frações grossas) é realizada em duas etapas principais: tratamento ou preparação das amostras; medição propriamente dita (pipetagem e peneiramento), com quantificação das frações granulométricas por método gravimétrico (relacionado ao peso das frações)

segundo SUGUIO (1973), modificado por ZEM *et al.*, (2005b). O diâmetro médio dos grãos foi calculado pelo método de FOLK e WARD (1957) com o auxílio *software* SysGran 2.4.

#### 4.1.2.5 *Matéria orgânica (M.O.)*

Uma sub-amostra de sedimento (aproximadamente 5 g) foi levada para a mufla, em recipiente apropriado, para que a matéria orgânica fosse eliminada por calcinação. A temperatura foi de 550 °C e o tempo de exposição 1 h. Após esse procedimento o sedimento foi pesado novamente. O teor de matéria orgânica foi obtido pela razão entre o peso inicial (antes da calcinação) e o peso final (após eliminação da matéria orgânica). Metodologia baseada em BERNER (1981).

#### 4.1.2.6 *Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>):*

Para determinar o teor de carbonato de cálcio, a sub-amostra de sedimento (aproximadamente 10 g) foi submetida ao ataque químico de solução ácida de HCl (10%), que eliminou o carbonato de cálcio das amostras. Cessada a reação, o sedimento é lavado e secado em estufa. O teor de carbonato de cálcio é determinado pela razão entre o peso inicial (antes do ataque por HCl) e o peso final (após ataque por HCl), segundo SUGUIO (1973).

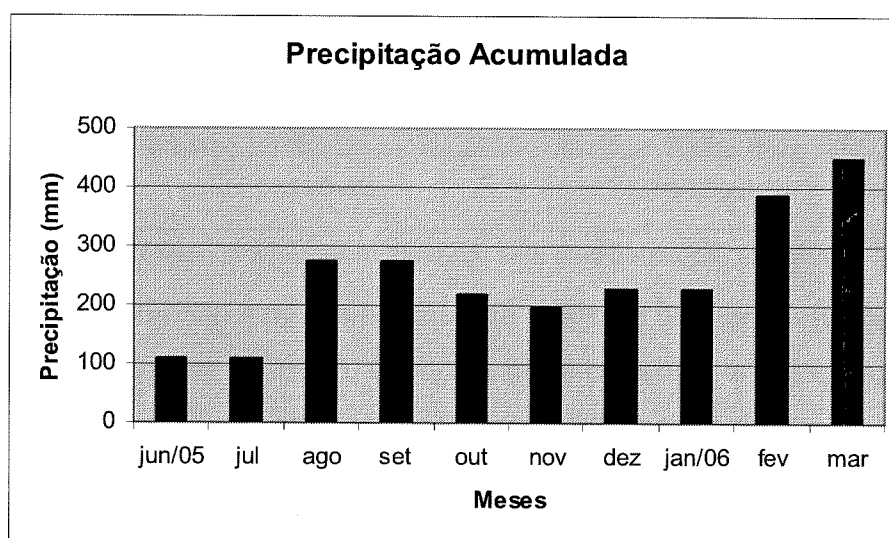
## 4.2 **Dados climatológicos**

Os dados meteorológicos, como precipitação e intensidade dos ventos, foram obtidos através do Instituto Tecnológico SIMEPAR.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Precipitação

Os dados de precipitação média acumulada nos meses entre e anteriores aos períodos de amostragem são apresentados no gráfico abaixo.

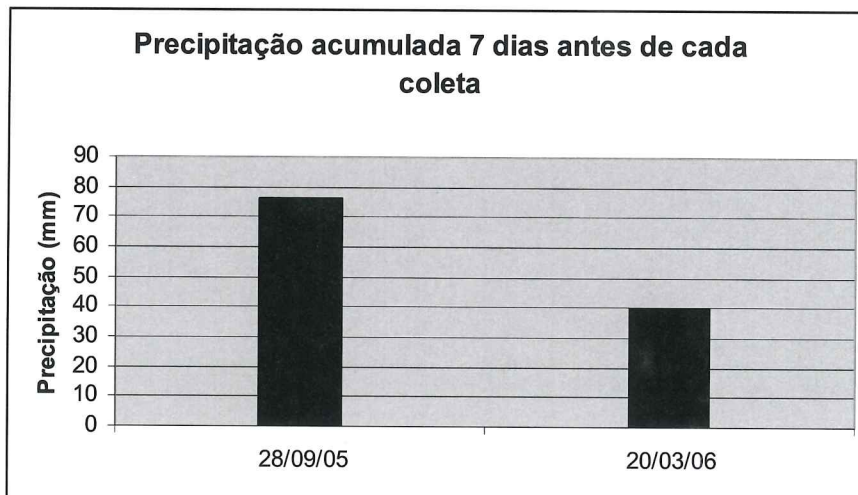


**Figura 04:** Precipitação média mensal acumulada entre os períodos de realização das duas campanhas de amostragem.

A Figura 04 representa a precipitação média mensal acumulada entre os períodos de realização das campanhas amostrais. O regime de precipitação foi caracterizado por uma distinção entre período seco (contribuíram para tal caracterização principalmente os meses de junho e julho de 2005) e chuvoso (fevereiro e março de 2006). Os menores índices médios mensais acumulados foram de 109, 110 e 197 mm em julho, junho e novembro de 2005, respectivamente. A precipitação máxima acumulada foi registrada em março de 2006, em torno de 449 mm, seguida do mês de fevereiro de 2006, de 386 mm. Os outros meses não apresentaram grandes diferenças entre si, ficando na faixa de precipitação entre 200 e 300 mm.

A seguir (Figura 05) são apresentados os dados de precipitação pluviométrica acumulada em sete dias anteriores às duas campanhas de amostragem.





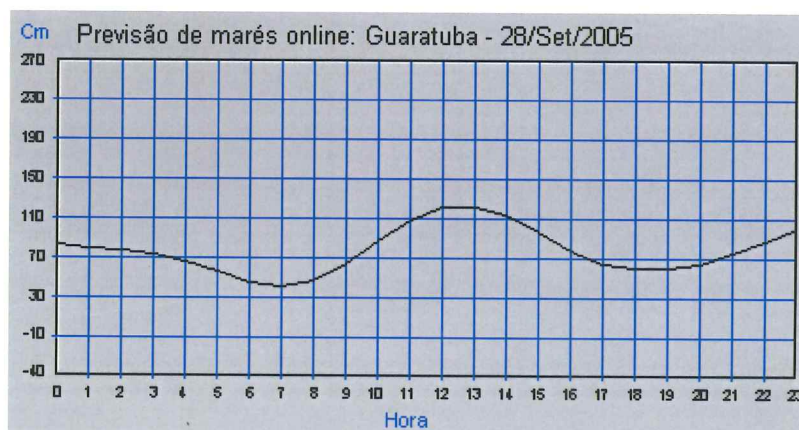
**Figura 05:** Precipitação acumulada em sete dias anteriores às coletas.

As taxas de precipitação acumulada nos sete dias antes de cada coleta são representadas na figura 05. Como se pode observar, a coleta que teve os maiores índices antecedentes de precipitação foi a coleta realizada no mês de setembro de 2005.

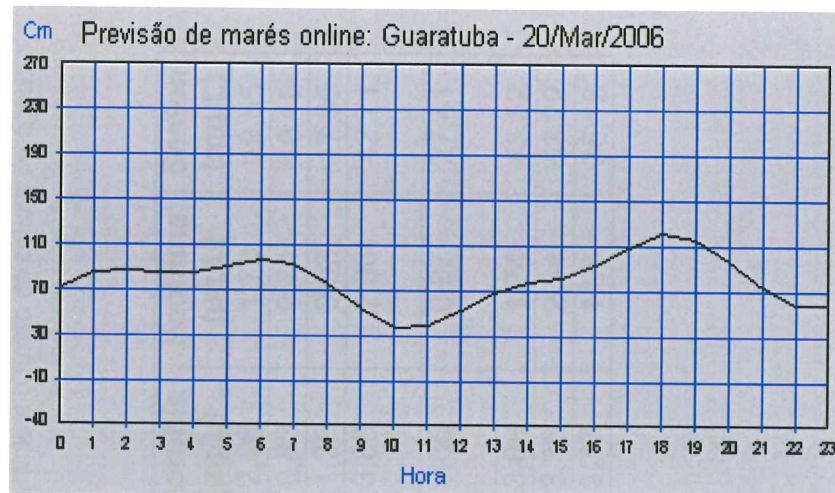
## 5.2 Água

### 5.2.1 Variação da maré

As figuras 06 e 07 mostram as variações da maré observadas nos dois dias em que foram realizadas as amostragens do presente estudo.



**Figura 06:** Variação da maré verificada no dia da amostragem do mês de setembro. Fonte: [www.cem.ufpr.br](http://www.cem.ufpr.br)



**Figura 07:** Variação da maré verificada no dia da amostragem do mês de março. Fonte: [www.cem.ufpr.br](http://www.cem.ufpr.br)

A coleta do mês de setembro de 2005 apresentou situação de enchente, com intensidades diferentes, durante toda a manhã em que foi realizada a coleta (Figura 06). No mês de março a coleta ocorreu na transição da maré vazante para enchente.

### 5.2.2 Variáveis físico-químicas

As tabelas 02, 03, 04 e 05 apresentam os dados de todas as variáveis físico-químicas analisadas na coluna de água nas duas campanhas de amostragem, para os três setores da Baía de Guaratuba.

**Tabela 02:** Dados de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido (OD), CO<sub>2</sub>, pH, clorofila, feofitina e material particulado em suspensão (Seston) encontrados no mês de setembro de 2005 para os três setores da Baía de Guaratuba.

\* Água superficial coletada no mesmo local de amostragem dos testemunhos

\*\* Canal adjacente aos locais de amostragem dos testemunhos onde, quando possível, eram amostradas a superfície e o fundo da coluna de água.

Local	Estrato	Temperatura a (°C)	Salinidade	OD (mg/L)	Sat. OD (%)	pH	Clorofila (µg/L)	Feofitina (µg/L)	Seston (mg/L)
S. interno (baixo)*	S	17	0	6,22	93,2	6,36	2,68	1,70	19,55
S. interno (canal)**	F	17	0	6,01	83,1	6,73	0,82	0,74	19,18
S. interno (canal)**	S	17	0	7,94	102,5	6,33	1,35	0,93	17,95
S. mediano (baixo)*	S	19	9	6,97	92,4	7,02	3,88	2,06	42,71
S. mediano (canal)**	Meia água	19	9	6,59	92,8	7,00	3,35	0,97	27,41
S. externo (baixo)*	S	19,5	24	7,39	104,0	7,46	3,09	1,74	43,52
S. externo (canal)**	F	19,5	29	7,53	105,9	7,69	3,36	2,54	53,22
S. externo (canal)**	S	19,5	21	7,07	99,4	7,74	2,77	1,08	35,18

**Tabela 03:** Concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrogênio inorgânico dissolvido total, fósforo total, nitrogênio total e razões NID:PID e NT:PT encontradas no mês de setembro de 2005 para os três setores da Baía de Guaratuba.

\*Água superficial coletada no mesmo local de amostragem dos testemunhos.

\*\* Canal adjacente aos locais de amostragem dos testemunhos onde, quando possível, eram amostradas a superfície e o fundo da coluna de água.

Local	Estrato	Si(OH) <sub>4</sub> (µM)	PO <sub>4</sub> (µM)	NO <sub>2</sub> (µM)	NO <sub>3</sub> (µM)	NH <sub>4</sub> (µM)	NID (µM)	PT (µM)	NT (µM)	Razão NID:PI D	Razão NT:PT
S. interno (baixo)*	S	100,51	0,39	0,17	9,49	2,42	12,08	0,72	15,26	30,97	21,19
S. interno (canal)**	F	85,41	1,49	0,15	9,14	2,31	11,61	1,78	15,86	7,79	8,91
S. interno (canal)**	S	121,25	0,22	0,15	12,69	1,44	14,27	0,74	16,49	64,86	22,28
S. mediano (baixo)*	S	82,58	0,30	0,18	5,59	0,62	6,39	1,16	17,47	21,30	15,06
S. mediano (canal)**	Meia água	82,99	0,54	0,21	5,64	1,03	6,88	0,81	14,8	12,74	18,27
S. externo (baixo)*	S	33,91	0,24	0,14	2,88	1,41	4,43	1,40	9,94	18,46	7,10
S. externo (canal)**	F	10,77	0,23	0,10	0,97	1,16	2,24	1,23	9,39	9,74	7,63
S. externo (canal)**	S	23,93	0,30	0,12	2,43	1,78	4,34	1,38	10,23	14,47	7,41

**Tabela 04:** Dados de temperatura, salinidade, OD, CO<sub>2</sub>, pH, clorofila, feofitina e material particulado em suspensão (Seston) encontrados no mês de março de 2006 para os três setores da Baía de Guaratuba.

\* Água superficial coletada no mesmo local de amostragem dos testemunhos.

\*\* Canal adjacente aos locais de amostragem dos testemunhos onde foi amostrada a superfície da coluna de água.

Local	Estrato	Temp. (°C)	Salinidade	OD (mg/L)	Sat. OD (%)	pH	Clorofila (µg/L)	Feofitina (µg/L)	Seston (mg/L)
S. interno (baixo)*	S	28	0	3,86	57,9	6,95	7,34	2,24	35,74
S. interno (canal)**	S	27,5	0	4,68	64,7	6,75	9,45	1,35	33,74
S. mediano (baixo)*	S	28,5	9	5,20	67,2	7,38	11,07	4,87	43,94
S. mediano (canal)**	S	28,5	9	3,57	50,2	7,36	11,94	5,36	39,98
S. externo (baixo)*	S	28,5	25	5,94	83,7	7,93	9,90	3,24	42,75

**Tabela 05:** Concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrogênio inorgânico dissolvido total, fósforo total, nitrogênio total e razões NID:PID e NT:PT encontradas no mês de março de 2006 para os três setores da Baía de Guaratuba.

\*Água superficial coletada no mesmo local de amostragem dos testemunhos.

\*\* Canal adjacente aos locais de amostragem dos testemunhos onde foi amostrada a superfície da coluna de água.

Local	Estrato	Si(OH) <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	PO <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	NO <sub>2</sub> ( $\mu$ M)	NO <sub>3</sub> ( $\mu$ M)	NH <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	NID ( $\mu$ M)	PT ( $\mu$ M)	NT ( $\mu$ M)	Razão NID:PID	Razão NT:PT
S. interno (baixo)*	S	122,01	0,04	0,11	1,94	1,96	4,02	1,37	9,49	100,5	6,93
S. interno (canal)**	S	165,45	0,05	0,13	2,59	1,92	4,66	0,98	9,45	93,20	9,64
S. mediano (baixo)*	S	77,02	0,13	0,08	0,37	1,72	2,17	1,81	10,41	15,84	5,75
S. mediano (canal)**	S	76,29	0,03	0,08	0,19	1,57	1,85	1,98	7,40	61,67	3,74
S. externo (baixo)*	S	35,53	0,17	0,09	0,18	0,96	1,24	1,48	8,53	7,13	5,76

#### 5.2.2.1 Caracterização meteoceanográfica das campanhas de amostragem

A amostragem do mês de setembro foi realizada em maré de quadratura (Figura 06). A coleta ocorreu entre 09:30 e 13:30 do dia 28/09/2005. Na coleta do setor interno (9:30) o tempo estava nublado, com chuvisco, vento fraco do quadrante Leste e início da maré enchente. No setor mediano (11:00), o tempo era nublado, com chuvisco, vento forte do quadrante Leste e maré enchente forte. No setor externo (12:00) o tempo também estava nublado, com chuva moderada e vento do quadrante Leste forte.

No mês de março, a coleta também foi realizada em situação de maré de quadratura (Figura 07). A coleta estendeu-se entre as 08:45 e 12:30 do dia 20/03/2006. O tempo permaneceu bom durante toda a amostragem, com predomínio de vento Leste de intensidade fraca. No horário da coleta do setor interno (08:45) a maré estava vazando. No setor mediano (09:40) a maré estava parada (estofo da maré vazante). Na amostragem do setor mediano, a maré estava saindo do estofo da vazante e começando a encher.

#### 5.2.2.2 Setor Interno

A temperatura da água apresentou valores bastante distintos entre as duas coletas, com mínimo de 17 °C no mês de setembro e máximo de 28 °C em março (Tabelas 02 e 04). A salinidade, em ambas as coletas, foi 0.

De uma maneira geral, os valores de oxigênio dissolvido (OD) de setembro foram mais altos que aqueles encontrados em março. O valor máximo foi de 7,94 mg/L (canal de superfície) em setembro de 2005 e mínimo de 3,86 mg/L (baixio) em março de 2006 (Tabelas 02 e 04). A saturação de OD (%) teve valor máximo de 102,54% e mínimo de 57,92% em setembro e março, respectivamente, seguindo o padrão da concentração em mg/L.

Os valores de pH mostraram-se mais elevados em março, com máximo de 6,95 (baixio), e mínimo de 6,33 (canal) em setembro.

A concentração de clorofila-a apresentou diferenças entre as duas coletas (Tabelas 02 e 04). No mês de março, que apresentou os maiores valores, foi encontrado 9,45 µg/L (canal) de concentração máxima. A menor concentração foi de 0,82 µg/L (canal de fundo) verificada em setembro. A feofitina também seguiu o padrão da clorofila-a, com valor máximo de 2,24 µg/L (baixio) em março e valor mínimo de 0,74 µg/L (canal de fundo) em setembro.

Em relação aos nutrientes, o silicato apresentou concentrações ligeiramente maiores em março (Tabelas 03 e 05). O valor máximo foi de 165,45  $\mu\text{M}$  e o menor valor foi de 85,41  $\mu\text{M}$ . As concentrações de fosfato apresentaram valores irregulares e bem distintos entre as coletas analisadas. No mês de setembro foram encontrados os valores mais elevados, com máximo de 1,49  $\mu\text{M}$  (canal fundo). O mês de março apresentou valores reduzidos, com o mínimo de 0,04  $\mu\text{M}$  (baixo). A concentração de nitrito apresentou pequena variação entre os dois meses analisados. Valores mais altos, de 0,15  $\mu\text{M}$  a 0,17  $\mu\text{M}$  (banco) foram verificados em setembro. Em março os valores ficaram entre 0,11 e 0,13  $\mu\text{M}$  (canal). O nitrato apresentou grande variação entre as duas coletas analisadas. Enquanto a coleta de setembro apresentou valores altos, com máximo de 12,69  $\mu\text{M}$  (canal superfície), o mês de março apresentou pequenas concentrações, com mínimo de 1,94  $\mu\text{M}$  (banco). Seguindo a tendência do fosfato e nitrato, concentrações mais elevadas em setembro também ocorreram para o nitrogênio amoniacal, com máximo de 2,42  $\mu\text{M}$  (baixo), e mínimo de 1,92  $\mu\text{M}$  (canal) em março. A soma do nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal representando o nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), apresentou conseqüentemente os valores mais elevados em setembro.

A concentração de fósforo total (PT), no entanto, não mostrou grande oscilação entre as coletas como aquela verificada para os nutrientes inorgânicos dissolvidos (Tabelas 03 e 05). As concentrações diferiram até entre os locais amostrados no mesmo mês. O máximo de PT foi de 1,78  $\mu\text{M}$  e o mínimo de 0,72  $\mu\text{M}$ , ambas as concentrações verificadas em setembro. Já o nitrogênio total (NT) apresentou distinção entre as duas coletas, seguindo o padrão do NID, com máximos em setembro (16,49  $\mu\text{M}$ ) e mínimos em março (9,45  $\mu\text{M}$ ).

A razão NID:PID (razão entre os nutrientes inorgânicos nitrogenados dissolvidos e o fosfato inorgânico dissolvido) mostrou grande variação entre os locais amostrados (baixo e canal) e entre as duas amostragens (Tabelas 03 e 05). Os valores no mês de março foram bem superiores ao mês de setembro, com máximo de 100,5 (baixo). O menor valor, de 7,79, foi encontrado canal de fundo em setembro de 2005. Já a razão entre o nitrogênio e o fósforo total (NT:PT) foi mais elevada no mês de setembro de 2005, com máximo de 22,28



no canal de superfície em setembro e mínimo de 6,93 no baixo coletado em março.

O material particulado em suspensão apresentou os maiores valores no mês de março para este setor (Tabelas 02 e 04). O valor máximo encontrado foi de 35,74 mg/L no baixo durante a coleta de março, e o menor valor foi de 17,95 mg/L verificado no canal de superfície durante a coleta de setembro.

#### 5.2.2.3 Setor Mediano

A temperatura da água variou entre 19 e 28,5 °C, com valor mínimo em setembro de 2005 e máximo em março. A salinidade não apresentou variação entre as amostras coletadas nos dois meses estudados, tendo um valor constante de 9 (Tabelas 02 e 04).

O OD apresentou variação, com máximo de 6,97 mg/L (baixo) em setembro e mínimo de 3,57 mg/L em março. A saturação de OD também apresentou valores mais elevados na coleta do mês de setembro (Tabela 02).

O pH foi ligeiramente menor no mês de setembro, quando foi encontrado o valor mínimo de 7,0. Em março os valores foram maiores, com máximo de 7,38 no baixo.

A concentração de clorofila-*a* apresentou valores mínimos de 3,35 µg/L (canal) em setembro (Tabela 02). Os maiores valores foram observados durante o período mais quente, com um máximo de 11,94 µg/L na água do canal adjacente ao baixo (Tabela 04). Assim como a clorofila, os produtos de sua degradação (feofitina) também apresentaram maiores concentrações no mês mais quente. O valor máximo foi de 5,36 µg/L no canal e o mínimo foi de 0,97 µg/L no mesmo local, porém em setembro de 2005.

Os valores mais elevados de silicato foram registrados no período de março, com valor máximo de 82,99 µM (Tabela 05). O valor mínimo, de 76,29 µM, foi encontrado em setembro. O fosfato não apresentou padrão definido, com valores máximo e mínimo de 0,13 e 0,03 µM, ambos verificados no mês de março (Tabela 05). Os maiores valores de nitrito ocorreram no mês de setembro, com máximo de 0,21 µM (Tabela 03). Em março os valores foram mais baixos (Tabela 05), com mínimos de 0,08 µM nos dois locais do setor mediano analisados nesse período (baixo e canal). O nitrato apresentou pronunciada diferença entre as coletas, com valores mais elevados no mês de

setembro (Tabelas 03 e 05). O máximo foi de 5,64  $\mu\text{M}$  verificado em setembro e o mínimo foi de 0,19  $\mu\text{M}$  em março. O nitrogênio amoniacal apresentou padrão inverso do nitrato, sendo as maiores concentrações verificadas em março (Tabela 05). O valor mínimo foi de 0,62  $\mu\text{M}$  e o máximo de 1,72  $\mu\text{M}$ . A concentração de NID foi maior no mês de setembro, com valor máximo de 6,88  $\mu\text{M}$ , e a menor concentração ficou em 1,85  $\mu\text{M}$ .

O PT apresentou as maiores concentrações no mês mais quente (Tabela 05), entre 1,81 e 1,98  $\mu\text{M}$ . Já em setembro, as concentrações ficaram entre 0,81 e 1,16  $\mu\text{M}$ . O NT apresentou padrão inverso ao do PT, com concentrações mais elevadas (entre 14,8 e 17,47  $\mu\text{M}$ ) em setembro e mais diminutas em março (entre 7,4 e 10,41  $\mu\text{M}$ ).

A razão NID:PID não apresentou grandes diferenças entre os períodos analisadas, apresentando níveis oscilantes nos dois meses (Tabelas 03 e 05). Valor máximo de 61,67 foi encontrado em setembro (baixio), enquanto o menor valor, de 12,74 (canal) foi verificado em março. A razão entre o nitrogênio e o fósforo total, diferente da razão entre suas formas inorgânicas dissolvidas, apresentou marcada diferença sazonal. O mês de setembro apresentou os maiores valores (15,06 e 18,27), enquanto no mês de março verificaram-se os menores (3,74 e 5,75).

O seston não apresentou uma diferença temporal marcante, como aquela verificada no setor interno, entre os meses analisados para este setor (Tabelas 02 e 04). O máximo de 43,74 mg/L foi verificado no baixio coletado em março, enquanto o teor mínimo de material particulado em suspensão foi de 27,41 mg/L encontrado na meia água do canal adjacente a coleta dos testemunhos no mês de setembro.

#### 5.2.2.4 Setor Externo

A temperatura da água variou entre 19,5 e 28,5  $^{\circ}\text{C}$ , com máximo no mês de março e mínimo em setembro (Tabelas 02 e 04). A salinidade apresentou variação entre os estratos (superfície e fundo), com valor mínimo na água de superfície do canal (21) e máximo na água de fundo (29), ambas as amostras retiradas em setembro de 2005.

As maiores concentrações de OD foram encontradas em setembro (Tabela 02), com valor máximo de 7,53 mg/L na água de fundo do canal

adjacente ao baixo. O mínimo foi verificado em março, de 5,94 mg/L no baixo. A saturação de OD também apresentou os maiores valores em setembro. O máximo foi 105,95% na água de fundo, e o valor mínimo foi 83,7% no baixo.

Os valores de pH variaram entre 7,46 (baixo) e 7,74 (superfície do canal) para o mês de setembro. Em março, o pH foi de 7,93.

A concentração de clorofila-a foi mais elevada no período mais quente (Tabela 04). Em setembro, os valores oscilaram entre 2,77 µg/L (canal superficial) e 3,36 µg/L (canal de fundo) (Tabela 02). No mês de março, a concentração foi de 9,9 µg/L, sendo a maior verificada para esse setor da baía. Seguindo o mesmo padrão verificado para a clorofila, a feofitina também apresentou as maiores concentrações no período mais quente. O máximo foi de 3,24 µg/L e o mínimo 1,08 µg/L.

A concentração de silicato na coluna d'água foi baixa neste setor (Tabelas 03 e 05). A concentração mínima foi de 10,77 µM (canal fundo) em setembro e a máxima 35,53 µM no mês de março. Os valores de fosfato apresentaram diferença temporal. O máximo de 0,30 µM foi verificado em setembro, já o mínimo de 0,17 µM foi no mês de março. Os valores de nitrito foram mais elevados em setembro, variando entre 0,10 e 0,14 µM. Em março o valor encontrado foi de 0,09 µM. O mínimo e máximo de nitrato verificados foram 0,18 em março e 2,88 µM em setembro, respectivamente. O nitrogênio amoniacal também apresentou as maiores concentrações em setembro (entre 1,16 e 1,78 µM), enquanto no mês de março o valor foi de 0,96 µM. O NID seguiu tendência dos nutrientes nitrogenados, sendo as maiores concentrações encontradas no mês de setembro.

A concentração de PT não apresentou grande variação entre as duas coletas (Tabelas 03 e 05). O valor máximo foi de 1,48 µM em setembro, e o mínimo ficou em 1,23 µM no mês de setembro. Os valores de NT foram levemente superiores no mês de setembro (variando entre 9,39 e 10,23 µM) em relação ao mês de março (8,53 µM).

A razão entre o nitrogênio e o fósforo inorgânico dissolvido foi mais elevada no mês de setembro (Tabela 03). O valor máximo encontrado foi de 18,46µM no baixo amostrado em setembro e o menor foi de 7,13 µM no baixo no mês de março. A razão entre os nitrogenados totais e o fósforo total (razão

NT:PT) seguiu a tendência da razão entre as frações inorgânicas dissolvidas citada acima, com os maiores valores verificados no mês de setembro.

O material particulado em suspensão não apresentou marcada diferença entre as coletas analisadas. Os valores máximo e mínimo foram, respectivamente, 35,18 mg/L (canal de superfície) e 53,22 mg/L (canal de fundo) ambos os valores verificados na coleta do mês de setembro.

#### 5.2.2.5 *Água de Contato*

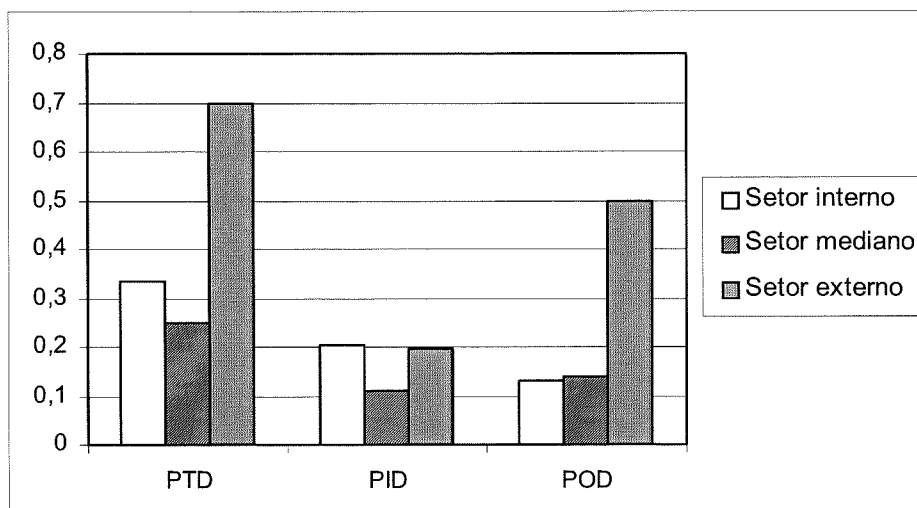
A água de contato (lâmina de água de fundo em contato direto com o sedimento) foi retirada, dentro do glove bag, dos testemunhos que ainda continham água acima do testemunho sedimentar, procedimento feito em laboratório.

A figura 08 apresenta os teores das três frações de P (total, inorgânico e orgânico, todas dissolvidas) analisadas na água de contato dos testemunhos amostrados no mês de setembro. Para o fósforo total dissolvido (PTD), as maiores concentrações foram verificadas no setor externo, com máximo de 0,82  $\mu\text{M}$ . O menor valor foi encontrado no setor mediano, de 0,25  $\mu\text{M}$ . De forma similar ao PTD, o maior valor de P inorgânico dissolvido foi encontrado no setor externo (0,28  $\mu\text{M}$ ), enquanto o menor valor (0,10  $\mu\text{M}$ ) também foi encontrado nesse setor. O P orgânico apresentou as maiores concentrações no setor externo (0,71  $\mu\text{M}$  de valor máximo), e a menor no setor interno (0,13  $\mu\text{M}$ ), sendo possível notar um gradiente de concentração na baía. Somente no setor externo a concentração de POD na água de contato em um testemunho superou a de PID.

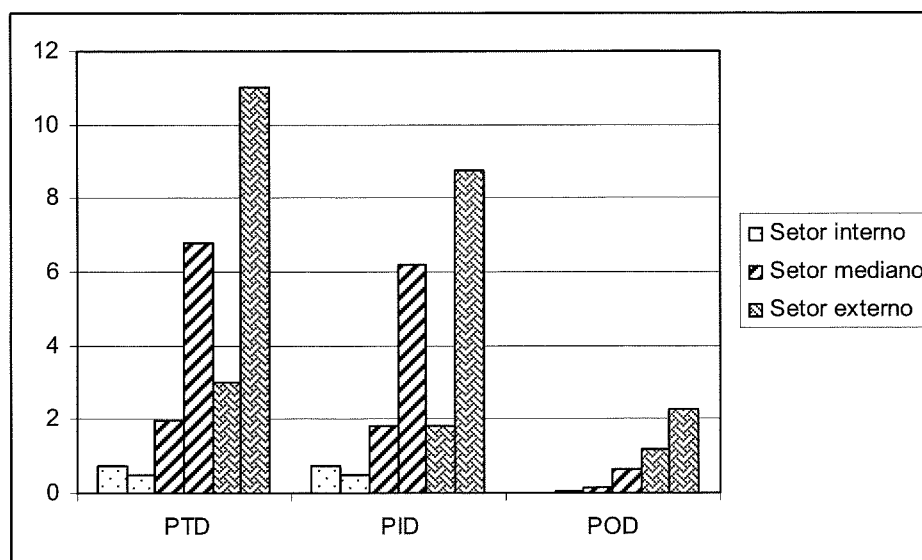
No mês de março (Figura 09), as maiores concentrações de PTD, PID e POD foram verificadas no setor externo, de respectivamente, 11,01, 8,74 e 2,27  $\mu\text{M}$ , seguido do setor mediano. As menores concentrações foram verificadas no setor interno da baía, sendo também notável um gradiente espacial de concentração das três frações de fósforo aumentando na direção montante-jusante da baía.

Tal gradiente espacial é visível, de uma maneira geral, para outras variáveis físico-químicas analisadas e já apresentadas anteriormente, tais como: temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e seston. Por outro lado, um gradiente inverso, de diminuição na concentração na direção montante-

jusante é verificada para outras variáveis, tais como: silicato, nitrato, nitrogênio amoniacal, razões NID:PID e NT:PT. Algumas variáveis, no entanto, não tiveram um gradiente de concentração espacial bem definido (como o fósforo total e inorgânico, nitrito e nitrogênio total) e outras apresentaram uma clara tendência de aumento na região mediana (clorofila e feofitina) da baía.



**Figura 08:** Concentrações de PTD (fósforo total dissolvido), PID (fósforo inorgânico dissolvido) e POD (fósforo orgânico dissolvido) da água de contato retirada dos testemunhos coletados em setembro de 2005.



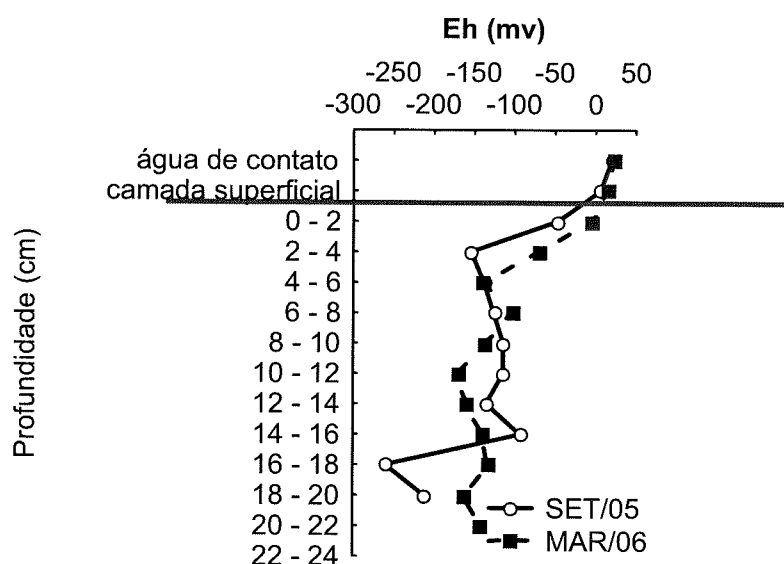
**Figura 09:** Concentrações de PTD (fósforo total dissolvido), PID (fósforo inorgânico dissolvido) e POD (fósforo orgânico dissolvido) da água de contato retirada dos testemunhos coletados em março de 2006.

### 5.3 Sedimentos

#### 5.3.1 Setor Interno

##### 5.3.1.1 Eh

Os valores do Eh medidos em campo apresentaram ampla variação (Figura 10). Foi observado um gradiente definido com valores máximos na água de contato diminuindo em relação à profundidade. O valor máximo foi de 23 mv na coleta de março de 2006 na água de contato e o mínimo foi de -212 mv entre os 16–18 cm de profundidade do testemunho coletado em setembro de 2005. A diferença sazonal não foi muito evidenciada para o potencial redox (Eh).

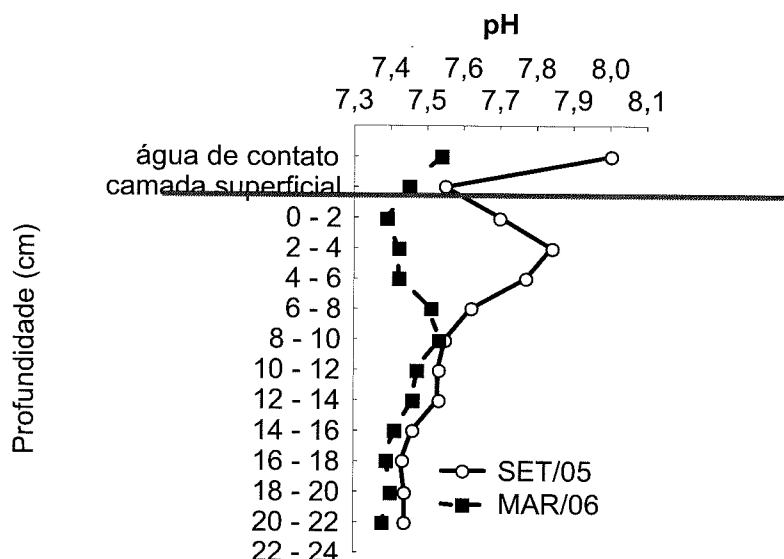


**Figura 10:** Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor interno na Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento.

##### 5.3.1.2 pH

Os valores de pH são mostrados na figura 11. As camadas superficiais, principalmente a água de contato, apresentaram os valores mais elevados em ambas as coletas. Na água de contato do testemunho de setembro de 2005 foi verificado o maior valor, de 8,00 e o mínimo foi de 7,38 entre as profundidades 20–22 cm no testemunho de março de 2006. As camadas mais profundas, a

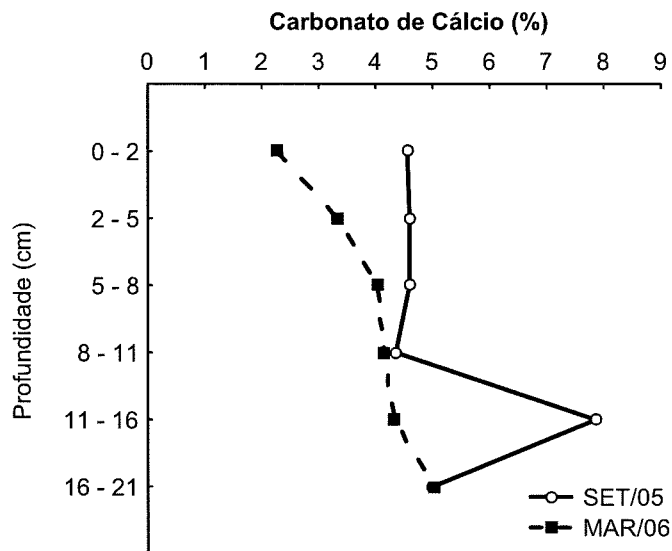
partir dos 10 cm, apresentaram uma sensível redução nos valores dos dois testemunhos analisados. A amostragem de setembro apresentou os maiores valores de pH em todas as camadas sedimentares analisadas.



**Figura 11:** Variação do pH em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento.

### 5.3.1.3 Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ )

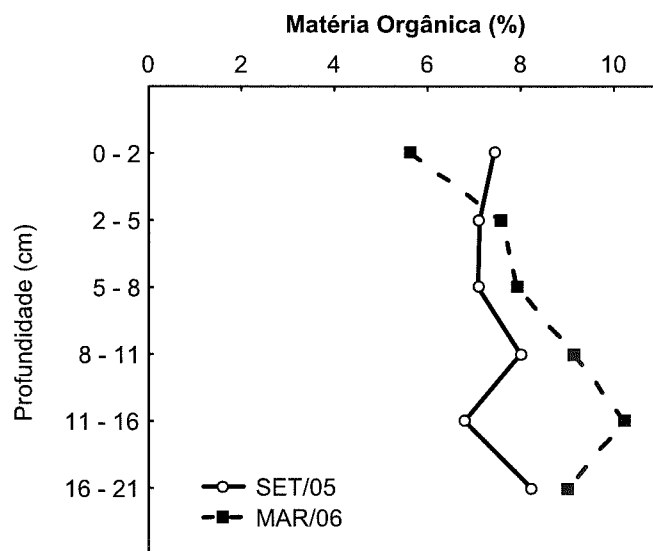
Os teores de carbonato de cálcio (Figura 12) apresentaram valor máximo de 7,86% na coleta de setembro de 2005 entre os 11-16 cm e valor mínimo de 2,26% na camada superficial em março de 2006. Os valores obtidos na coleta de setembro de 2005 foram maiores que aqueles da coleta de março de 2006. No mês de março observa-se uma clara tendência de aumento dos valores em relação à profundidade, já no mês de setembro esta variação não é observada de maneira nítida.



**Figura 12:** Teores de  $\text{CaCO}_3$  (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.

#### 5.3.1.4 Matéria Orgânica

O gráfico da figura 13 apresenta os teores de matéria orgânica obtidos no setor interno da Baía de Guaratuba.



**Figura 13:** Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.

De uma maneira geral, os valores mais elevados de matéria orgânica foram obtidos na coleta de março (com exceção da camada superficial), na qual também foi possível notar um gradiente crescente de MO com o aumento



da profundidade, como verificado para o carbonato de cálcio. No mês de setembro, todos os valores situaram-se entre 6,0 e 8,0%. Já em março, os valores ficaram entre 5,0 e 10,0%.

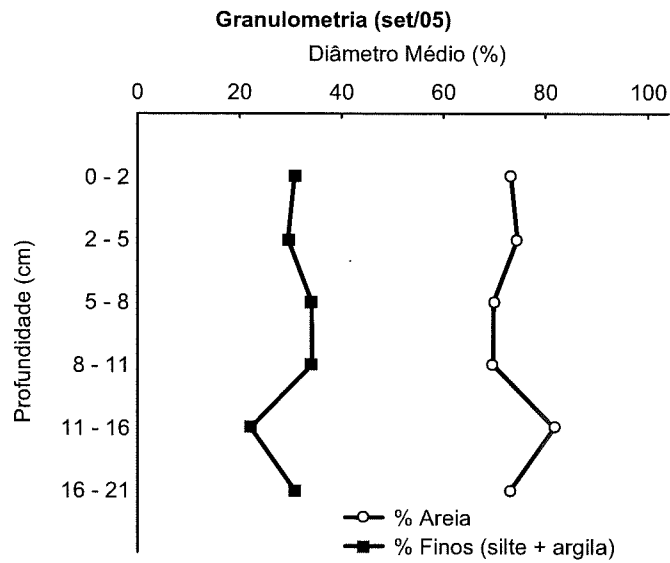
### 5.3.1.5 Granulometria

A tabela 06 apresenta a granulometria dos sedimentos referentes às coletas dos meses de setembro de 2005 e março de 2006.

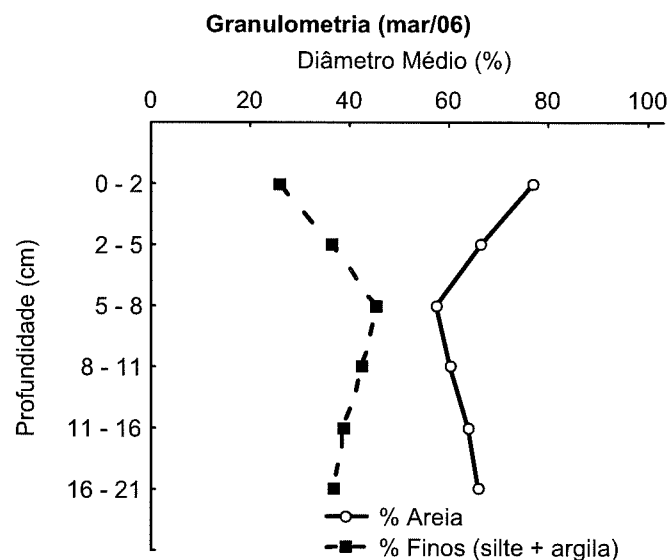
**Tabela 06:** Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos grãos das amostras de sedimento dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0.

	<b>Amostra / Profundidade (cm)</b>	<b>Cascalh o (%)</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Classificação</b>
Set/05	0 – 2	0	70,43	16,63	12,94	Silte grosso
	2 – 5	0	71,64	17,01	11,34	Silte grosso
	5 – 8	0	67,16	22,65	10,19	Silte grosso
	8 – 11	0	67,12	20,41	12,47	Silte grosso
	11 – 16	0	78,65	8,98	12,36	Areia muito fina
	16 – 21	0	70,33	19,4	10,27	Silte grosso
Mar/06	0 – 2	0	74,81	15,33	9,85	Silte grosso
	2 – 5	0	64,52	22,58	12,9	Silte grosso
	5 – 8	0	55,8	27,36	16,84	Silte grosso
	8 – 11	0	58,52	28,71	12,76	Silte grosso
	11 – 16	0	62,02	24,93	13,01	Silte grosso
	16 – 21	0	64,07	22,87	13,07	Silte grosso

As Figuras 14 e 15 representam a distribuição vertical das classes de tamanho dos grãos das amostras coletas nos meses de setembro de 2005 e março de 2006, respectivamente.



**Figura 14:** Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005.



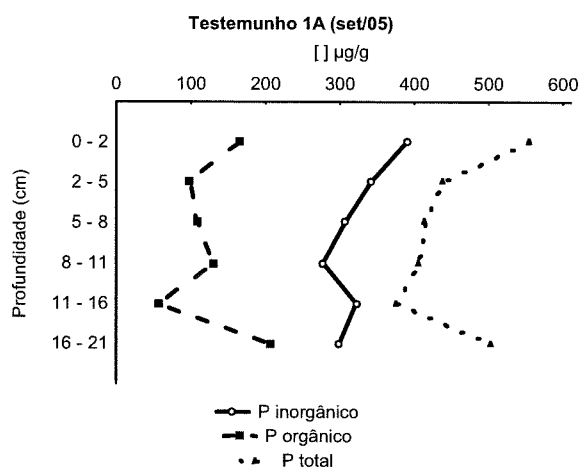
**Figura 15:** Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006.

Os dados de granulometria para os sedimentos do setor interno foram classificados, de acordo com o seu diâmetro médio, como silte grosso em todas as camadas de ambas as coletas, com exceção da alíquota de 11-16 cm da coleta de setembro de 2005, na qual a classificação foi de areia muito fina. Apesar de que a classificação foi igual para as duas coletas, observa-se que a quantidade de areia foi um pouco maior na coleta de setembro, enquanto a

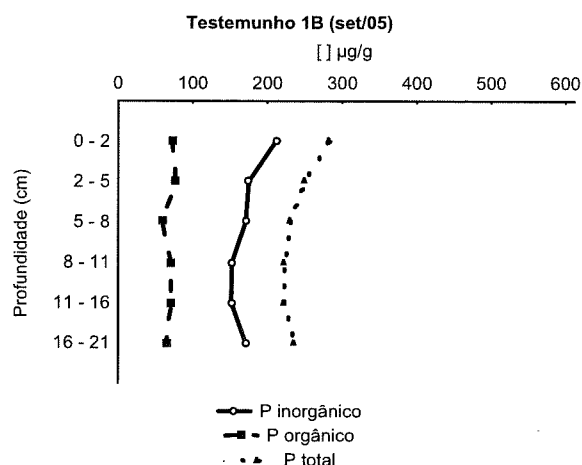
fração mais fina (silte e argila) foi levemente maior na coleta de março, principalmente entre os 5 e 11 cm.

### 5.3.1.6 Fósforo

Os resultados de fósforo orgânico, inorgânico e total para o setor interno da coleta realizada em setembro de 2005 são mostrados nas figuras 16 e 17.



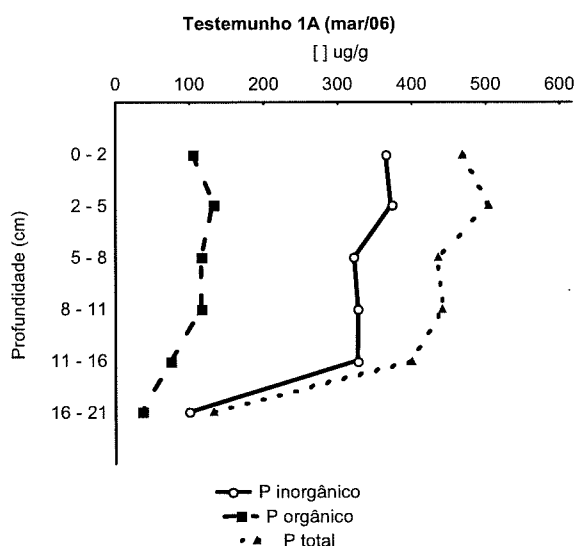
**Figura 16:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1A" coletado em setembro de 2005.



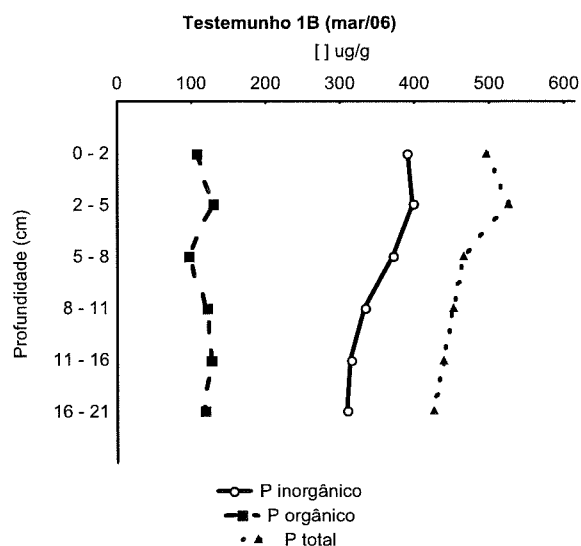
**Figura 17:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1B" coletado em setembro de 2005.

As concentrações de P observadas nas figuras 16 e 17 apresentam diferenças acentuadas, apesar de serem réplicas. Os valores verificados no testemunho da figura 16 apresentam máximo de P total de  $546 \mu\text{g/g}$  na camada superficial e valor mínimo de  $371,8 \mu\text{g/g}$  entre os 11-16 cm. Já no testemunho representado pela figura 17, o valor máximo de P total também é verificado na camada superficial de  $278,5 \mu\text{g/g}$  e valor mínimo de  $218,4 \mu\text{g/g}$  também na camada de 11-16 cm. As concentrações de P inorgânico, mais elevadas na superfície sedimentar em ambos os testemunhos, foram maiores que as concentrações de P orgânico para todas as camadas analisadas (cujos teores máximos foram verificados na camada mais profunda).

As figuras 18 e 19 representam as concentrações das três frações de fósforo analisadas nos testemunhos da amostragem de março de 2006.



**Figura 18:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1A" coletado em março de 2006.



**Figura 19:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "1B" coletado em março de 2006.

As concentrações de P na coleta de março foram semelhantes entre as réplicas. Notam-se em todas as frações (orgânica, inorgânica e total) dos dois testemunhos, A e B (Figuras 18 e 19), valores mais elevados na camada entre 2 – 5 cm (513  $\mu\text{g/g}$  de P total para a coleta de setembro e 491  $\mu\text{g/g}$  de P total para a coleta de março), decaindo para concentrações mais baixas à medida que a profundidade sedimentar aumenta. Na figura 18 nota-se uma diminuição drástica dos valores de todas as frações na camada entre 16-21 cm, sendo a concentração de P total de apenas 129,2  $\mu\text{g/g}$ . Na figura 19 também é notável uma diminuição, mas não tão acentuada, nos valores de P inorgânico (301  $\mu\text{g/g}$ ) e fósforo total (415  $\mu\text{g/g}$ ) da última camada, enquanto que os valores de fósforo orgânico não tiveram grandes diferenças verticais (ficando os teores entre 92 e 127  $\mu\text{g/g}$ ). As distribuições verticais das concentrações de P inorgânico foram sempre maiores que as de P orgânico, tanto na coleta de setembro como na coleta de março.

As tabelas 07 e 08 apresentam as porcentagens relativas de P orgânico e P inorgânico em relação ao P total para os testemunhos (réplicas) coletados em setembro de 2005 e também para aqueles coletados (réplicas) em março de 2006, respectivamente.

**Tabela 07:** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (1A e 1B) coletados em setembro de 2005.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (1A) SET/05		Testemunho (1B) SET/05	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	30	70	26	74
2 – 5	22	78	30	70
5 – 8	26	74	26	74
8 – 11	32	68	32	68
11 – 16	15	85	32	68
16 – 21	41	59	28	72
Média ± Desvio Padrão	28 ± 9	72 ± 9	29 ± 3	71 ± 3

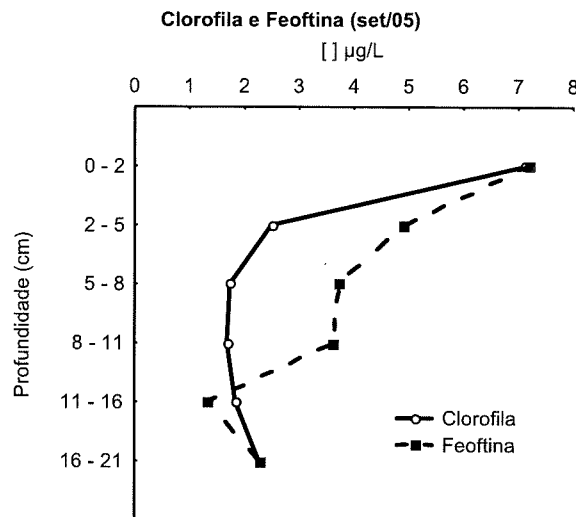
**Tabela 08:** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (1A e 1B) coletados em março de 2006.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (1A) MAR/06		Testemunho (1B) MAR/06	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	22	78	21	79
2 – 5	26	74	24	76
5 – 8	26	74	20	80
8 – 11	26	74	27	73
11 – 16	19	81	29	71
16 – 21	27	73	27	73
Média ± Desvio Padrão	24 ± 3	76 ± 3	25 ± 3,5	75 ± 3,5

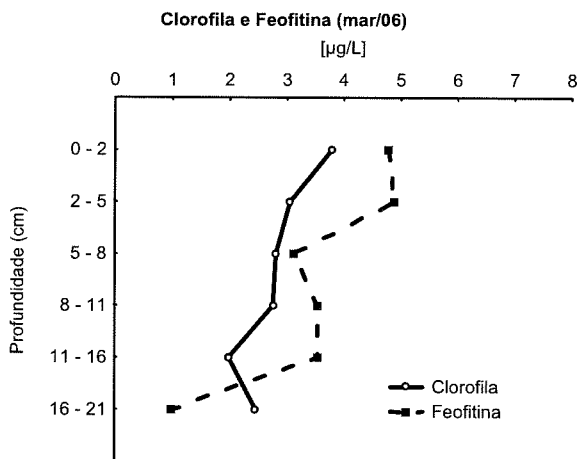
As concentrações de P inorgânico no setor interno apresentaram-se mais elevados em todas as camadas do sedimento nas duas amostragens realizadas em relação aos teores de P orgânico. A média geral ficou em torno de 26,5% de P orgânico e 73,5% de P inorgânico. As maiores diferenças foram verificadas na camada de 11 – 16 cm do testemunho 1A (Tabela 07), onde 85% do P foi inorgânico, porém, nesse mesmo testemunho na camada de 16-21 cm foi encontrada a menor diferença (59% do P foi inorgânico). Essas diferenças contribuíram para o elevado desvio padrão verificado para esse testemunho. De uma maneira geral, as concentrações de P orgânico foram um pouco maiores na amostragem do mês de setembro.

#### 5.3.1.7 Clorofila-a e Feoftina

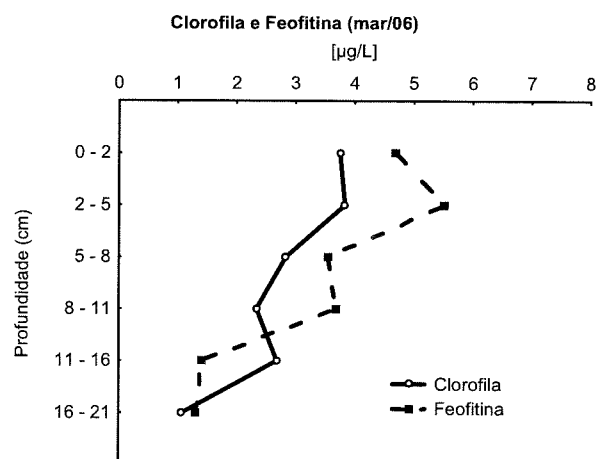
As concentrações de clorofila-a e feoftina são mostradas nas figuras 20, 21 e 22 para o setor interno da Baía de Guaratuba.



**Figura 20:** Concentrações de clorofila e feofitina ( $\mu\text{g/L}$ ) do testemunho "1C" coletado em setembro de 2005 no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: este testemunho (1C) também foi utilizado para as análises granulométricas.



**Figura 21:** Concentrações de clorofila e feofitina ( $\mu\text{g/L}$ ) do testemunho "1A" coletado em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.



**Figura 22:** Concentrações de clorofila e feofitina ( $\mu\text{g/L}$ ) do testemunho "1B" coletado em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.

O gráfico da figura 20 revela as maiores concentrações da clorofila e feofitina na camada superficial (0 – 2 cm) de 7,1 e 7,2  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. A clorofila teve concentrações mais baixas entre 8 – 11 cm de 1,7  $\mu\text{g/L}$ . A feofitina apresentou valores mais reduzidos entre 11 – 16 cm de 1,3  $\mu\text{g/L}$ . De um modo geral, tanto a clorofila como a feofitina tiveram reduções nas concentrações com o aumento da profundidade, porém a clorofila apresentou um forte gradiente decrescente, uma vez que a concentração caiu bruscamente de 7,1  $\mu\text{g/L}$  da camada de 0 – 2 cm para 2,5  $\mu\text{g/L}$  para a camada de 2 – 5 cm. A

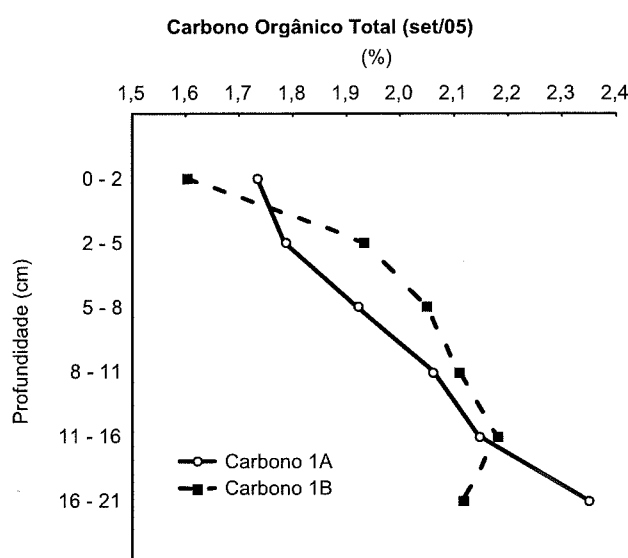
feofitina apresentou uma queda de concentrações não tão abrupta, porém com um gradiente decrescente de concentrações bastante acentuado, como observado para a clorofila. Entre a camada de 2 – 11 cm, os valores de feofitina foram superiores que àqueles verificados para a clorofila.

As figuras 21 e 22 (réplicas) apresentam os valores obtidos de clorofila e feofitina na amostragem de março de 2006. Os dois gráficos seguem um padrão bem parecido de variação: maiores concentrações nas camadas superficiais decaindo conforme aumenta a profundidade. Os valores de feofitina foram ligeiramente maiores que os de clorofila. Os máximos e mínimos de clorofila e feofitina verificados em março foram, respectivamente, 3,8 - 1,08  $\mu\text{g/L}$  e 5,5 - 1,3  $\mu\text{g/L}$  (com valores máximo entre 2 - 5 cm e mínimos entre 16 - 21 cm, todos os valores verificados no gráfico da figura 22).

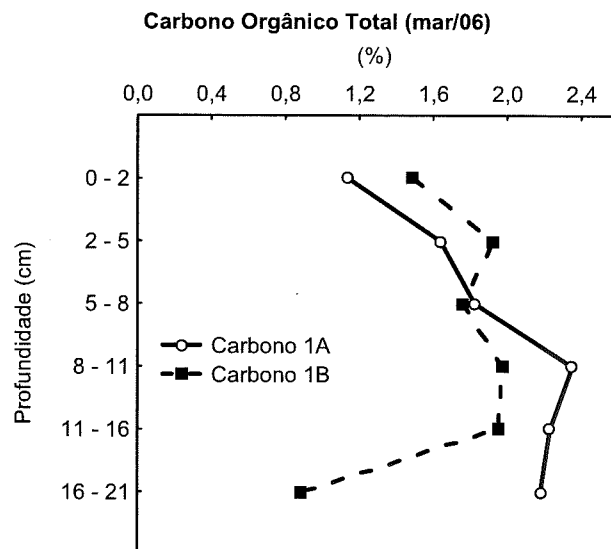
O sedimento superficial do mês de setembro (0 – 2 cm) apresentou concentração mais elevada que os testemunhos do mês de março, no entanto a partir dos 2 cm as concentrações são bem similares, principalmente para os teores de clorofila.

#### 5.3.1.8 Carbono Orgânico Total (COT)

As figuras 23 e 24 apresentam os teores obtidos de carbono orgânico total (COT) para o setor interno.



**Figura 23:** Teores de Carbono Orgânico Total (%) das réplicas de testemunhos (1A e 1B) coletados em setembro de 2005 no setor interno da Baía de Guaratuba.



**Figura 24:** Teores de Carbono Orgânico Total (%) das réplicas de testemunhos (1A e 1B) coletados em março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba.

Os dois testemunhos coletados em setembro (Figura 23) apresentaram valores bem parecidos de COT, sendo que a camada superficial (0 – 2 cm) foi a que apresentou os menores valores (1,6%), e a camada mais profunda (16 – 21 cm) teve as maiores concentrações (2,3%). No entanto, a variação foi inferior a 1% entre os extremos de concentração para ambos os testemunhos.

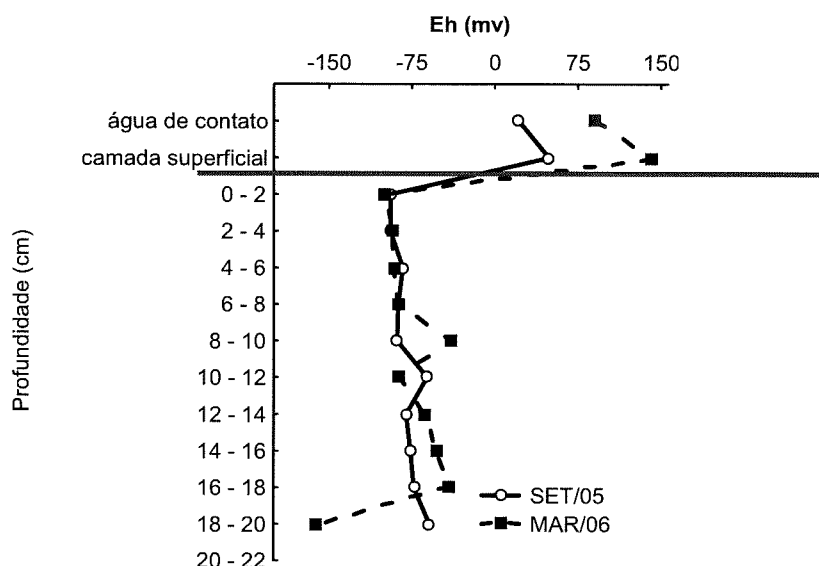
A coleta de março apresentou concentrações similares de COT se comparadas com as de setembro (Figuras 23 e 24). Concentrações mais reduzidas foram encontradas na camada superficial, e houve um leve gradiente crescente conforme o aumento da profundidade, com exceção da camada entre 16 – 21 cm do testemunho 1B que apresentou a menor concentração (0,9%). A faixa de variação entre o valor mínimo e o máximo foi um pouco maior no mês de março, ficando entre 0,8% e 2,3% entre as réplicas. O gradiente vertical de diminuição do COT com o aumento da profundidade foi mais evidente na amostragem de setembro.



### 5.3.2 Setor Intemediário

#### 5.3.2.1 Eh

Os valores de Eh dos testemunhos coletados no setor mediano são mostradas na figura 25.



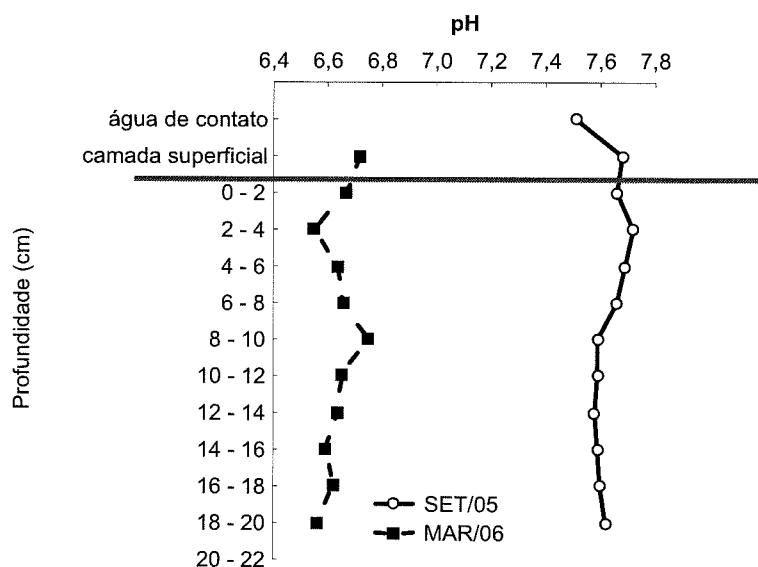
**Figura 25:** Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor mediano na Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento

Os valores de Eh seguiram a mesma tendência para os dois testemunhos analisados, de diminuição de condutividade com o aumento da profundidade, sem grandes diferenças entre os dois meses analisados, padrão similar com o verificado para o setor interno. Na água de contato e na camada superficial os valores foram positivos, sendo a camada superficial a mais oxidada (135 mv para março e 45 mv para setembro), seguidos por um forte decréscimo até a camada de 0 – 2 cm. A partir desta profundidade, o Eh sofre pouca variação, com valores praticamente constantes até as últimas camadas (18 – 20 cm). Apenas na coleta de março é observada uma diminuição mais abrupta do potencial redox (-163 mv), verificada na última camada analisada.

#### 5.3.2.2 pH

Os dados de pH (Figura 26) diferiram de maneira pronunciada entre as duas coletas, assim como o verificado para o setor interno. A amostragem do mês de setembro teve um pico de 7,72 entre as profundidades 2 – 4 cm, e um valor mínimo de 7,51 na água de contato. No mês de março o valor mais

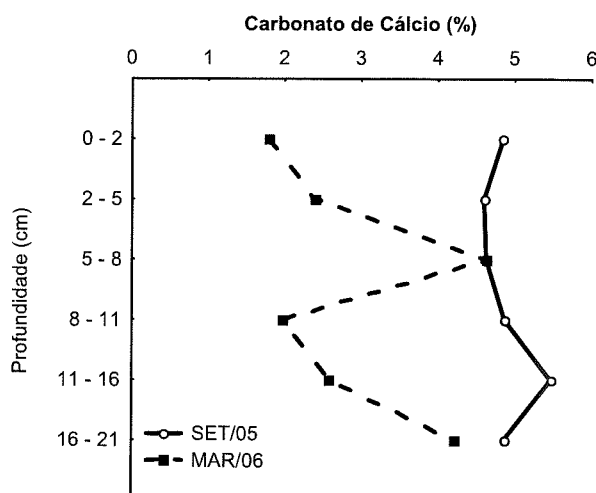
elevado foi de 6,75 na camada de 8 – 10 cm, e o nível mais baixo foi entre 2 – 4 cm. O gradiente vertical não foi pronunciado, porém a diferença observada entre os períodos analisados foi expressiva.



**Figura 26:** Variação do pH em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor interno da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento.

### 5.3.2.3 Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ )

O gráfico da figura 27 representa os teores de carbonato de cálcio obtidos nos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor intermediário.

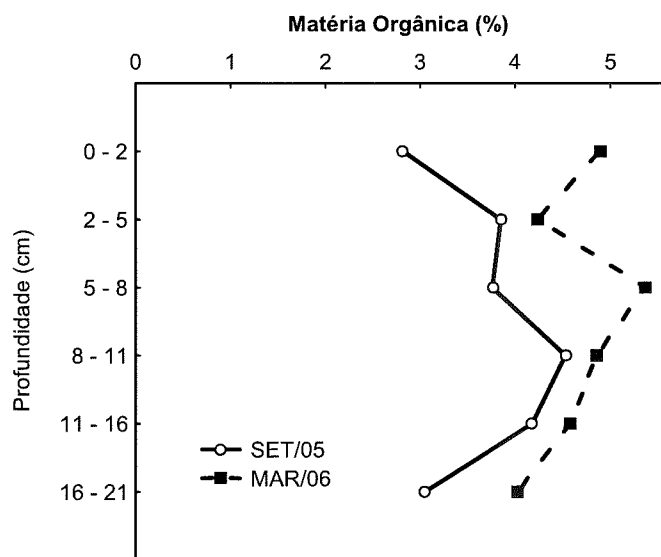


**Figura 27:** Teores de  $\text{CaCO}_3$  (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.

Os teores de carbonato de cálcio (Figura 27) tiveram grandes variações entre os dois testemunhos coletados. Os valores mais elevados são visualizados no testemunho de setembro (como o verificado no setor interno), variando entre 4,6 e 5,4%, sendo verificado na camada de 11 – 16 cm um pico de concentração. Na amostragem de março, os valores variaram entre 1,7 e 4,6%, com picos nas camadas de 5 – 8 cm e 16 – 21 cm.

#### 5.3.2.4 *Matéria orgânica*

O gráfico da figura 28 apresenta os teores de matéria orgânica dos testemunhos coletados no setor mediano. Os valores no testemunho do mês de março foram mais elevados, em todas as profundidades, em relação ao mês de setembro de 2005, padrão vertical semelhante ao verificado no setor interno. Em setembro, as porcentagens variaram entre 2,8 e 4,5%, com teores mais elevados verificados entre 8 – 11 cm e valores reduzidos na primeira e na última camada. No mês de março, as porcentagens de matéria orgânica oscilaram entre 4,0 e 5,3%, com concentração mais elevada na camada de 5 – 8 cm e menor na camada mais profunda.



**Figura 28:** Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor intermediário da Baía de Guaratuba.

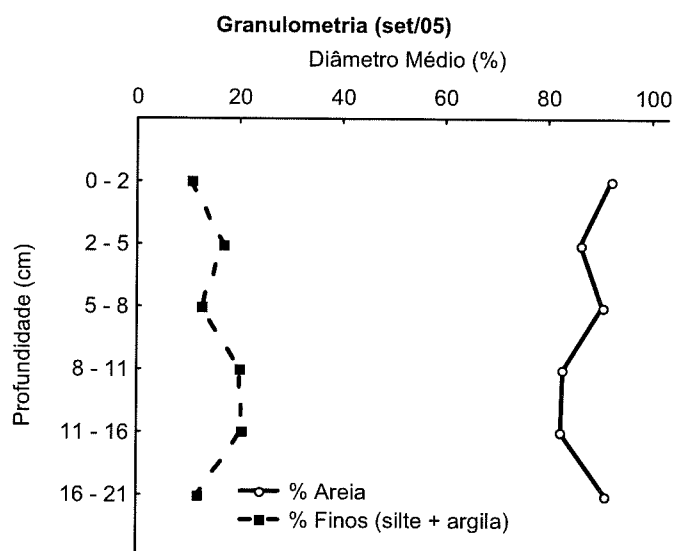
### 5.3.2.5 Granulometria

A tabela abaixo (Tabela 09) apresenta a granulometria dos sedimentos obtida pela classificação segundo Folk e Ward (1957) através da análise no software Sysgran 3.0.

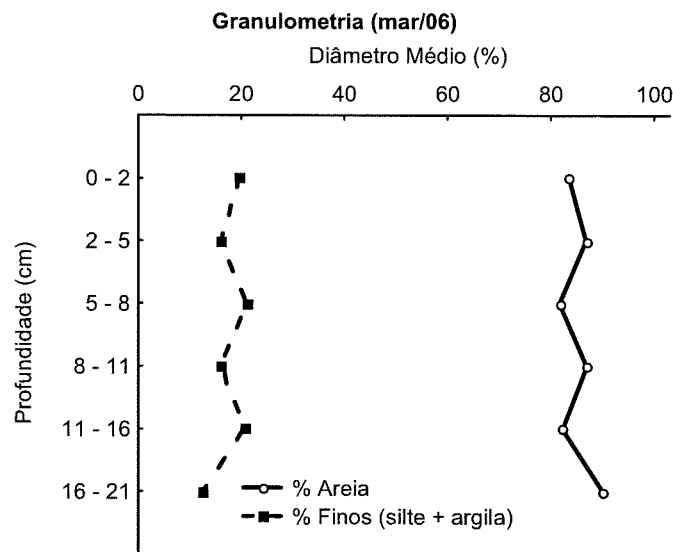
**Tabela 09:** Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos grãos das amostras de sedimento dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0.

	Amostra / Profundidade (cm)	Cascalh o (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
SET/05	0 - 2	0,6	89,2	6,1	4,1	Areia muito fina
	2 - 5	0	83,6	8,2	8,2	Areia muito fina
	5 - 8	0	87,7	7,2	5,1	Areia muito fina
	8 - 11	0	80,4	10,3	9,3	Areia muito fina
	11 - 16	0	80,0	14,7	5,3	Areia muito fina
	16 - 21	0	88,4	6,3	5,2	Areia muito fina
MAR/0 6	0 - 2	0	81,1	9,4	9,4	Silte grosso
	2 - 5	0	84,3	8,3	7,3	Areia muito fina
	5 - 8	0	79,3	19,6	1,0	Areia muito fina
	8 - 11	0	84,4	11,3	4,1	Areia muito fina
	11 - 16	0	79,9	17,9	2,1	Silte grosso
	16 - 21	0,1	87,5	4,1	8,2	Areia muito fina

Para uma melhor visualização da distribuição vertical do diâmetro médio dos grãos, as figuras 29 e 30 são apresentadas.



**Figura 29:** Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005 no setor intermediário da baía.



**Figura 30:** Diâmetro médio dos grãos (%) nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006 no setor intermediário da baía.

As porcentagens de areia, de acordo com figura 29, são mais elevadas em relação aos finos (silte e argila), para o setor mediano da Baía de Guaratuba. Valores mais altos de areia são verificados na primeira e na última camada, 89 e 88%, respectivamente. A tabela 04 mostra que existiram pequenas concentrações de cascalhos na camada superficial (0 – 2 cm) e na camada mais profunda (16 – 21 cm) para setembro e na camada mais profunda para o mês de março, porém com valores muito baixos. Os teores mais altos de diâmetro médio de grãos finos (silte + argila) são observados na camada entre 8 – 16 cm.

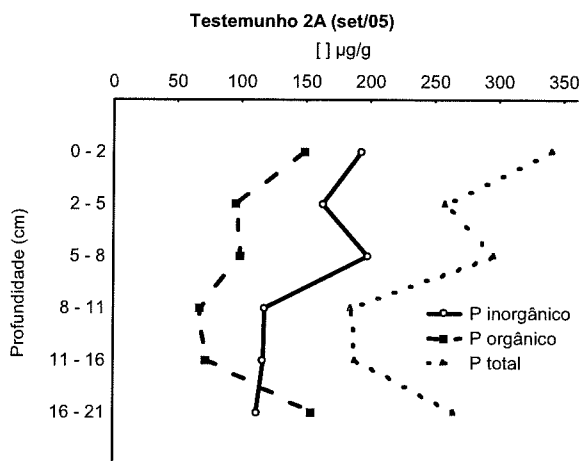
A figura 30 não evidencia diferenças acentuadas na distribuição vertical da porcentagem de areia e nem na porcentagem de finos (silte + argila). Os valores mais elevados de silte e argila coincidem com a diminuição na fração arenosa (entre 5 – 8 cm e entre 11 – 16 cm).

A distribuição vertical apresentou uma pequena diferença entre as duas coletas. De uma maneira geral, no entanto, os valores estiveram bem próximos, com uma pequena diminuição do diâmetro médio dos grãos na coleta de março, também observado no setor interno.

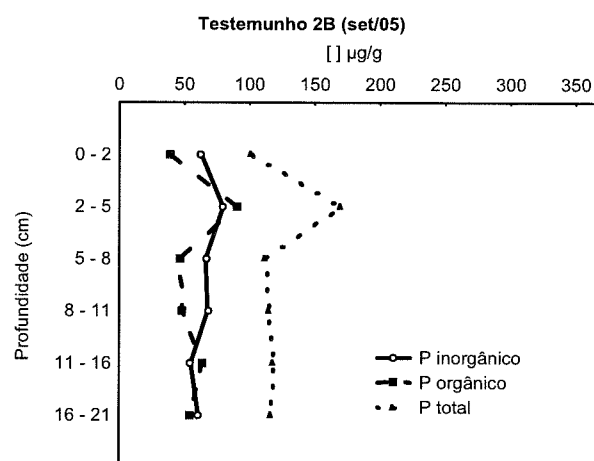
#### 5.3.2.6 Fósforo

As concentrações de fósforo no sedimento da coleta de setembro de 2005, como notado no setor interno, apresentaram grande variação entre os dois testemunhos (2A e 2B) coletados no setor intermediário (Figuras 31 e 32). O P total variou de 180,3 a 332,1  $\mu\text{g/g}$  para o testemunho (2A) apresentado na Figura 31. É visível três picos para o P total, de 0 – 2 cm, 5 – 8 cm e 16 – 21 cm, sendo as maiores concentrações observadas no primeiro intervalo (camada superficial), gradiente que também é parecido para as frações inorgânica e orgânica. Nesse gráfico, apenas a última camada apresenta níveis mais elevados de P orgânico em relação ao P inorgânico. Já no outro testemunho (2B) coletado (Figura 32) na mesma campanha de amostragem, o P total variou de 98,4 a 164,3  $\mu\text{g/g}$ , com menores valores na camada de 0 – 2 cm e maiores na camada de 2 – 5 cm. As camadas mais profundas praticamente não diferiram em termos de concentração entre si. As concentrações de P orgânico por duas vezes superaram as de P inorgânico: entre 2 – 5 cm (87,3  $\mu\text{g/g}$  de PO e 77  $\mu\text{g/g}$  de PI) e entre 11 – 16 cm (61,1  $\mu\text{g/g}$  de PO e 53,1  $\mu\text{g/g}$  de PI).

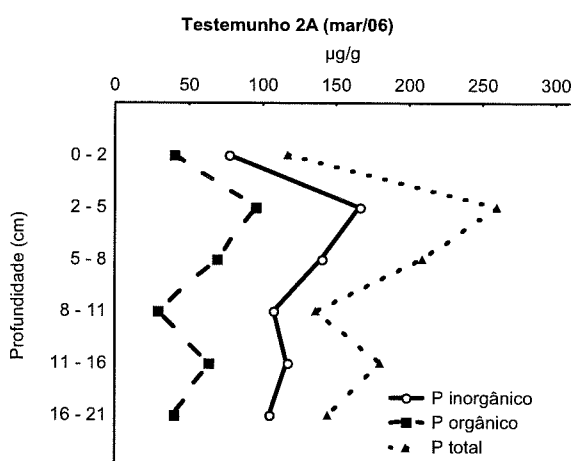
No mês de março (Figuras 33 e 34) as maiores concentrações das três frações de P são verificadas entre as profundidades 2 – 8 cm e entre 11 – 16 cm para ambos os testemunhos. Os valores dos dois testemunhos não diferiram muito. Concentrações ligeiramente maiores foram verificadas no gráfico 34. A primeira e a última camada foram as que apresentaram os menores valores. Essa tendência foi verificada para as três formas do fósforo analisadas. Em todas as camadas analisadas o P inorgânico prevaleceu sobre o P orgânico.



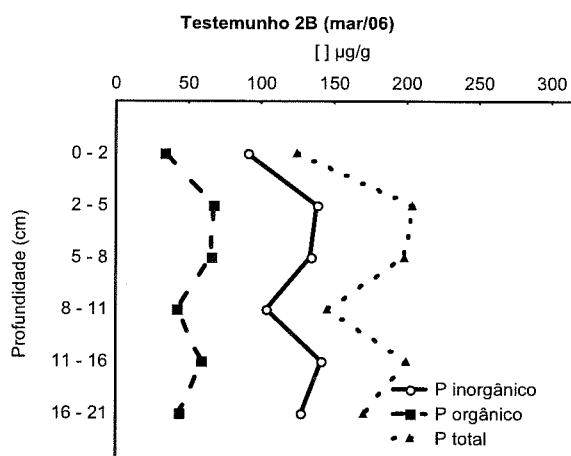
**Figura 31:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2A" coletado em setembro de 2005.



**Figura 32:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2B" coletado em setembro de 2005.



**Figura 33:** Concentrações de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2A" coletado em março de 2006.



**Figura 34:** Concentrações de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "2B" coletado em março de 2006.

As tabelas 10 e 11 apresentam as porcentagens relativas de P orgânico e P inorgânico em relação ao P total para os testemunhos (réplicas) coletados em setembro de 2005 e também para aqueles coletados (réplicas) em março de 2006, respectivamente.

**Tabela 10:** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (2A) SET/05		Testemunho (2B) SET/05	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	44	56	38	62
2 – 5	37	63	53	47
5 – 8	33	67	41	59
8 – 11	37	63	41	59
11 – 16	38	62	53	47
16 – 21	58	42	47	53
Média ± Desvio Padrão	41 ± 9	59 ± 9	46 ± 6,5	54 ± 6,5

**Tabela 11 –** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (2A) MAR/06		Testemunho (2B) MAR/06	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	34	66	28	72
2 – 5	36	64	32	68
5 – 8	33	67	33	67
8 – 11	21	79	29	71
11 – 16	35	65	29	71
16 – 21	28	72	25	75
Média ± Desvio Padrão	31 ± 6	69 ± 6	29 ± 3	71 ± 3

No mês de setembro (Tabela 10), as frações de 2 – 5 cm e 11 – 16 cm apresentaram porcentagens mais elevadas de P orgânico de 53%, para o testemunho 2B. A maior diferença de concentração foi no testemunho 2A, entre 5 – 8 cm, onde o P inorgânico teve 67% do total, contribuindo tal diferença para o elevado desvio padrão desse testemunho (9%).

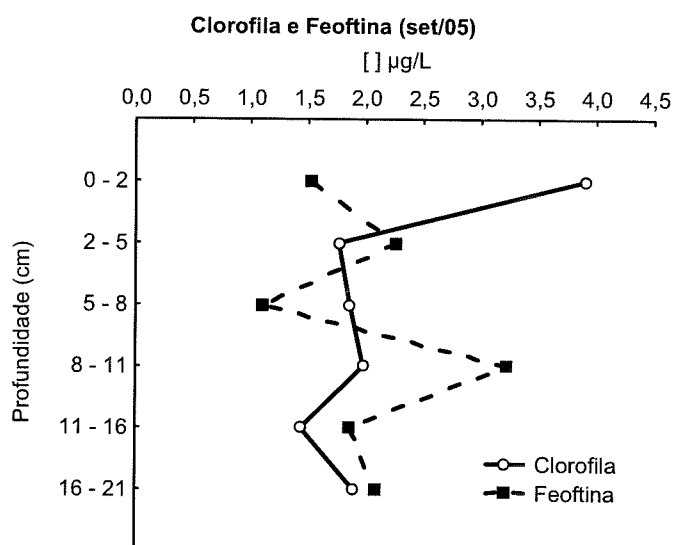
No mês de março (Tabela 11), em contraste, não houve predominância em nenhuma camada analisada da forma orgânica de fósforo nas réplicas. A maior diferença entre as formas inorgânicas e orgânicas foi encontrada entre 8 – 11 cm do testemunho 2A (que apresentou o maior desvio padrão), com 79% de P inorgânico, e a menor foi encontrada 2 – 5 cm do mesmo testemunho, com 64% de P inorgânico em relação ao total. Da mesma maneira que a coleta de setembro, as réplicas apresentaram porcentagens relativamente semelhantes, sendo que para o testemunho 2A a concentração de P orgânico ficou em 31%, e para o testemunho 2B essa concentração foi de 29%. De uma



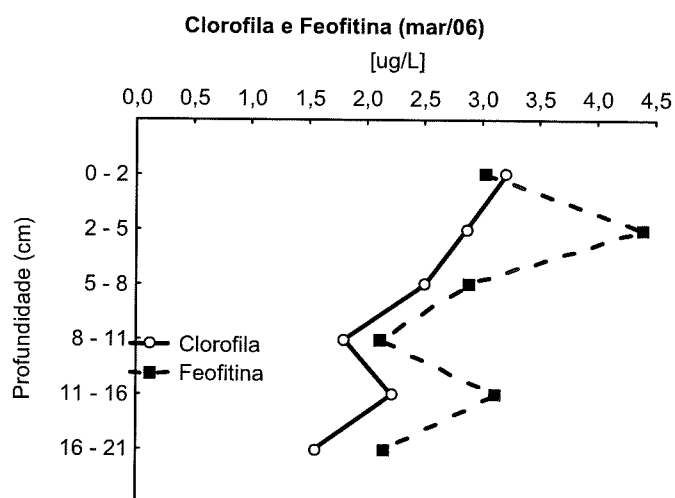
maneira geral, os teores de P orgânico foram mais elevados na coleta de setembro.

### 5.3.2.7 Clorofila-a e feofitina

As figuras 35 e 36 apresentam as concentrações de clorofila-a e feofitina dos testemunhos coletados no mês de setembro e março, respectivamente, para o setor mediano.



**Figura 35:** Concentrações de clorofila e feofitina ( $\mu\text{g/L}$ ) do testemunho "2C" coletado em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba. Obs: este testemunho (2C) também foi utilizado para as análises granulométricas.



**Figura 36:** Concentrações de clorofila e feofitina ( $\mu\text{g/L}$ ) do testemunho "2B" coletado em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.

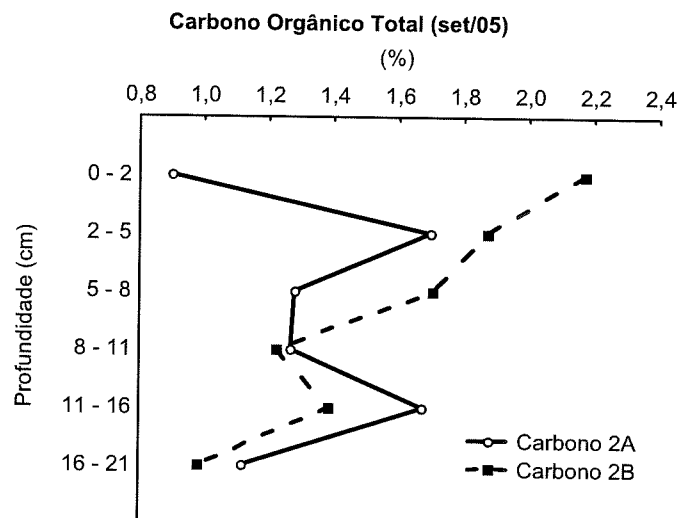
A concentração de clorofila-a no testemunho coletado no mês de setembro (Figura 35) atingiu o valor mais elevado, de 3,9 µg/L na camada superficial. A partir dos 2 cm de profundidade verifica-se uma queda brusca em relação à superfície sedimentar, seguida por teores relativamente constantes da clorofila, com exceção da profundidade de 11 – 16 cm, onde verificou-se um decréscimo um pouco mais acentuado (1,4 µg/L). As concentrações de feofitina apresentaram oscilações, sem um padrão definido. A maior concentração foi registrada na camada de 8 – 11 cm (3,2 µg/L), enquanto a menor ocorreu entre 5 – 8 cm (1,1 µg/L).

No mês de março (Figura 36), as camadas superficiais apresentaram as maiores concentrações de clorofila-a (máximo de 3,2 µg/L na camada superficial), decaindo gradualmente com o aumento da profundidade, com exceção da alíquota entre 11 – 16 cm, que apresentou um pequeno aumento. Os teores de feofitina apresentaram oscilações entre as camadas analisadas, com valores mais elevados entre 0 – 5 cm (máximo de 4,3 µg/L entre 2 – 5 cm), sem um gradiente vertical definido.

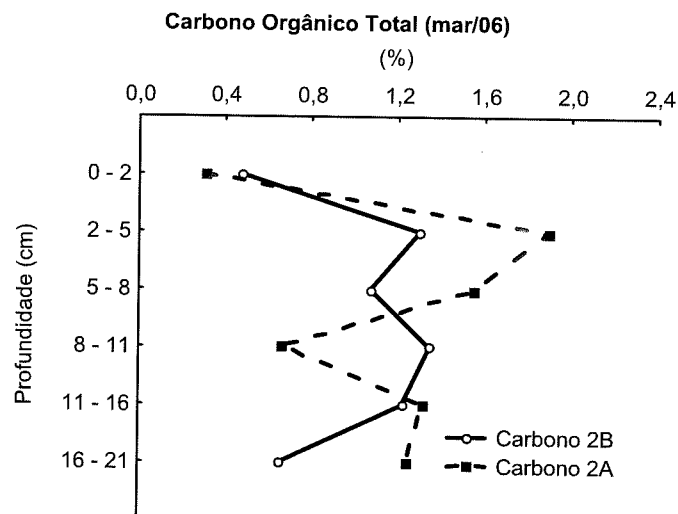
As concentrações de feofitina foram mais elevadas em março. Para a clorofila-a, com exceção das camadas entre 0 – 2 cm e entre 8 – 11 cm, a coleta de março apresentou os maiores teores.

#### *5.3.2.8 Carbono Orgânico Total (COT)*

As figuras 37 e 38 representam os teores de carbono orgânico total (COT) nos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor mediano da Baía de Guaratuba.



**Figura 37:** Teores de Carbono Orgânico Total (%) dos testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor mediano da Baía de Guaratuba.



**Figura 38:** Teores de Carbono Orgânico Total (%) dos testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor mediano da Baía de Guaratuba.

Os testemunhos visualizados no gráfico 37 são réplicas. A camada superficial foi a que apresentou a maior diferença de concentração: 0,9% para o testemunho 2A e 2,1% para o testemunho 2B. A partir da profundidade de 2 cm, as oscilações verificadas nos dois testemunhos apresentaram certa semelhança, porém o testemunho 2A apresentou maiores oscilações, enquanto

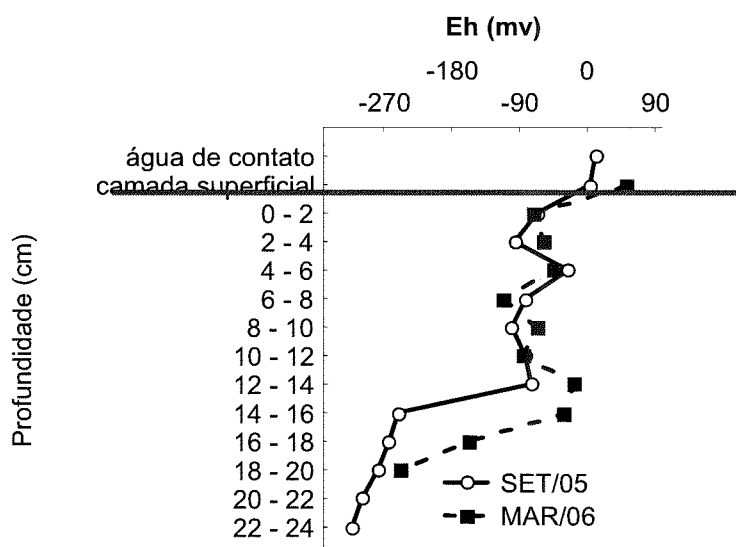
o testemunho 2B apresentou um decréscimo nos teores de COT com o aumento da profundidade, com exceção da camada de 11 – 16 cm.

A figura 38 apresenta os valores de COT para o mês de março. As menores concentrações (0,3 a 0,4%) são verificadas na camada superficial para ambos os testemunhos. A maior concentração foi de 1,9% na profundidade entre 2 – 5 cm para o testemunho 2A. Não foi verificado um gradiente vertical definido, pois as oscilações foram elevadas nos dois testemunhos amostrados em março.

### 5.3.3 Setor Externo

#### 5.3.3.1 Eh

Os resultados das medições do potencial de oxi-redução nos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 para o setor externo são apresentados na figura 39.



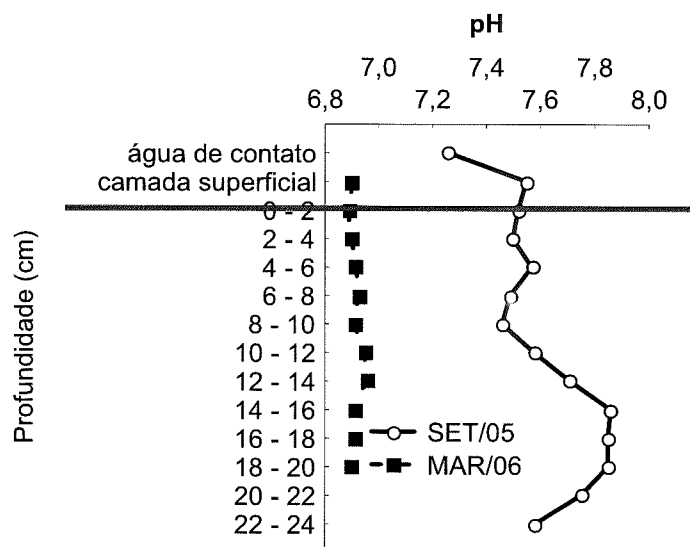
**Figura 39:** Variação do Eh (mv) em função da profundidade sedimentar dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, no setor externo da Baía de Guaratuba. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento.

Para este setor foi possível observar um gradiente vertical bem definido do Eh nos dois testemunhos. Os valores mais elevados são verificados na água de contato e na camada superficial, únicos extratos que apresentaram valores positivos (de 4 a 53 mv, respectivamente). Os valores na camada de 0 – 14 cm são semelhantes entre as duas coletas. A partir dos 16 cm é possível verificar uma queda um pouco mais acentuada nos valores, principalmente na

coleta de setembro de 2005, que apresentou os valores mais baixos, com mínimo de -312 mv. Valores mais altos (positivos) nas duas primeiras camadas analisadas, decaindo conforme aumenta a profundidade sedimentar e sem grandes distinções entre os meses foi verificado nesse setor, assim como para os outros dois setores apresentados anteriormente.

### 5.3.3.2 pH

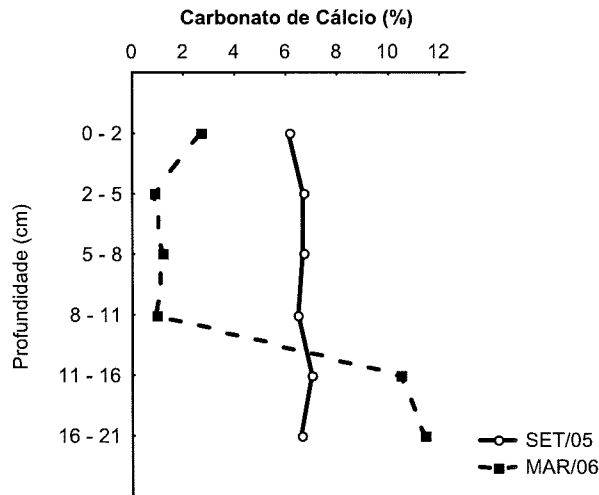
Os valores de pH (Figura 40) tiveram uma diferença pronunciada entre as duas amostragens, assim como observado para os setores interno e mediano. Na coleta de março de 2006 praticamente não ocorreram variações no eixo vertical, com valores entre 6,8 e 7,0. Já na coleta do mês de setembro de 2005 os valores foram mais elevados, variando entre 7,2 e 7,9, com mínimo na água de contato e máximo entre 14 – 18 cm. Em setembro também nota-se uma maior oscilação nos valores entre as camadas investigadas.



**Figura 40:** Variação do pH em função da profundidade dos testemunhos de setembro de 2005 e março de 2006 no setor externo da baía. Obs: a linha vermelha indica a interface água-sedimento.

### 5.3.3.4 Carbonato de Cálcio

A figura 41 representa os teores de carbonato de cálcio obtidos nos testemunhos coletados no setor externo da baía nos meses de setembro de 2005 e março de 2006.

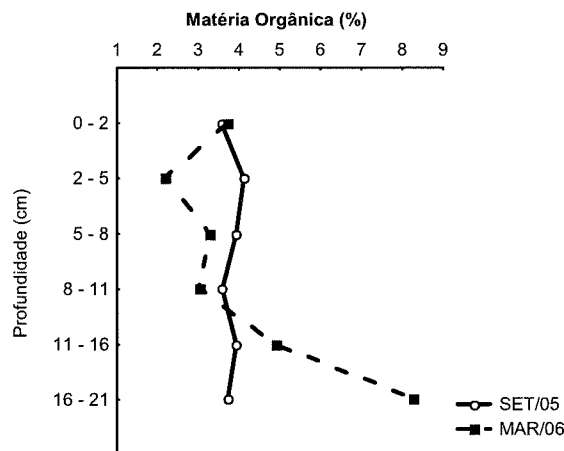


**Figura 41:** Teores de carbonato de cálcio de (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba.

Os teores de carbonato de cálcio do mês de setembro situaram-se em torno de 6 a 7%, sendo praticamente constantes em toda a coluna sedimentar. Em contraste, no mês de março verificou-se valores bem reduzidos (entre 1 e 3%) na camada entre 0 – 11 cm. A partir desta camada, no entanto, observa-se um acréscimo acentuado, culminando com teores de  $\text{CaCO}_3$  acima de 10% nas duas últimas camadas.

#### 5.3.3.5 Matéria orgânica

A figura 42 apresenta os teores percentuais de matéria orgânica nos testemunhos coletados no setor externo, em setembro de 2005 e março de 2006.



**Figura 42:** Teores de Matéria Orgânica (%) dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba.

O mês de março apresentou teores praticamente constantes de matéria orgânica, com variações entre 3 e 5% em toda a coluna sedimentar analisada. A amostragem de setembro apresentou maiores oscilações, com menores teores verificados nas primeiras camadas e maiores nas duas últimas (semelhante com a distribuição vertical verificada para os teores de carbonato), culminando em um máximo de aproximadamente 8% na camada mais profunda investigada. Os menores teores de matéria orgânica foram encontrados nesse setor em relação aos demais, formando um gradiente crescente de concentração do setor externo ao interno.

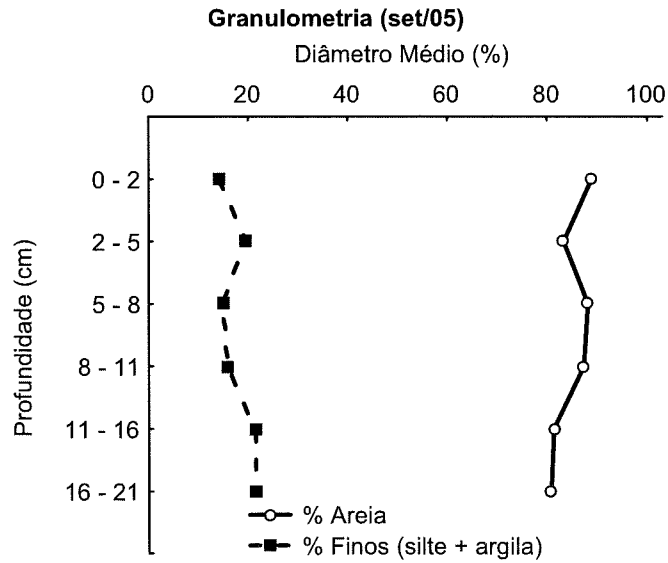
#### 5.3.3.6 Granulometria

A tabela 12 apresenta a granulometria dos sedimentos dos testemunhos referentes às coletas dos meses de setembro de 2005 e março de 2006.

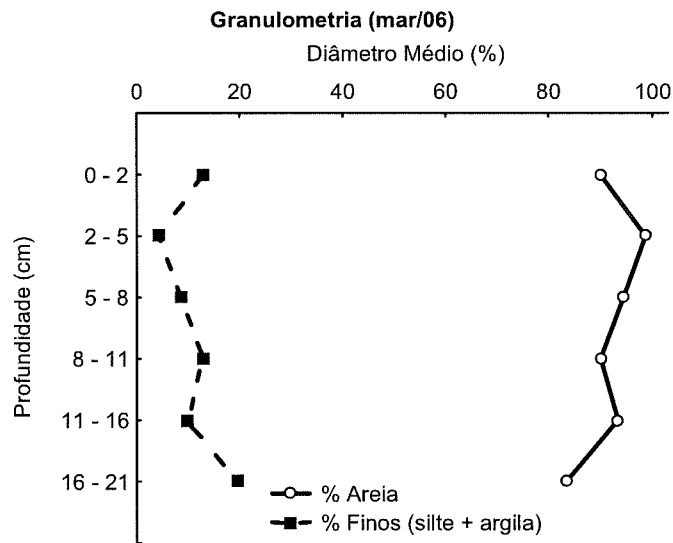
**Tabela 12:** Diâmetro médio (%) e classificação segundo Folk e Ward (1957) dos sedimentos dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006 obtidos pelo software Sysgran 3.0.

	<b>Amostra / Profundidade (cm)</b>	<b>Cascalho (%)</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Classificação</b>
SET/ 05	0 – 2	0	86,3	6,2	7,4	Areia muito fina
	2 – 5	0,2	80,9	10,4	8,3	Areia muito fina
	5 – 8	0	85,6	5,5	8,8	Areia muito fina
	8 – 11	0	84,8	5,4	9,7	Areia muito fina
	11 – 16	0	79,0	18,7	2,2	Areia muito fina
	16 – 21	0,4	78,5	11,0	9,9	Silte grosso
MAR/ 06	0 – 2	1,0	86,2	6,3	6,3	Areia muito fina
	2 – 5	0,1	95,7	3,1	1,0	Areia muito fina
	5 – 8	0,3	91,3	4,1	4,1	Areia muito fina
	8 – 11	0,8	86,5	10,4	2,0	Areia muito fina
	11 – 16	6,7	83,8	6,2	3,1	Areia muito fina
	16 – 21	6,6	74,3	14,	4,2	Areia muito fina

As figuras 43 e 44 representam a distribuição vertical dos valores de diâmetro médio dos grãos dos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006, respectivamente.



**Figura 43:** Diâmetro médio (%) nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em setembro de 2005.



**Figura 44:** Diâmetro médio (%) dos grãos nas diferentes profundidades analisadas do testemunho coletado em março de 2006.

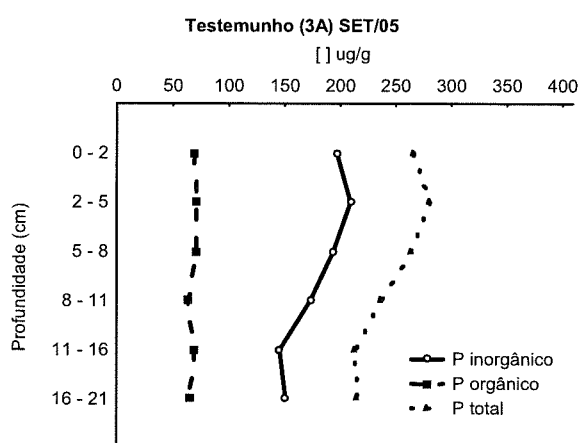
A figura 43 representa o diâmetro médio dos sedimentos do testemunho coletado em setembro. A porcentagem de areia foi um pouco mais elevada nas primeiras camadas, sendo os menores valores encontrados entre 11 – 21 cm (Tabela 12). Todas as camadas analisadas foram classificadas como areia muito fina, com exceção da última camada, em que a classificação foi silte grosso, onde se verifica um acréscimo na porcentagem de finos (principalmente silte).



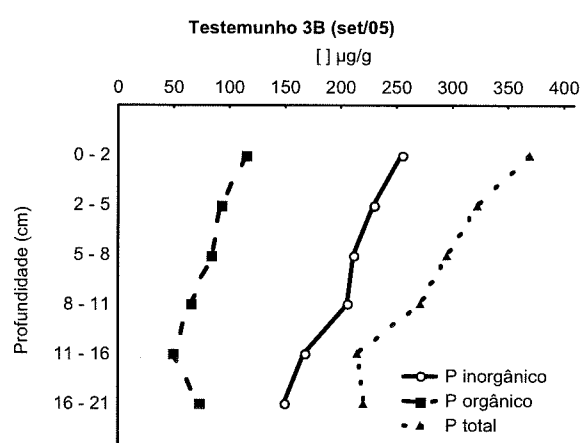
Na figura 44 é possível observar o aumento da fração fina conforme aumenta a profundidade dos sedimentos no testemunho (Tabela 12), no qual todas as camadas foram classificadas como areia muito fina. Entre os 11 – 21 cm é possível verificar a presença de cascalhos (em torno de 6%). De uma maneira geral, os valores de diâmetro médio dos grãos foram um pouco maiores no mês de março, o contrário verificado para os outros dois setores (interno e mediano). Este setor apresentou menores porcentagens de finos em relação aos demais setores.

### 5.3.3.7 Fósforo

Os gráficos das figuras 45 e 46 ilustram os resultados das concentrações de fósforo obtidos nas diferentes frações (total, inorgânico e orgânico), nos testemunhos coletados em setembro de 2005 no setor externo.



**Figura 45:** Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho “3A” coletado em setembro de 2005.



**Figura 46:** Concentrações (µg/g) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho “3B” coletado em setembro de 2005.

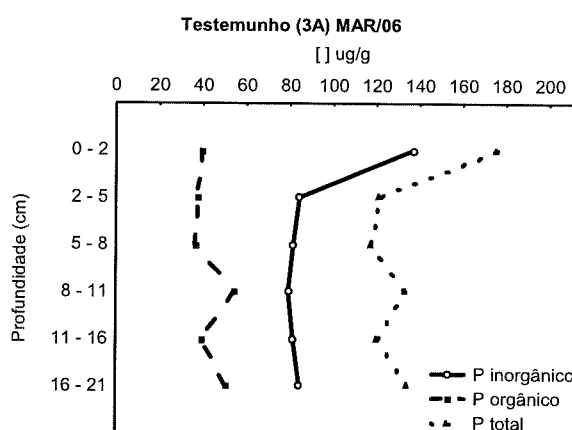
As réplicas de testemunhos coletadas em setembro de 2005 (3A e 3B) apresentaram pouca variação na concentração com a profundidade, sendo que o testemunho 3B (Figura 46) apresentou valores mais elevados que o testemunho 3A (Figura 45).

No testemunho 3A, as maiores concentrações de P inorgânico e total foram observadas entre os 0 – 5 cm de profundidade. A partir dos 5 cm a tendência é de um declínio até a profundidade 11 – 16 cm, camada na qual é verificado o mínimo na concentração no sedimento para o P inorgânico e total, de 142,1 e 209,3 µg/g respectivamente. As concentrações de P orgânico foram praticamente constantes em todas as profundidades analisadas, sendo a

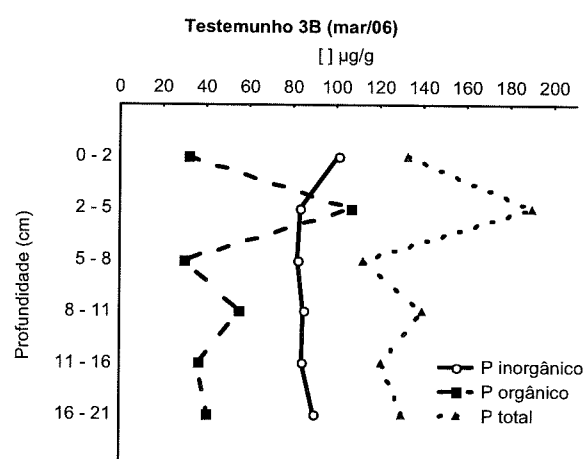
mínima de 63  $\mu\text{g/g}$  na última camada e a máxima de 69,4  $\mu\text{g/g}$  na profundidade de 2 – 5 cm.

O testemunho 3B de setembro de 2005 apresentou valores mais elevados nas primeiras camadas do testemunho, decaindo conforme aumenta a profundidade (Figura 46). O P total e o P orgânico apresentaram decréscimo até os 11 – 16 cm, profundidade onde se verificou a menor concentração para estas frações de P, de 210,3 e 47,5  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente. O P inorgânico apresentou os menores valores na última camada (16 – 21 cm), de 145,4  $\mu\text{g/g}$ . Em todas as profundidades para os dois testemunhos analisados, as concentrações de P inorgânico superaram as de P orgânico.

A seguir são apresentados os resultados dos testemunhos (3A e 3B) coletados em março de 2006.



**Figura 47:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3A" de março de 2006.



**Figura 48:** Concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) de P inorgânico, orgânico e total do testemunho "3B" de março de 2006.

As concentrações das frações de fósforo entre as réplicas de testemunhos coletados em março (3A e 3B) não exibiram diferença substancial.

O gráfico da figura 47 apresenta teores de P inorgânico e P total elevados na primeira camada (0 – 2 cm), de 130,3 e 167,5  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente. A partir dos 2 cm de profundidade verifica-se concentrações praticamente constantes de P inorgânico. Para o P orgânico verifica-se a maior concentração entre os 8 – 11 cm (51,7  $\mu\text{g/g}$ ), elevação que também é visível para o P total. Os valores de P inorgânico foram maiores que os de P orgânico, para todas as profundidades.

O testemunho 3B (Figura 48) apresentou maiores valores de P total (180,5 µg/g) e orgânico (101,2 µg/g) entre os 2 – 5 cm, seguido da camada entre 8 – 11 cm, sendo que as outras profundidades apresentaram valores parecidos. O P inorgânico apresentou valores mais elevados na primeira camada (95,7 µg/g), seguido por teores praticamente constantes em todo o testemunho, sem grandes oscilações. Na camada de 2 – 5 cm, a concentração de P orgânico (101,2 µg/g) superou a de P inorgânico (79,3 µg/g).

As concentrações das frações de P analisadas foram maiores no mês de setembro.

As tabelas 13 e 14 representam as porcentagens relativas de P orgânico e inorgânico para os testemunhos coletados em setembro e março.

**Tabela 13:** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (2A e 2B) coletados em setembro de 2005 no setor externo da Baía de Guaratuba.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (3A) SET/05		Testemunho (3B) SET/05	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	26	74	31	69
2 – 5	25	75	29	71
5 – 8	27	73	28	72
8 – 11	27	73	24	76
11 – 16	32	68	23	77
16 – 21	30	70	33	67
Média ± Desvio Padrão	28 ± 2,5	72 ± 2,5	28 ± 3,5	72 ± 3,5

**Tabela 14:** Teores de P orgânico e inorgânico (%) em relação ao P total nos dois testemunhos (2A e 2B) coletados em março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba.

Profundidade Sedimentar (cm)	Testemunho (3A) MAR/06		Testemunho (3B) MAR/06	
	% P orgânico	% P inorgânico	% P orgânico	% P inorgânico
0 – 2	22	78	24	76
2 – 5	31	69	56	44
5 – 8	31	69	27	73
8 – 11	41	59	39	61
11 – 16	33	67	30	70
16 – 21	37	63	31	69
Média ± Desvio Padrão	32 ± 6	68 ± 6	35 ± 10	65 ± 10

No mês de setembro, a maior diferença foi verificada entre 11 – 16 cm do testemunho 3B, com 77% de P inorgânico em relação ao P total. A menor

foi registrada entre os 16 – 21 cm do mesmo testemunho, com 67% de P inorgânico em relação do P total.

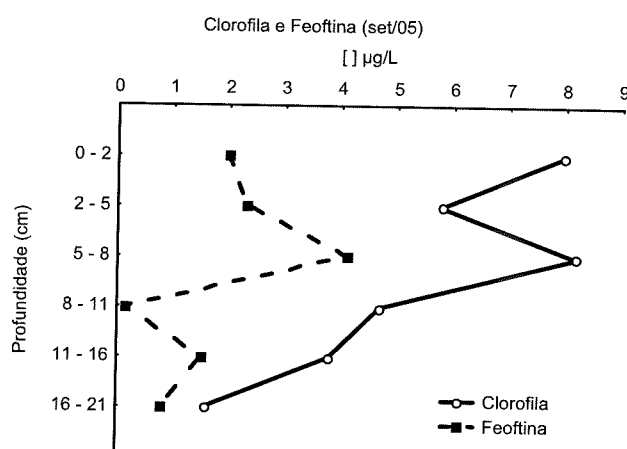
O mês de março foi o único em que a concentração de P orgânico (56%) superou a de inorgânico (entre 2 – 5 cm do testemunho 3B), sendo essa a menor diferença de porcentagem entre as frações para o mês de março. A maior diferença, com 78% de P inorgânico em relação ao P total verificada entre 0 – 2 cm do testemunho 3A. De uma maneira geral, os valores de P orgânico foram mais elevados no mês de março.

#### 5.3.3.8 Clorofila-a e Feofitina

O gráfico da figura 49 representa as concentrações de clorofila-a e feofitina obtidos em testemunho coletado em setembro de 2005 no setor externo.

Tanto a clorofila-a como a feofitina apresentaram valores oscilantes ao longo do testemunho sedimentar. As maiores concentrações de clorofila foram verificadas nas camadas entre 0 – 2 cm e 5 – 8 cm, de 7,94 e 8,18  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. A partir dos 8 cm é nítido um decréscimo na concentração, chegando a um mínimo de 1,57  $\mu\text{g/L}$  na ultima camada investigada.

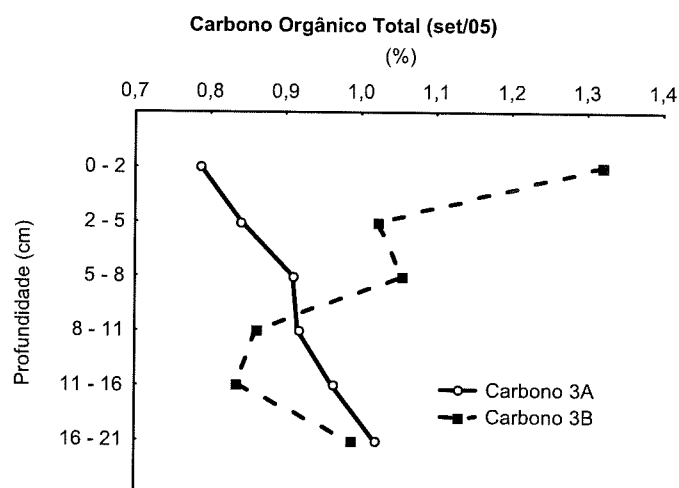
A feofitina apresentou a maior concentração (4,09  $\mu\text{g/L}$ ) entre 5 – 8 cm, e a menor (0,15  $\mu\text{g/L}$ ) entre 8 – 11 cm. As duas primeiras camadas apresentaram valores um pouco mais elevados que as duas últimas. De uma maneira geral, tanto a clorofila-a como a feofitina apresentaram concentrações mais elevadas nas três primeiras camadas (entre 0 – 8 cm).



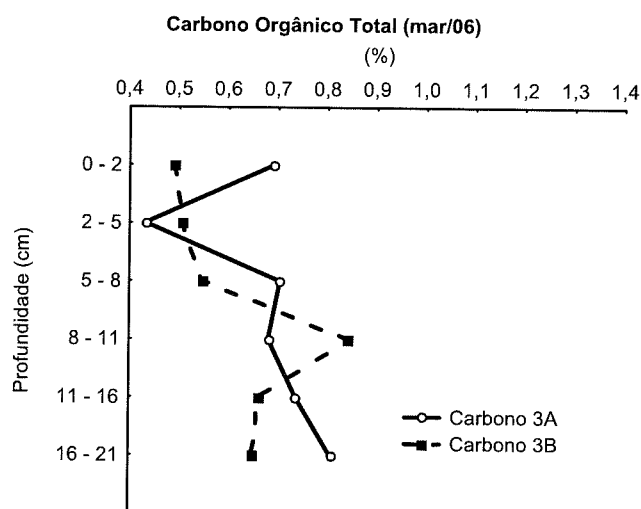
**Figura 49:** Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) de clorofila e feofitina em testemunho coletado em setembro de 2005. Setor externo da Baía de Guaratuba.

### 5.3.3.9 Carbono orgânico total (COT)

Os gráficos 50 e 51 representam, respectivamente, os teores de carbono orgânico total (COT) obtidos nos testemunhos coletados em setembro de 2005 e março de 2006.



**Figura 50:** Teores de carbono orgânico total (%) em dois testemunhos coletados no mês de setembro de 2005 no setor externo da Baía de Guaratuba.



**Figura 51:** Teores de carbono orgânico total (%) em dois testemunhos coletados no mês de março de 2006 no setor externo da Baía de Guaratuba.

As concentrações de COT nas réplicas de testemunhos (3A e 3B) amostradas em setembro de 2005 (Figura 50) apresentaram grande diferença nas duas primeiras camadas analisadas (0-5cm). O testemunho 3A apresentou valores menores de COT nas camadas mais próximas à interface água-sedimento, decaindo à medida que a profundidade sedimentar aumenta. Para o

testemunho 3B, a maior concentração verificada foi correspondente à primeira camada (0 – 2 cm), e a profundidade que apresentou a menor porcentagem de COT foi a de 11 – 16 cm. Os dois testemunhos apresentaram gradientes de concentração vertical inversos.

No mês de março, os valores de COT foram, de uma maneira geral, menores que os verificados na amostragem de setembro (Figura 51). Os dois testemunhos coletados em março apresentaram uma leve tendência de incremento na concentração com o aumento da camada sedimentar, salvo algumas oscilações. O menor valor, de 0,45%, foi encontrado no testemunho 3A entre 2 – 5 cm, já a maior porcentagem foi verificada no testemunho 3B, de 0,82% entre 8 – 11 cm. A variação de concentração verificada entre os dois testemunhos amostrados em março não foi muito elevada.

O mês de setembro, para esse setor, apresentou as maiores porcentagens.

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 Dinâmica espacial e temporal das variáveis físico-químicas da coluna d'água

Os índices obtidos no presente estudo revelam uma pequena distinção entre período chuvoso e seco. O período seco ficou caracterizado apenas nos meses de junho e julho (Figura 01), corroborando com trabalhos de MIZERKOWSKI (2005) e NAZARIO (2005). Diferente do esperado, os sete dias antecedentes à coleta de setembro de 2005 apresentaram precipitações acumuladas maiores que os sete dias antecedentes à coleta de março (Figura 02), apesar deste último mês ser o que apresentou as maiores pluviosidades acumuladas dentre os outros analisados. Tais resultados sugerem que não é prudente analisar, nesse trabalho, a escala temporal em termos de período seco e período chuvoso. PRATA Jr. (1997) em um estudo sobre os aspectos climáticos do litoral do Paraná encontrou resultados semelhantes, dizendo que não há uma estação predominantemente seca, porém no inverno as chuvas diminuem sensivelmente.

A temperatura e a salinidade são particularmente importantes no processo de mistura da coluna de água em ambientes marinhos costeiros (FONTES, 2004). A temperatura da água apresentou marcada diferença sazonal entre as amostragens (Tabelas 02 e 04), devido à diferença de radiação solar recebida entre os dois meses analisados. Os valores encontrados corroboram com MIZERKOWSKI (2005). Ao se considerar a escala espacial (diferença entre setores), é notável um pequeno gradiente crescente na temperatura de montante para jusante da baía, fato que pode ser explicado por duas hipóteses: 1) o setor a montante foi amostrado mais cedo, quando os níveis de radiação eram menores; 2) a região montante, de domínio fluvial, recebe diretamente a água da bacia de drenagem, vinda de regiões de altas altitudes e portanto águas relativamente mais frias. A salinidade, no entanto, não apresentou diferença sazonal, porém foi evidenciada uma estratificação vertical bem definida no setor externo e uma pronunciada estratificação salina horizontal, da desembocadura até o setor interno (Tabelas 02 e 04). Tal variação é conseqüência da diferença entre os domínios verificados para a baía, ou seja, o setor interno apresenta marcada influência

fluvial, enquanto o setor mais externo é mais sujeito à deriva continental, e conseqüentemente da plataforma continental adjacente (MARONE *et al.*, 2004; SANDERS, 2005; MIZERKOWSKI, 2005; ZEM *et al.*, 2005; RIBEIRO, 2006). Estudos realizados em Paranaguá (REBELLO e BRANDINI, 1990) também sugerem a predominância da influência da drenagem continental nos setores mais internos e a maior influência de alterações sazonais da circulação sobre a plataforma adjacente para o setor mais externo da baía. A diferença entre os extratos do setor externo reflete a diferença de densidade entre a água de fundo (provavelmente mais salina e mais densa por ser água com maior influência da plataforma costeira) e de superfície (maior influência dos rios se comparada com a de fundo, sugerindo uma circulação gravitacional na baía).

Os valores de pH (Tabelas 02 e 04) encontrados nesse estudo foram semelhantes aos verificados anteriormente obtidos em trabalhos anteriores na Baía de Guaratuba (MIZERKOWSKI, 2005; NAZARIO 2005). Como já era esperado, o setor interno apresentou os valores mais baixos, enquanto o externo os valores mais altos, sendo nítido um gradiente espacial na baía, pois o pH tende a aumentar em função da temperatura, da salinidade, da pressão hidrostática (BAUMGARTEN *et al.*, 1996). Apesar de pequena, foi identificada diferença sazonal, na qual o pH foi ligeiramente mais alto (meio básico) no mês de verão. Tal diferença temporal pode ser explicada pelos processos de fotossíntese e respiração além dos acima citados, uma vez que a atividade fotossintética tende a aumentar o pH e a respiração tende a diminuir (CARMOUZE, 1994; FONTES, 2004). As oscilações de valores de pH, podem ser atribuídas ao efeito conjunto do aporte de ácidos húmicos típicos de ambientes produtores de detritos e água doce (BRANDINI e THAMM, 1994). Tais resultados indicam que o mês de verão apresenta atividade fotossintética mais elevada que o mês de inverno.

De um modo geral, em relação ao gradiente temporal, a saturação de oxigênio dissolvido (OD) foi mais elevada no mês de setembro (Tabelas 02 e 04). A saturação de OD verificada esteve dentro da faixa de valores encontrados por MIZERKOWSKI (2005), embora a autora tenha encontrado os maiores teores no período mais quente para essa baía, portanto o contrário verificado no presente estudo. Uma hipótese seria um maior consumo de OD no mês de março, corroborado principalmente pela atividade microbiana



incrementada de decomposição da matéria orgânica. Outro fato que também deve ser levado em conta em relação ao caráter de distinção temporal na concentração de OD é que no mês de setembro chovia durante a coleta, além de apresentar a maior precipitação acumulada sete dias anteriores à amostragem se comparado com o mês de março. A chuva pode ter aumentado a oxigenação da água.

O gradiente espacial não é muito nítido, mas é possível verificar teores mais elevados na região mais a jusante da baía, corroborando com MIZERKOWSKI, (2005). As regiões mais externas dos estuários sofrem maior influência das marés, ondas e processos turbulentos, além do afunilamento geomorfológico verificado na desembocadura estuarina, que tende a aumentar a velocidade das correntes de maré. Tais fatores tendem a promover a oxigenação, da mesma forma que nas águas mais internas, processos de decomposição aliados à menor hidrodinâmica do leito estuarino são responsáveis por níveis menos elevados de oxigênio.

Entre os nutrientes inorgânicos dissolvidos, o silicato foi o que apresentou o comportamento espacial mais notadamente inverso ao da salinidade (Tabelas 03 e 05). Altas concentrações na região à montante indicam a predominância de fonte continental para esse elemento, resultado que também é verificado por MIZERKOWSKI (2005). Também é verificado um rápido consumo entre o setor mediano e o externo, indicando ser essa a região mais produtiva da baía. O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou marcantes variações espaciais e temporais (Tabelas 03 e 05). As concentrações registradas em setembro foram superiores, assim como é notável um nítido gradiente espacial dentro da baía, com maiores concentrações na região interna, como o verificado por MIZERKOWSKI (2005), provavelmente decorrente dos aportes fluviais. Esse gradiente espacial também é verificado para a Baía de Paranaguá (BRANDINI *et al.*, 1994; MACHADO *et al.*, 1997).

O nitrato parece ser rapidamente assimilado na curta distância entre o setor interno e mediano, como o descrito acima para o silicato. No mês de inverno a principal contribuição ao NID foi a de nitrato, que é correspondente a maiores níveis de oxigenação verificados nessa época do ano, quando a decomposição da matéria orgânica é menor (FONTES, 2004), ou seja, a maior

oxigenação favorece a oxidação de parte da quantidade de amônio a nitrito e posteriormente a nitrato. Já em março, o nitrogênio amoniacal também representou grande parte do NID, uma vez que o nitrato apresentou baixas concentrações nessa amostragem, possivelmente pelos motivos acima citados. O nitrogênio amoniacal apresentou maiores concentrações na região mais a montante da baía, provavelmente por ser a região mais rica em matéria orgânica onde a contribuição de formas nitrogenadas reduzidas aumentam.

Para as frações de fósforo (inorgânica e total), o gradiente espacial não foi pronunciado (Tabelas 03 e 05). As concentrações de fosfato foram relativamente baixas no período investigado, corroborando com dados obtidos por MIZERKOWSKI (2005). Ao se considerar a escala temporal, o mês de setembro apresentou maiores concentrações de fósforo inorgânico dissolvido, indicando que o fosfato pode estar sendo assimilado em grande quantidade pelos produtores primários no período mais quente, uma vez que esta fração é a forma de fósforo mais biodisponível. A complexidade do comportamento do fósforo inorgânico nos processos de diluição da água do mar pela drenagem continental foi discutida por MACHADO *et al.*, (1997), sendo que os autores sugerem que as flutuações temporais do P estão associadas aos (i) processos de circulação e ressuspensão pela maré, (ii) variação na drenagem continental e (iii) processos físico-químicos (Eh, pH). Os autores também sugerem que a principal fonte de P inorgânico para a Baía de Paranaguá é o sedimento das áreas internas da baía.

O fósforo total (soma das frações inorgânica e orgânica) não apresentou gradientes temporais e nem espaciais. Para VALIELA (1995), existem dois aspectos importantes e cruciais da química do P responsável pela manutenção de baixas concentrações no ambiente natural (principalmente formas dissolvidas) e que complicam a dinâmica do P: (1) a facilidade de adsorção e (2) a propensão a formar compostos insolúveis com certos metais (como cálcio, ferro, manganês, etc.) sob determinadas características biogeoquímicas do ambiente em questão. KNOPPERS *et al.*, (1987) encontraram aumentos significativos de P nos setores medianos da Baía de Paranaguá, relacionados com a descarga doméstica da cidade de Paranaguá, sugerindo que atividades antrópicas também tem a capacidade de alterar o ciclo e conseqüentemente a

dinâmica do fósforo, mesmo que a contribuição urbana tenha um efeito localizado (REBELLO e BRANDINI, 1990).

A razão NID:PID apresentou marcada diferença espacial, com altos valores no setor interno (gradiente espacial de concentração crescente sentido jusante → montante), indicando ser esse setor potencialmente limitado pela disponibilidade de fosfato e o setor externo por nitrogênio (Tabelas 03 e 05), corroborando com MIZERKOWSKI (2005) para a Baía de Guaratuba e BRANDINI e THAMM (1994); MACHADO *et al.*, (1997) para a Baía de Paranaguá. Em caráter temporal, a diferença não foi muito acentuada, mas são visíveis os maiores valores em março. Já para a razão NT:PT, o gradiente temporal é o inverso ao da razão NID:PID, porém o gradiente espacial é bem parecido. Para a razão entre as concentrações totais (NT:PT), o mês de setembro pareceu ser o mais limitado por fósforo.

As concentrações de pigmentos fotossintetizantes, em especial a clorofila-*a*, que foi analisada nesse estudo, representam uma estimativa indireta dos níveis de produção nos ecossistemas aquáticos. É notável um aumento na concentração de clorofila-*a* no setor mediano se comparados com os setores interno e externo (Tabelas 02 e 04), corroborando com MIZERKOWSKI (2005), podendo sugerir que o setor mediano é o mais produtivo da baía. Este padrão também foi verificado na Baía de Paranaguá (BRANDINI *et al.*, 1988, MACHADO *et al.*, 1997) e na Baía da Laranjeiras (BRANDINI, 2004). A variação sazonal também ficou evidente, com maiores concentrações no mês de março, resultado que pode ser explicado por uma oscilação sazonal da comunidade fitoplanctônica, que parece desenvolver-se melhor nas condições de verão. A feofitina, que compõe os feopigmentos conhecidos como produtos da decomposição da clorofila-*a*, seguiu a tendência da clorofila como já esperado. Concentrações elevadas de feopigmentos observadas no verão foram atribuídas a maior decomposição da biomassa algal formada nos períodos de primavera-verão, promovidas pelo aumento do metabolismo aquático (BARTOLI *et al.*, 1996; FONTES, 2004). Os níveis de feofitina se aproximaram mais aos de clorofila na coleta de setembro, sugerindo novamente que o mês de março é o mais produtivo.

## 6.2 Dinâmica espacial e temporal do fracionamento do fósforo nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba

A dinâmica do P é altamente influenciada pelas condições redox do ambiente. O Eh (potencial redox) é uma variável que descreve o estado de oxidação ou redução do ambiente que, por sua vez, depende do oxigênio e do pH do meio. Assim, valores positivos de Eh indicam um ambiente com mais oxigênio, enquanto os menores valores indicam um ambiente redutor. Um ambiente oxidante tende a reter o P no sedimento, enquanto um ambiente mais redutor tende a liberá-lo para a coluna de água (ESTEVES, 1988; CHA *et al.*, 2000). Essa diferença de comportamento influenciada pelo estado redox do ambiente é referente à sua dinâmica de adsorção ou desorção, principalmente com oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, ou seja, adsorção em ambiente óxico e desorção em condições anaeróbicas. Dessa forma, o P por si só não é oxidado ou reduzido. Ele submete-se ao ciclo redox junto principalmente com os óxidos de ferro (JAHNKE, 1992). O P dissolvido na água intersticial liga-se a oxi-hidróxidos de ferro sob condições óxicas entrando na forma particulada, saindo de forma temporária ou definitiva de circulação, precipitando para camadas mais profundas do sedimento. Condições ambientais reduzidas podem liberar para a água intersticial novamente a fração dissolvida e remobilizar o P nas camadas inferiores dos sedimentos recentes. Este fósforo dissolvido na água intersticial dos sedimentos pode então, por difusão molecular, ser transferido para a coluna d'água. A reprecipitação sob condições óxicas nas camadas superiores dos sedimentos também ocorre, sugerindo que a alternância entre as frações dissolvidas e particuladas (adsorvidas) exerce uma grande importância sobre o ciclo do fósforo (LUCOTTE e d'ANGLEJAN, 1988; VAITHIYANATHAN *et al.*, 1993; CHA *et al.*, 2005).

De uma maneira geral, os perfis de potencial redox indicam um ambiente oxidante até a camada de 2 cm nos sedimentos (camada limite) seguida por um gradiente decrescente acentuado, a camada de descontinuidade redox, onde é notável a mudança para um ambiente redutor, com valores menores visualizados nas camadas mais profundas (Figuras 10, 25 e 39). Estudo recente desenvolvido por CHA *et al.*, (2005) também verificou essa camada, entre 1 – 5 cm de profundidade no sedimento, a qual foi utilizada para dividir ambientes oxidantes e reduzidos. Em condições aeróbicas, a oxidação da

matéria orgânica é efetuada em grande parte com o oxigênio como receptor de elétrons. Na medida em que o ambiente torna-se reduzido, outros processos são termodinamicamente favorecidos tais como a redução de nitrato (denitrificação), de sulfato e a metanogênese (KRISTENSEN, 2000). Assim, o gradiente vertical visualizado nos testemunhos analisados indica a diferença nos processos de degradação e remineralização da matéria orgânica entre as camadas mais superficiais e as mais profundas, influenciando de maneira direta na adsorção/dessorção do fosfato no sedimento. A variação vertical dos valores de Eh é notável para os três setores da baía, enquanto a variação sazonal não é identificável em nenhum setor. Algumas oscilações de valores nos testemunhos podem ser atribuídas a processos de bioturbação, biodeposição e bioessuspensão, como a ação de organismos bentônicos que irrigam, remobilizam, retrabalham e constroem túneis e tubos no sedimento, e conseqüentemente permitem a entrada de oxigênio em profundidades um pouco maiores, alterando o ciclo do P (ALLER, 1978; ROSENBERG, 2001).

A solubilidade de fosfatos de cálcio, alumínio e ferro (III) (os três principais elementos a quem os fosfatos são adsorvidos) depende fortemente do potencial redox e do pH do ambiente (FRANKOWSKI *et al.*, 2002; JIANG *et al.*, 2006). Quando o pH se eleva nos sedimentos, ocorre a mudança do fosfato de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  para  $\text{HPO}_4^{2-}$ , e uma mudança nas cargas superficiais dos oxi-hidróxidos (ZWOLSMANN, 1993; COELHO *et al.*, 2004). A competição entre hidróxidos e íons fosfatos aumenta, desse modo enfraquecendo a combinação química de fosfatos com Fe (III) e Al, favorecendo a dessorção e direcionando a liberação de fosfatos para águas de fundo (ZWOLSMANN, 1993; FRANKOWSKI *et al.*, 2002). Assim, a adsorção de fosfatos em oxi-hidróxidos de ferro sofre uma competição com o incremento de repulsão eletrostática ao longo de um gradiente crescente de salinidade (ZWOLSMANN, 1993).

O pH apresentou nítida variação sazonal no presente estudo, com evidente incremento no mês de setembro nos três setores analisados (Figuras 11, 26 e 40). Tal padrão pode ser atribuído a uma maior penetração da água marinha no sistema no mês de setembro e/ou maiores taxas de degradação de MO no mês de março, corroboradas pelos resultados obtidos na coluna de água, tais como a diminuição do oxigênio, associadas a um aumento na magnitude dos aportes alóctone e/ou autóctone no período mais quente. O

gradiente vertical não foi muito nítido sendo possível verificar oscilações, principalmente nos setores mediano e externo, com os maiores valores na água de contato e nas camadas superficiais. Quanto ao gradiente espacial, o pH dos sedimentos apresentou um comportamento similar ao da coluna de água, ou seja, crescimento no sentido montante - jusante da baía. De acordo com ZWOLSMANN (1993) e FRANKOWSKI *et al.*, (2002), o pH mais elevado pode disponibilizar fosfato mais facilmente para a coluna de água que um pH mais baixo, portanto o mês de setembro pode ter sido um mês em que ocorreu maior liberação (desorção) se comparado com o mês de março, assim como o setor externo também parece ser o local em que ocorre maior liberação de fosfato.

Os minerais presentes na coluna de água, ao longo do processo de transporte e retrabalhamento até o ambiente deposicional, podem sofrer quebra completa, liberando íons na solução (intemperismo por dissolução). Os ambientes deposicionais, como podem ser chamados os estuários atuais, recebem os grãos que são resultados desses processos desde sua fonte até o ambiente deposicional, sendo os parâmetros granulométricos reflexos dessas mudanças. A granulometria dos sedimentos não apresentou grandes diferenças verticais nos testemunhos analisados (Figuras 14, 15, 29, 30, 43 e 44), porém é conspícua a variação horizontal, com maiores concentrações da fração fina no setor interno. Esta configuração sugere processos hidrodinâmicos mais intensos na região da desembocadura da baía (MARONE *et al.*, 2004), enquanto a região interna (principalmente) e a mediana apresentam ambientes de hidrodinâmica mais baixa, permitindo maior sedimentação de partículas mais finas. Essas configurações também foram verificadas por SANDERS (2005); ZEM *et al.*, (2005a), demonstrando que a baía possui características sedimentológicas e morfológicas espacialmente diversificadas, resultado da complexa interação entre a hidrodinâmica, a geomorfologia e o leito estuarino.

As concentrações de matéria orgânica nos sedimentos foram relacionadas com a granulometria corroborando com SANDERS (2005), ZEM *et al.*, (2005a), ou seja, maiores teores foram verificados nos locais em que as frações finas foram mais elevadas (13, 28 e 42). Isto confirma que os sedimentos finos (silte e argila) têm maior capacidade de ligar-se à matéria

orgânica particulada (adsorção) na coluna de água que os grãos mais grosseiros (ANDRIEUX e AMINOT, 2001; FRANKOWSKI *et al.*, 2002; PAGLIOSA *et al.*, 2005), de forma a precipitar nos sedimentos, principalmente em locais de baixa profundidade e hidrodinâmica (COELHO *et al.*, 2004). Apesar de os sedimentos com maiores porcentagens de finos apresentarem-se caracteristicamente enriquecidos em matéria orgânica, alguns valores elevados ocorreram nos sedimentos mais grosseiros, principalmente no setor externo. Essa aparente incongruência pode ser explicada pelo fato do baixo amostrado da região externa ser um local abrigado, possibilitando altas taxas de sedimentação (SANDERS, 2005). Além disso, ANDRIEUX e AMINOT (2001) verificaram que a matéria orgânica pode estar associada com sedimentos mais grosseiros como a areia (adsorvida ou na forma de filme bacteriano). Não foi observada uma variação temporal definida nos teores de matéria orgânica nos sedimentos da baía, sugerindo que os processos de remoção da coluna de água para os sedimentos, de degradação e conseqüente remineralização da matéria orgânica nos sedimentos são processos dinâmicos, intimamente ligados com processos físicos de curta escala temporal, como a ação de ventos e marés, que causam a ressuspensão dos sedimentos superficiais.

Os teores de carbonato de cálcio não apresentaram um gradiente horizontal definido (Figuras 14, 29 e 43). A distribuição vertical, no entanto, apresentou grandes oscilações atribuídas a possíveis picos de sedimentação e/ou bancos de conchas (em geral, nas camadas mais profundas do setor externo). As diferenças entre as concentrações no mês de setembro (que apresentou maiores concentrações) e as do mês de março podem ser atribuídas à heterogeneidade ambiental, sugerida por (ZEM *et al.*, 2005a). O carbonato de cálcio pode ser considerado um importante fator na dinâmica do P, atuando como um agente imobilizador em regiões de alta salinidade (COELHO, *et al.*, 2004).

As concentrações das formas de P investigadas (orgânico, inorgânico e total) apresentaram um gradiente horizontal, com a predominância nos sedimentos da região mais a montante da baía, ou seja, o P exibiu uma tendência de diminuir com o aumento da salinidade da coluna de água adjacente (Figuras 16, 17, 18, 19, 31, 32, 33, 34, 45, 46, 47 e 48). Essa configuração sugere uma íntima relação entre a concentração de fósforo e o

tamanho do grão, com maiores concentrações predominando em locais com maior porcentagem de sedimentos finos e matéria orgânica, indicando que na região interna ocorre um forte processo de adsorção em argilo-minerais.

ANDRIEUX e AMINOT (2001), em seu trabalho sobre a relação entre o tamanho dos grãos e as frações de fósforo nos sedimentos discutiram a forte relação existente entre as formas do fósforo e a granulometria, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Outros autores também sugerem essa relação (ESTEVES, 1988; ZWOLSMAN, 1994; FRANKOWSKI *et al.*, 2002; COELHO *et al.*, 2004; CHA *et al.*, 2005; PAGLIOSA *et al.*, 2005). Outros autores também discutiram a forte relação existente entre a qualidade e quantidade da matéria orgânica com as formas fosfatadas encontradas no ambiente (GRASSHOFF, 1983; ESTEVES, 1998; HANRAHAN *et al.*, 2004). É notável uma maior concentração de P na região mais interna, sendo os setores mediano e externo mais similares entre si. Tal constatação pode ser atribuída a granulometria e a maior fonte de matéria orgânica na região interna. Essa maior distinção da região interna em relação às demais também foi verificada por outros autores (RIBEIRO, 2005; SANDERS, 2005; MIZERKOWSKI, 2005; ZEM *et al.*, 2005a).

A ausência de uma variação temporal nítida nas concentrações obtidas nos testemunhos também foi verificada em outros estuários estudados (COELHO *et al.*, 2004; ASHRAF *et al.*, 2006). Estes autores, entretanto, sugerem uma variação sazonal quanto às frações de fósforo ligadas a outros elementos (cálcio, alumínio, ferro, apatita, etc). De uma maneira geral, salvo pequenas oscilações, as concentrações de fósforo exibiram uma tendência de incremento nas camadas superficiais dos testemunhos, e uma diminuição nas concentrações com o aumento da profundidade, mas com um padrão diferenciado dependendo do ponto amostrado, corroborando com outros estudos realizados sobre o gradiente vertical do fósforo nos sedimentos (VAITHIYANATHAN *et al.*, 1993; COELHO *et al.*, 2004; LIU *et al.*, 2004; CHA *et al.*, 2005; DIAS, 2006). Esse aumento vertical pode ser indicativo de uma maior contribuição antrópica de compostos fosfatados para o ambiente.

Algumas outras hipóteses podem ser inferidas para explicar os baixos teores de P no setor externo tais como a granulometria mais grosseira, o aumento do pH com o aumento da salinidade, prevenindo a adsorção de



fosfato a óxidos de Fe pela mudança na especiação do P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{HPO}_4^{2-}$ ), além da maior distância em relação à fonte terrestre (rios) e diferenças qualitativas e quantitativas do material orgânico e inorgânico que sedimenta no local (ZWOLSMANN, 1993; COELHO *et al.*, 2004).

A maior proporção de P orgânico foi encontrada nos testemunhos do setor mediano (Tabelas 05 e 06). Este aumento proporcional de PO pode ser resultado de processos de precipitação e floculação envolvendo ácidos húmicos, óxidos de Fe e Al e processos de mistura advectiva da água do mar com a água doce mais rica em nutrientes (COELHO, *et al.*, 2004). Outra hipótese é o fato de que a região mediana apresenta as taxas mais elevadas de produção primária de matéria orgânica, inferida através dos mais altos índices de clorofila-a (como verificado na coluna de água, Tabelas 02 e 04). As oscilações verticais nos teores de PO podem estar associadas à mistura de sedimentos por bioturbação e/ou rápida sedimentação desses locais (ALLER, 1978; CHA *et al.*, 2005).

O P inorgânico superou as concentrações de PO em quase todas as amostras analisadas (com exceção de duas alíquotas no setor mediano). Essa predominância do PI em relação ao total foi encontrada em diversos estuários do Brasil e do mundo (ZWOLSMAN, 1994; LIU *et al.*, 2004; PAGLIOSA *et al.*, 2006). Tal predominância do PI é sugerida na literatura por altas taxas de mineralização do PO na própria coluna de água sem a participação do sedimento (circulação em curto-circuito segundo OHLE, 1938 in ESTEVES, 1988), portanto pouco PO chega a sedimentar, além da remineralização também ser efetuada com eficiência nos sedimentos. Para KENNISH (1997), as concentrações de PO podem ser maiores que as de PI especialmente em águas marinhas.

As concentrações de clorofila-a foram mais elevadas no setor interno, porém não é nítido um gradiente espacial, uma vez que o setor externo apresentou maiores teores que o setor mediano (Figuras 20, 21, 22, 35, 36 e 49). De uma maneira geral, as camadas superficiais foram as que apresentaram os maiores valores, havendo um nítido decréscimo com o aumento da coluna sedimentar. Esses picos nas camadas superficiais podem ser atribuídos a maior produção fitobentônica, que se desenvolve melhor em locais em que os raios solares atingem de forma mais forte e direta os

sedimentos. Não é nítida uma variação temporal, pois o setor externo apresentou maiores concentrações em setembro, enquanto o mediano apresentou maiores teores em março. De uma maneira geral, os feopigmentos seguiram a tendência de distribuição vertical da clorofila-a, porém em quase todos os testemunhos analisados os valores de clorofila-a foram mais reduzidos que os de feofitina. Esses resultados sugerem que os sedimentos recentes da Baía de Guaratuba são o palco de processos de degradação que superam os de produção (o contrário do verificado para a coluna de água), salvo alguns testemunhos que apresentaram teores superficiais mais elevados de clorofila-a. Esta constatação, de que a coluna de água apresenta maiores teores de clorofila-a e de que os sedimentos apresentam maiores teores de feofitina, sugere que a coluna de água é o compartimento em que é realizada a maior parte da produção primária da baía, enquanto os sedimentos funcionam como um ambiente de degradação e conseqüente remineralização da matéria orgânica produzida no ambiente pelágico, atuando como uma fonte de nutrientes, como o fosfato.

O sistema exibiu um gradiente horizontal para o carbono orgânico, com maiores teores na região mais interna da baía, derivados de fontes fluviais e sedimentos finos (Figuras 23, 24, 37, 38, 50 e 51). ANDRIEUX e AMINOT (2001) encontraram uma fraca correlação entre esses dois parâmetros, e tais autores relatam a existência de trabalhos que fornecem uma boa correlação, enquanto outros afirmam a inexistência de tal correlação. Não foi evidente um gradiente vertical nas concentrações, uma vez que as oscilações foram muito constantes e sem nenhuma tendência. Tais oscilações podem ser atribuídas a processos de bioturbação (ALLER, 1978).

Um aspecto conspícuo no presente estudo foi a acentuada variabilidade em pequena escala espacial encontrada para o fósforo nos sedimentos recentes do sistema. As diferenças acentuadas nas concentrações de réplicas de testemunhos sedimentares sugerem a existência de distribuições de fosfatos em manchas (patches). Tal heterogeneidade ambiental tem sido relatada por diversos autores (EGGLESTON *et al.*, 1999; SPILMONT *et al.*, 2005). Segundo QUEIROZ (2002), as comunidades microfitobentônicas estão sujeitas a grande variabilidade espacial e temporal das características físicas e químicas do ambiente. A distribuição heterogênea desses organismos,

importantes na ciclagem do P, pode refletir na variabilidade espacial deste elemento.

### **6.3 Comparação com outros estuários do Brasil e do mundo**

Os teores de fósforo encontrados no presente estudo são comparáveis aos valores reportados para os sedimentos de alguns estuários do Brasil e de outras regiões do planeta (Tabela 15). Altas concentrações de fósforo nos sedimentos recentes são verificadas em estuários e outros locais que sofrem forte pressão antrópica, como alguns rios de Santa Catarina (Florianópolis), Golfo Norte da Califórnia e o Estuário da Baía de Vitória. A Baía de Guaratuba, em contraste com os sistemas citados na tabela 15, apresenta baixas concentrações relativas de P nos sedimentos. A grande maioria dos estuários comparados exibiu uma maior contribuição da fração inorgânica em detrimento da orgânica, como também verificado na Baía de Guaratuba.

O Complexo Estuarino de Paranaguá, dentre outros comparados com a Baía de Guaratuba na tabela 15, foi o que apresentou as concentrações mais similares das frações de P, e é justamente o mais próximo em termos de localização espacial. Concentrações um pouco maiores na Baía de Paranaguá podem ser vistas, talvez refletindo a maior ocupação urbana ao seu entorno. Essa similaridade pode ser explicada, em parte, pela proximidade e semelhança entre as bacias de drenagem dos respectivos estuários.

A partir desta análise podemos inferir que a Baía de Guaratuba apresenta pouca contribuição em relação aos aportes antrópicos do elemento no ambiente quando comparada com outros ambientes em acelerados processos de eutrofização. Segundo KENNISH (1997), a Suécia e os USA são países que vem sofrendo fortes e crescentes processos eutróficos, principalmente em rios e lagoas costeiras, configurando um péssimo resultado do processo de desenvolvimento atingido nesses países, onde sérios prejuízos ambientais e econômicos estão sendo verificados, e várias tentativas de remediação estão sendo aplicadas, embora a maioria sem sucesso. Porém, a comparação com outras regiões deve ser feita de maneira cautelosa, pois alguns autores enfatizam que a eutrofização pode apresentar inicialmente sintomas e efeitos localizados, geralmente perto de locais que sofrem despejo de efluentes.

Não foi possível a comparação dos resultados obtidos no presente estudo com dados pretéritos sobre o fósforo nos sedimentos da Baía de Guaratuba, uma vez que o levantamento bibliográfico realizado não encontrou nenhuma informação para esse ambiente estuarino. Portanto os resultados aqui apresentados são pioneiros para o ecossistema em questão.

**Tabela 15:** Fracionamento do fósforo (PT, PI e PO) nos sedimentos recentes da Baía de Guaratuba e outros sistemas estuarinos do Brasil e do mundo.

Sistema	PT (µg/g)	PI (µg/g)	PO (µg/g)	Autor
Estuário da Baía de Guaratuba	98 – 546	53 – 388	30 – 203	Presente estudo
Estuário da Baía de Vitória – ES. Manguezal, alta sedimentação e grande influência antrópica. Rios altamente urbanizados localizados em Florianópolis – SC.	711 – 5134	-	-	DIAS (2005)
Estuário do Bacanga – São Luiz – MA. Manguezal, afetado por efluentes domésticos.	3968 – 21018	-	-	PAGLIOSA <i>et al.</i> (2005)
Estuário do Rio Vaza-Barris – SE. Formação recente, fisicamente não consolidado.	398 – 1160	178 – 899	216 – 488	TANAKA <i>et al.</i> (2000)
Estuário da Baía de Guanabara – RJ. Forte influência antrópica.	146 – 389	43 – 116	100 – 274	GOMES <i>et al.</i> (2000)
Complexo Estuarino de Paranaguá – PR.	150 – 1620	-	-	SOUZA e MAYR (1995)
Canal do Porto de Cochin – Índia. Amostrado entre 10-20m.	21 – 653	9 – 451	3 – 236	CAZATI (in prep.)
Mar do Japão. Amostras de sedimentos profundos	526 – 956	490 – 810	28 – 193	ASHRAF <i>et al.</i> (2006)
Lago Taihu – China. Eutrófico em algumas áreas.	403 – 1100	300 – 750	111 – 310	CHA <i>et al.</i> (2005)
Bohai e Yellow Sea – China. Forte uso da terra e crescente aumento populacional.	1240 – 1550	1010 – 1250	180 – 250	JIANG <i>et al.</i> (2005)
Estuário Mondego – Portugal. Gradiente eutrófico.	232 – 620	173 – 511	9 – 217	LIU <i>et al.</i> (2004)
Golfo Norte da Califórnia – USA e México. Grande influência antrópica.	465 – 837	-	-	COELHO <i>et al.</i> (2004)
Estuário da Baía Pomeranian – Polónia	622 – 6679	414 – 5576	58 – 551	DAESSLÉ <i>et al.</i> (2004)
Estuário Hooghly (Ganges) – Índia. Intensamente industrializado.	100 – 628	88 – 512	0 – 316	FRANKOWSKI, <i>et al.</i> (2002)
	258 – 500	250 – 476	50 – 118	VAITHIYANATHAN <i>et al.</i> (1993)

## 7. CONCLUSÕES

- As maiores concentrações das frações de fósforo nos sedimentos estiveram relacionadas principalmente com a porção mais fina do sedimento (silte e argila) e com teores de matéria orgânica. O setor interno da baía pode estar sendo limitado por P, uma vez que apresentou altas concentrações nos sedimentos e baixas na água. Estudos pretéritos realizados na baía indicaram concentrações elevadas de Fe e Mn nesse setor, elementos que podem estar influenciando a precipitação do P em condições aeróbicas e de baixo pH.
- O P na água mostrou alta dinâmica, sem um padrão temporal ou espacial definido, reflexo do seu ciclo complexo e extremamente suscetível a mudanças ambientais espaciais e temporais em curta escala.
- As frações de PI foram mais elevadas que a de PO, sugerindo que o sistema tem alta eficiência na degradação e remineralização da fração orgânica.
- A acumulação de P nos sedimentos da baía parece estar aumentando no gradiente vertical (no sentido sedimento mais profundo → sedimento mais recente) sugerindo um aumento na deposição do P, que pode estar relacionado com atividades antrópicas.
- O P pode persistir no ambiente como resultado do suprimento através da fonte sedimentar, mesmo cessadas as fontes externas.
- A Resolução do Conama 344/2004, que prevê um limite de 2000ppm para o PT nos sedimentos, não foi violada para o sistema.
- O conhecimento e monitoramento contínuo do P na água e nos sedimentos de ecossistemas aquáticos é de fundamental importância devido ao seu papel vital no metabolismo de todos os seres vivos, à sua capacidade de limitar o crescimento e à crescente problemática ambiental relacionada a eutrofização em diversos ecossistemas no Brasil e no Mundo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, R. (1978). **Experimental studies of changes produced by deposit feeders on pore water, sediment, and overlying water chemistry.** American Journal of Science, v. 278, n. 9, p. 1185-1234.

ANDRIEUX-LOYER, F.; AMINOT, A. (2001). **Phosphorus forms related to sediment grain size and geochemical characteristics in French coastal areas.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 52, p. 617-629.

ANDRIGUETTO, J.M.F. (1999). **Sistemas técnicas de pesca e suas dinâmicas de transformação no litoral do Paraná, Brasil.** Tese de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal do Paraná - Curitiba. 241p.

ANGULO R. J. (1992). **Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná.** Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 334 p.

ANGULO, R. J. (1993). **Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas.** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v. 41, p. 52-72 .

ANGULO R. J., GIANNINI P. C. F., SUGUIO K., PESSENDA L. C. R. (1999). **The relative sea-level changes in the last 5,500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid 14 C ages.** Marine Geology, v.159, p.327-339.

ANGULO, R. J.; SOARES, C. R.; MARONE, E.; SOUZA, M. C.; ODRESKI, L. L. R.; NOERNBERG, M. A. (não publicado). **Atlas de erosão Costeira do Estado do Paraná** Instituto do Milênio RECOS – disponível em <http://www.cem.ufpr.br/milenio/MMEOC1/GeolOcPR.htm> Arquivo consultado em 2006.

ARMENGOL, J.; CRESPO, M.; MORGUÍ, J. A. and VIDAL, A. (1986). **Phosphorus budgets and forms of phosphorus in the Sau reservoir sediment: An interpretation of the limnological record.** Hydrobiologia, v. 143, p. 331-336.

ASHRAF P, M.; EDWIN, L.; MEENAKUMARI, B. (2006). **Studies on the seasonal changes of phosphorus in the marine environments off Cochin.** Environmental International, v. 32, p. 159-164.

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

BAIRD, C. (2002). **Química Ambiental.** 2 ed. Porto Alegre: ed. Bookman.

- BARROS JR., F. C. R. (1997). **A macrofauna bentônica em praias arenosas dos arredores da Baía de Guaratuba (PR), Brasil**. Dissertação de Mestrado em Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARTOLI, M.; CATTADORI, M.; GIORDANI, G.; VIAROLI, P. (1996). **Bentic oxygen respiration, ammonium and phosphorus regeneration in surficial sediments of the Sacca di Goro (Northern Italy) and two French coastal lagoons: a comparative study**. *Hidrobiologia*, Bucharest, v. 329, p. 143-159.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, L. F. (1996). **Manual de Análises em Oceanografia Química**. Rio Grande: ed. FURG. 132 pp.
- BERNER, R. A. (1981). **Authigenic mineral formation resulting from organic matter decomposition in modern sediments**. *Fortschritte der Mineralogie*. v. 59, p.117-135
- BLOMQUIST, S.; L. HAKANSON. (1981). **A review. of sediment traps in aquatic environments**. *Arch. Hydrobiol*, v. 91, p. 101-132.
- BORDIGNON, M. O. (2006). **Padrão de atividade e comportamento de forrageamento do morcego-pescador *Noctilio Neporinos* (Linnaeus) (Crioptera Noctilionidae) na baía de Guaratuba, Paraná, Brasil**. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 23, n. 1, p. 50-57.
- BRANDINI, F. P.; THAMM, C. A. C. (1994). **Variações diárias e sazonais do fitoplâncton e parâmetros ambientais na Baía de Paranaguá**. *Nerítica*, v. 8 n. 1-2, p. 55-72.
- BRANDINI, F. P.; THAMM, C. A. H.; VENTURA, I. (1988). **Ecological studies in the Bay of Paranaguá III. Seasonal and spatial variations of nutrients and chlorophyll-a**. *Nerítica*, v. 3, n. 1, p. 1-30.
- BRANDINI, N. (2004). **Varição espacial e sazonal da produção primária do fitoplâncton em relação às propriedades físicas e químicas na Baía das Laranjeiras e áreas adjacentes do complexo estuarino da Baía de Paranaguá (Paraná - Brasil)**. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná.
- BRAGA, E. S.; BONETTI, C. V. D. H.; BURONE, L.; BONETTI FILHO, J. (2000). **Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista estuarine system – Brazil**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 40, n. 2, p. 165 – 173.
- CALMANO, W. (1981). **Potentially bioavailable phosphorus in sediments of the Weser Estuary**. *Environmental Technology Letters*, v. 2, p. 443-448.



- CARMOUZE, J. P. (1994). **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo. ed. Blicher, FAPESP. 252 p.
- CARNEIRO, M. E. R. (1998). **Transporte da matéria orgânica no estuário do rio Paraíba do Sul**. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- CAZATI, C. A. (*In prep.*) **Comportamento geoquímico do P nos sedimentos da Baía de Paranaguá, PR**. Monografia de conclusão do curso de Oceanografia. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.
- CHA, H. J.; LEE, C. B.; KIM, B. S.; CHOI, M. S.; RUTTENBERG, K. C. (2005). **Early diagenetic redistribution and burial of phosphorus in the sediments of the southwestern East Sea (Japan Sea)**. *Marine Geology*, v. 216, p. 127-143.
- CHAVES, P.T.C. & VENDEL, A.L. (1997). **Indicadores reprodutivos das espécies de *Citharichtys bleeker* (Teleostei, Pleuronectiformes) na baía de Guaratuba, Paraná, Brasil**. *Revista Brasileira de Zoologia*, v.14, n. 1, p. 73-79.
- CHAVES, P. T. C. (1998). **Estrutura populacional de *Pomadasys corvinaeformis* (Perciformes, Haemulidae) na baía de Guaratuba, Paraná, Brasil**. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 15, n. 1, p. 203-209.
- COELHO, J. P.; FLINDT, M. R.; JENSEN, H. S.; LILLEBO, A. I.; PARDAL, M. A. (2004). **Phosphorus speciation and availability in intertidal sediments of a temperate estuary: relation to eutrophication and annual P-fluxes**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 61, p. 583-590.
- DAESSLÉ, L. W.; CAMACHO-IBAR, V. F.; CARRIQUIRY, J. D.; ORTIZ-HERNÁNDEZ, M. C. (2004). **The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern Gulf of Califórnia**. *Continental Shelf Research*, v. 24, p. 2093-2106.
- DAY JR., J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YÁNEZ-ARANCIBIA, A. (1989). **Estuarine Ecology**. New York: ed. Wiley Interscience, 558 p.
- DIAS, J. C. (2006). **Diagênese e acumulação de fósforo em sedimentos de áreas distintas na Baía de Sepetiba**. Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense.
- EGGLESTON, D. B.; ELIS, W. E.; ETHERINGTON, L. L.; DAHLGREN, C. P.; POSEY, M. H. (1999). **Organism responses to habitat fragmentation and diversity. Habitat colonization by estuarine macrofauna**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. V. 236, n. 1, p. 107-132.
- ESTEVEZ, F. A. (1998). **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ed. Interciência.

- FAIRBRIDGE, R. W., ed (1972) – **The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross. 1321p.
- FOLK, R.; WARD, W. (1957). **Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 27, p. 3-27.
- FONTES, M. L. S. (2004). **Breve estudo esoaço-temporal e de impacto do feriado de carnaval e Corpus Christi sobre variáveis ambientais nas águas da lagoa da Conceição – Florianópolis**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FRANKOWSKI, L.; BOLALEK, J.; SZOSTEK, A. (2002). **Phosphorus in bottom sediments of Pomeranian Bay (Southern Baltic – Poland)**. Estuarine, Coastal and Shelf Science. V. 54, p. 1027 – 1038.
- GARRELS, R.M & MACKENZIE, F.T. (1971). **Evolution of sedimentary rocks**. W.W. Norton and Co., Inc. 397 p.
- GESAMP, (2001). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP. **Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) and Advisory Committee on Protection of the Sea**. A sea of troubles. Rep. Stud. GESAMP, v. 70, 35 p.
- GRASSHOFF, K; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (1983). **Methods of Seawater Analysis**, 2 ed. revised and extended. ed. Verlag Chemie: Weinheim. 419p.
- HANRAHAN, G.; SALMASSI, T. M.; KHACHIKIAN, C. S.; FOSTER, K. L. (2005). **Reduced inorganic phosphorus in the natural environment: significance, speciation and determination**. Talanta, v. 66, n. 2, p. 435-444.
- HENRY, R. (1981). **Efeitos da eutroficação artificial por nutrientes inorgânicos na comunidade fitoplanctônica na Represa do Lobo (Brotas – Itirapina, SP e no lago D. Helvécio (Parque Florestal do Rio Doce, MG)**. Tese de doutorado em ecologia e recursos naturais. Universidade de São Carlos, São Paulo.
- HOSTIN, L. M. (2003). **Influência de cultivo de ostras (*Cassostrea sacco*, 1897), nas comunidades macrobênticas de um canal de maré na Baía de Guaratuba, Paraná**. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná.
- JACOBI, H., (1953). **Sobre a distribuição da salinidade e do pH na Baía de Guaratuba**. Arquivos do Museu Paranaense, v. 10, n.1, p. 3- 35.
- JAHNKE, R. J. (1992). **The phosphorus cycle**. In Butcher S. S., Charlson R.J., Orians G.H., Wolfe GV. eds. **Global Biogeochemical Cycles**. New York:Academic Press.

JIANG, X.; XIANGCAN, J.; YAO, Y.; LI, I.; WU, F. (2006). **Effects of oxygen on the release and distribution of phosphorus in the sediments under the light condition.** Environmental Pollution, v. 141, p. 482-487.

IBGE, (2005). População estimada em 2005. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 2006.

IPARDES, (1990). **Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba.** Curitiba, 257p.

KENNISH, M. J. (1997). **Practical handbook of estuarine and marine pollution.** CRC Press, Inc.

KLUMP, J. V.; MARTENS, C. S. (1981) **Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin—II. Nutrient sediment–water exchange processes.** Geochim Cosmochim Acta, v. 45, p. 101-121.

KNOPPERS, B. A.; BRANDINI, F. P.; THAMM, C.A.C. (1987). **Ecological studies in the Bay of Paranaguá II. Some physical and chemical characteristics.** Neritica v. 2, n. 1, p. 1-36.

KRISTENSEN, E. (2000). **Organic matter diagenesis at the oxic/anoxic interface in coastal marine sediments, with emphasis on the role of burrowing animals.** Hydrobiologia, v. 426, n. 1, p. 1-24

KRUEGER, G. G. (2004). **Avaliação das fontes poluentes pontuais da baía de Guaratuba – Paraná.** Monografia de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

LENCA, M. L. C. (2005). **Variações das massas da água, disponibilidade de nutrientes e sedimentação da matéria orgânica e inorgânica na Baía de Mejillones (23°S) Chile.** Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

LESSA, G.C.; MEYERS, S. e MARONE, E. (1998) - **Holocene Stratigraphy in the Paranaguá Bay Estuary, Southern Brazil.** Journal of Sedimentary Research, v. 68, n. 6, p. 1060-1076

LESSA G. C.; ANGULO R. J.; GIANNINI P. C. F.; ARAÚJO A. D. (2000). **Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil.** Marine Geology, v. 165, n. 1-4, p. 87-108.

LIU, S. M; ZHANF, J.; LI, D.J. (2004). **Phosphorus cycling in sediments of the Bohai and Yellow Seas.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 59, p. 209-218.

LUCOTTE, M.; d'ANGLEJAN, B. (1988). **Processes controlling phosphate adsorption by iron hydroxides in estuaries.** Chemical Geology, v. 67, p. 75 – 83.

- LIU, S. M.; ZHANG, J.; LI, D. J. (2002). **Phosphorus cycling in sediments of the Bohai and Yellow Seas**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v.59, p. 209-218.
- MACHADO, E. C. (1989). **Desoxigenação e regeneração de nutrientes pelo sedimento na Lagoa de Guarapina, RJ**. Mestrado em Geoquímica. Universidade Federal Fluminense, Niterói. 103p.
- MACHADO, E. C.; DANIEL, C. B.; BRANDINI, N.; QUEIROZ, R. L. V. (1997). **Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranaguá Bay, Pr, Brazil**. Nerítica, v. 11, p. 15-34.
- MANTOVANELLI, A. (1999). **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MARONE, E.; NOERNBERG, M. A.; DOS SANTOS, I. (2004). **Hydrodynamic of Guaratuba Bay - PR, Brazil**. Journal of Coastal Research, n. 39. Special Issue.
- MARTERER, B. E. (1989). **Biologia reprodutiva da tainha *Mugil platanus* Gunther, 1880 (Osteichthyes - Mugilidae) na Baía de Guaratuba, PR**. In: Resumos do XV Congresso Brasileiro de Zoologia, Curitiba.
- MILLERO, F. J. (1996). **Chemical Oceanography**. 2ª ed. Boca Raton: CRC.
- MIZERKOWSKI, B. D. (2005). **Avaliação da Qualidade da Água da Baía de Guaratuba, Paraná**. Monografia de conclusão do curso de Oceanografia. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.
- NAZARIO, M. G. (2005). **Impacto da aquicultura nos processos de mineralização bentica e fluxos de nutrientes na interface água-sedimento na baía de Guaratuba, Paraná, Brasil**. Monografia de conclusão do curso de oceanografia. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.
- NIXON, SW. (1981). **Remineralization and Nutrient Cycling in Coastal Marine Ecosystems**. In: Neilson, BJ e LE Crolin, Estuaries and Nutrients. New York: Human Press, p.111-138.
- ODUM, E. P. (1988). **Ecologia**. Rio de Janeiro: ed. Guanabara. 434p.
- PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A.; BOSQUILHA, G. E.; BRAGA, E. S.; BARBOSA, F. A. R. (2005). **Phosphorus dynamics in water and sediments in urbanized and non-urbanized rivers in Southern Brazil**. Marine Pollution Bulletin.
- PRATA JR., V. de P. (1997). **Aspectos climáticos (temperatura e precipitação) do litoral do estado do Paraná: breve introdução**. Monografia de Geografia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

QUEIROZ, R. L. (2002). **Inorganic Nitrogen Uptake Kinetics by Estuarine Sediment Microalgal Communities**. Tese de Doutorado em Oceanografia. The Florida State University- College of Arts and Sciences.

RAGHOTHAMA, K. G. (1999). **Phosphate Aquisition**. Annual Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol., v. 50, p. 665-93.

REBELLO, J.; BRANDINI, F. P. (1990). **Varição temporal dos parâmetros hidrográficos e material particulado em suspensão em dois pontos fixos da Baía de Paranaguá, Paraná (junho/87-fevereiro/88)**. Nerítica v. 5, n. 1, p. 95-111.

RIBEIRO, M. A. T. S. B. (2006). **Metais pesados (Al, Fe, Mn, Cr, Ni, Ti) no sedimento superficial do estuário de Guaratuba, PR**. Monografia de conclusão do curso de Oceanografia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 108p.

ROSENBERG, R. (2001). **Marine benthic faunal succecional stages and related sedimentary activity**. Scientia Marina, v. 65, n. 2, p. 107-119.

RUTTENBERG, K. C. (1990). **Diagenesis and burial of phosphorus in marine sediments: Implications for the marine phosphorus budget**. PhD thesis, Yale University. 375 p.

RUTTENBERG, K. C. (2003). **The global phosphorus cycle**. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Eds.) Treatise on geochemistry. Amsterdam: Elsevier Publishers, v. 8, p. 585-643.

SANDERS, C. J. (2005). **Taxas de acumulação, acumulação e fluxos de marcúrio na baía de Guaratuba, Paraná, Brasil**. Mestrado em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Niterói. 65p.

SENNES, V. M. A. (2004). **Uso e ocupação do solo e seus reflexos ambientais. Estudo de caso da margem ocupada da baía de Guaratuba**. Monografia de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

SILVEIRA, I. M. O. (1993). **Distribuição de Fosfato e suas formas na Plataforma Continental Brasileira**. Dissertação de Mestrado em Geociências Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SPILMONT, N., MIGNE, A., LEFEBVRE, A., ARTIGAS, L. F., RAUCH, M., DAVOULT, D. (2005). **Temporal variability of intertidal benthic metabolism under emersed conditions in an exposed sandy beach (Wimereux, eastern English Channel, France)**. Journal of Sea Research, v. 53, p. 161– 167.

STRICKLAND J. L. H.; PARSONS T. R. (1972). **A practical handbook of seawater analysis**. Bulletin of Fisheries Research., Board Can. 167 p.

SUGUIO, K. (1973). **Introdução à Sedimentologia**. Universidade de São Paulo, São Paulo. 316 p.

TODESCHINI, M. E. (2004). **Dinâmica espacial e temporal das características físicas e químicas do rio cubatão e ordenação espacial da bacia hidrográfica**. Mestrado em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VAITHIYANATHAN, P.; JHA, P. K.; SUBRAMANIAN, V. (1993). **Phosphorus distribution in the sediments of the Hooghly (Ganges) Estuary, India**. Estuarine, Coastal and Shelf Science. V. 37, p. 603-614.

VALIELA, I. (1995). **Marine Ecological Processes**. 2 ed. New York: Ed. Springer.

WESTHEIMER, F. H. (1987). **Why nature chose phosphates**. Science, v. 235, p.1173-1178.

ZEM, R. C.; PATCHINEELAM, S. M.; MARONE, E. (2005a). **Morfologia e dinâmica de sedimentos na baía de Guaratuba, PR**. In: XXV Congreso de Ciencias del Mar de Chile e XI Congreso Latino Americano de Ciencias Del Mar, Viña Del Mar, Chile. Resumo expandido.

ZEM, R.; MARONE, E.; PATCHINEELAM, S. M. (2005b). **Síntesis comparativa de métodos de análisis granulométrico de sedimentos**. In: XXV Congreso de Ciencias del Mar de Chile y XI Congreso Latino Americano de Ciencias Del Mar, Viña Del Mar, Chile. p.211.

ZWOLSMAN, J. J. G. 1994. **Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt Estuary, South-west Netherlands**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 39, p. 227-248.

