Cintia Organo Quintana

Relações entre as comunidades bênticas e a matéria orgânica sedimentar:
respostas à qualidade dos recursos alimentares e influência na diagênese
recente

**Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico
da Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para a obtenção do Título de
Doutor em Ciências, área de Oceanografia
Biológica.**

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Yukio Gomes Sumida

São Paulo

2008

Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Relações entre as comunidades bênticas e a matéria orgânica sedimentar: respostas à
qualidade dos recursos alimentares e influência na diagênese recente

Cintia Organo Quintana

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia
Biológica.

Julgada em ____/____/____

Prof. (a) Dr. (a)

Conceito

Prof. (a) Dr. (a)

Conceito

Prof. (a) Dr. (a)

Conceito

Prof. (a) Dr. (a)

Conceito

Prof. (a) Dr. (a)

Conceito

JORGE CHAM ©THE STANFORD DAILY

phd.stanford.edu/comics

Agradecimentos

Ao Prof. Paulo Sumida, por me proporcionar um dos mais importantes momentos da minha carreira científica, durante a pós-graduação, quando entendemos realmente o que é pesquisa. Por acreditar em mim e sempre apoiar minhas idéias, pela orientação e amizade. Nunca vou me esquecer de todos seus ensinamentos sobre ciência e vida. Espero que a linha de pesquisa que desenvolvemos no laboratório continue e que este trabalho resulte em muitos frutos, conte comigo!

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por financiar o Projeto DIAGEN, no qual meu projeto de doutorado esteve inserido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Técnico e Científico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche no exterior.

À Universidad de Concepción (UDEC), UNESCO e University of Southern Denmark (SDU) por financiar viagens para cursos e estágio no exterior.

Ao Prof. Dr. Erik Kristensen, por me receber no exterior, financiar a realização dos experimentos, pelas intensas inspirações e incentivo.

Aos professores da Banca Examinadora por aceitar o convite em participar da avaliação e contribuir para o enriquecimento do trabalho.

Aos especialistas que identificaram a macrofauna, Prof. Dr. Edmundo Nonato (Polychaeta), Profa. Dra. Maria Tereza Valério-Berardo (Amphipoda), Prof. Dr. Gustavo Melo (Brachiura e outros crustáceos), Prof. Dr. Marcos Tavares (Decapoda), Dra. Kátia C. dos Santos (Tanaidacea), Dra. Márcia Denadai (Mollusca), MSc. Fabrício Mendes (Ophiuroidea) e Bel. Carina Rodrigues (Isopoda).

Eu agradeço fortemente aos muitos professores e laboratórios do IOUSP que colaboraram com o trabalho: Prof. Dr. Salvador Gaeta, Laboratório de Produção Primária, por conceder espaço e material para análise dos nutrientes; Laboratório de Cultivo de Algas, pela disponibilização das microalgas; Prof. Dr. Michel Mahiques pelas análises de CNS.

Aos funcionários do IOUSP, começando pela tripulação do B/Pq Véliger II, Zizi, Manuel, Orlando e Daico, vocês podem ensinar muito mais do que pesquisa científica alcança! Ao pessoal da base de Ubatuba, Jonathan, Fernando, Lincoln, pela ajuda com os experimentos e logística das coletas. Aos motoristas Valter e Serginho. Ao pessoal dos laboratórios do IOUSP, Maysa, Arthur, Marta, Ricardão, Tomás, Trine, Vitor, Giba, Lorival, Satie. Ao pessoal do LIO, Luiz, Dárcio, Fred e em especial Wilson que em conjunto com Zé Carlos, da oficina, foram um sucesso na montagem e desenvolvimento do material necessário para os experimentos, ficou melhor que o da

foto!Valter, obrigada pela amizade, conselhos e ajuda com os computadores.. quantas instalações, formatações e trocas de notebooks!! Fabiano, valeu pela amizade, pelas conversas e companhia certa na hora do almoço! Às meninas da biblioteca, Cida e Claudinha. Ao pessoal da cantina - Didi você cuida muito bem da gente! Às pós-graduação? Ana Paula e Silvana, obrigada pela ajuda com as dúvidas constantes e todos os documentos.

A todos meus amigos de sempre do IOUSP, ex-IIOUSP e extra-IIOUSP: dizem que verdadeiros amigos são aqueles que estão ao seu lado em horas difíceis, então me considero imensamente feliz, porque descobri que tenho muitos amigos, muito mais do que eu imaginava! Obrigada a todos pela amizade, sem vocês não sei o que seria de mim. E, na maior parte, em horas felizes, obrigada pelos happy e heavy hours!!! Adoro vocês!

Amigos do Laboratório de Dinâmica Bêntica: Paula - cabeça, muito obrigada pela ajuda com as várias análises e coletas, você participou ativamente desta tese, porém, além do profissional, somos irmãs de coração, obrigada por estar em meu lado todas as horas, pela força, incentivo, conversas e festinhas, te adoro! Maria Carol, obrigada pela triagem da meiofauna, pela ajuda com a contagem dos luminóforos e análises dos sedimentos do experimento, pela força com a casa e pela amizade, pode contar comigo para o que precisar! Karin, nossa quando você fala, manda muito bem, você é o porto-seguro das amizades. Dea, obrigada por me escutar, pelo apoio, companhia e por estar sempre bem humorada! Betina, adoro nossas conversas, mesmo que sejam muito longas... você é especial! Camila, pela ajuda no laboratório e análises de lipídios, continue assim seu futuro é brilhante. Arthur - Tutu, logo que entrou já te inseri no esquema do lab...obrigada pela ajuda nas coletas e pela amizade. Léo, valeu pela força nas coletas, pela amizade e sensibilidade, salvando o camarão da amostra de ATP! Goma, obrigada pela ajuda nas coletas e análises de grânulo, valeu pela amizade, crescemos juntos no laboratório e em muitos aspectos da vida. Marcos, agradeço pela amizade, cumplicidade e por me ajudar de diversas formas neste trabalho, desde o início, no projeto, coletas, análises e no fim com sugestões no texto. Obrigada pelas discussões inspiradoras a respeito do trabalho e pelos muitos incentivos, sempre no sentido de procurar crescer cientificamente, valeu cabeça!

Naty - Na, como posso te agradecer? Foram vários fatos e eventos de minha vida em que você participou, aprofundando e construindo a amizade sólida que temos hoje, obrigada pela confiança, conselhos, papos profundos e companhia inseparável. Obrigada pela força na reta final, pelas discussões e sugestões a respeito do trabalho. Espero retribuir tudo isso na mesma medida, te adoro! Thais - Tatá, valeu pelos conselhos, pelas dicas profissionais, por cuidar da Na, continue sempre assim, elegante. Sandrinha - San San, obrigada pela amizade e por promover a interseção entre os labs..você trabalha muito, merece a felicidade do tamanho do seu trabalho. Cau, você contamina as pessoas com suas risadas, afinal positive vibration atrai mais positive vibration. Mau, o Mau está escrito nesta tese... você é muito legal, te adoro, obrigado pela amizade, mas está me devendo um jantar e um bolo de chocolate. Caia -

Caião, você é iluminada com esta voz maravilhosa e este jeito sempre feliz de levar a vida, sou sua fã! Ao pessoal do outro corredor...Mauro, Zé Du, Frango, Cássia, Newton e Menga. À galera hard core, Juliano, Rafa, Cintia Maria, Betinho e Pisetta ou vice-versa.

Cacá, querida migs! Nem sei como te agradecer por todos estes anos de amizade. Você esteve do meu lado em muitos momentos, sempre me dando muita força para seguir em frente. Você é muito especial para mim, te adoro migs! Ah! E tenho orgulho da minha tattoo!! Cinthião – xará, obrigada pela amizade, baladinhas e findes na praia. Nos fortalecemos juntas, a filosofia Cinthinoiê continua...você é demais!

Às meninas conterrâneas e ao pessoal do ICB, Teta, Karla, Ana Paula, Gisele, Luciana, Camila, Eli e Neves, adoro vocês!!!

Aos companheiros das minhas amigas, Du, Brown, Tatá, Zé, Pedrão, Clayton, Fábio, Pablo, Marcos e Djalma, obrigada pelas baladinhas e momentos divertidos!!

Aos meus queridos amigos internacionais, Vivi, Tang Min, Ming, Jannick, Paula, Tanja, Nela, Laila, Yohana, Matthieu, Katrina e Thomas, thanks for the strong friendship we developed!!

Ao Gil, meu ex-companheiro, obrigada por todos estes anos que passamos juntos. Você é responsável em parte pelo que sou hoje, amadureci e aprendi muito com você. Muitas felicidades!

Aos meus pais Rosália, Luiz e irmão Victor, pelo amor incondicional e toda segurança que sinto ao lado de vocês. Apesar da distância, a união e força que passamos uns para os outros supera qualquer limite...

ÍNDICE

Índice de Tabelas	<i>v</i>
Índice de Figuras	<i>viii</i>
Resumo	<i>xi</i>
Abstract	<i>xii</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	7
3. ÁREA DE ESTUDO	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Estratégia amostral e coleta de amostras.....	13
4.2. Coluna de água.....	13
4.3. Oxigênio dissolvido e nutrientes.....	14
4.4. Amostras de sedimento.....	15
4.5. Análise granulométrica e determinação do teor de carbono.....	16
4.6. Análise do carbono orgânico total, enxofre total e nitrogênio total do sedimento..	17
4.7. Matéria orgânica total do sedimento (MOT).....	17
4.8. Determinação dos pigmentos fotossintéticos do sedimento.....	17
4.9. Análise de biomarcadores lipídicos do sedimento.....	18
4.10. Análise da biomassa microbiana sedimentar (método do ATP).....	19
4.11. Determinação da densidade e biomassa bacteriana sedimentar.....	20
4.12. Processamento do material referente à meiofauna.....	21
4.13. Processamento do material referente à macrofauna.....	22
4.14. Experimento laboratorial de bioturbação (mistura de partículas).....	21
4.15. Experimento do impacto da macrofauna no metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes.....	25

4.16. Análise estatística dos dados.....	28
5. RESULTADOS.....	31
5.1. Coluna de água.....	31
5.1.1. Pluviosidade.....	31
5.1.2. Temperatura e salinidade.....	31
5.1.3. Oxigênio dissolvido.....	34
5.1.4. Nutrientes.....	34
5.1.5. Direção e altura de ondas.....	36
5.2. Sedimento.....	37
5.2.1. Granulometria.....	37
5.2.2. Carbono orgânico total, enxofre total e nitrogênio total.....	38
5.2.3. Matéria orgânica total do sedimento.....	40
5.2.4. Clorofila-a e feopigmentos.....	46
5.2.5. Cloropigmentos.....	59
5.2.6. Biomassa microbiana sedimentar.....	61
5.2.7. Meiofauna.....	68
5.2.8. Macrofauna.....	79
5.3. Análises multivariadas.....	90
5.3.1. Correlação múltipla de Pearson	90
5.3.2. Análise de Componentes Principais.....	95
5.3.3. Bio-Env (Biotic-Environmental Matching) e Ordenação por MDS (non-Metric Multidimensional Scaling) – Relação das espécies da macrofauna com as variáveis ambientais.....	104
5.4. Experimentos laboratoriais.....	107
5.4.1. Experimento bioturbação (mistura de partículas).....	107

5.4.2. Experimento metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes.....	110
6. DISCUSSÃO	117
6.1. Caracterização da coluna de água durante o período de estudo.....	117
6.2. Descrição do ambiente sedimentar – granulometria, matéria orgânica total, carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre total.....	119
6.3. Distribuição dos potenciais recursos alimentares para o bentos – avaliação da qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar.....	122
6.3.1. Clorofila-a, feopigmentos e fitodetritos sedimentares.....	122
6.3.2. Razões de C/N, Feo/Clor e biomarcadores lipídicos.....	126
6.4. Dinâmica do sistema bêntico – respostas aos aportes de matéria orgânica sedimentar.....	129
6.4.1. Biomassa microbiana sedimentar.....	117
6.4.2. Meiofauna.....	132
6.4.3. Macrofauna.....	137
6.4.4. Relações entre os compartimentos bênticos.....	148
6.5. A importância da bioturbação exercida pela macrofauna em sedimentos costeiros de Ubatuba.....	150
6.6. O papel da macrofauna nos processos biogeoquímicos de sedimentos recentes em Ubatuba.....	153
7. RESPOSTAS DAS PERGUNTAS FORMULADAS E CONCLUSÕES.....	159
7.1. A distância da costa, características hidrodinâmicas e fluviais das enseadas atuam como fatores de alteração na qualidade e quantidade dos materiais orgânicos disponíveis como fonte alimentar para o bentos?.....	159
7.2. As respostas da macrofauna, meiofauna e microorganismos bênticos são reflexos das variações da composição e disponibilidade de matéria orgânica nas duas enseadas estudadas?.....	159
7.3. A bioturbação da macrofauna bêntica possui papel relevante no retrabalhamento do sedimento e conseqüentemente na degradação de materiais orgânicos?.....	160
7.4. A presença da macroinfauna influencia o metabolismo bêntico e processos biogeoquímicos em sedimentos enriquecidos por compostos orgânicos de fontes distintas?.....	161

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Posição geográfica das estações, profundidade, temperatura, salinidade e massas de água presentes na superfície e fundo.....	32
Tabela 2: Concentração média dos nutrientes observados na coluna de água.....	35
Tabela 3: Carbono orgânico total, enxofre e nitrogênio inorgânico total, razão C/N e C/S dos sedimentos superficiais.....	39
Tabela 4: Valores médios $\pm$ erro-padrão da matéria orgânica total, dos estratos da coluna sedimentar e média $\pm$ desvio-padrão dos primeiros 10 cm do sedimento nos meses de coleta na Enseada da Fortaleza.....	41
Tabela 5: Valores médios $\pm$ erro-padrão da matéria orgânica total, dos estratos da coluna sedimentar e média $\pm$ desvio-padrão dos primeiros 10 cm do sedimento nos meses de coleta na Enseada de Ubatuba.....	42
Tabela 6: Resultados da análise estatística ANOVA e Kruskal-Wallis referentes à comparação do teor de matéria orgânica total entre as estações das enseadas.....	43
Tabela 7: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação do teor de matéria orgânica total entre os meses amostrados.....	44
Tabela 8: Valores integrados médios da clorofila-a e feopigmentos dos 10 cm superficiais do sedimento.....	49
Tabela 9: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação dos valores integrados da clorofila-a e feopigmentos entre as estações das enseadas	50
Tabela 10: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da concentração da clorofila-a e feopigmentos entre os meses amostrados.....	52
Tabela 11: Razão feopigmentos/clorofila-a dos 0-2 cm do sedimento.....	53
Tabela 12: Clorofila-a registrada na coluna sedimentar nas estações das enseadas.....	56
Tabela 13: Feopigmentos registrados na coluna sedimentar nas estações das enseadas.....	58
Tabela 14: Valores integrados da biomassa microbiana sedimentar dos 10 cm superficiais do sedimento.....	62
Tabela 15: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da concentração da biomassa microbiana sedimentar entre as estações das enseadas.....	63
Tabela 16: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da biomassa microbiana sedimentar entre os meses amostrados.....	64
Tabela 17: Biomassa microbiana sedimentar registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada da Fortaleza.....	65
Tabela 18: Biomassa microbiana sedimentar registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.....	67
Tabela 19: Densidade da meiofauna nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar da Enseada da Fortaleza.....	69
Tabela 20: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da meiofauna dos meses amostrados entre as estações das enseadas.....	70

Tabela 21: Densidade da meiofauna registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.....	70
Tabela 22: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da meiofauna entre os meses amostrados.....	72
Tabela 23: Densidade dos grupos Nematoda e Copepoda registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	75
Tabela 24: Densidade dos grupos Polychaeta e Bivalvia registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	77
Tabela 25: Densidade da macrofauna registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada da Fortaleza.....	80
Tabela 26: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da macrofauna entre as estações das enseadas.....	80
Tabela 27: Densidade da macrofauna registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.....	81
Tabela 28: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da macrofauna entre os meses amostrados.....	82
Tabela 29: Riqueza de espécies, índice de diversidade de espécies e equitatividade das estações durante os meses amostrados.....	89
Tabela 30: Abreviação das variáveis ambientais e organismos bênticos utilizados nas análises multivariadas.....	90
Tabela 31: Resultados da análise de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e organismos bênticos na Enseada da Fortaleza.....	93
Tabela 32: Resultados da análise de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e organismos bênticos na Enseada de Ubatuba.....	94
Tabela 33: Possíveis fontes e abreviações dos principais compostos lipídicos identificados em trabalhos anteriores na área de estudo.....	95
Tabela 34: Resultados da análise de componentes principais dos meses de fevereiro e agosto de 2005.....	98
Tabela 35: Resultados da análise de componentes principais nas enseadas da Fortaleza e Ubatuba.....	102
Tabela 36: Resultados da análise Bio-Env.....	104
Tabela 37: Db (taxa de bioturbação) observados nos 15, 30, 45 e 55 dias de incubação do experimento.....	108
Tabela 38: Densidade da macrofauna encontrada nos testemunhos do experimento de bioturbação.....	109
Tabela 39: Características do sedimento da Stn 06, Enseada de Ubatuba, onde foram coletados os sedimentos para o experimento.....	110
Tabela 40: Resultados do teste estatístico t e Mann-Whitney entre sedimento controle e sedimento com fauna das características do sedimento, metabolismo e nutrientes.....	111
Tabela 41: Porcentagem de estimulação de consumo de oxigênio nos sedimentos induzidos pela presença da macrofauna.....	113
Tabela 42: Exemplo de valores publicados para o aumento do consumo de oxigênio	

em sedimentos habitados por construtores de galerias e tubos.....	155
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo, na região de Ubatuba, com a localização das estações de coleta.....	12
Figura 2: Mini-multicorer desenvolvido especialmente para a coleta de amostras de sedimento.....	15
Figura 3: <i>Cake</i> de sedimento + luminóforos, congelado, para a adição aos testemunhos previamente coletados e luminóforos usados no <i>cake</i>	24
Figura 4: Testemunho com o <i>cake</i> adicionado na superfície do sedimento e experimento montado, com testemunhos controle e com fauna.....	24
Figura 5: Tanque, testemunhos de sedimento e motor (cilindro central) utilizados na realização do experimento laboratorial.....	26
Figura 6: Pluviosidade da região de Ubatuba durante o período de estudo.....	31
Figura 7: Diagrama T-S da coluna de água durante o início do verão (dezembro de 2004), período em que a presença da ACAS foi registrada nas enseadas.....	33
Figura 8: Concentração de oxigênio dissolvido das águas de fundo.....	34
Figura 9: Altura e direção das ondas observadas durante o período do estudo na região de Ubatuba.....	37
Figura 10: Valores médios da matéria orgânica total nos primeiros 10 centímetros da coluna sedimentar.....	40
Figura 11: Variação temporal da matéria orgânica total.....	44
Figura 12: Perfis da matéria orgânica total da Enseada da Fortaleza.....	45
Figura 13: Perfis da matéria orgânica total da Enseada de Ubatuba.....	45
Figura 14: Valores integrados (10 cm superficiais) da clorofila-a sedimentar registrados durante os meses amostrados nas enseadas.....	46
Figura 15: Valores integrados de feopigmentos da coluna sedimentar (10 cm) registrados durante os meses amostrados nas enseadas.....	48
Figura 16: Variação temporal dos valores integrados de clorofila-a.....	51
Figura 17: Variação temporal dos valores integrados de feopigmentos.....	51
Figura 18: Perfis de clorofila-a dos primeiros 10 cm do sedimento da Enseada da Fortaleza.....	54
Figura 19: Perfis de clorofila-a dos primeiros 10 cm do sedimento da Enseada de Ubatuba.....	55
Figura 20: Perfis de feopigmentos dos primeiros 10 cm do sedimento da Enseada da Fortaleza.....	57
Figura 21: Perfis de feopigmentos dos primeiros 10 cm do sedimento da Enseada de Ubatuba.....	57
Figura 22: Variações temporais da deposição de cloropigmentos.....	59
Figura 23: Valores integrados de biomassa microbiana bêntica na coluna sedimentar (10 cm).....	61
Figura 24: Variação temporal da biomassa microbiana sedimentar (10 cm).....	64
Figura 25: Perfis verticais de biomassa microbiana bêntica encontrados na Enseada da Fortaleza.....	65

Figura 26: Perfis verticais de biomassa microbiana bêntica encontrados na Enseada de Ubatuba.....	67
Figura 27: Valores integrados da abundância da meiofauna nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	69
Figura 28: Variação temporal dos valores integrados da densidade da meiofauna (10 cm).....	71
Figura 29: Distribuição vertical da meiofauna.....	73
Figura 30: Valores integrados da abundância de Nematoda nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	74
Figura 31: Valores integrados da abundância de Copepoda nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	76
Figura 32: Distribuição vertical de Copepoda das estações da Enseada de Ubatuba nos meses de dezembro 2004 e novembro 2005.....	78
Figura 33: Valores integrados da abundância da macrofauna nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar.....	79
Figura 34: Variação temporal dos valores integrados da densidade da macrofauna.....	82
Figura 35: Distribuição vertical da macrofauna, média $\pm$ desvio-padrão, no período de dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005.....	83
Figura 36: Abundância relativa dos grandes grupos da macrofauna.....	84
Figura 37: Abundância relativa dos grupos funcionais alimentares do grupo Polychaeta.....	86
Figura 38: Biomassa da macrofauna total.....	87
Figura 39: Biomassa relativa dos grandes grupos da macrofauna.....	88
Figura 40: Análise de componentes principais utilizando dados de qualidade da matéria orgânica e variáveis ambientais durante fevereiro 2005 nos primeiros dois centímetros da coluna sedimentar.....	97
Figura 41: Análise de componentes principais utilizando dados de qualidade da matéria orgânica e variáveis ambientais durante agosto 2005 nos primeiros dois centímetros da coluna sedimentar.....	99
Figura 42: Análise de componentes principais para todos os meses amostrados e variáveis analisadas nas estações da Enseada da Fortaleza.....	101
Figura 43: Análise de componentes principais para todos os meses amostrados e variáveis analisadas na Enseada de Ubatuba.....	103
Figura 44: Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em dezembro 2004. MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de dezembro 2004, verificados previamente pela análise Bio-Env.....	105
Figura 45: Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em abril 2005. MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de abril 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.....	105

Figura 46: Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em abril 2005. MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de agosto de 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.....	106
Figura 47: Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em abril 2005. MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de agosto de 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.....	106
Figura 48: Distribuição vertical dos luminóforos na coluna sedimentar (0-10 cm) dos testemunhos com fauna e controle, encontrada nos dias 25, 30, 45 e 55 do experimento de bioturbação.....	107
Figura 49: Densidade da macrofauna na coluna sedimentar (0-10 cm) dos testemunhos, encontrada nos dias 25, 30, 45 e 55 do experimento de bioturbação.....	109
Figura 50: Matéria orgânica total observada na coluna sedimentar até 10 cm de profundidade no final do experimento nos tratamentos com fauna e controle.....	111
Figura 51: Clorofila-a observada na coluna sedimentar até 10 cm de profundidade no final do experimento nos tratamentos com fauna e controle.....	112
Figura 52: Fluxos de oxigênio nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	112
Figura 53: Fluxos de CO ₂ nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	114
Figura 54: Fluxos de amônio nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	114
Figura 55: Fluxos de nitrato nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	115
Figura 56: Fluxos de nitrogênio inorgânico dissolvido nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	116
Figura 57: Fluxos de fosfato nos testemunhos com fauna e controle dentro do período de tempo que foi realizado o experimento nos tratamentos com <i>Tetraselmis</i> e <i>Sargassum</i>	116
Figura 58: Perfis verticais das contribuições relativas das principais fontes de matéria orgânica nos sedimentos da Enseada da Fortaleza e Enseada de Ubatuba	132

RESUMO

A qualidade da matéria orgânica e a magnitude de suas deposições estão entre os principais fatores que controlam as respostas dos organismos bênticos marinhos. Uma vez depositada nos sedimentos, a matéria orgânica é degradada por processos biogeoquímicos microbianos, que podem ser acelerados mediante a bioturbação da macrofauna. Entretanto, em regiões costeiras, a dinâmica das forçantes ambientais influencia tanto a qualidade dos recursos alimentares, quanto os mecanismos de utilização pelos organismos, implicando em alterações na remineralização da matéria orgânica. Este estudo visou investigar o sistema bêntico da área costeira de Ubatuba frente às variações da qualidade e quantidade da matéria orgânica, incluindo os impactos da bioturbação na diagênese recente e regeneração de nutrientes. Observou-se que os processos físicos da região atuaram na variação da qualidade da matéria orgânica e na estruturação dos organismos bênticos. Os microorganismos exploraram matéria orgânica de diferentes composições, exercendo também importante papel para a comunidade macrobêntica, enriquecendo os detritos orgânicos disponíveis como alimento. A meiofauna não apresentou relação direta com alta qualidade da matéria orgânica, já a macrofauna foi estruturalmente modificada pela passagem de frentes frias e pela presença de compostos lábeis, quando os mesmos apareceram em maiores concentrações. Experimentalmente, verificou-se que a mistura de partículas foi significativa somente quando altas densidades da macrofauna estiveram presentes na superfície do sedimento. Além disso, foi demonstrado em laboratório que a macrofauna exerceu pouca influência nos fluxos de oxigênio e nutrientes do sedimento para a água, porém suficiente para estimular a decomposição de material orgânico verticalmente na coluna sedimentar. Portanto, a dinâmica dos processos físicos e as variações estruturais da macrofauna são importantes fatores ecológicos na modulação de funções fundamentais do ecossistema costeiro de Ubatuba, como produtividade, metabolismo bêntico, degradação da matéria orgânica e fluxos de energia.

Palavras-chave: sistema bêntico, bioturbação, sedimentos costeiros, processos biogeoquímicos, Ubatuba.

ABSTRACT

The magnitude and quality of organic matter inputs to the seafloor are among the main factors regulating the responses of marine benthic communities. Once deposited on the sediments, the organic matter is degraded by several microbial biogeochemical processes that may be stimulated through macrofauna bioturbation. However, in coastal regions the dynamics of environmental forcing not only influences the quality of food sources, but the food uptake by organisms, resulting in changes on remineralization rates of organic material. This study aimed to investigate the benthic system of Ubatuba coastal area in relation to quality and quantity of organic matter as well as bioturbation impacts on early diagenesis and nutrient regeneration. Data suggests that physical stresses influenced the quality of organic matter and the structure of benthic organisms. Different compositions of organic matter were assimilated by microorganisms, which in turn played an important role to the macrobenthic community, enriching the organic detritus available as food. The meiofaunal organisms did not numerically respond to the deposition of high quality organic matter, while macrofauna community structure was modified by the incidence of cold fronts and by the presence of labile compounds, whenever available. Experimentally, sediment reworking was only significant at higher levels of macrofaunal density on the sediment surface. In addition, it was demonstrated in laboratory that macrofauna imposed weak effects on the fluxes of oxygen and nutrients from sediments to the water column, but those changes were enough to stimulate vertically in the sediments, the decomposition of organic matter. Therefore, the dynamics of physical processes and the variability on macrofaunal structure are both important ecological factors modulating fundamental functions of the coastal ecosystem in Ubatuba, including productivity, benthic metabolism, degradation of organic matter and energy flow.

Key-words: benthic system, bioturbation, coastal sediments, biogeochemical processes, Ubatuba.

1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos marinhos possuem uma importante função como receptores de diversas substâncias procedentes da coluna de água e agem, conseqüentemente, como reguladores naturais dos processos que ocorrem no interior da coluna sedimentar (Berner, 1982; Hedges & Keil, 1995). Nas últimas duas décadas, estudos sobre as relações entre a matéria orgânica contida nos sedimentos (na forma de fitodetritos) e os invertebrados detritívoros, bem como a participação de tais organismos na dinâmica dos processos bênticos, foram extensivamente abordadas, principalmente em áreas com pulsos sazonais de produtividade primária (e.g. regiões temperadas e de ressurgência) (Gooday & Turley, 1990; Graf, 1992; Sun et al., 1994; Soltwedel, 1997; Duineveld et al., 2000; Pfannkuche et al., 2000, entre outros). O acoplamento entre as variações estruturais das comunidades bênticas e o aporte de material derivado da produção primária pelagial para os sedimentos foi estudado em várias regiões do mundo, sendo tema principal de grandes projetos (e.g. Relexans et al., 1992; Smith et al., 1997; Soltwedel, 1997; Duineveld et al., 2000; Pfannkuche et al., 2000; entre outros). Uma das principais contribuições destes estudos foi a comprovação da importância do material orgânico produzido na zona eufótica e exportado para o sedimento, no controle de suprimento alimentar para os organismos bênticos.

O fluxo de material orgânico particulado para os sedimentos representa uma importante ligação entre os ciclos biológico e geoquímico nos ecossistemas marinhos (Gooday & Turley, 1990; Danovaro et al., 2000). O fluxo vertical do material produzido na zona eufótica da coluna de água para o fundo marinho é proporcional à profundidade, degradação, composição do fitoplâncton e *grazing* do zooplâncton (Azam, 1983; Graf, 1989; Gooday & Turley, 1990;). Áreas costeiras, mais rasas, naturalmente apresentam maior fluxo de fitodetritos, originados da produção primária e pelotas fecais do zooplâncton (Witte et al., 2003). Muitas vezes estas áreas têm abundância de nutrientes, o que torna possível florescimentos esporádicos de diatomáceas, que possuem maior taxa de afundamento comparado aos outros tipos de microalgas (Gooday & Turley, 1990). Contrariamente, as regiões oceânicas tendem a ser mais escassas em nutrientes, onde espécies de menor tamanho do fitoplâncton dominam, com taxas de sedimentação conseqüentemente mais baixas. Ainda durante o afundamento, devido ao maior tempo de permanência na coluna de água, este material orgânico sofre intensa degradação e remineralização por bactérias heterotróficas (10-50%) da alça microbiana (Azam, 1983). Portanto, as margens continentais são caracterizadas

por altas taxas de deposição de partículas orgânicas, quando comparadas com as áreas oceânicas (Witte et al., 2003).

Os sedimentos costeiros têm um papel fundamental no ciclo global do carbono, pois recebem grandes quantidades de material orgânico, sendo responsáveis por cerca de 90% do enterramento de carbono nos oceanos, apesar de representarem somente 11% da área de superfície dos oceanos (Berner, 1982; Hedges & Keil, 1995). A matéria orgânica nos depósitos sedimentares costeiros pode ter origens e fontes distintas. O material autóctone é composto por grandes quantidades de fitoplâncton e, em alguns casos, também pelo microfitobentos (Sundbäck & Jönsson, 1988; Hedges & Keil, 1995). Nestas regiões, a contribuição alóctone terrígena é relativamente importante, devido aos aportes de materiais fluviais, além de produtos antropogênicos (Dell'Anno et al., 2002). Uma vez depositada nos sedimentos, a matéria orgânica particulada estimula a degradação biogeoquímica mediada por microorganismos, em um processo conhecido como diagênese recente (Henrichs, 1992).

A diagênese recente da matéria orgânica em ambientes marinhos pode ser definida como a soma dos processos físicos, químicos e biológicos que alteram a quantidade e composição dos materiais orgânicos (Henrichs, 1992; Canuel & Martins, 1996). Da matéria orgânica que é depositada na superfície do sedimento, 30-99% é remineralizada/degradada a CO_2 , nutrientes e água, durante a diagênese recente, sendo que grande parte destes processos ocorrem na interface sedimento-água (Henrichs, 1992). A fração orgânica que resiste a degradação é enterrada em maiores profundidades do sedimento, onde a atividade microbiana é reduzida, podendo ser preservada e formar o querogênio (Henrichs, 1992; Burdige, 2007). O balanço entre os processos de remineralização e preservação da matéria orgânica tem profundas consequências nos ciclos globais do carbono e oxigênio (Wakeham & Canuel, 2006). A degradação e preservação da matéria orgânica sedimentar são controladas pela intensidade da produção primária, fontes e reatividade da matéria orgânica (i.e. qualidade e valor nutricional), taxas de sedimentação, bioturbação, profundidade da coluna de água, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido e outros aceptores de elétrons (Henrichs, 1992; Hedges & Keil, 1995; Kristensen, 2000; Wakeham & Canuel, 2006). Porém, dentro dos mecanismos de controle da preservação da matéria orgânica marinha, ainda operam os processos de adsorção a superfícies minerais, que seqüestram compostos e os mantêm permanentemente enterrados no sedimento (Henrichs, 1992; Hedges & Keil, 1995; Wakeham & Canuel, 2006).

Os depósitos sedimentares contêm uma mistura de matéria orgânica de origem marinha e terrestre (Rullkötter, 2000). Para se acessar a origem, fontes e estado de reatividade da matéria orgânica sedimentar são necessários o uso de biomarcadores marinhos, geralmente representados por moléculas orgânicas. Os biomarcadores marinhos mais comumente utilizados, e.g. fotopigmentos, proteínas, carboidratos e lipídios, estão sujeitos às alterações diagenéticas e decomposição (Henrichs, 1992). Entender as razões da degradação e preservação de diferentes compostos ou de frações de um único composto pode contribuir na interpretação quantitativa das concentrações do biomarcador em sedimentos. Além disso, as substâncias orgânicas em sedimentos são as maiores fontes de energia para os organismos bênticos, sendo que tanto a quantidade quanto a composição da matéria orgânica disponível, influenciam na produtividade bêntica (Henrichs, 1992).

A quantidade e qualidade de matéria orgânica podem ser consideradas como um dos principais fatores que influenciam a estrutura trófica e o metabolismo das comunidades bênticas (Dauwe et al, 1998; Danovaro et al., 1999). Cabe destacar que, não existe uma definição universal exata da qualidade da matéria orgânica sedimentar. Normalmente, a qualidade, como mencionado anteriormente algumas vezes no texto, refere-se à composição molecular e reatividade da matéria orgânica. No entanto, em função de facilidades metodológicas e/ou melhor adequação ao ambiente de estudo, cada autor escolhe tipos distintos de biomarcadores para acessar a qualidade da matéria orgânica. Neste contexto, o termo “qualidade da matéria orgânica” deve ser adotado com cautela. Segundo Dauwe et al. (1998) e Gutiérrez et al. (2000) a qualidade e quantidade de matéria orgânica, mensurados nestes estudos através da concentração de fitopigmentos, podem influenciar a distribuição vertical dos organismos bênticos e estrutura trófica, além do potencial de bioturbação nos sedimentos. Os organismos bênticos, mais especificamente os da macrofauna, exercem um importante papel na redistribuição da matéria orgânica sedimentar (Smallwood et al., 1999), reforçando a função extra da relação fauna-alimento, nos processos de remineralização do carbono orgânico.

A porção lábil da matéria orgânica consiste principalmente de substâncias simples e/ou combinadas (i.e. biopolímeros), incluindo carboidratos, proteínas, ácidos nucléicos e alguns compostos lipídicos, que são rapidamente degradados (Danovaro et al., 1999; Dauwe et al., 1999). Contudo, a matéria orgânica refratária é composta por substâncias complexas, como ácidos húmicos e fúlvicos, os quais são de origem terrestre e degradados lentamente

(e.g. plantas vasculares) (Henrichs, 1992, Hedges & Keil, 1995). A fração lábil da matéria orgânica é rapidamente consumida pelos microorganismos, ficando disponível como alimento para níveis tróficos superiores, em termos de biomassa microbiana, enquanto que a fração refratária é degradada lentamente, e se enterrada, pode se tornar indisponível para a cadeia alimentar bêntica (Fabiano & Danovaro, 1994; Danovaro et al., 1999).

O não acoplamento entre a maior quantidade de matéria orgânica lábil, microorganismos e a resposta da fauna bêntica em maiores abundâncias e biomassa, ou a fraca resposta dos organismos bênticos aos maiores aportes de material lábil, foi observado em diversos estudos (Sun et al., 1994; Relexans et al., 1996; Gooday et al., 1996; Danovaro et al., 2000; Stoeck & Kröncke, 2001). Estes fatos indicam que as respostas dos organismos podem não estar ligadas essencialmente a quantidade da matéria orgânica disponível como fonte de alimento, e sim a sua qualidade. Para tanto, a caracterização em nível molecular da fração orgânica dos sedimentos é altamente necessária, pois permite detectar compostos mais específicos revelando com maior grau de precisão os fatores mais importantes que controlam a dinâmica da fauna bêntica.

Um método amplamente utilizado para investigação da qualidade da matéria orgânica no que se refere às fontes marinhas e terrestres é a razão C/N (Meyers, 1997). Uma baixa razão C/N implica em uma maior contribuição marinha e maior valor de C/N é atribuído ao conteúdo representativo de compostos terrestres (Hedges & Keil, 1995). No entanto, esta técnica apenas registra de maneira genérica estas relações (Meyers, 1997; Cowie & Hedges, 1994). Já outros estudos sobre a disponibilidade de alimento para a fauna bêntica, estimaram a fração lábil da matéria orgânica utilizando técnicas relativamente simples, por exemplo, através da determinação das concentrações totais dos lipídios, proteínas e carboidratos (Danovaro et al., 1993; Danovaro & Fabiano, 1997; Danovaro et al., 1999; Danovaro et al., 2001; Cividanes et al., 2002). A utilização de aminoácidos biodisponíveis para estabelecer o estado de degradação da matéria orgânica também tem sido estudada (Cowie & Hedges, 1994; Mayer et al., 1995; Dauwe & Middelburg, 1998). Porém, os resultados totais dos parâmetros analisados por estes trabalhos não permitem responder questões cruciais, como influência e importância de compostos específicos no consumo do bentos, para a interpretação dos processos de utilização da matéria orgânica pelos organismos bênticos.

Os fotopigmentos sedimentares são freqüentemente associados aos fluxos de matéria orgânica produzidos na coluna de água e exportados para o sedimento (Boon & Duineveld,

1998; Josefson et al., 2002). A clorofila-a é o fotopigmento mais abundante do fitoplâncton e é considerada um biomarcador do destino da matéria orgânica derivada da produção primária (Sun et al., 1994). Os feopigmentos podem ser utilizados como indicadores diagnósticos do estado fisiológico, quantidade de detritos e processos de *grazing* do zooplâncton sobre o fitoplâncton, que posteriormente depositam-se nos sedimentos (Sun et al., 1994). Apesar dos pigmentos fotossintéticos representarem ca. 5% da matéria orgânica total nos sedimentos (Henrichs, 1992), estudos indicam que tais compostos podem ser considerados eficientes marcadores moleculares da qualidade da matéria orgânica (Sun et al., 1991; Boon & Duineveld, 1996), complementando o conhecimento da matéria orgânica disponível como alimento para as comunidades bênticas.

Os lipídios compreendem o maior *pool* de carbono orgânico do fitoplâncton, perfazendo 5-20% do total de carbono (Sun et al., 1999). O potencial de preservação nos sedimentos marinhos e a estrutura específica de alguns lipídios permitem que os mesmos sejam amplamente usados como biomarcadores em estudos geoquímicos (Volkman et al., 1998; Grossi et al., 2003). Apesar de não serem tão abundantes como os outros componentes bioquímicos (e.g. carboidratos e proteínas), têm sido largamente empregados para inferir sobre os aportes de matéria orgânica autóctone (marinha) e alóctone (terrestre) no ambiente marinho (Gogou & Stephanou, 2004). A utilização de classes distintas de compostos tem como objetivos principais: estudar as fontes dos processos de transformação da matéria orgânica, atribuir biomarcadores a precursores biológicos específicos e avaliar o impacto de aportes autóctones versus alóctones (Hedges et al., 1997; Gogou & Stephanou, 2004). Trabalhos recentes, como o de Belicka et al. (2002), utilizaram esteróis em conjunto com os ácidos graxos poliinsaturados, para demonstrar a importância dos aportes derivados da produção primária para a matéria orgânica sedimentar (representado por diatomáceas e dinoflagelados). Por outro lado, marcadores terrestres, incluindo n-alcanos, ácidos mono- e dicarboxílicos de cadeia longa, indicam a contribuição relativa entre estes e o material marinho (Belicka et al., 2002; Gogou & Stephanou, 2004). Portanto, para se examinar a qualidade da matéria orgânica em sedimentos, o uso de uma combinação de biomarcadores é o mais aconselhável, permitindo uma maior compreensão do funcionamento da cadeia alimentar marinha, da qual o bentos tem relevante participação (Rocha et al., 1998).

A grande quantidade de materiais orgânicos que as regiões costeiras recebem é responsável por sustentar as altas densidades e biomassa dos organismos bênticos, em

comparação com ambientes de plataforma externa, talude e mar profundo (Graf, 1992; Rosenberg, 2001; Riisgard et al., 2007). Porém, as áreas costeiras são extremamente expostas às severas condições hidrodinâmicas, bruscas mudanças meteorológicas e altas descargas fluviais. Além disso, por serem mais urbanizadas, as regiões costeiras são relativamente mais impactadas por atividades humanas, principalmente pelo despejo de esgoto, que acumula-se nos sedimentos, podendo comprometer a estrutura das comunidades bênticas marinhas, com posteriores implicações no ciclo do carbono (Zimmerman & Canuel, 2000). Por estas razões, e ainda somada à variabilidade temporal e inter-anual da produtividade primária, a quantidade e qualidade da matéria orgânica dos sedimentos costeiros são variáveis, influenciando diferentemente as respostas dos organismos bênticos.

As respostas da macrofauna, em termos de atividades de captura de alimento e de escavação do sedimento (i.e. bioturbação = mistura de partículas e irrigação do sedimento), por sua vez, alteram as propriedades físico-químicas do sedimento (Aller, 1982). A bioturbação é reconhecida por afetar o metabolismo bêntico e os processos biogeoquímicos do sedimento, com conseqüentes modificações nas comunidades microbianas e diagênese recente da matéria orgânica (ver revisão de Kristensen, 2000). Trabalhos experimentais em laboratório têm contribuído amplamente para o entendimento dos efeitos da macrofauna bêntica na diagênese recente e regeneração de nutrientes (Kristensen & Blackburn, 1987; Banta et al., 1999; Kristensen, 2000). O uso de tais experimentos em estudos de processos sedimentares é extremamente vantajoso, pois oferece resultados relativamente rápidos e permite diversos tipos de manipulações. Em particular, informações altamente relevantes podem ser fornecidas por experimentos de bioturbação e suas implicações nos processos sedimentares, porque estes estão entre os principais mecanismos governando o funcionamento do ecossistema bêntico marinho como um todo (Canuel et al., 2007; Norling et al., 2007; Solan et al., 2008).

No Brasil, o estudo da resposta da biomassa microbiana bêntica como consequência do maior fluxo de fitodetritos em Cabo Frio, RJ, área de ressurgência, foi avaliado por Sumida et al. (2005). Nesta mesma área foi analisada a estrutura das comunidades da macro- e megafauna bêntica (De Léo, 2003; De Léo & Pires-Vanin, 2006). Porém, nas áreas de plataforma continental de Cabo Frio, RJ, e em regiões costeiras do Estado de São Paulo expostas aos estresses físicos, o acoplamento bento-pelágico não foi claramente observado (Quintana, 2004; Sumida et al., 2005). Altas taxas de bioturbação foram estimadas na costa do

litoral norte de São Paulo, principalmente durante os períodos mais produtivos como resultado do aumento das atividades da fauna na obtenção de alimento (Yoshinaga et al., 2006). Entretanto, as taxas de bioturbação foram calculadas com amostras de campo, por meio de marcadores naturais, o que pode ter superestimado os valores encontrados.

Diversos estudos concentrados em São Sebastião e Ubatuba, São Paulo, foram realizados com o objetivo de caracterizar a origem e composição da matéria orgânica sedimentar (Sumida et al., 2005; Yoshinaga, 2006; Yoshinaga et al., 2008; Venturini, 2007). A estrutura das comunidades da meio- e macrofauna bêntica também foi extensivamente analisada (Pires, 1992; Corbisier, 1993; Pires-Vanin, 1993; Muniz, 2003; Quintana, 2004; Santos & Pires-Vanin, 2004, entre outros). A relação da meio- e macrofauna bêntica com a qualidade da matéria orgânica avaliada através de biopolímeros e ácidos graxos da matéria orgânica, foi estudada por Venturini (2007). No entanto, estudos investigando simultaneamente a quantidade, qualidade da matéria orgânica e respostas da biomassa microbiana, meio-macrofauna em escalas vertical e horizontal nos sedimentos são poucos (Quintana, 2004). Por outro lado, não se tem conhecimento de estudos experimentais a respeito dos efeitos da bioturbação da macrofauna na mistura de partículas do sedimento e processos de remineralização da matéria orgânica.

O presente estudo esteve inserido no projeto: “Indicadores moleculares da qualidade da matéria orgânica em sedimentos costeiros: diagênese recente e influência no sistema bêntico” (Projeto DIAGEN; Proc. FAPESP nº 2004/03906-1), que visou examinar temporalmente e espacialmente as fontes, reatividade e quantidade da matéria orgânica particulada de Ubatuba, SP, assim como, processos biogeoquímicos envolvidos, antes e após sua deposição nos sedimentos. As respostas dos organismos bênticos, verticalmente e horizontalmente nos sedimentos às variações de tais materiais orgânicos, que constituem recursos alimentares, também foram avaliadas. Além disso, experimentos laboratoriais foram conduzidos como uma importante ferramenta para quantificar as taxas de bioturbação e os impactos da macrofauna natural no metabolismo bêntico e processos biogeoquímicos.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi investigar as respostas bênticas de duas áreas com diferentes aportes e qualidade de matéria orgânica, identificando a importância

nutricional dos materiais de origens autóctones e alóctones. As áreas de estudo foram escolhidas em função de suas características hidrodinâmicas e fluviais, considerados principais determinantes das origens e fontes da matéria orgânica. Para atender o objetivo principal foram analisados: 1) diferentes componentes do sistema bêntico, entre eles, macrofauna, meiofauna e microorganismos; 2) a matéria orgânica total; 3) a quantidade de carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre total dos sedimentos; 4) matéria orgânica lábil, como a clorofila-a e feopigmentos; 5) biomarcadores lipídicos. Os três últimos tópicos, em conjunto, foram analisados com intuito de avaliar a qualidade e fontes da matéria orgânica. Adicionalmente, através de experimentos laboratoriais foi analisado o potencial de bioturbação e metabolismo da macrofauna bêntica, bem como sua participação nos processos de diagênese recente do sedimento, frente ao enriquecimento orgânico produzido pela introdução artificial de material de composições distintas.

A principal hipótese testada neste estudo foi: “A qualidade e quantidade da matéria orgânica influenciam as respostas dos organismos do sistema bêntico. Contudo, a composição, concentração e diagênese recente da matéria orgânica sedimentar são resultado das variações temporais, espaciais e bioturbação”. Para avaliar tal hipótese, pretendeu-se responder as seguintes perguntas:

- i)* A distância da costa, características hidrodinâmicas e fluviais das enseadas atuam como fatores de alteração na qualidade e quantidade dos materiais orgânicos disponíveis como fonte alimentar para o bentos?
- ii)* As respostas da macrofauna, meiofauna e microorganismos bênticos são reflexo das variações da composição e disponibilidade de matéria orgânica nas duas enseadas estudadas?
- iii)* A bioturbação da macrofauna bêntica possui papel relevante no retrabalhamento do sedimento e conseqüentemente na degradação da matéria orgânica?
- iv)* A presença da macroinfauna influencia o metabolismo bêntico e processos biogeoquímicos em sedimentos enriquecidos por compostos orgânicos de fontes distintas?

3. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Enseada de Fortaleza (EF) e Enseada de Ubatuba (EU), na região de Ubatuba, costa norte do estado de São Paulo e SE do Brasil (Figura 1). O litoral norte do Estado de São Paulo apresenta uma linha de costa bastante recortada, encerrando enseadas com características de semi-confinamento, o que restringe os processos de troca de água e material sedimentar entre a região costeira e a plataforma interna (Mahiques, 1995). Esta porção do litoral também se caracteriza pela presença marcante da Serra do Mar (altitudes maiores que 1000 m), que se projeta diretamente sobre o oceano por toda a região de Ubatuba (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998).

A circulação no interior das enseadas obedece a um fluxo em sentido horário, levando a uma maior deposição de materiais em suas porções mais centrais (Mahiques, 1995). Por outro lado, a diferença de níveis de energia hidrodinâmica entre as enseadas é fortemente relacionada à ação de ondas e orientação de suas desembocaduras (Mahiques et al., 1998). Cada uma das enseadas analisadas neste estudo (EF e EU) apresenta características fisiográficas distintas, que se refletem na composição sedimentológica e orgânica dos depósitos sedimentares. Segundo Mahiques et al. (1998), o hidrodinamismo na EF é mais efetivo do que na EU. A desembocadura da EF é relativamente larga, voltada para S/SE e exposta às ondulações de S e S/SE geradas durante períodos de frentes frias. Assim, quase todas as estações de coleta localizadas na EF são influenciadas por ondas destas direções (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998) (Figura 1). Contudo, algumas porções da EF são protegidas da ação de ondas S/SW (i.e. Stn 03) devido à presença da Ilha do Mar Virado na região sudoeste da enseada (Figura 1). A EF é caracterizada por uma distribuição mais homogênea das frações sedimentares, baixa razão silte/argila e menores concentrações de matéria orgânica (Mahiques, 1995). Apenas um rio principal (Rio Escuro) deságua na EF, que é dominada pela contribuição de materiais de origem marinha (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998) e modesta ocupação urbana.

A EU, com a desembocadura voltada para E, apresenta um grande estrangulamento, que a divide em uma parte externa com profundidades superiores a 10 m e uma parte interna, mais rasa, com profundidades inferiores a 10 m, protegida das ondulações S e S/SE resultantes de frentes frias (Mahiques, 1995) (Figura 1). Devido a esta característica e ao regime hidrodinâmico da enseada, uma maior quantidade de sedimentos finos nas regiões internas e centrais da enseada é observada, somado a um grande acúmulo de matéria orgânica de origem tanto marinha quanto

terrestre (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998). Porém, os locais externos desta enseada representados neste estudo pelas estações de coleta 07 e 08 recebem a influência de ondulações de S e S/SE. Quatro rios principais (Rio Acaraú, Rio da Lagoa, Rio Grande de Ubatuba e Rio Indaiá) estão presentes na EU, sendo o maior aporte de materiais continentais observado durante o período do verão, quando a pluviosidade aumenta (Burone et al., 2003). Além disso, a maior ocupação urbana e o aumento da população de veraneio refletem em maiores aportes de materiais orgânicos de origem antrópica na enseada (Burone et al., 2003; Muniz et al., 2006). Próximo a desembocadura dos rios maiores concentrações de coprostanol e de β -coprostanona (produzido em intestinos de mamíferos) foram encontradas em relação aos locais mais distantes da costa, caracterizando o local como impactado por atividades antrópicas (Muniz et al., 2006). Porém, as baixas concentrações de alguns metais, a ocorrência de indicadores biogênicos dentre os hidrocarbonetos alifáticos e as baixas concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, caracterizam a EU como moderadamente poluída, com reduzido aporte de petróleo e com presença de compostos de origem terrestre (i.e. plantas vasculares) (Muniz et al., 2006).

A plataforma continental SE ao largo de Ubatuba é caracterizada pela presença de três massas de água: Água Central do Atlântico Sul (ACAS), com baixas temperaturas e salinidades ($<20^{\circ}\text{C}$ e $<36,4$); Água Tropical (AT) com temperatura e salinidades altas ($>20^{\circ}\text{C}$ e $>36,4$) e a Água Costeira (AC), com salinidades baixas associadas a temperaturas altas (Castro-Filho et al., 1987; Miranda & Katsuragawa, 1991). Durante os períodos de primavera-verão há uma predominância de ventos E-NE, que favorecem o transporte em superfície da AC em direção ao largo. Isto permite a entrada da ACAS junto ao fundo, aflorando em subsuperfície até profundidades de 10 m e constituindo uma termoclina sazonal bem marcada (Castro-Filho et al., 1987). No período de outono-inverno, ventos de SW fazem com que ocorra um empilhamento da AT em direção à costa e um recuo da ACAS em direção à plataforma externa (Castro-Filho et al., 1987). Este padrão, em conjunto com esfriamento das águas superficiais e intensificação da mistura devido aos ventos fortes, torna a coluna de água próxima à costa quase homogênea, havendo uma maior interação entre AC e AT (Castro-Filho et al., 1987). No entanto, na região costeira e de plataforma interna de Ubatuba, a massa de água dominante é a AC (Castro-Filho et al., 1987).

A ausência de grandes rios na área de estudo limita o transporte de material continental, oriundos de fragmentos da vegetação de Mata Atlântica local, aos períodos chuvosos (Mahiques,

1995; Mahiques et al. 1998). A região é caracterizada por um regime de produtividade meso-oligotrófico, sendo a produtividade primária limitada pela escassez de nutrientes inorgânicos, em parte devido ao baixo aporte fluvial (Braga & Müller, 1998). A regeneração de nutrientes prevalece durante todo o ano (Braga & Müller, 1998), enquanto que no verão, a intrusão em subsuperfície da massa de água ACAS, fria rica em nutrientes, pode causar esporádicos aumentos na produção nova, com florescimentos de diatomáceas em áreas internas da plataforma continental (Castro-Filho et al., 1987; Aidar et al., 1993, Gaeta et al., 1995, 1999). No entanto, a produtividade primária local é dominada por espécies do nanoplâncton (Sassi & Kutner, 1992; Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999).

Em suma, três características principais das forçantes ambientais atuantes nas enseadas influenciam a composição e produção de matéria orgânica, com importantes implicações no sistema bêntico: (1) afloramento em subsuperfície da ACAS no verão; (2) maior pluviosidade no verão, que resulta em maior aporte via descarga fluvial de nutrientes e materiais orgânicos terrígenos; (3) passagem de frentes frias associadas às ondulações de S-SE, com conseqüente ressuspensão de sedimentos e maior regeneração de nutrientes.

Figura 1: Mapa da área de estudo, na região de Ubatuba, com a localização das estações de coleta. Os números indicam as estações de coleta: 1, 2, 3 e 4 na Enseada da Fortaleza e 5, 6, 7 e 8 na Enseada de Ubatuba. O mapa superior mostra os principais rios que deságuam nas enseadas estudadas. Modificado de Yoshinaga (2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Estratégia amostral e coleta de amostras

Foram realizadas seis coletas de campo, durante um ano, nas Enseadas da Fortaleza e de Ubatuba (Ubatuba, SP) a bordo do *B/Pq Véliger II* do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). A malha amostral constituiu-se de quatro estações em cada enseada, dispostas em uma radial sentido costa-oceano, totalizando oito estações de coleta (Figura 1). O arranjo das estações foi planejado com o intuito de avaliar a origem, transporte e deposição dos compostos orgânicos, com conseqüentes efeitos no sistema bêntico, em enseadas com características hidrodinâmicas e deposicionais distintas. Assim, a Enseada da Fortaleza (EF) foi representada pelas estações 01 a 04 e a Enseada de Ubatuba (EU) pelas estações 05 a 08 (Figura 1). Os meses de amostragem foram dezembro de 2004 (final da primavera e início de verão), fevereiro (final do verão), abril (outono), junho (início do inverno), agosto (final do inverno) e novembro de 2005 (primavera). Cabe ressaltar que, nos períodos mais contrastantes, inverno e verão, coletas adicionais (fevereiro e agosto 2005) foram realizadas com o objetivo de monitorar variações temporais do sistema bêntico. No entanto, a coleta de meiofauna e macrofauna foi restrita aos meses de dezembro de 2004, abril, agosto e novembro de 2005.

4.2. Coluna de água

Perfis de salinidade, temperatura e dados de profundidade da coluna de água foram obtidos utilizando um CTD (Conductivity, Temperature and Depth, SeaBird[®]). Amostras de água de superfície e de fundo foram coletadas utilizando garrafas Van Dorn. Primeiramente, foram coletadas as amostras de oxigênio dissolvido em duplicata e fixadas. Estas amostras foram analisadas na Base Norte do IOUSP, logo após a coleta em campo. Posteriormente, 1 litro de água das amostras foi filtrado em filtro GF/F 47 mm (Whatman[®]). O material particulado retido neste filtro foi destinado às análises de clorofila-*a* e está armazenado em congelador à - 20°C (dados não inclusos no presente trabalho). A água resultante da filtração foi acondicionada em frascos de plástico para determinação dos nutrientes: nitrato, nitrito, fosfato, silicato e para amônia em frascos âmbar de vidro e estes armazenados em congelador (- 20°C).

4.3. Oxigênio dissolvido e nutrientes

A concentração do oxigênio dissolvido das amostras de superfície e fundo da água foi determinada pelo método de titulação de Winkler (ver Grasshoff, 1983). Os nutrientes foram mensurados por espectrofotometria (Espectrofotômetro Hitachi-1100) utilizando diferentes comprimentos de onda dependendo do composto analisado (amônia: 640 nm, nitrato e nitrito: 550 nm e fosfato 880 nm) no Laboratório de Produção Primária do IOUSP. Através de equações obtidas pelas retas geradas de curvas-padrão, a absorbância de cada composto foi transformada para concentração em mM. Resumidamente, os métodos utilizados na análise de nutrientes foram:

Nitrato e nitrito

O método utilizado foi o de Strickland e Parsons (1972), no qual a concentração de nitrato é determinada pela sua redução a nitrito, após a passagem em coluna redutora de cádmio. A concentração do nitrato é então calculada a partir da concentração de nitrito da mesma amostra.

Amônia

Foi empregado o método de indofenol (Solorzano, 1969). Este método quantifica o somatório dos íons amônia e amônio pela formação do azul de indofenol através da reação do nitrogênio amoniacal com fenol e hipoclorito em meio alcalino.

Silicato

Foi utilizado o método descrito por Koroleff (1983a) através da quantificação de ácido ortossilícico $\text{SiO}(\text{OH})_2$, a forma ionizada $\text{SiO}(\text{OH})_3$ e os silicatos na forma coloidal.

Fosfato

O método utilizado foi o de Koroleff (1983b). A concentração do fosfato inorgânico dissolvido foi determinada através da incorporação dos íons de antimônio a uma solução reagente com íons de fosfato. Esta solução reduzida pelo ácido ascórbico origina um complexo azulado, resultado das concentrações de fosfato da água do mar.

4.4. Amostras de sedimento

Com o objetivo de avaliar a distribuição vertical dos organismos em relação à qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar, utilizou-se tubos de acrílico de 94 mm de diâmetro interno para coleta de sedimentos. Devido à necessidade de obter-se testemunhos intactos, ou seja, sem perturbação da coluna sedimentar, foi utilizado um mini-multicorer (Figura 2) desenvolvido no Laboratório de Dinâmica Bêntica, IOUSP, em conjunto com a empresa Rodas Santa Rita (responsável: Nelcides M. de Souza), capaz de coletar simultaneamente três testemunhos.

Figura 2: Mini-multicorer desenvolvido especialmente para a coleta de amostras de sedimento.

As amostras foram coletadas em cada uma das oito estações como detalhado a seguir:

- 1) Um testemunho para análise granulométrica;
- 2) Três testemunhos destinados às análises de matéria orgânica total, clorofila-a, feopigmentos e biomarcadores lipídicos;

- 3) Três testemunhos para a análise de biomassa microbiana, densidade e biomassa de bactérias;
- 4) Três testemunhos para a determinação da meiofauna;
- 5) Cinco testemunhos para análise da macrofauna bêntica.

Para todos os períodos e estações, foi coletado um total de 672 testemunhos. Posteriormente, o sedimento de cada um dos testemunhos foi fatiado a bordo em três intervalos (0-2, 2-5 e 5-10 cm). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos (granulometria), marmitas de alumínio (compostos lipídicos), potes pretos de filme fotográfico (pigmentos fotossintéticos e matéria orgânica total) e congeladas (-20°C) para posterior análise em laboratório. Os sedimentos para a análise de ATP foram transferidos para um isopor com gelo para mantê-los resfriados até a chegada em laboratório, onde foi realizado o processo de extração do ATP (ver item 4.10). As amostras destinadas à análise de bactérias foram coletadas com seringa estéril (1 mL) e transferidas para potes plásticos esterilizados, contendo formol 2% previamente filtrado em filtro Acrodisc® 0,22 µm.

O sedimento amostrado para a análise da macrofauna foi lavado em peneira de 0,5 mm. O material retido foi preservado em álcool 70% e acondicionado em pote plástico, para posterior triagem e identificação dos organismos. Um sub-amostrador de 2,7 cm de diâmetro interno (5,72 cm²) foi utilizado para coletar o sedimento destinado à análise da meiofauna, o qual foi armazenado em potes plásticos contendo formol tamponado 4%.

4.5. Análise granulométrica e determinação do teor de carbonato de cálcio

Anteriormente à análise granulométrica, as amostras de sedimento foram secas em estufa por 48 h a 60°C. O tamanho dos grãos foi determinado usando as técnicas de peneiramento e pipetagem (Suguio, 1973), sem a eliminação do carbonato biodetrítico. A classificação granulométrica foi obtida segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e diagrama triangular de Shepard (1954). Os teores de carbonato biodetrítico do sedimento foram determinados pela diferença de peso das amostras antes e depois do tratamento com ácido clorídrico (10%).

4.6. Análise do carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre total do sedimento

Os teores de carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e nitrogênio total (N) foram determinados através da análise realizada pelo Analisador Leco® CNS-2000 do Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica – IOUSP em amostras de sedimento superficial (0-2 cm) previamente liofilizadas. Anteriormente à análise, o carbonato biodetrítico do sedimento liofilizado (0,02 g) foi removido utilizando HCl 10%. As razões peso C/N foram calculadas para todas as estações e meses de coleta.

4.7. Matéria Orgânica Total (MOT) do sedimento

Amostras em triplicata de sedimentos preservadas em congelador (-20°C) de todas as coletas foram submetidas à secagem em estufa (60°C por 48 horas). Posteriormente, o sedimento seco (~0,5 a 2 g) foi transferido para cadinhos de porcelana e, através do método de Byers et al. (1978), a matéria orgânica total do sedimento foi determinada pela diferença de peso após calcinação em mufla (495-500°C por ~ 2 horas).

4.8. Determinação dos pigmentos fotossintéticos do sedimento

As concentrações da clorofila-a e feopigmentos das três réplicas de cada intervalo da coluna sedimentar foram quantificadas por espectrofotometria (espectrofotômetro modelo HITACHI® U-3010) através da extração com acetona 100% (segundo o método de Plante-Cuny, 1978). 1-3 g de sedimento contendo 5 mL de acetona foi ultrasonificado (Thorton T14) por 10 min a 100 W. Posteriormente, as amostras foram incubadas à -20°C por 18-24 h. Para remover partículas em suspensão, as amostras foram centrifugadas por 15 min à 3000 rpm. O sobrenadante foi então analisado no espectrofotômetro. Os cálculos para obtenção das concentrações de clorofila-a (Clor) e feopigmentos (Feo) do sedimento, expressos em µg g⁻¹ de sedimento seco, foram realizados utilizando-se as seguintes equações (Lorenzen, 1967):

$$Clor (\mu g g^{-1}) = \frac{26,7[(C665 - C750) - (F665 - F750)](vol. \text{ água} + vol. \text{ acetona})}{peso da amostra úmida - vol. \text{ água}}$$

$$Feo (\mu g g^{-1}) = \frac{26,7[(1,7C665) - C750](vol. \text{ água} + vol. \text{ acetona})}{peso da amostra úmida - vol. \text{ água}}$$

Onde:

26,7 = coeficiente da absorbância da clorofila-a corrigido para a absorbância inicial de sua concentração;

C665 e C750 = leitura nas densidades ópticas de 665 e 750 nm;

F665 e F750 = leitura nas densidades ópticas de 665 e 750 nm após acidificação com HCl;

1,7 = taxa de C665/F665 na ausência de feopigmentos;

Peso da amostra e volume de H₂O em cm³.

A quantificação da clorofila-a é uma medida indicadora do aporte de matéria orgânica lábil e produção primária no sedimento, que recentemente se depositou e que está disponível como suprimento alimentar aos organismos do bentos (e.g. Graf, 1989; Sun et al., 1991; Boon & Duineveld, 1998).

4.9. Análise de biomarcadores lipídicos do sedimento

As análises de lipídios foram conduzidas no Organic Biogeochemistry Laboratory do Skidaway Institute of Oceanography (Savannah, USA), com a colaboração do Prof. Dr. Stuart G. Wakeham, como parte dos estudos de Yoshinaga (2006). Os lipídios presentes nos sedimentos previamente liofilizados (ca. 10 g) foram extraídos utilizando-se o equipamento ASE-200 (Accelerator Solvent Extractor, Dionex®) em diclorometano:metanol (9:1 v/v). Este método de extração aquece o material à 100°C e submete o mesmo à uma pressão de 1500 psi. O material extraído (SLE, extrato lipídico) foi reduzido ao volume de 4 mL em rotaevaporador. O SLE foi saponificado em meio alcalino utilizando KOH e a fração neutra dos lipídios foi extraída através da adição de hexano, repetindo o mesmo procedimento por três vezes. Em seguida, ao restante do SLE adicionou-se HCl para extração da fração ácida (3x em hexano), ou dos ácidos graxos. A fração neutra contendo hidrocarbonetos, álcoois e esteróis (além de outros compostos) foi submetida à separação em coluna de alumina (80-200 mesh, A6139-Sigma). Duas frações foram obtidas, sendo a primeira dos hidrocarbonetos (10 mL hexano:diclorometano (9:1 v/v), A1) e a segunda (20 mL diclorometano:metanol (1:1 v/v), A2) contendo principalmente álcoois, esteróis e alquenonas. As frações ácidos graxos e A2 foram derivatizadas por meio da metilação (BF₃, fluoreto de boro à 14%) e silanização (BSTFA, bis-trimetil-silil trifluoracetamida), produzindo, respectivamente, os metil ésters (FAMES) e os trimetil-silil-éteres (A2-TMS). As frações FAMES e A2-TMS foram

analisadas em cromatografia a gás (GC, FISIONS-8160), equipado com coluna DB-1 (60 m, 0,25 µm film, J&W Scientific Inc.). Para ambas as frações utilizou-se 120°C de temperatura inicial no período de 1 min, seguido por um aquecimento de 30°C por minuto até a temperatura final de 320°C para FAMES e 325°C para A2-TMS, durante 25 minutos. A pressão do gás carregador (Hidrogênio) utilizada foi 1,5 psi para FAMES e 3,0 psi para A2-TMS.

O método de análise descrito foi semelhante ao empregado por Wakeham & Beier (1991) e Muri et al. (2004). Os compostos foram identificados por comparação de seus tempos de retenção com dados da literatura. Adicionalmente, amostras selecionadas foram analisadas por cromatografia à gás acoplado a um espectrômetro de massa (GC-MS) para identificação específica. Utilizando-se do programa Chromoperfect Analyzer 4.4.0 (Justice Laboratory Software) foi possível quantificar os compostos de acordo com a área do pico comparada à do padrão interno adicionado (C19 FAME e C26 colestano para FAMES e A2-TMS, respectivamente).

4.10. Análise da biomassa microbiana sedimentar (método do ATP)

A biomassa microbiana total foi estimada através da quantificação da Adenosina-5'-trifosfato particulada (P-ATP) seguindo o método descrito por Karl (1993), modificado para o estudo em sedimentos. A extração de ATP sedimentar das seis réplicas (três testemunhos para cada estação) nos intervalos de 0-2, 2-5, 5-10 cm superiores do sedimento foi realizada no laboratório da Base Norte e seguiu as seguintes etapas: após o fracionamento dos intervalos determinados, o sedimento foi homogeneizado e retirado 1 mL para cada uma das três réplicas, utilizando-se uma seringa. A adição de 5 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4 - 0,5 M) em 1 ml de sedimento extraiu o ATP intracelular (Karl, 1980). Após a centrifugação e adição de solução tampão Tris (Trizma-R, Sigma®) as amostras foram acondicionadas em ultrafreezer (-80°C) para posterior análise. A quantidade de ATP foi medida utilizando-se um luminômetro (Berthold-GmbH, Sirius®), através da reação com luciferina-luciferase. A degradação da luciferina é mediada pela luciferase, na presença de oxigênio, íons de magnésio e ATP, gerando fótons de luz. A quantidade de luz é medida proporcionalmente à quantidade de ATP na amostra. A quantidade de ATP, por sua vez, tem relação direta com a quantidade de carbono orgânico na célula, que nos fornece uma medida da biomassa microbiana (C:ATP, 250:1, segundo Karl, 1980). As medidas luminosas foram comparadas com as curvas-padrão

feitas para cada conjunto de amostras). Os valores de biomassa microbiana encontrados foram expressos em $\mu\text{gC g}^{-1}$ de sedimento seco.

O ATP é um indicador da biomassa microbiana confiável, pois ocorre em todas as células vivas, tem uma meia-vida relativamente curta após a morte celular e autólise, e está presente em concentrações intracelulares relativamente constantes, independentes do modo nutricional (Karl, 1993). Este método, contudo, não distingue os diferentes grupos de microorganismos, obtendo-se uma medida da biomassa microbiana total (Craven et al., 1986; Novitsky & Karl, 1986; Karl, 1993).

4.11. Determinação da densidade e biomassa bacteriana sedimentar

A contagem de bactérias seguiu o método de contagem direta em microscópio de epifluorescência utilizando como corante o alaranjado de acridina, como parte dos estudos de Moraes (2007). Em suma, amostras de sedimento preservadas em formol 2% foram submetidas à ultrasonificação. O sobrenadante foi diluído e corado com laranja de acridina (0,01%). Posteriormente, o sobrenadante foi filtrado utilizando um filtro polycarbonato black (Poretics[®], 0,22 μm de poro). Após a filtração, o filtro foi retirado e colocado sobre uma lâmina. As lâminas preparadas foram analisadas em microscópio de epifluorescência Nikon[®] Otihot (lâmpada HBO 50 W, filtro 515 KP, luz de excitação azul) (Zimmermann et al., 1978). Um retículo 8 x 8 foi previamente montado na objetiva e este usado para as contagens e contabilizou-se apenas as bactérias que se encontravam dentro do retículo. Determinou-se a contagem de 40 campos por lâmina.

A densidade bacteriana foi calculada a partir da fórmula:

$$\text{densidade (células/mL)} = \frac{(CC - BC) \times MF \times DF}{\text{volume de sub-amostra filtrada}}$$

Onde:

CC = média de células por campo;

BC = média de células no branco;

MF = fator do microscópio (área do filtro/área do *grid* de contagem);

DF = fator de diluição.

O valor encontrado foi convertido para células/g de sedimento seco, a partir do peso de 1 cm³ de sedimento seco específico para cada amostra.

A biomassa bacteriana (μgC g⁻¹ de sedimento seco) foi estimada através do volume celular convertido em biovolume (número de células g⁻¹ X média do volume celular). O volume foi calculado de acordo com a fórmula de Bratbak (1985):

$$V(\mu m^{-3}) = \frac{\pi}{4} \times W^2 \times \left(L - \frac{W}{3} \right)$$

Onde:

W = largura;

L = comprimento.

A biomassa foi estimada usando o fator de conversão de 3 x 10⁻¹³ g C μm⁻³ de biovolume (Børsheim et al., 1990).

4.12. Processamento do material referente à meiofauna

O material em triplicata obtido durante as coletas foi lavado utilizando malhas com aberturas de 0,5, 0,3 e de 0,063 mm, depois de corados com Rosa de Bengala 1%. O material retido na malha de 0,5 mm foi desprezado e os das demais peneiras foram submetidos à triagem sob estereomicroscópio para contagem e separação dos organismos em grandes grupos taxonômicos. A densidade média total da meiofauna e dos grupos meiofaunísticos mais representativos foram expressas em indivíduos 10 cm⁻².

4.13. Processamento do material referente à macrofauna

Os sedimentos das cinco réplicas coletadas e previamente fixadas e lavadas em malha de 0,5 mm, foram triados sob estereomicroscópio para separação da macrofauna e posterior contagem e identificação. As espécies foram identificadas até o menor nível taxonômico possível utilizando-se chaves taxonômicas, literatura especializada e auxílio de especialistas. Os indivíduos identificados em nível de gênero ou família foram morfotipados para que pudessem ser incluídos nos cálculos de diversidade e riqueza de espécies.

Os grupos tróficos das espécies encontradas de Polychaeta, grupo dominante da macrofauna, foram classificados em depositívoros de superfície, depositívoros de subsuperfície, onívoros e carnívoros, segundo Fauchald & Jumars (1979) e Muniz & Pires (1999).

Os descritores da comunidade macrobêntica como, abundância de indivíduos (indivíduos m^{-2}), riqueza específica (S : número de espécies $0,0347 \text{ m}^{-2}$), diversidade de espécies de Shannon-Wiener (H' em $\log_e$: nats/indivíduos) e equitatividade de Pielou (J') foram calculados. Para tanto, utilizaram-se os valores somados da abundância das espécies das cinco réplicas amostradas, com o objetivo de aumentar a área analisada (5 testemunhos: $0,0347 \text{ m}^{-2}$). O programa estatístico Primer[®] 6.0 foi utilizado para os cálculos dos descritores da comunidade da macrofauna.

A biomassa da macrofauna foi determinada através do método do peso seco livre de cinzas em mg m^{-2} . Inicialmente, o excesso de álcool utilizado na preservação da macrofauna foi retirado, após a secagem dos indivíduos em papel filtro por poucos segundos (Witte, 2000). Os mesmos foram alocados em cadinhos de porcelana e foram secos em estufa a 60°C por 48 h. Posteriormente, os cadinhos foram pesados e transferidos para mufla a 500°C por 2 h. Com a diferença de peso após calcinação em mufla a biomassa livre de cinzas foi calculada.

4.14. Experimento laboratorial de bioturbação (mistura de partículas sedimentares)

A coleta de sedimentos e fauna bêmica para a montagem do experimento foi realizada na Stn 03. Esta estação esteve localizada em um ponto central da EF (Figura 1) e foi escolhida devido suas características granulométricas (maior contribuição de areia) e maior retenção de material orgânico observada no mês anterior (dezembro de 2004) ao mês da coleta dos sedimentos para o experimento (fevereiro de 2005). Tais características foram requeridas, pois a granulometria foi a mais próxima encontrada para utilização dos luminóforos (sedimento

corado com tinta fluorescente), nas classes de tamanho disponíveis (rosa: 125-180 μm e verde: 180-250 μm). Os luminóforos são marcadores das atividades de bioturbação da fase sólida dos sedimentos, ou seja, da mistura de partículas do sedimento (Mahaut & Graf, 1987). O intuito de usar classes diferentes de tamanho de luminóforos foi verificar a existência da seleção de partículas do sedimento pela macrofauna. Além disso, o acúmulo de matéria orgânica previamente documentado no local de coleta para o experimento garantiria a fonte alimentar para a macrofauna durante o período de condução do experimento.

O objetivo do experimento foi verificar temporalmente a migração dos luminóforos na coluna sedimentar, como resultado dos processos de bioturbação exercidos pela macrofauna presente em testemunhos coletados em campo. Foi esperado que a migração dos luminóforos aumentasse até um determinado tempo, devido às atividades de locomoção e ingestão de alimento pela fauna bêntica. Porém, após este período, a taxa de bioturbação, dependendo do comportamento da fauna bêntica presente nos sedimentos, poderia diminuir, ou aumentar em resposta à extinção de compostos orgânicos lábeis.

Na Stn 03, um total de 16 testemunhos foi coletado através de mergulhos autônomos. Em 8 testemunhos, o sedimento superficial (1 cm) foi separado e reservado para o preparo de *cakes*. Os 8 testemunhos restantes foram usados para controle (4 testemunhos, sem macrofauna) e para o tratamento com macrofauna (4 testemunhos). Os testemunhos correspondentes ao controle foram congelados a -20°C por 24 horas antes da montagem do experimento, para eliminar a macrofauna presente nos sedimentos. No laboratório da base norte “Clarimundo de Jesus”, os luminóforos (1 g de cada cor - rosa e verde) foram misturados ao sedimento superficial previamente reservado (1 cm) para preparação dos *cakes*. Os 8 *cakes* foram preparados em moldes de PVC do mesmo diâmetro interno que os testemunhos (94 mm) e congelados (Figura 3). Posteriormente, os *cakes* foram adicionados aos testemunhos sem fauna e com fauna (~10 cm de coluna de água e 30 cm sedimento). Cada testemunho do tratamento com fauna mais um controle foram coletados em intervalos de 15 dias de incubação, ou seja, 15, 30 e 45 dias, com exceção da último que foi coletado em 55 dias (Figura 4). Estes intervalos foram definidos de acordo com a meia-vida da clorofila-a (~23 dias, regiões temperadas) (Sun et al., 1991; Stephens et al., 1997), com o propósito de acompanhar o comportamento da fauna em relação as concentrações iniciais de matéria orgânica lábil, ao longo do período de degradação da clorofila-a e após a extinção de clorofila-a.

A cada 15 dias, um testemunho do tratamento com fauna mais um controle foram fatiados em intervalos de 1 cm até a profundidade de 10 cm. O sedimento foi então lavado em peneiras de 300 μm e 63 μm . O material retido em 300 μm foi fixado e armazenado em potes plásticos para posterior triagem da macrofauna. Já o material retido na peneira 63 μm foi seco em estufa a 60°C por 48 horas. Neste material, os luminóforos foram quantificados em microscópio sob luz UV.

Figura 3: *Cake* de sedimento + luminóforos congelado para a adição aos testemunhos previamente coletados (painel da esquerda) e luminóforos usados no *cake* (painel da direita; foto: 10x em microscópio de epifluorescência).

Figura 4: No painel da esquerda pode ser observado o testemunho com o *cake* adicionado na superfície do sedimento. No painel da direita o experimento montado, a fileira superior de testemunhos correspondeu aos brancos (controle) e a fileira inferior, aos testemunhos com fauna.

As taxas de bioturbação (taxa de mistura) são estimativas da atividade bêntica promovida pela infauna. Assumindo condições estáveis do sedimento (i.e. igualdade dos fluxos de entrada e saída de materiais diversos) e mistura aleatória de partículas dos sedimentos, uma equação diferencial de decomposição cinética de primeira ordem foi utilizada nas estimativas das taxas de bioturbação (Berner, 1980; Boon & Duineveld, 1998).

Esta equação representa o tipo de biodifusão da bioturbação, a qual infere sobre os processos de escala dos eventos de mistura, relativamente menor, dos sedimentos causados pelas atividades da fauna bêntica (Soetaert et al., 2006). Além disso, estes modelos são amplamente empregados em estudos de bioturbação, utilizando diversos traçadores naturais e sintéticos (Sun et al., 1991; Gerino et al., 1998; Smith et al., 2001). As duas classes de tamanho de luminóforos adicionadas aos sedimentos apresentaram o mesmo padrão de distribuição, aparentemente sem influência da seleção de partículas pela fauna bêntica, então optou-se pela soma das duas classes. Assim, os perfis verticais de luminóforos constituíram o total de luminóforos encontrados nos experimentos. Modelos foram aplicados aos perfis verticais de distribuição dos luminóforos, a partir da equação diferencial de biodifusão, usando o *software* Systat® 10. Os melhores ajustes entre os dados gerados pelos modelos e os obtidos através da distribuição vertical dos luminóforos foram empregados nas estimativas das taxas de bioturbação.

4.15. Experimento laboratorial do impacto da macrofauna no metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes

O experimento teve como objetivo investigar os efeitos da presença da macrofauna na remineralização da matéria orgânica em sedimentos enriquecidos com a microalga *Tetraselmis* sp. e a macroalga *Sargassum cymosum* (no texto referidas como *Tetraselmis* e *Sargassum*, respectivamente). Foi esperado que a macrofauna estimulasse o metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes nos tratamentos, porém em maior intensidade nos sedimentos com *Tetraselmis* do que com *Sargassum*, em função do tamanho das partículas e composição química das algas (i.e. labilidade). A microalga *Tetraselmis* foi obtida no Laboratório de Cultura de Algas do IOUSP e a macroalga *Sargassum* foi coletada nos costões rochosos próximos da base norte do IOUSP. A escolha da adição de *Tetraselmis* à superfície dos sedimentos teve como objetivo simular eventos de florescimentos de microalgas planctônicas e sua subsequente deposição. Estes eventos podem ocorrer na região durante o verão, devido à intrusão em subsuperfície da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Castro-Filho et al., 1987; Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1995; 1999). A ACAS foi registrada neste estudo em dezembro de 2004. A macroalga *Sargassum* está presente em grandes abundâncias nos costões rochosos das praias do litoral Norte de São Paulo (Paula, 1988) e, durante as frentes frias, as algas podem ser arrancadas do costão pela forte ação das ondas, com conseqüente transporte e deposição na superfície dos sedimentos próximos às praias (Yoshinaga, 2006).

Além disso, Corbisier et al. (2006) registraram que o material derivado de macroalgas tem grande importância como fonte de matéria orgânica particulada para a trama trófica das áreas rasas de Ubatuba.

Na Stn 06 (Figura 1), EU, foram coletados 12 testemunhos (5 cm diâmetro interno e 35 cm de altura, 6 testemunhos com tratamentos e 6 controles) de sedimentos através de mergulhos autônomos. Três testemunhos foram coletados para obter amostras de sedimentos para determinação de características iniciais sedimentares como porosidade, porcentagem de água, matéria orgânica total e clorofila-a. A escolha da Stn 06 para coleta de amostras utilizadas no experimento justifica-se por esta estação apresentar constantes enriquecimentos orgânicos (Burone et al., 2003), devido a característica deposicional local, com o intuito de observar o comportamento da macrofauna mediante tais condições.

Em laboratório, os testemunhos foram acondicionados em um taque com água do mar (90 L), salinidade 35 e temperatura 20°C. Os testemunhos continham 20 cm de coluna sedimentar e 10 cm de coluna de água e foram mantidos submersos com a borda superior ~1 cm abaixo da linha de água. A circulação de água dentro do tanque foi gerada pela aeração com bombas de ar de aquário. No interior dos testemunhos, a circulação de água foi mantida pela rotação da barra magnética fixada em suas bases superiores. Esta rotação é gerada por um motor central munido de barras magnéticas grandes (Figura 5) que, por magnetismo, promove a rotação das barras menores no interior dos testemunhos gerando uma circulação interna.

Figura 5: Tanque, testemunhos de sedimento e motor (cilindro central) utilizados na realização do experimento laboratorial. Painel da esquerda: detalhe de um testemunho. Uma barra magnética dentro do testemunho foi responsável pela circulação interna de água. Painel da

direita: vista geral do sistema utilizado no experimento laboratorial, com o motor (cilindro central) em movimento.

Para analisar os efeitos da macrofauna nos processos biogeoquímicos dos sedimentos, os fluxos de oxigênio, CO₂ e nutrientes (amônia, nitrato, nitrito e fosfato) foram medidos antes e após a adição da microalga *Tetraselmis* (em quantidade 5 vezes maior que a produtividade primária local, Aidar et al., 1993) e da macroalga *Sargassum* (0,25 g cm⁻²). Anteriormente a adição das algas, os testemunhos foram mantidos aclimatando no tanque por uma semana. Os tratamentos constituíram-se inicialmente de 6 testemunhos com a macrofauna natural e 6 controles. Nos tratamentos controle, a macrofauna foi eliminada por falta de oxigênio, tampando os testemunhos por 5 dias. Quatro medidas de fluxo foram realizadas antes da adição das algas, sendo a primeira medida de fluxo tratada como dia 0, na escala temporal do experimento. No dia 19, os talos da macroalga *Sargassum* foram previamente fragmentados (~3 mm) com auxílio de uma tesoura e logo após foram lavados com água salgada para remover o carbono orgânico dissolvido. Posteriormente, a macroalga *Sargassum* foi introduzida nos testemunhos, depositando-se na superfície do sedimento. No dia 23, a microalga *Tetraselmis* foi adicionada nos testemunhos, na superfície do sedimento, após a concentração das microalgas em centrífuga. As adições das algas em dias diferentes são justificadas pela menor labilidade de *Sargassum* em relação à *Tetraselmis*. Devido a este fato, *Sargassum* foi introduzido primeiramente nos sedimentos, visto que os tratamentos com esta alga demandariam maior tempo para a detecção dos sinais dos processos de degradação. Cada tratamento (*Tetraselmis* e *Sargassum*) consistiu em três testemunhos enriquecidos com algas (com macrofauna) e três controles (sem fauna e com algas), totalizando 12 testemunhos. Após a adição das algas mais quatro medidas de fluxos foram realizadas. Para todas as medidas dos fluxos, os testemunhos foram fechados com uma tampa de borracha por 2-3 horas. Durante este período, os testemunhos foram incubados no escuro e a circulação foi mantida abaixo do limite de ressuspensão dos sedimentos. Antes de tampar os testemunhos para incubação, as amostras de água foram coletadas com seringas próximo a interface água-sedimento. Após 2-3 horas os testemunhos foram abertos e novamente amostras de água foram coletadas. O oxigênio foi determinado através do método de titulação de Winkler e o CO₂ pela titulação de Gram (Carmouze, 1994). Os nutrientes, nitrito, nitrato, amônia e fosfato foram mensurados como descrito no item 4.3. Os fluxos dos compostos analisados (liberação

ou consumo) por m² da superfície do sedimento por dia (mmol d⁻¹) foram calculados de acordo com a seguinte fórmula:

$$J = (C_f - C_i) \times \pi r^2 h / \pi r^2 / t$$

Onde:

J = fluxo (mmol m² d⁻¹);

(C_f – C_i) = concentração final – concentração inicial (mmol m⁻³);

r = raio do testemunho (m);

h = altura da coluna acima do sedimento (m);

t = tempo em dias (d⁻¹).

As características do sedimento como densidade, porosidade, matéria orgânica total e clorofila-a foram medidas nos sedimentos do campo e nos sedimentos do experimento. Para a matéria orgânica total e clorofila-a utilizou-se os mesmos métodos descritos nos itens 4.7 e 4.8, respectivamente. A densidade do sedimento foi determinada pelo peso de um volume conhecido. Das amostras de sedimento úmido, uma alíquota de 1 mL foi retirada utilizando uma seringa. Desta alíquota, foi mensurado o peso úmido e o peso seco (60°C em estufa por 48 h). Então, a densidade do sedimento foi calculada por: densidade do sedimento = peso sedimento seco/1 mL, expressa em g cm⁻³. A porosidade do sedimento foi calculada a partir do conteúdo de água (peso úmido do sedimento – peso seco, em %) e densidade do sedimento através da seguinte fórmula: porosidade = conteúdo de água x densidade do sedimento /100.

4.16. Análise estatística dos dados

Para verificar tendências espaciais e temporais das variáveis ambientais e da fauna em cada enseada foram aplicadas análises univariadas e multivariadas.

As diferenças entre estações e meses de coleta para o teor de MOT, pigmentos fotossintéticos, biomassa microbiana, abundância de meiofauna e macrofauna foram testadas a partir de análises de variâncias. Com exceção da MOT (diferenças testadas pela média dos 10 cm da coluna sedimentar), as diferenças das variáveis foram testadas com seus valores integrados, os quais foram calculados a partir da soma ponderada dos estratos da coluna sedimentar. O teste paramétrico de análise de variância (ANOVA) foi aplicado para os conjuntos de dados que apresentaram distribuição normal, variâncias homogêneas. Estes

dados foram, então, testados com o teste *a posteriori* de Tukey (Zar, 1999). Para os conjuntos de dados que se mostraram não normais e com variâncias diferentes, o teste não paramétrico Kruskal-Wallis foi empregado, com o teste *a posteriori* de Dunn (Zar, 1999). Além disso, foram testadas diferenças entre tratamento e controle dos experimentos por meio do teste “t”. Para todos os testes foi considerado $\alpha = 0,05$.

A normalidade dos dados de cada variável foi testada pelo teste de Lilliefors e em caso de rejeição da hipótese nula, ou seja, da normalidade dos dados, os mesmos foram transformados por $\sqrt{x}$ ou $\log(x+1)$ até aceitar-se a hipótese nula. Após a verificação da normalidade dos dados, o grau de relação entre as variáveis ambientais e parâmetros da fauna foi avaliado através do teste paramétrico de correlação múltipla de Pearson, considerando-o significativo para $p < 0,05$.

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada como uma ferramenta para a interpretação de possíveis padrões de ordenação das variáveis ambientais e fauna. Foram realizadas também PCAs utilizando compostos lipídicos obtidos em estudos prévios e os dados utilizados neste estudo para avaliação da qualidade da matéria orgânica sedimentar (MO). O objetivo foi verificar a eficácia das variáveis da qualidade da MO utilizadas neste estudo mediante a composição e origens pré-determinadas da MO através dos compostos lipídicos. O método das PCAs consiste em ordenar a posição, no caso deste estudo, das estações de coleta em relação a um conjunto de eixos, sendo que cada um dos eixos correspondem a uma combinação linear das variáveis analisadas. Então, quanto maior a distância entre as amostras nos gráficos das PCAs maior é a diferença entre elas (Clarke & Warwick, 1994). Com o intuito de reduzir as grandes diferenças dos dados, a matriz submetida à PCA foi previamente normalizada (valor subtraído da média e dividido pelo desvio-padrão). Para facilitar a visualização das relações entre as variáveis e as estações, foram construídos gráficos dos *loadings* (coeficientes de correlação entre cada variável e cada componente principal) das variáveis e dos *scores*, que representam a influência relativa de cada componente sobre a estação de coleta (Dai & Sun, 2007).

Para avaliar a influência das variáveis ambientais sobre a composição e abundância das espécies da macrofauna em cada mês amostrado nas enseadas, foi empregada a análise Bio-Env. Esta análise, basicamente, compara a matriz de similaridade Bray-Curtis gerada pelos dados das espécies da macrofauna com uma matriz de similaridade (distância Euclidiana) das variáveis ambientais. As matrizes são comparadas pelo coeficiente de correlação de Spearman ponderado (ρ_w), teste baseado em comparações de *ranks*, devido à

grande variabilidade das escalas dos dados. Combinações das variáveis ambientais são realizadas em níveis crescentes de complexidade, i.e. k variáveis ao mesmo tempo ($k = 1, 2, 3, \dots, v$) (Clarke & Warwick, 1994). O coeficiente ρ_w varia entre -1 e 1, com os extremos $\rho = -1$ e $+1$ correspondendo, respectivamente, aos casos onde as duas séries de *ranks* estão em completa oposição ou em completa concordância (Clarke & Warwick, 1994). A combinação de variáveis com maior valor de ρ_w é a que melhor explica o padrão de composição e abundância das espécies da macrofauna. Valores de ρ_w próximos de zero correspondem à ausência de qualquer relação entre as duas matrizes (Clarke & Warwick, 1994).

Com o objetivo de verificar a similaridade da composição e abundância das espécies da macrofauna entre as estações em cada mês de coleta nas enseadas, foram empregadas análises de escalonamento não-métrico multidimensional (MDS). Análises de MDS também foram aplicadas com base nos resultados obtidos pelo Bio-Env, ou seja, nas variáveis ambientais que mais explicaram os padrões de composição e abundância das espécies da macrofauna. O MDS é realizado a partir de uma matriz de similaridade da abundância das espécies da macrofauna das estações. Esta matriz foi previamente construída usando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis utilizando os dados transformados por $\log(x+1)$. O MDS ordena as estações em um número específico de dimensões, que tenta satisfazer todas as condições impostas pelos *ranks* da matriz de similaridade. Então, quanto mais próximas as estações estiveram ordenadas no plano bidimensional do MDS, mais similares elas são (Clarke & Warwick, 1994). Os valores de *stress* fornecidos pela análise MDS indicam o grau de representação da ordenação dos dados no plano bidimensional. Uma boa representação pode ser observada em MDS com valores de *stress* menores do que 0,2 (Clarke & Warwick, 1994). As análises estatísticas foram conduzidas pelos programas estatísticos BioEstat 4.0, Primer[®] 6.0 e MVSP 3.1.

5. Resultados

5.1. Coluna de água

5.1.1. Pluviosidade

Os valores de precipitação mensal (mm) no período de estudo, que compreendeu dezembro de 2004 até novembro de 2005, estão apresentados na Figura 6. A precipitação total do período de coletas das amostras (dezembro 2004 a novembro de 2005) foi de 2227 mm, já a precipitação do ano de 2005 atingiu 2324 mm. Dentro do período de estudo, os menores valores de precipitação mensal foram registrados nos meses de fevereiro e agosto de 2005 (51 e 57 mm, respectivamente), enquanto que o mês de janeiro foi o que apresentou maior precipitação (447 mm) (Figura 6). Entre os meses em que foram realizadas as amostragens, a pluviosidade foi menor em fevereiro e maior em abril de 2005 (Figura 6).

Figura 6: Pluviosidade da região de Ubatuba durante o período de estudo (dezembro de 2004 até novembro de 2005). As setas indicam os meses em que foram realizadas as coletas de amostras. Fonte: Estação Meteorológica da Base Norte do Instituto Oceanográfico da USP.

5.1.2. Temperatura e salinidade

A temperatura da água variou de 16,63 a 28,81°C nas escalas temporal e espacial amostradas, sendo que os menores valores foram registrados no fundo de todas as estações de coleta, exceto as estações mais rasas 01 e 05 durante o mês de dezembro 2004 (Tabela 1). Por outro lado, as maiores temperaturas foram observadas na superfície da coluna de água nos meses de fevereiro e abril de 2005 (Tabela 1). Ainda em termos de temperatura, uma maior

estratificação da coluna de água foi observada em dezembro 2004 em relação aos outros meses, principalmente nas estações com maiores profundidades. Nos demais meses, as pequenas variações entre a temperatura de superfície e fundo demonstraram uma coluna de água homogênea em todas as estações de amostragem (Tabela 1).

A salinidade apresentou valores entre 28,00 a 35,97, com os menores valores concentrados em abril e novembro de 2005 (Tabela 1). Em abril, a salinidade foi menor na superfície da coluna de água, enquanto que em novembro, tanto a superfície como o fundo apresentaram baixos valores de salinidade nas enseadas (Tabela 1). A maior variabilidade da salinidade esteve relacionada com os períodos de maior pluviosidade. Isto demonstrou a influência da descarga fluvial em ambas as enseadas.

Tabela 1: Posição geográfica das estações (Stn), profundidade, temperatura, salinidade e massas de água presentes na superfície e fundo durante os meses de coleta.

Stn	Data	Lat. (S)	Long. (W)	Prof (m)	TS (°C)	TF (°C)	Sal S	Sal F	Massa de Água
01	8/12/2004	23°30,1'	45°10,25'	4	27,70	25,68	34,40	34,60	AC
02	8/12/2004	23°30,9'	45°09,27'	8,8	26,33	18,53	35,06	35,82	ACAS
03	8/12/2004	23°31,98'	45°08,39'	11	24,30	17,29	35,26	35,80	ACAS
04	8/12/2004	23°34,1'	46°06,6'	17,7	24,61	16,66	35,06	35,78	ACAS
05	7/12/2004	23°26,24'	45°03,4'	5	25,78	25,25	35,14	35,15	AC
06	7/12/2004	23°26,19'	45°02,6'	9	24,30	17,78	35,53	35,89	ACAS
07	7/12/2004	23°26,24'	45°01'	13	24,12	16,95	35,26	35,74	ACAS
08	6/12/2004	23°26,23'	44°58,65'	19	21,63	16,63	35,34	35,71	ACAS
01	23/02/2005	23°30,06'	45°10,26'	4	27,17	27,00	34,46	34,86	AC
02	23/02/2005	23°30,91'	45°09,27'	8	27,34	26,56	33,90	35,03	AC
03	23/02/2005	23°31,97'	45°08,4'	11	26,87	25,15	34,78	35,13	AC
04	23/02/2005	23°34,1'	45°06,58'	17	26,52	23,50	34,86	35,35	AC
05	22/02/2005	23°26,25'	45°03,41'	5,3	26,86	26,43	34,84	35,08	AC
06	22/02/2005	23°26,19'	45°02,62'	8,8	26,26	25,42	34,82	35,21	AC
07	22/02/2005	23°26,24'	45°01'	13	26,22	24,86	34,93	35,21	AC
08	22/02/2005	23°26,25'	44°58,64'	18	25,84	23,38	34,76	35,30	AC
01	19/04/2005	23°30,08'	45°10,27'	4	28,81	27,64	33,06	34,52	AC
02	19/04/2005	23°30,9'	45°09,27'	8,5	28,15	26,16	34,01	35,07	AC
03	19/04/2005	23°31,97'	45°08,39'	11	27,32	24,29	33,66	35,90	AC
04	19/04/2005	23°34,11'	45°06,6'	17,5	27,26	21,41	34,26	35,97	AC
05	18/04/2005	23°26,25'	45°03,39'	5	28,08	27,71	27,99	34,07	AC
06	18/04/2005	23°26,22'	45°02,6'	9	27,61	27,73	32,64	34,47	AC
07	18/04/2005	23°26,24'	45°01'	12,5	27,51	27,54	34,17	34,78	AC
08	18/04/2005	23°26,26'	44°58,66'	18,6	27,11	26,40	32,77	35,00	AC
01	29/06/2005	23°30,07'	45°10,25'	4,3	23,34	23,31	35,17	35,41	AC
02	29/06/2005	23°30,9'	45°09,29'	8,5	23,11	22,05	34,98	35,81	AC
03	29/06/2005	23°31,97'	45°08,4'	11	23,10	22,03	35,03	35,79	AC
04	29/06/2005	23°34,09'	45°06,6'	17,5	23,14	23,14	35,32	35,32	AC
05	28/06/2005	23°26,25'	45°03,4'	5	23,18	23,04	35,15	35,65	AC
06	28/06/2005	23°26,19'	45°02,6'	8,2	23,18	22,26	35,09	35,76	AC
07	28/06/2005	23°26,26'	45°01,01'	12,5	23,10	21,85	35,19	35,82	AC

Cont. Tabela 1									
Stn	Data	Lat. (S)	Long. (W)	Prof (m)	TS (°C)	TF (°C)	Sal S	Sal F	Massa de Água
08	28/06/2005	23°26,26'	44°58,65'	18,5	23,34	21,85	35,43	35,81	AC
01	26/08/2005	23°30,07'	45°10,27'	4	23,03	23,03	34,71	34,75	AC
02	26/08/2005	23°30,91'	45°09,28'	8,5	22,98	22,90	35,07	35,04	AC
03	26/08/2005	23°32'	45°08,4'	11	22,91	22,87	35,06	35,05	AC
04	26/08/2005	23°34,1'	45°06,57'	17,5	21,92	22,42	34,89	35,15	AC
05	24/08/2005	23°26,26'	45°03,4'	5,5	23,95	23,81	35,06	35,09	AC
06	24/08/2005	23°26,2'	45°02,61'	8,2	23,88	22,64	35,07	35,40	AC
07	24/08/2005	23°26,24'S	45°01'	12,5	24,31	22,19	34,86	35,63	AC
08	24/08/2005	23°26,26'S	44°58,65'	18,5	23,69	22,04	35,17	35,69	AC
01	4/11/2005	23°30,08'	45°10,25'	4,3	23,05	23,14	28,18	31,77	AC
02	4/11/2005	23°30,9'	45°09,29'	8,5	23,14	22,91	30,92	32,34	AC
03	4/11/2005	23°31,97'	45°08,39'	10,5	23,03	21,94	30,51	33,43	AC
04	4/11/2005	23°34,11'	45°06,59'	17,7	23,10	20,29	31,65	34,98	AC
05	6/11/2005	23°26,25'	45°03,42'	5	24,25	22,25	31,60	33,41	AC
06	6/11/2005	23°26,19'	45°02,61'	8	24,56	21,61	30,84	33,81	AC
07	6/11/2005	23°26,25'	45°01'	13	24,22	20,83	31,81	34,47	AC
08	6/11/2005	23°26,14'	44°58,65'	19	24,20	20,44	31,43	34,87	AC

Lat.: latitude, Long.: longitude, Prof.: profundidade, TS.: temperatura de superfície, TF: temperatura de fundo, Sal S: salinidade de superfície, Sal F: salinidade de fundo, AC: Água Costeira, ACAS: Água Central do Atlântico Sul

De acordo com as escalas estabelecidas por Miranda (1985) e Miranda & Katsuragawa (1991), foram identificadas duas massas de água nos meses estudados: a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Costeira (AC) (Tabela 1). A ACAS foi registrada em subsuperfície somente no mês de dezembro de 2004 até profundidades de 10 m nas estações de coleta (Tabela 1, Figura 7). Nos outros meses a AC foi a massa de água predominante (Tabela 1).

Figura 7: Diagrama T-S da coluna de água durante o início do verão (dezembro de 2004), período em que a presença da ACAS foi registrada na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

5.1.3. Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido foram mensuradas neste estudo em profundidades da coluna de água próximas ao fundo (ca. 1 m). Cabe destacar que os dados do mês de agosto de 2005 não foram determinados devido a perda das amostras. O oxigênio dissolvido de fundo apresentou valores entre 3,51 e 5,75 mL L⁻¹ na EF, enquanto que na EU as concentrações variaram de 3,11 a 5,3 mL L⁻¹ (Figura 8). Na EF, as variações temporais do oxigênio dissolvido de fundo foram mais marcadas nas estações 03 e 04, com dezembro de 2004 apresentando menores valores, e fevereiro de 2005, as maiores concentrações (Figura 8). Na EU, os maiores valores de oxigênio dissolvido de fundo nesta enseada, foram encontrados nas estações mais rasas e próximas da costa (Figura 8). Temporalmente, as estações 07 e 08 foram as que demonstraram menores concentrações de oxigênio em dezembro de 2004 e as estações internas 05 e 06 foram as que apresentaram maiores valores principalmente nos meses de fevereiro e abril de 2005 (Figura 8).

Figura 8: Concentração de oxigênio dissolvido das águas de fundo (mL L⁻¹) observada nas Enseadas da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

5.1.4. Nutrientes

A concentração média dos nutrientes da coluna de água (superfície e fundo) foi calculada para todos os meses em que ocorreu AC tanto na superfície como no fundo, exceto dezembro de 2004, mês em que foi verificada a presença da ACAS no fundo (Tabela 1 e 2). Neste mês, as concentrações de nutrientes foram apresentadas somente para o fundo da coluna de água (Tabela 2). A amônia variou de 0,41 a 7,01 μ M entre as estações e meses amostrados, sendo que, em fevereiro e agosto de 2005, os valores de amônia foram relativamente mais altos (Tabela 2). O nitrato mostrou concentrações entre 0,02 e 8,25 μ M. Os meses de

dezembro de 2004, que teve a presença da ACAS, e novembro de 2005 foram os que registraram maiores valores deste composto. Já o fosfato não apresentou grandes variações espaciais e temporais (0,47-1,07 μM) (Tabela 2). Em contraste, o silicato apresentou grande variabilidade entre as estações e meses, porém sem uma tendência clara na distribuição das concentrações (Tabela 2).

Tabela 2: Concentração média dos nutrientes (μM) observados na coluna de água durante o período de estudo nas estações amostradas.

Mês	Stn	Nutrientes (μM)			
		Amônia	Nitrato	Fosfato	Silicato
Dezembro	01	0,63	0,19	0,51	7,54
	02	0,38	0,03	0,51	4,18
	03	5,89	2,64	0,77	3,33
	04	1,66	2,84	0,97	4,00
	05	0,76	0,07	0,38	8,58
	06	0,38	0,53	0,70	6,51
	07	1,15	8,25	0,97	6,14
	08	1,40	5,12	0,87	4,12
Fevereiro	01	0,63	0,37	0,51	7,85
	02	1,08	0,17	0,51	7,57
	03	5,31	0,11	0,54	7,15
	04	7,01	0,09	0,74	4,00
	05	1,66	0,23	0,70	4,67
	06	1,08	0,17	0,61	3,27
	07	2,01	0,22	0,61	2,78
	08	1,08	0,19	0,70	2,60
Abril	01	2,81	0,87	0,51	9,19
	02	2,43	0,36	0,84	5,59
	03	0,57	0,32	0,74	9,04
	04	1,05	0,72	0,57	4,28
	05	0,57	1,32	0,57	9,13
	06	0,57	1,00	0,97	9,86
	07	0,60	0,76	0,84	4,06
	08	0,98	0,68	0,47	5,86
Junho	01	0,70	0,46	0,51	5,22
	02	0,44	0,76	0,90	6,69
	03	0,47	0,36	0,70	3,97
	04	1,43	0,53	0,51	5,86
	05	0,89	0,30	0,77	5,28
	06	0,41	0,28	1,07	5,80
	07	1,15	0,61	0,74	3,24
	08	0,41	0,57	0,87	5,28

Cont. Tabela 2

Mês		Amônia	Nitrato	Fosfato	Silicato
Agosto	01	5,57	0,62	0,51	13,47
	02	1,95	0,25	0,67	7,70
	03	1,88	1,32	0,54	8,15
	04	3,07	0,50	0,67	6,87
	05	1,53	0,15	0,70	8,61
	06	1,47	0,34	0,67	7,97
	07	0,92	0,24	0,51	6,81
	08	1,40	2,46	0,61	7,36
Novembro	01	0,89	1,23	0,77	3,39
	02	0,89	1,21	0,61	7,51
	03	0,82	1,46	0,74	14,02
	04	0,57	1,29	0,80	12,43
	05	1,66	0,23	0,44	2,96
	06	0,92	0,43	0,61	6,81
	07	0,57	2,21	0,74	16,46
	08	0,54	4,62	0,57	8,28

5.1.5. Direção e altura de ondas

Os dados da direção e altura das ondas predominantes na área de estudo foram obtidos no site www.waves.com.br, através de observações diárias na Praia Grande, Ubatuba, SP, localizada entre as enseadas de Fortaleza e Ubatuba. Cabe ressaltar que, como mencionado no item 3 - Área de Estudo, as ondulações exercem efeitos particulares nas estações de coleta de acordo com a orientação das enseadas avaliadas (ver este item para maiores detalhes). Durante o período de estudo, ondulações S de forte intensidade foram registradas antes de junho de 2005, mês que foi realizado coleta de amostras (Figura 9), atingindo as estações externas das enseadas, como a Stn 04 da EF e as estações 07 e 08 da EU. Em agosto de 2005, outro mês de inverno durante o qual as coletas foram realizadas, ondas predominantes de S/SE de forte intensidade foram observadas (Figura 9), o que pode ter resultado em maiores efeitos sobre as estações da EF e as externas 07 e 08 da EU. Os outros meses foram caracterizados pela presença de ondas de intensidade fraca a moderada (Figura 9), portanto, com poucas influências físicas sobre as estações.

Figura 9: Altura (m) e direção das ondas observadas durante o período do estudo na região de Ubatuba.

5.2. Sedimento

5.2.1. Granulometria

Na área de estudo, a areia variou de 3,5 a 99,9% entre as estações e meses amostrados (Anexo I). Dentro de areia, foi observado que a areia muito fina (0,4 a 99,5%) representou quase totalmente a fração areia total, com menores contribuições das classes de tamanho: areia muito grossa, grossa, média e fina (dados não apresentados). Excluindo os valores de zero encontrados na Stn 08, o silte apresentou porcentagens entre 2,3 e 71,7% e a argila entre 2,2 e 43,2% (Anexo I). Os resultados das análises granulométricas mostraram maiores frações de areia nas estações 01 da EF, 07 e 08 da EU (Anexo I). Em alguns meses, a maior porcentagem de areia foi encontrada também nas estações 02 e 03 (Anexo I). Espacialmente, observou-se um gradiente costa-oceano nas porcentagens das frações mais finas, silte e argila na EF caracterizando o predomínio de sedimentos pelíticos na sua porção externa, enquanto o oposto foi encontrado na EU, ou seja, maiores teores de silte e argila no interior da enseada. O mesmo se aplica para o diâmetro médio, que foi menor no interior da EF e nas estações mais profundas, maior, enquanto que na EU observou-se o contrário. Temporalmente, observou-se uma maior variação das frações granulométricas nas estações mais externas 07 e 08 da EU (Anexo I).

Verticalmente, as frações granulométricas tanto da EF como da EU não apresentaram grandes variações (Anexo I). A maior parte das estações mostrou tipos sedimentares similares

entre os estratos superficiais (0-2 cm), medianos (2-5 cm) e inferiores (5-10 cm), com exceção da estação 07 e 08 (Anexo I). O diâmetro médio também apresentou maiores variações entre os estratos nestas estações (Anexo I).

Os sedimentos foram classificados de acordo com Shepard (1954) e variaram entre areia, areia siltica, areia argilosa, silte arenoso, silte argiloso a silte nas enseadas, com distribuição heterogênea, uma vez que o grau de seleção apresentou-se, na maior parte das estações, de moderado a pobremente selecionado (Anexo I).

Em relação ao teor de CaCO_3 , a EF apresentou espacialmente e temporalmente valores entre 9,17 e 22,28%, com as maiores porcentagens nas estações 03 e 04, mais distantes da costa (Anexo I). Já na EU, observou-se o CaCO_3 variando de 6,95 a 41,03%, com os maiores valores nas estações localizadas no interior da enseada (Anexo I). Os estratos da coluna sedimentar não apresentaram grandes variações das porcentagens de CaCO_3 , exceto as estações 07 e 08, as quais mostraram diferenças entre os teores de CaCO_3 entre a superfície, meio e fundo (Anexo I).

5.2.2. Carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre total do sedimento

Os teores de carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e nitrogênio total (N) foram determinados somente para os 0-2 cm da coluna sedimentar dos meses amostrados. O COT variou tanto espacialmente como temporalmente de 0,18 a 3,97%, sendo os maiores valores registrados principalmente nas estações 05 e 06 localizadas na EU (Tabela 3). O N e o S apresentaram porcentagens entre 0,01 e 0,36% (Tabela 3). Os valores de N e S abaixo 0,01 detectados pelo analisador elementar não foram considerados confiáveis (Marcelo Rodrigues, comunicação pessoal), pois situam-se abaixo do limite de detecção do aparelho. Em geral, as maiores porcentagens de N e S estiveram associadas às maiores porcentagens de COT que, por sua vez, foram encontradas nas estações com maiores contribuições de silte e argila (Anexo I e Tabela 3).

A razão C/N variou de 5,88 a 16,88 entre as estações e meses amostrados. As menores razões C/N foram observadas principalmente nos meses de dezembro de 2004, fevereiro e agosto de 2005, sugerindo uma maior qualidade da MO, em termos de compostos nitrogenados. Espacialmente, observou-se que as menores razões C/N (com valores entre 5,88 a 7,3) estiveram relacionadas com as estações mais internas das enseadas (Tabela 3).

A razão C/S apresentou valores entre 5,8 e 19,08, sendo que, em geral, os menores valores estiveram associados aos menores conteúdos de COT e N. Espacialmente, foi observada uma grande variabilidade dos valores de C/S, sem um padrão muito definido de

maiores ou menores valores (Tabela 3). Temporalmente, os maiores valores da razão C/S corresponderam ao mês de junho e agosto de 2005 (Tabela 4).

Tabela 3: Carbono orgânico total (COT), enxofre (S) e nitrogênio inorgânico total (N) (%), razão C/N e C/S encontrados nos sedimentos superficiais (0-2 cm) da Enseada da Fortaleza (stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (stn 05 a 08).

Mês	Stn	COT (%)	S (%)	N (%)	C/N	C/S
Dezembro	01	0,24	<LD	0,04	6,21	-
	02	0,73	0,08	0,11	6,61	8,69
	03	3,24	0,28	0,36	9,11	11,48
	04	1,03	0,13	0,13	8,02	8,23
	05	0,75	0,10	0,11	6,88	7,46
	06	0,20	0,01	0,03	7,37	13,44
	07	0,26	0,03	0,03	9,28	9,43
	08	0,23	0,02	0,02	10,94	12,47
Fevereiro	01	0,19	<LD	<LD	-	-
	02	0,60	0,10	0,10	5,88	5,80
	03	2,33	0,25	0,23	10,12	9,28
	04	0,39	0,06	0,04	9,24	6,04
	05	0,25	<LD	<LD	-	-
	06	1,86	0,21	0,20	9,25	8,92
	07	2,26	0,20	0,22	10,09	11,25
	08	0,91	0,16	0,10	9,33	5,90
Abril	01	0,21	<LD	0,02	11,33	-
	02	1,73	0,18	0,16	10,62	9,50
	03	0,23	0,02	0,02	12,76	10,69
	04	0,37	0,06	0,02	15,32	5,97
	05	1,31	0,15	0,11	12,02	8,94
	06	1,26	0,14	0,13	9,92	8,96
	07	0,93	0,10	0,09	10,42	9,02
	08	0,24	0,01	0,02	11,79	17,40
Junho	01	0,23	0,01	<LD	-	15,67
	02	0,29	0,02	0,03	10,46	15,06
	03	0,30	0,03	0,03	11,29	11,06
	04	0,41	0,06	0,02	16,88	6,40
	05	3,97	0,26	0,31	12,87	15,56
	06	2,77	0,20	0,22	12,80	13,68
	07	0,22	<LD	<LD	-	-
	08	0,18	<LD	<LD	-	-
Agosto	01	0,24	0,01	<LD	-	16,25
	02	0,22	0,01	<LD	-	19,08
	03	0,25	0,02	<LD	-	16,27
	04	0,48	0,06	0,05	10,66	7,60
	05	3,28	0,23	0,30	11,08	14,47
	06	2,30	0,16	0,21	11,23	14,54
	07	0,83	0,09	0,08	9,80	9,02
	08	0,23	<LD	0,02	9,57	-
Novembro	01	0,20	<LD	<LD	-	-
	02	0,83	0,09	0,07	12,56	9,13
	03	0,28	0,02	0,03	9,02	12,29
	04	0,39	0,06	0,04	11,28	6,48
	05	1,59	0,13	0,15	10,36	12,44
	06	2,45	0,18	0,22	11,07	13,35

Cont. Tabela 3

Novembro	Stn	COT (%)	S (%)	N(%)	C/N	C/S
	07	0,28	0,02	0,02	15,37	11,40
	08	0,16	<LD	<LD	-	-

<LD: Valores abaixo do limite de detecção, (-): não calculado, dez: dezembro, fev: fevereiro, abr: abril, jun: junho, ago: agosto e nov: novembro.

5.2.3. Matéria orgânica total do sedimento

Em geral, os teores de matéria orgânica total (MOT) na área de estudo variaram tanto espacialmente, quanto temporalmente de 0,72 a 12,89%. Espacialmente, na EF, os valores de MOT foram significativamente maiores na Stn 03 do que nas demais estações, nos meses de dezembro de 2004 e abril de 2005 (Figura 10, Tabelas 4 e 6). Na EU, as maiores porcentagens de MOT foram observadas principalmente nas estações 05 e 06 em relação as outras estações desta enseada (Figura 10, Tabelas 5 e 6). A Stn 06 destacou-se por apresentar valores de MOT significativamente maiores do que as outras estações de coleta em todos os meses, exceto no mês de novembro de 2005, quando não houve diferenças espaciais significativas (Figura 10, Tabelas 5 e 6).

Figura 10: Valores médios da matéria orgânica total (MOT), média $\pm$ erro-padrão, nos primeiros 10 centímetros da coluna sedimentar registrados durante os meses amostrados na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Cont. Figura 10

Tabela 4: Valores médios $\pm$ erro-padrão da matéria orgânica total (MOT, %), registrados nos estratos da coluna sedimentar e média $\pm$ desvio-padrão dos primeiros 10 cm do sedimento nos meses de coleta na Enseada da Fortaleza.

Enseada da Fortaleza - MOT (%)				
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	1,71 $\pm$ 0,26	3,08 $\pm$ 0,51	11,34 $\pm$ 2,42	5,02 $\pm$ 1,14
2-5 cm	1,38 $\pm$ 0,21	3,18 $\pm$ 0,29	8,14 $\pm$ 2,28	3,79 $\pm$ 0,40
5-10 cm	1,13 $\pm$ 0,05	4,93 $\pm$ 1,60	8,50 $\pm$ 4,72	5,07 $\pm$ 0,42
Média	1,41 $\pm$ 0,29	3,73 $\pm$ 1,04	9,33 $\pm$ 1,75	4,63 $\pm$ 0,73
Fevereiro				
0-2 cm	1,19 $\pm$ 0,07	5,88 $\pm$ 4,03	1,26 $\pm$ 0,23	3,75 $\pm$ 0,22
2-5 cm	1,03 $\pm$ 0,03	3,94 $\pm$ 0,77	3,21 $\pm$ 0,32	4,13 $\pm$ 0,38
5-10 cm	0,88 $\pm$ 0,07	3,00 $\pm$ 0,56	5,47 $\pm$ 0,66	3,11 $\pm$ 0,20
Média	1,03 $\pm$ 0,15	4,28 $\pm$ 1,47	3,31 $\pm$ 2,11	3,67 $\pm$ 0,52
Abril				
0-2 cm	1,27 $\pm$ 0,25	2,09 $\pm$ 0,12	7,50 $\pm$ 4,70	4,29 $\pm$ 1,12
2-5 cm	1,14 $\pm$ 0,36	3,83 $\pm$ 0,58	6,01 $\pm$ 0,40	5,30 $\pm$ 1,20
5-10 cm	1,37 $\pm$ 0,17	5,79 $\pm$ 1,19	5,48 $\pm$ 1,02	4,75 $\pm$ 0,39

Cont. Tabela 4				
Abril	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
Média	1,26 ± 0,12	3,90 ± 1,85	6,33 ± 1,05	4,78 ± 0,51
Junho				
0-2 cm	2,06 ± 0,08	2,56 ± 0,14	1,32 ± 0,13	3,59 ± 0,20
2-5 cm	1,80 ± 0,07	3,09 ± 0,26	1,29 ± 0,17	4,57 ± 0,64
5-10 cm	1,10 ± 0,34	5,90 ± 1,07	1,35 ± 0,06	4,83 ± 0,34
Média	1,65 ± 0,50	3,85 ± 1,80	1,32 ± 0,03	4,33 ± 0,65
Agosto				
0-2 cm	0,89 ± 0,08	2,17 ± 0,35	4,74 ± 2,74	3,62 ± 0,49
2-5 cm	1,24 ± 0,07	2,36 ± 0,30	4,35 ± 2,02	4,12 ± 1,00
5-10 cm	1,42 ± 0,34	6,60 ± 1,83	3,10 ± 0,81	4,85 ± 0,93
Média	1,18 ± 0,27	3,71 ± 2,50	4,06 ± 0,85	4,19 ± 0,62
Novembro				
0-2 cm	1,87 ± 0,16	7,84 ± 1,14	4,96 ± 0,60	3,70 ± 0,64
2-5 cm	2,50 ± 0,52	5,19 ± 1,54	3,84 ± 1,18	3,08 ± 0,18
5-10 cm	2,96 ± 0,81	7,57 ± 2,68	4,52 ± 0,15	3,89 ± 0,17
Média	2,45 ± 0,55	6,87 ± 1,46	4,44 ± 0,56	3,56 ± 0,43

Tabela 5: Valores médios ± erro-padrão da matéria orgânica total (MOT, %), registrados nos estratos da coluna sedimentar e média ± desvio-padrão dos primeiros 10 cm do sedimento nos meses de coleta na Enseada de Ubatuba.

Enseada de Ubatuba - MOT (%)				
Dezembro	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	6,62 ± 6,62	12,26 ± 1,93	5,79 ± 0,27	1,06 ± 0,17
2-5 cm	7,84 ± 7,84	13,42 ± 0,78	4,06 ± 0,46	1,04 ± 0,09
5-10 cm	8,74 ± 8,74	9,90 ± 0,70	5,46 ± 1,81	0,95 ± 0,11
Média	7,74 ± 1,06	11,86 ± 1,79	5,10 ± 0,92	1,02 ± 0,06
Fevereiro				
0-2 cm	6,41 ± 0,76	13,90 ± 0,43	8,84 ± 1,49	3,35 ± 1,97
2-5 cm	5,71 ± 1,07	12,25 ± 1,65	4,61 ± 1,17	2,14 ± 0,58
5-10 cm	6,35 ± 0,89	12,52 ± 0,54	11,27 ± 1,06	4,44 ± 3,07
Média	6,16 ± 0,39	12,89 ± 0,88	8,24 ± 3,37	3,31 ± 1,15
Abril				
0-2 cm	13,69 ± 3,03	10,07 ± 2,71	8,32 ± 1,34	1,97 ± 0,49
2-5 cm	9,43 ± 0,64	10,36 ± 1,43	6,26 ± 5,01	1,83 ± 0,20
5-10 cm	9,26 ± 1,50	8,40 ± 1,15	3,44 ± 1,95	4,87 ± 0,50
Média	10,79 ± 2,51	9,61 ± 1,06	6,01 ± 2,45	2,89 ± 1,71

Cont. Tabela 5				
Junho	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	0,86 ± 0,08	13,32 ± 0,73	1,95 ± 0,61	0,60 ± 0,06
2-5 cm	1,11 ± 0,15	12,37 ± 0,42	4,34 ± 3,18	0,89 ± 0,20
5-10 cm	1,48 ± 0,10	11,36 ± 0,72	3,81 ± 1,14	0,67 ± 0,13
Média	1,15 ± 0,31	12,35 ± 0,98	3,36 ± 1,26	0,72 ± 0,15
Agosto				
0-2 cm	14,21 ± 1,06	12,59 ± 0,85	8,56 ± 1,61	1,13 ± 0,04
2-5 cm	12,03 ± 1,18	12,98 ± 0,02	7,16 ± 1,22	1,73 ± 0,55
5-10 cm	9,88 ± 0,49	11,63 ± 0,65	8,27 ± 1,16	2,21 ± 0,57
Média	12,04 ± 2,16	12,40 ± 0,69	7,99 ± 0,74	1,69 ± 0,54
Novembro				
0-2 cm	3,61 ± 0,49	4,74 ± 2,74	2,17 ± 0,35	0,90 ± 0,10
2-5 cm	4,12 ± 1,00	4,34 ± 2,02	2,36 ± 0,30	1,24 ± 0,42
5-10 cm	4,85 ± 0,93	3,09 ± 0,81	6,59 ± 1,83	1,42 ± 0,32
Média	4,19 ± 0,62	4,06 ± 0,86	3,71 ± 2,50	1,18 ± 0,26

Tabela 6: Resultados da análise estatística ANOVA e Kruskal-Wallis referentes à comparação do teor de matéria orgânica total (MOT) (%), média ± erro-padrão, entre as estações das enseadas de Fortaleza e Ubatuba (n = 12). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Espacial – MOT (%)			
Mês	Enseada	p	Diferenças (Tukey e SNK)
Dezembro	Fortaleza	0,0003*	Stn 01 ≠ Stn 02, Stn 03, Stn 04; Stn 02 ≠ Stn 03
	Ubatuba	0,0001*	Stn 05 ≠ Stn 06, Stn 08; Stn 06 ≠ Stn 07, Stn 08; Stn 07 ≠ Stn 08
Fevereiro	Fortaleza	0,1129	ns
	Ubatuba	0,0004*	Stn 05 ≠ Stn 06; Stn 06 ≠ Stn 07, Stn 08; Stn 07 ≠ Stn 08
Abril	Fortaleza	0,0077*	Stn 01 ≠ Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,0235*	Stn 05 ≠ Stn 08
Junho	Fortaleza	0,0001*	Stn 01 ≠ Stn 02, Stn 04; Stn 02 ≠ Stn 03; Stn 03 ≠ Stn 04
	Ubatuba	0,0156*	Stn 05 ≠ Stn 06; Stn 06, Stn 07 ≠ Stn 08
Agosto	Fortaleza	0,1463	ns
	Ubatuba	0,0001*	Stn 05 ≠ Stn 06, Stn 07; Stn 06 ≠ Stn 07, Stn 08; Stn 07 ≠ Stn 08
Novembro	Fortaleza	0,0044*	Stn 01 ≠ Stn 02; Stn 03 ≠ Stn 04
	Ubatuba	0,5757*	ns

ns: valores de p não significativos.

Temporalmente, a EU apresentou maior escala de variações entre as porcentagens de MOT do que a EF (Figura 11). Na EF, foi encontrada diferença significativa entre os meses somente na Stn 03, com maiores valores de MOT observado em dezembro de 2004, em relação a junho de 2005 (Tabela 7). Já na EU, diferenças temporais foram detectadas em todas estações, exceto a Stn 07 (Figura 11). Altos valores de MOT foram registrados em todos os meses na Stn 06, menos em novembro de 2005, no qual a MOT foi significantemente menor

(Figura 11, Tabela 7). Por outro lado, em junho de 2005, menores valores de MOT foram observados nas demais estações da EU em relação aos outros meses (Figura 11, Tabela 7).

Figura 11: Variação temporal da matéria orgânica total (MOT, %), média $\pm$ erro-padrão, das estações (Stn) na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Tabela 7: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação do teor de matéria orgânica total (MOT) (%) entre os meses amostrados ($n = 18$). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Temporal – MOT (%)		
Stn	p	Diferenças (Tukey)
1	0,1778	ns
2	0,0926	ns
3	0,0161*	Dez $\neq$ Jun
4	0,2862	ns
5	0,0001*	Dez $\neq$ Jun, Ago, Nov; Fev $\neq$ Abr, Jun, Ago; Abr $\neq$ Ago, Nov; Jun $\neq$ Ago; Ago $\neq$ Nov
6	0,0007*	Dez, Fev, Abr, Jun, Ago $\neq$ Nov
7	0,0858	ns
8	0,0129*	Dez $\neq$ Fev; Fev $\neq$ Jun

ns: valores de p não significativos. Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

Os perfis verticais de MOT da EF pouco variaram entre os períodos amostrados (Figura 12, Tabela 4). As porcentagens de MOT das camadas do sedimento foram similares, com exceção de alguns perfis que foram relativamente estratificados (e.g. Stn 03 em dezembro de 2004 e abril de 2005) (Figura 12). Em contrapartida, os perfis de MOT da EU apresentaram maior variabilidade entre as estações e meses de coleta (Figura 13). As estações mais próximas da costa (05 e 06) apresentaram maiores porcentagens de MOT em todos os estratos da coluna sedimentar. Verticalmente, no entanto, como também observado em EF, os valores de MOT foram praticamente constantes no interior da coluna sedimentar (Figura 13, Tabela 5).

Figura 12: Perfis da matéria orgânica total (MOT), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada da Fortaleza nos meses amostrados.

Figura 13: Perfis da matéria orgânica total (MOT), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada de Ubatuba nos meses amostrados.

5.2.4. Clorofila-a e feopigmentos

As concentrações integradas médias de clorofila-a (valores integrados de 10 cm da coluna sedimentar) variaram de 0,78 a 50,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ em ambas as enseadas e durante os meses de coleta (Figura 14, Tabela 8). Em geral, na EU, maiores concentrações de clorofila-a em relação à EF foram registradas. Especialmente, na EF, não foram observadas diferenças significativas entre as concentrações de clorofila-a (Tabela 10). Por outro lado, na EU, foram detectadas diferenças espaciais em todos os meses (Figura 14, Tabela 10). Nesta enseada, as estações mais rasas, 05 e 06, apresentaram valores de clorofila-a comparativamente maiores do que nas outras estações (Figura 14, Tabelas 8 e 9).

Figura 14: Valores integrados (10 cm superficiais) da clorofila-a sedimentar ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ desvio-padrão, registrados durante os meses amostrados na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08). Escala diferenciada em junho e agosto 2005.

Cont. Figura 14

Dentre os feopigmentos, valores integrados médios entre 1,00 e 86,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ foram registrados nas enseadas, com concentrações maiores do que as de clorofila-a (Tabela 9). A EF apresentou variação espacial significativa em todos os meses, sendo que na Stn 01 concentrações de feopigmentos significativamente menores às apresentadas pelas demais estações foram encontradas (Figura 15, Tabela 10). Já na EU, em fevereiro e abril de 2005, não foram detectadas variações espaciais significativas (Tabela 10). O resto dos meses foi caracterizado por menores concentrações de feopigmentos nas estações mais externas e significativos maiores valores nas estações 05 e 06, mais próximas da costa (Figura 15, Tabelas 9 e 10).

Figura 15: Valores integrados de feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, da coluna sedimentar (10 cm) registrados durante os meses amostrados na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Tabela 8: Valores integrados médios da clorofila-a (Clor) e feopigmentos (Feo) ($\mu\text{g g}^{-1}$) dos 10 cm superficiais do sedimento, média $\pm$ desvio-padrão, encontrados nas estações (Stn) na Enseada da Fortaleza (EF) e na Enseada de Ubatuba (EU) nos meses de coleta.

Valores Integrados (0-10 cm)						
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro
Clor ($\mu\text{g g}^{-1}$)						
Stn 01	3,58 $\pm$ 0,70	6,85 $\pm$ 3,40	3,89 $\pm$ 1,06	4,87 $\pm$ 1,85	2,19 $\pm$ 1,50	1,82 $\pm$ 1,17
Stn 02	1,95 $\pm$ 1,03	3,49 $\pm$ 2,97	2,30 $\pm$ 1,06	2,38 $\pm$ 1,40	2,13 $\pm$ 0,58	5,24 $\pm$ 3,28
Stn 03	4,31 $\pm$ 2,03	3,52 $\pm$ 2,37	2,39 $\pm$ 1,99	3,27 $\pm$ 2,13	4,37 $\pm$ 5,93	2,04 $\pm$ 1,85
Stn 04	2,65 $\pm$ 1,60	3,66 $\pm$ 2,69	1,95 $\pm$ 0,95	3,81 $\pm$ 1,14	4,03 $\pm$ 3,38	2,67 $\pm$ 2,01
Stn 05	10,59 $\pm$ 5,29	12,99 $\pm$ 5,48	13,10 $\pm$ 5,62	50,60 $\pm$ 23,93	33,05 $\pm$ 11,60	21,22 $\pm$ 9,67
Stn 06	23,06 $\pm$ 3,10	18,72 $\pm$ 15,08	20,54 $\pm$ 10,87	26,49 $\pm$ 7,36	30,87 $\pm$ 4,85	19,32 $\pm$ 3,75
Stn 07	7,35 $\pm$ 4,94	4,47 $\pm$ 1,91	9,04 $\pm$ 7,11	4,54 $\pm$ 3,35	21,90 $\pm$ 8,62	4,46 $\pm$ 2,08
Stn 08	0,78 $\pm$ 0,41	2,12 $\pm$ 1,48	4,99 $\pm$ 1,09	1,49 $\pm$ 0,74	6,44 $\pm$ 2,97	0,92 $\pm$ 0,88
Feo ($\mu\text{g g}^{-1}$)						
Stn 01	2,58 $\pm$ 0,89	1,92 $\pm$ 1,96	2,75 $\pm$ 0,99	2,78 $\pm$ 1,85	3,24 $\pm$ 1,32	2,92 $\pm$ 2,73
Stn 02	16,09 $\pm$ 10,53	18,82 $\pm$ 12,87	17,31 $\pm$ 7,50	11,44 $\pm$ 5,36	17,42 $\pm$ 5,57	33,75 $\pm$ 17,30
Stn 03	44,48 $\pm$ 17,03	16,27 $\pm$ 11,50	25,11 $\pm$ 13,46	19,93 $\pm$ 13,43	22,55 $\pm$ 25,15	21,05 $\pm$ 4,04
Stn 04	31,85 $\pm$ 13,10	20,44 $\pm$ 4,50	31,77 $\pm$ 17,51	18,22 $\pm$ 2,40	27,22 $\pm$ 9,13	17,68 $\pm$ 3,91
Stn 05	37,19 $\pm$ 7,04	27,27 $\pm$ 12,69	37,80 $\pm$ 6,09	73,16 $\pm$ 25,13	34,63 $\pm$ 3,59	37,23 $\pm$ 8,08
Stn 06	86,60 $\pm$ 9,48	34,38 $\pm$ 11,02	52,36 $\pm$ 10,75	78,62 $\pm$ 18,58	41,41 $\pm$ 7,90	55,52 $\pm$ 9,05
Stn 07	31,77 $\pm$ 17,51	34,68 $\pm$ 12,72	39,60 $\pm$ 36,20	21,35 $\pm$ 20,00	41,76 $\pm$ 13,97	18,80 $\pm$ 9,61
Stn 08	1,00 $\pm$ 1,07	14,87 $\pm$ 18,90	27,49 $\pm$ 8,74	4,42 $\pm$ 1,44	9,62 $\pm$ 9,09	10,79 $\pm$ 17,11

Tabela 9: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação dos valores integrados da clorofila-a e feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$) entre as estações (Stn) das enseadas de Fortaleza e Ubatuba (n = 12, cada enseada). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Espacial – Pigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
Pigmento	Mês	Enseada	p	Diferenças (Tukey)
Clorofila-a	Dezembro	Fortaleza	0,0535	ns
		Ubatuba	0,0001*	Stn 5, Stn 07 $\neq$ Stn 06, Stn 08; Stn 07 $\neq$ Stn 08
		Fortaleza	0,0003*	Stn 01, Stn 03 $\neq$ Stn 02, Stn 04; Stn 03 $\neq$ Stn 04
		Ubatuba	0,0001*	Stn 5, Stn 07 $\neq$ Stn 06, Stn 08
Feopigmentos	Fevereiro	Fortaleza	0,2497	ns
		Ubatuba	0,0011*	Stn 05, Stn 6 $\neq$ Stn 07, Stn 08
		Fortaleza	0,008*	Stn 01 $\neq$ Stn 02, Stn 03, Stn 04
		Ubatuba	0,2301	ns
Clorofila-a	Abril	Fortaleza	0,0615	ns
		Ubatuba	0,032*	Stn 06 $\neq$ Stn 07
		Fortaleza	0,0003	Stn 01 $\neq$ Stn 02, Stn 03, Stn 04
		Ubatuba	0,1335	ns
Feopigmentos	Junho	Fortaleza	0,1492	ns
		Ubatuba	0,0004*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08
		Fortaleza	0,0228*	Stn 01 $\neq$ Stn 03, Stn 04
		Ubatuba	0,0008*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08
Clorofila-a	Agosto	Fortaleza	0,7548	ns
		Ubatuba	0,0001*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08; Stn 07 $\neq$ Stn 08
		Fortaleza	0,0186*	Stn 01 $\neq$ Stn 04
		Ubatuba	0,0004*	Stn 05, Stn 06, Stn 7 $\neq$ Stn 08
Feopigmentos	Novembro	Fortaleza	0,2166	ns
		Ubatuba	0,0001*	Stn 05, Stn 6 $\neq$ Stn 07, Stn 08
		Fortaleza	0,0042*	Stn 01 $\neq$ Stn 02, Stn 03, Stn 04
		Ubatuba	0,0037*	Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08

ns: valores de p não significativos.

Em relação à variação temporal das concentrações integradas de clorofila-a, a Stn 01 foi a única que apresentou diferença significativa entre os meses de coleta na EF, com maior concentração em fevereiro de 2005 (Figura 16, Tabela 10). Em contraste, a EU mostrou variação temporal em todas as estações, exceto a Stn 06, que manteve valores relativamente altos de clorofila-a em todos os meses (Figura 16, Tabela 10). A Stn 05 destacou-se por apresentar um pico de clorofila-a durante junho de 2005, valor significantemente maior do que os observados em outros meses (Figura 16, Tabela 10).

Figura 16: Variação temporal dos valores integrados de clorofila-a ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ desvio-padrão, das estações (Stn) na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08). Escalas diferenciadas entre as enseadas.

Na EF, os valores integrados de feopigmentos apresentaram modesta variação temporal, não tendo sido detectadas diferenças significativas entre os meses amostrados (Figura 17, Tabela 10). Contudo, a EU mostrou maior variabilidade temporal nas concentrações de feopigmentos, com destaque para as diferenças significativas registradas nas estações 05 e 06 (Figura 17, Tabela 10). Na Stn 05, o pico de concentração de feopigmentos ocorreu em junho de 2005, enquanto que, na Stn 06, o máximo foi observado tanto em dezembro de 2004 quanto em junho de 2005 (Figura 17, Tabela 10).

Figura 17: Variação temporal dos valores integrados de feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ desvio-padrão, das estações (Stn) na Enseada da Fortaleza e Enseada de Ubatuba. Escalas diferenciadas entre as enseadas.

Tabela 10: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da concentração da clorofila-a e feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$) entre os meses amostrados ($n = 18$). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Temporal – Pigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
Pigmento	Stn	p	Diferenças (Tukey)
Clorofila-a	1	0,0245*	Fev $\neq$ Abr, Jun
	2	0,1395	ns
	3	0,8453	ns
	4	0,6679	ns
	5	0,0011*	Dez $\neq$ Jun, Ago; Fev, Abr $\neq$ Jun; Jun $\neq$ Nov
	6	0,0623	ns
	7	0,0001*	Dez, Fev, Abr, Jun $\neq$ Ago; Ago $\neq$ Nov
	8	0,0008*	Dez $\neq$ Abr, Ago; Fev $\neq$ Ago; Abr $\neq$ Nov; Ago $\neq$ Nov
Feopigmentos	1	0,8641	ns
	2	0,0803	ns
	3	0,195	ns
	4	0,2635	ns
	5	0,0047*	Dez, Fev, Abr $\neq$ Jun; Jun $\neq$ Ago; Ago $\neq$ Nov
	6	0,0001*	Dez $\neq$ Fev, Abr, Ago, Nov; Fev $\neq$ Jun, Nov; Abr $\neq$ Jun; Jun $\neq$ Ago, Nov
	7	0,2219	ns
	8	0,1194	ns

ns: valores de p não significativos. Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

A razão feopigmentos/clorofila-a (Feo/Clor) dos 0-2 cm do sedimento foi calculada como mais uma ferramenta para acessar a qualidade da matéria orgânica (Tabela 11). Neste caso, as proporções das concentrações de materiais ricos em nutrientes (e.g. clorofila-a) e materiais orgânicos relativamente mais degradados (e.g. feopigmentos) foram calculadas para acessar a qualidade em relação à labilidade da matéria orgânica. Menores razões Feo/Clor implicam na predominância da fração lábil da matéria orgânica derivada da produção primária, ou seja, alta qualidade, enquanto que, maiores valores de Feo/Clor, indicam a predominância de materiais parcialmente degradados, caracterizando a baixa qualidade. Observou-se que a Stn 01 na EF, a mais próxima da costa, apresentou em média menores razões Feo/Clor e, portanto, maior qualidade da matéria orgânica em comparação às outras estações (Tabela 11). Na EU, as estações 05 e 06, também mais próximas da costa, foram as que apresentaram menores razões Feo/Clor. É importante destacar que nesta enseada, as razões Feo/Clor foram menores do que as observadas na EF (Tabela 11). Temporalmente, também foram verificadas variações nas razões Feo/Clor, principalmente nas estações mais externas (i.e. Stn 04 e 08), em ambas as enseadas (Tabela 11).

Tabela 11: Razão feopigmentos/clorofila-a dos 0-2 cm do sedimento, nos períodos amostrados.

	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro	média
Stn 01	1,62	0,25	0,81	0,56	0,74	0,38	0,73
Stn 02	10,09	5,61	5,47	3,99	10,14	5,11	6,74
Stn 03	7,78	2,73	5,85	2,86	5,17	5,64	5,00
Stn 04	14,98	7,38	9,67	4,20	4,80	9,94	8,50
Stn 05	2,20	1,33	1,93	0,98	0,91	2,03	1,56
Stn 06	4,09	1,22	1,97	2,61	1,03	2,54	2,24
Stn 07	2,05	9,57	3,19	3,71	1,91	4,72	4,19
Stn 08	1,33	10,63	2,70	1,71	0,47	5,07	3,65
média	5,52	4,84	3,95	2,58	3,15	4,43	

Em geral, os perfis verticais de clorofila-a no sedimento da EF apresentaram maiores concentrações na superfície do sedimento e uma diminuição dos valores de clorofila-a com o aumento da profundidade da coluna sedimentar em todos os meses (Figura 18, Tabela 12). Entretanto, esta tendência não foi observada em algumas estações, como a Stn 02 e a Stn 03 (Figura 18, Tabela 12). Além disso, no mês de agosto de 2005, observou-se um padrão distinto dos outros meses, onde as concentrações de clorofila-a mostraram picos subsuperficiais (Stn 03) e maiores valores em 10 cm de profundidade do sedimento (Stn 02) (Figura 18, Tabela 12).

Figura 18: Perfis de clorofila-a dos primeiros 10 cm do sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada da Fortaleza durante os meses amostrados.

Na EU, observou-se de dezembro de 2004 a agosto de 2005, um aumento gradual das concentrações de clorofila-a na superfície do sedimento, principalmente nas estações internas 05 e 06. Em novembro de 2005, os valores de clorofila-a voltaram a ser similares entre as camadas do sedimento estudadas. Nos meses de junho e agosto de 2005, os perfis verticais de clorofila-a na EU mostraram maior heterogeneidade entre as camadas do sedimento, quando valores mais altos foram observados na superfície do sedimento (Figura 19, Tabela 12). Nesses mesmos períodos também foram registrados os maiores valores integrados de clorofila-a (Tabela 8). Cabe destacar que, em junho de 2005, a Stn 05 atingiu o máximo de $24,6 \mu\text{g g}^{-1}$ na superfície do sedimento (Figura 19, Tabela 12), valor 2-9 vezes maior do que os observados nos outros meses na mesma camada da coluna sedimentar.

Figura 19: Perfis de clorofila-a dos primeiros 10 cm do sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada de Ubatuba durante os meses amostrados. Escala diferenciada para o mês de junho de 2005.

Na EF, os perfis de feopigmentos apresentaram uma distribuição homogênea entre as camadas de sedimento amostradas, exceto em dezembro de 2004, onde se observou maiores valores concentrados na superfície das estações 03 e 04 (Figura 20, Tabela 13). Foram registrados máximos subsuperficiais dos teores de feopigmentos nos meses de abril, junho e agosto de 2005 em algumas estações de coleta, como a 02 e a 04 (Figura 20, Tabela 13). Já na EU, os feopigmentos apresentaram-se geralmente heterogêneos distribuídos na coluna sedimentar, com valores mais altos na superfície do sedimento (Figura 21, Tabela 13). Valores máximos de feopigmentos em estratos inferiores da coluna sedimentar também foram observados, principalmente nas estações 07 e 08 localizadas mais externamente na EU (Figura 21, Tabela 13).

Tabela 12: Clorofila-a ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ desvio-padrão, registrados na coluna sedimentar (10 cm) das estações (Stn) nos meses amostrados.

Clorofila-a ($\mu\text{g g}^{-1}$)								
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	0,62 $\pm$ 0,16	0,31 $\pm$ 0,00	2,82 $\pm$ 1,35	0,98 $\pm$ 0,47	3,41 $\pm$ 1,43	5,58 $\pm$ 0,70	3,17 $\pm$ 1,33	0,27 $\pm$ 0,18
2-5 cm	0,79 $\pm$ 0,13	0,27 $\pm$ 0,28	0,66 $\pm$ 0,23	0,44 $\pm$ 0,09	2,80 $\pm$ 2,00	5,88 $\pm$ 0,25	0,86 $\pm$ 0,12	0,11 $\pm$ 0,05
5-10 cm	0,71 $\pm$ 0,14	0,50 $\pm$ 0,24	0,20 $\pm$ 0,13	0,40 $\pm$ 0,13	1,19 $\pm$ 0,34	3,47 $\pm$ 0,81	1,16 $\pm$ 0,54	0,14 $\pm$ 0,06
Fevereiro								
0-2 cm	2,34 $\pm$ 1,46	1,49 $\pm$ 1,30	0,43 $\pm$ 0,43	0,85 $\pm$ 0,22	4,12 $\pm$ 0,88	7,18 $\pm$ 3,04	1,35 $\pm$ 0,65	0,84 $\pm$ 0,87
2-5 cm	1,64 $\pm$ 0,41	0,80 $\pm$ 0,58	0,44 $\pm$ 1,40	0,58 $\pm$ 0,38	2,95 $\pm$ 0,52	3,67 $\pm$ 3,94	1,35 $\pm$ 0,60	0,34 $\pm$ 0,28
5-10 cm	0,82 $\pm$ 0,53	0,32 $\pm$ 0,32	0,97 $\pm$ 2,27	0,77 $\pm$ 0,20	1,78 $\pm$ 1,53	2,42 $\pm$ 2,45	0,44 $\pm$ 0,14	0,31 $\pm$ 0,07
Abril								
0-2 cm	1,57 $\pm$ 0,18	0,34 $\pm$ 0,14	0,87 $\pm$ 1,00	0,58 $\pm$ 0,24	6,31 $\pm$ 3,12	7,57 $\pm$ 0,99	6,34 $\pm$ 3,69	1,74 $\pm$ 0,77
2-5 cm	1,03 $\pm$ 0,40	0,44 $\pm$ 0,27	0,46 $\pm$ 0,07	0,53 $\pm$ 0,35	2,33 $\pm$ 0,99	4,31 $\pm$ 2,91	0,68 $\pm$ 0,85	0,73 $\pm$ 0,16
5-10 cm	0,31 $\pm$ 0,11	0,52 $\pm$ 0,21	0,33 $\pm$ 0,35	0,23 $\pm$ 0,07	1,32 $\pm$ 0,41	2,61 $\pm$ 2,21	0,67 $\pm$ 0,86	0,86 $\pm$ 0,03
Junho								
0-2 cm	1,96 $\pm$ 0,50	0,34 $\pm$ 0,01	1,00 $\pm$ 0,43	0,95 $\pm$ 0,42	24,59 $\pm$ 10,43	7,97 $\pm$ 1,14	0,69 $\pm$ 0,76	0,63 $\pm$ 0,19
2-5 cm	1,19 $\pm$ 0,41	0,21 $\pm$ 0,19	0,61 $\pm$ 0,53	0,59 $\pm$ 0,19	10,76 $\pm$ 6,46	5,75 $\pm$ 3,32	0,78 $\pm$ 0,99	0,43 $\pm$ 0,28
5-10 cm	0,45 $\pm$ 0,29	0,69 $\pm$ 0,44	0,54 $\pm$ 0,36	0,79 $\pm$ 0,17	3,95 $\pm$ 1,52	3,96 $\pm$ 0,50	1,07 $\pm$ 0,44	0,09 $\pm$ 0,05
Agosto								
0-2 cm	1,10 $\pm$ 0,55	0,12 $\pm$ 0,10	1,34 $\pm$ 2,27	0,87 $\pm$ 0,91	13,74 $\pm$ 3,63	9,74 $\pm$ 0,82	5,87 $\pm$ 3,45	1,48 $\pm$ 0,40
2-5 cm	0,40 $\pm$ 0,35	0,06 $\pm$ 0,01	1,39 $\pm$ 2,13	0,86 $\pm$ 0,61	8,14 $\pm$ 2,06	7,86 $\pm$ 1,72	3,58 $\pm$ 0,96	1,22 $\pm$ 1,10
5-10 cm	0,20 $\pm$ 0,17	0,77 $\pm$ 0,19	0,38 $\pm$ 0,18	0,74 $\pm$ 0,62	2,84 $\pm$ 1,95	3,73 $\pm$ 0,58	4,26 $\pm$ 1,49	1,25 $\pm$ 0,37
Novembro								
0-2 cm	0,77 $\pm$ 0,41	1,73 $\pm$ 0,36	0,79 $\pm$ 1,27	0,48 $\pm$ 0,43	2,86 $\pm$ 0,94	6,74 $\pm$ 2,30	0,53 $\pm$ 0,36	0,10 $\pm$ 0,05
2-5 cm	0,41 $\pm$ 0,20	0,95 $\pm$ 0,77	0,26 $\pm$ 1,21	0,25 $\pm$ 0,25	4,48 $\pm$ 1,99	5,04 $\pm$ 0,68	1,21 $\pm$ 0,94	0,29 $\pm$ 0,39
5-10 cm	0,18 $\pm$ 0,18	0,83 $\pm$ 0,70	0,34 $\pm$ 0,38	0,73 $\pm$ 0,48	4,66 $\pm$ 2,30	2,01 $\pm$ 0,17	0,84 $\pm$ 0,12	0,15 $\pm$ 0,09

Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

Figura 20: Perfis de feopigmentos dos primeiros 10 cm do sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada da Fortaleza durante os meses amostrados.

Figura 21: Perfis de feopigmentos dos primeiros 10 cm do sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, da Enseada de Ubatuba durante os meses amostrados.

Tabela 13: Feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ desvio-padrão, registrados na coluna sedimentar (10 cm) das estações (Stn) nos meses de coleta.

Feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)								
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	1,01 $\pm$ 0,10	3,10 $\pm$ 1,59	21,92 $\pm$ 12,66	14,69 $\pm$ 11,01	7,49 $\pm$ 2,48	22,81 $\pm$ 5,76	6,50 $\pm$ 3,81	0,36 $\pm$ 0,47
2-5 cm	0,81 $\pm$ 0,19	2,32 $\pm$ 2,06	11,04 $\pm$ 8,53	3,00 $\pm$ 0,97	8,09 $\pm$ 0,53	22,05 $\pm$ 1,47	5,23 $\pm$ 1,75	0,26 $\pm$ 0,33
5-10 cm	0,14 $\pm$ 0,05	3,80 $\pm$ 2,34	2,40 $\pm$ 1,61	5,07 $\pm$ 0,26	7,02 $\pm$ 1,50	12,29 $\pm$ 0,61	6,97 $\pm$ 4,43	0,10 $\pm$ 0,04
Fevereiro								
0-2 cm	0,59 $\pm$ 0,93	8,38 $\pm$ 7,63	1,17 $\pm$ 0,24	6,30 $\pm$ 0,96	5,49 $\pm$ 1,30	8,77 $\pm$ 1,28	12,90 $\pm$ 7,65	8,90 $\pm$ 12,09
2-5 cm	0,39 $\pm$ 0,30	4,38 $\pm$ 1,55	2,32 $\pm$ 1,83	4,81 $\pm$ 1,56	4,90 $\pm$ 2,00	6,23 $\pm$ 2,21	7,65 $\pm$ 0,77	3,48 $\pm$ 4,39
5-10 cm	0,30 $\pm$ 0,23	1,55 $\pm$ 1,17	4,65 $\pm$ 3,40	2,77 $\pm$ 0,48	5,77 $\pm$ 3,36	6,51 $\pm$ 2,57	4,12 $\pm$ 1,56	0,30 $\pm$ 0,09
Abril								
0-2 cm	1,27 $\pm$ 0,13	1,85 $\pm$ 0,32	5,07 $\pm$ 5,54	5,63 $\pm$ 1,28	12,17 $\pm$ 3,28	14,90 $\pm$ 2,18	20,23 $\pm$ 10,99	4,68 $\pm$ 3,11
2-5 cm	0,56 $\pm$ 0,18	3,29 $\pm$ 1,40	5,47 $\pm$ 0,35	7,68 $\pm$ 5,13	6,67 $\pm$ 0,31	10,53 $\pm$ 2,93	5,18 $\pm$ 7,49	3,24 $\pm$ 0,89
5-10 cm	0,25 $\pm$ 0,24	4,21 $\pm$ 2,03	4,74 $\pm$ 2,96	5,85 $\pm$ 3,41	6,25 $\pm$ 0,94	8,67 $\pm$ 1,67	4,64 $\pm$ 5,59	7,18 $\pm$ 1,72
Junho								
0-2 cm	1,09 $\pm$ 0,40	1,34 $\pm$ 0,26	2,85 $\pm$ 1,48	3,97 $\pm$ 0,38	24,19 $\pm$ 5,97	20,80 $\pm$ 5,94	2,55 $\pm$ 2,85	1,08 $\pm$ 0,25
2-5 cm	0,93 $\pm$ 0,75	0,88 $\pm$ 0,78	4,86 $\pm$ 4,16	3,29 $\pm$ 1,06	16,70 $\pm$ 6,94	16,85 $\pm$ 6,44	5,01 $\pm$ 6,63	1,10 $\pm$ 0,41
5-10 cm	0,12 $\pm$ 0,14	3,51 $\pm$ 1,57	3,92 $\pm$ 2,29	3,73 $\pm$ 0,17	9,57 $\pm$ 3,50	13,01 $\pm$ 1,27	4,51 $\pm$ 2,88	0,68 $\pm$ 0,23
Agosto								
0-2 cm	0,81 $\pm$ 0,15	1,23 $\pm$ 0,03	6,94 $\pm$ 9,32	4,20 $\pm$ 1,00	12,45 $\pm$ 1,22	10,06 $\pm$ 2,11	11,19 $\pm$ 6,96	0,70 $\pm$ 0,83
2-5 cm	0,72 $\pm$ 0,30	1,20 $\pm$ 0,64	5,98 $\pm$ 7,77	4,73 $\pm$ 0,93	6,20 $\pm$ 1,24	10,18 $\pm$ 1,80	8,01 $\pm$ 1,59	1,90 $\pm$ 1,96
5-10 cm	0,54 $\pm$ 0,29	5,76 $\pm$ 1,83	2,66 $\pm$ 1,67	6,37 $\pm$ 2,69	5,15 $\pm$ 0,20	6,43 $\pm$ 1,24	7,42 $\pm$ 1,85	2,43 $\pm$ 2,13
Novembro								
0-2 cm	0,30 $\pm$ 0,31	8,84 $\pm$ 1,74	4,48 $\pm$ 0,60	4,79 $\pm$ 2,36	5,82 $\pm$ 1,35	17,14 $\pm$ 7,07	2,51 $\pm$ 1,70	0,53 $\pm$ 0,67
2-5 cm	0,84 $\pm$ 0,53	6,13 $\pm$ 3,86	3,85 $\pm$ 1,18	2,86 $\pm$ 0,54	7,23 $\pm$ 2,19	10,91 $\pm$ 0,79	4,27 $\pm$ 3,34	1,20 $\pm$ 1,60
5-10 cm	0,54 $\pm$ 0,65	6,29 $\pm$ 3,90	4,32 $\pm$ 0,15	3,44 $\pm$ 0,29	8,23 $\pm$ 1,37	8,80 $\pm$ 0,32	3,96 $\pm$ 1,16	3,39 $\pm$ 5,61

Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

5.2.5. Cloropigmentos

A quantidade de cloropigmentos (CPE) é calculada através da soma das concentrações de clorofila-a e feopigmentos. Estes dados podem ser interpretados como medidas de aportes de fitodetrritos (Pfannkuche et al., 2000). Em todos os períodos, o acúmulo de fitodetrritos foi maior na EU do que na EF. Na EU, observou-se que, em dezembro de 2004 (início do verão, Figura 22A), a maior concentração de CPE foi encontrada no centro da enseada (Stn 06). Já em fevereiro de 2005 (fim do verão, Figura 22B), a concentração de CPE da estação central 06 diminuiu e a concentração da Stn 08, mais externa, aumentou 8 vezes, indicando um transporte de materiais orgânicos do centro em direção à parte externa da enseada. Na Figura 22C, representando os resultados de abril de 2005 (outono), o maior acúmulo de fitodetrritos da EU foi observado na estação mais próxima da costa (i.e. Stn 05). Em junho de 2005 (início do inverno, Figura 22D), as estações externas 07 e 08 da EU apresentaram uma diminuição das concentrações de CPE e aumento nas estações internas 05 e 06, indicando um transporte de CPE em direção a estes locais. Nesta mesma enseada, em agosto de 2005 (fim do inverno, Figura 22E), houve a transferência de fitodetrritos para as estações 07 e 08. Em novembro de 2005 (Figura 22F), os valores de CPE apresentaram-se elevados no centro da EU, padrão similar ao encontrado em dezembro de 2004. Na EF, valores mais baixos de concentração de fitodetrritos foram registrados. Mesmo assim, a dinâmica da deposição de fitodetrritos foi similar à observada na EU, porém em menores números.

Figura 22: Variações temporais da deposição de cloropigmentos (CPE, $\mu\text{g g}^{-1}$) nas estações da Enseada da Fortaleza e Enseada de Ubatuba. A: dezembro de 2004, B: fevereiro de 2005, C: abril de 2005, D: junho de 2005, E: agosto de 2005 e F: novembro de 2005.

Cont. Figura 22

5.2.6. Biomassa microbiana sedimentar

De modo geral, a EF mostrou menores valores médios integrados de biomassa microbiana sedimentar comparado com a EU, sendo que nessa última enseada, a variabilidade entre as estações e meses foi maior (Figura 23). Na EF, os valores integrados de biomassa microbiana sedimentar apresentaram variações espaciais e temporais na escala de 556,78 a 6133,31 $\mu\text{gC g}^{-1}$, com destaque para as estações 02 e 04, que registraram valores significativamente maiores de biomassa microbiana do que as outras estações, nos meses de fevereiro e junho de 2005 (Figura 23, Tabelas 14 e 15). Nos meses de dezembro de 2004 e agosto de 2005, não foram detectadas diferenças espaciais significativas na EF (Tabela 15). Enquanto que na EU, observou-se valores entre 299,20 e 23669,81 $\mu\text{gC g}^{-1}$ (Tabela 14). Nesta enseada, as estações mais rasas e próximas da costa 05 e 06, apresentaram valores de biomassa microbiana significativamente mais elevados em comparação às demais estações (Figura 23, Tabelas 14 e 15). O pico de biomassa microbiana (23669,81 $\mu\text{gC g}^{-1}$) foi encontrado em novembro de 2005 na Stn 06 (Figura 23, Tabela 14). Já a Stn 08, localizada mais externamente na enseada, manteve baixos valores em relação às outras estações da EU, em todos os meses amostrados (Figura 23).

Figura 23: Valores integrados de biomassa microbiana bêntica ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, na coluna sedimentar (10 cm) registrados durante os meses amostrados na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Cont. Figura 23

Tabela 14: Valores integrados da biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$) dos 10 cm superficiais do sedimento, média $\pm$ desvio-padrão, encontrados nas estações (Stn) durante os meses de coleta.

Valores Integrados - Biomassa Microbiana (0-10 cm)			
	Dezembro	Fevereiro	Abril
Stn 01	414,23 $\pm$ 47,92	2545,66 $\pm$ 377,68	1310,62 $\pm$ 127,44
Stn 02	448,59 $\pm$ 96,18	6133,31 $\pm$ 1418,57	2209,75 $\pm$ 178,58
Stn 03	765,09 $\pm$ 189,51	621,26 $\pm$ 92,54	2036,61 $\pm$ 90,00
Stn 04	563,40 $\pm$ 188,66	556,78 $\pm$ 77,66	1918,82 $\pm$ 92,21
Stn 05	1223,80 $\pm$ 136,88	5515,43 $\pm$ 964,52	2750,89 $\pm$ 275,35
Stn 06	3172,79 $\pm$ 432,19	16174,98 $\pm$ 2788,96	3601,25 $\pm$ 346,18
Stn 07	1625,18 $\pm$ 279,68	4627,77 $\pm$ 931,88	2806,31 $\pm$ 402,12
Stn 08	299,20 $\pm$ 67,48	391,34 $\pm$ 154,24	260,30 $\pm$ 51,63
	Junho	Agosto	Novembro
Stn 01	672,51 $\pm$ 144,50	456,70 $\pm$ 27,78	276,46 $\pm$ 30,71
Stn 02	1077,40 $\pm$ 135,42	654,45 $\pm$ 114,38	997,56 $\pm$ 136,12
Stn 03	942,77 $\pm$ 137,93	638,01 $\pm$ 101,71	1759,68 $\pm$ 528,50
Stn 04	3041,85 $\pm$ 1013,95	728,91 $\pm$ 74,61	1762,32 $\pm$ 225,53
Stn 05	5338,48 $\pm$ 910,19	5950,05 $\pm$ 883,09	5458,01 $\pm$ 1202,65
Stn 06	4139,44 $\pm$ 576,86	8601,85 $\pm$ 621,84	23669,81 $\pm$ 8644,02
Stn 07	<LD $\pm$ <LD	8140,31 $\pm$ 1580,28	1688,46 $\pm$ 216,76
Stn 08	576,85 $\pm$ 124,57	887,36 $\pm$ 200,22	881,08 $\pm$ 138,13

<LD: abaixo do limite de detecção.

Tabela 15: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da concentração da biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$) entre as estações (Stn) das enseadas de Fortaleza e Ubatuba ($n = 12$, cada enseada). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Espacial - Biomassa Microbiana Sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$)			
Mês	Enseada	p	Diferenças (Tukey)
Dezembro	Fortaleza	0,5856	ns
	Ubatuba	0,006*	Stn 05 $\neq$ Stn 06; Stn 06 $\neq$ Stn 07
Fevereiro	Fortaleza	0,0013*	Stn 02 $\neq$ Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,0012*	Stn 05 $\neq$ Stn 06, Stn 08 e Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08
Abril	Fortaleza	0,0453*	Stn 01 $\neq$ Stn 02
	Ubatuba	0,001*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08
Junho	Fortaleza	0,0256	Stn 01 $\neq$ Stn 04
	Ubatuba	0,0111*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 08
Agosto	Fortaleza	0,6160	ns
	Ubatuba	0,0008*	Stn 05, Stn 06 $\neq$ Stn 08 e Stn 07 $\neq$ Stn 08
Novembro	Fortaleza	0,0049*	Stn 01 $\neq$ Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,0049*	Stn 05 $\neq$ Stn 08; Stn 06 $\neq$ Stn 07, Stn 08

ns: valores de p não significativos.

Na EF, variações temporais significativas da biomassa microbiana foram detectadas em todas as estações de coleta (Figura 24, Tabela 16). Nas estações 01 e 02, rasas e próximas da costa, houve uma tendência similar, com valores de biomassa microbiana significativamente maiores principalmente no mês de fevereiro de 2005 (Figura 24, Tabela 16). Os outros meses foram caracterizados por menores valores e menor flutuação da biomassa microbiana. Na EU, por sua vez, não foram observadas diferenças temporais significativas nas estações 05 e 08. Na Stn 06, o valor de biomassa microbiana de fevereiro de 2005 foi significantemente maior que dezembro de 2004, não tendo sido detectadas diferenças nos outros meses (Figura 24, Tabela 16). O pico observado em novembro de 2005 nesta estação apresentou grande desvio-padrão, o que contribuiu para não verificação de diferença significativa no teste estatístico (Figura 24).

Figura 24: Variação temporal da biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, das estações (Stn) na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08) (escalas diferenciadas).

Tabela 16: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$) entre os meses amostrados ($n = 18$). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Temporal - Biomassa Microbiana Sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$)		
Stn	p	Diferenças (Tukey)
1	0,0001*	Dez $\neq$ Fev, Abr; Fev $\neq$ Abr, Jun, Ago, Nov; Abr $\neq$ Ago, Nov
2	0,0001*	Dez $\neq$ Fev, Abr, Jun; Fev $\neq$ Jun, Ago, Nov; Abr $\neq$ Ago
3	0,0051*	Dez, Fev $\neq$ Abr e Abr $\neq$ Ago
4	0,0027*	Dez, Fev $\neq$ Jun; Jun $\neq$ Ago, Nov
5	0,0483*	ns
6	0,0132*	Dez $\neq$ Fev
7	0,0001*	Dez $\neq$ Fev, Ago; Fev $\neq$ Abr, Ago, Nov; Ago $\neq$ Nov
8	0,077	ns

ns: valores de p não significativos. Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

Os perfis verticais de biomassa microbiana da EF foram heterogêneos em todos os períodos (Figura 25, Tabela 17). No entanto, os valores da superfície do sedimento foram um pouco maiores do que os estratos mais profundos da coluna sedimentar, ou seja, com modestas diferenças entre os valores de biomassa microbiana (Figura 25, Tabela 17). Em fevereiro de 2005, a Stn 02 apresentou relativos maiores valores de biomassa microbiana nas camadas de sedimento amostradas (Figura 25). Durante junho de 2005, o perfil vertical da Stn 04 foi o mais alto comparado com as outras estações. Notou-se a presença de picos de biomassa microbiana no interior do sedimento, em fevereiro de 2005 na Stn 01 (5-10 cm) e subsuperficialmente em novembro de 2005, na Stn 03 (2-5 cm) (Figura 25, Tabela 17).

Figura 25: Perfis verticais de biomassa microbiana bêntica ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, encontrados na Enseada da Fortaleza durante os meses amostrados.

Tabela 17: Biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada da Fortaleza.

Enseada da Fortaleza- Biomassa Microbiana Sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$)				
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	139,90 $\pm$ 27,02	92,80 $\pm$ 25,24	196,01 $\pm$ 32,52	319,06 $\pm$ 148,20
2-5 cm	74,28 $\pm$ 5,94	43,86 $\pm$ 8,51	153,80 $\pm$ 15,85	71,38 $\pm$ 18,40
5-10 cm	65,16 $\pm$ 4,80	116,00 $\pm$ 23,27	135,36 $\pm$ 53,29	54,91 $\pm$ 5,14
Fevereiro				
0-2 cm	353,40 $\pm$ 44,05	1673,88 $\pm$ 395,93	157,34 $\pm$ 33,85	154,19 $\pm$ 14,63
2-5 cm	448,37 $\pm$ 39,02	1612,90 $\pm$ 494,29	106,79 $\pm$ 13,57	216,72 $\pm$ 32,48
5-10 cm	607,88 $\pm$ 110,05	816,03 $\pm$ 112,48	121,49 $\pm$ 15,33	31,01 $\pm$ 5,72
Abril				
0-2 cm	401,49 $\pm$ 44,10	576,85 $\pm$ 80,32	516,75 $\pm$ 19,10	509,40 $\pm$ 28,19
2-5 cm	256,96 $\pm$ 21,02	469,47 $\pm$ 41,98	409,16 $\pm$ 15,95	376,44 $\pm$ 18,18
5-10 cm	209,48 $\pm$ 20,72	371,47 $\pm$ 14,12	362,45 $\pm$ 18,79	337,90 $\pm$ 14,70
Junho				
0-2 cm	382,73 $\pm$ 112,61	358,11 $\pm$ 66,07	208,75 $\pm$ 50,50	761,70 $\pm$ 269,56

Cont. Tabela 17

Junho	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
2-5 cm	80,78 ± 7,89	121,20 ± 10,55	167,71 ± 13,46	516,24 ± 20,49
5-10 cm	67,45 ± 8,02	215,00 ± 21,41	192,98 ± 26,90	602,32 ± 113,91
Agosto				
0-2 cm	124,23 ± 10,72	81,97 ± 6,11	191,04 ± 48,62	213,70 ± 20,42
2-5 cm	72,76 ± 2,32	175,87 ± 50,50	116,80 ± 11,89	115,49 ± 9,38
5-10 cm	89,33 ± 5,43	123,47 ± 13,01	108,71 ± 14,10	136,79 ± 16,05
Novembro				
0-2 cm	68,66 ± 8,96	302,19 ± 53,86	160,74 ± 30,72	164,08 ± 14,39
2-5 cm	53,59 ± 4,94	224,98 ± 31,67	671,30 ± 278,02	367,43 ± 84,55
5-10 cm	50,97 ± 5,74	143,16 ± 13,90	236,79 ± 32,30	418,84 ± 33,73

Na EU, foram registrados maiores valores de biomassa microbiana em todos os estratos do sedimento, principalmente nas estações 05 e 06 (mais rasas e próximas da costa) (Figura 26, Tabela 18). Porém, nas estações mais distantes da costa, os perfis de biomassa microbiana apresentaram valores menores. Foi observada uma alta variabilidade da biomassa microbiana na coluna sedimentar em todas as estações e meses, com algumas exceções. Nas estações 05 e 08, foram registrados máximos subsuperficiais de biomassa microbiana nos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2005 (Figura 26, Tabela 18). É importante destacar que, em novembro de 2005, a Stn 06 apresentou os mais altos valores observados durante o período de estudo (Figura 26, Tabela 18).

Figura 26: Perfis verticais de biomassa microbiana bêntica ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, encontrados na Enseada de Ubatuba durante os meses amostrados. Notar escala diferenciada para o mês de novembro 2005.

Tabela 18: Biomassa microbiana sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.

Enseada de Ubatuba - Biomassa Microbiana Sedimentar ($\mu\text{gC g}^{-1}$)				
Dezembro	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	597,80 $\pm$ 69,85	1296,36 $\pm$ 202,58	268,81 $\pm$ 28,85	50,87 $\pm$ 5,98
2-5 cm	222,98 $\pm$ 22,28	547,59 $\pm$ 48,52	250,74 $\pm$ 69,42	109,72 $\pm$ 30,70
5-10 cm	116,61 $\pm$ 13,44	422,02 $\pm$ 62,73	392,11 $\pm$ 58,68	33,50 $\pm$ 6,18
Fevereiro				
0-2 cm	395,89 $\pm$ 55,43	4231,28 $\pm$ 786,77	2590,15 $\pm$ 379,98	97,75 $\pm$ 5,98
2-5 cm	1612,72 $\pm$ 285,73	3859,76 $\pm$ 465,72	647,81 $\pm$ 88,55	168,33 $\pm$ 30,70
5-10 cm	1080,18 $\pm$ 192,20	2461,62 $\pm$ 521,45	426,36 $\pm$ 167,63	16,43 $\pm$ 6,18
Abril				
0-2 cm	1384,21 $\pm$ 87,05	1117,18 $\pm$ 140,64	304,48 $\pm$ 170,01	108,08 $\pm$ 17,64
2-5 cm	377,44 $\pm$ 80,22	650,48 $\pm$ 55,67	64,05 $\pm$ 6,90	42,50 $\pm$ 9,57
5-10 cm	320,20 $\pm$ 27,19	603,34 $\pm$ 48,82	48,04 $\pm$ 4,72	39,52 $\pm$ 4,15

Cont. Tabela 18					
Junho	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08	
0-2 cm	1992,66 ± 291,18	1487,54 ± 219,23	<LD ± <LD	245,25 ± 36,78	
2-5 cm	945,58 ± 158,42	956,46 ± 115,11	<LD ± <LD	186,04 ± 23,68	
5-10 cm	770,98 ± 152,55	486,88 ± 73,99	<LD ± <LD	172,89 ± 20,91	
Agosto					
0-2 cm	1560,02 ± 233,96	2045,60 ± 129,27	2213,85 ± 347,72	147,34 ± 26,20	
2-5 cm	2172,19 ± 294,17	2016,20 ± 131,86	1721,05 ± 113,08	245,22 ± 70,34	
5-10 cm	452,70 ± 83,15	1412,78 ± 117,91	1337,95 ± 425,18	148,88 ± 27,40	
Novembro					
0-2 cm	2007,45 ± 592,08	7648,61 ± 2971,68	304,39 ± 45,64	104,39 ± 10,35	
2-5 cm	835,38 ± 104,25	3208,66 ± 845,69	378,10 ± 31,42	135,83 ± 23,71	
5-10 cm	879,00 ± 181,67	4483,29 ± 1761,53	326,77 ± 49,60	229,18 ± 36,88	

5.2.7. Meiofauna

Variação espacial, temporal e distribuição vertical

A densidade média e integrada da meiofauna variou de 613,6 a 3692,9 ind. 10 cm⁻² entre estações e meses amostrados na EF (Figura 27, Tabela 19). Espacialmente, foram detectadas diferenças significativas em todos os meses de coleta nesta enseada (Tabela 20). A Stn 01 foi a que apresentou as maiores densidades em comparação as outras estações da EF em quase todos os períodos (Figura 27, Tabelas 19 e 20). Em agosto de 2005, foi detectado que a densidade de meiofauna da Stn 01 foi estatisticamente igual às outras estações da EF, exceto a Stn 03 que apresentou valor de densidade significativamente menor que a Stn 01 (Tabelas 20 e 21).

Na EU, a densidade média integrada da meiofauna apresentou valores entre 324 e 1906,76 ind. 10 cm⁻² (Figura 28, Tabela 21). Em dezembro de 2004 e novembro de 2005, não foram detectadas diferenças espaciais significativas na densidade (Tabela 20 e 21). Já em abril de 2005, as estações 06 e 08 foram as que mostraram densidades significativamente maiores (Figura 28, Tabelas 20 e 21). Em agosto de 2005, observou-se outra tendência, as estações externas e mais profundas 07 e 08 apresentaram as maiores densidades do que as demais estações da EU (Figura 28, Tabelas 20 e 21).

Figura 27: Valores integrados da abundância da meiofauna (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar durante dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005 na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Tabela 19: Densidade da meiofauna (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar da Enseada da Fortaleza.

Enseada da Fortaleza - Meiofauna (ind. 10 cm ⁻²)				
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	1995,9 $\pm$ 427,8	630,5 $\pm$ 312,0	977,3 $\pm$ 265,8	694,1 $\pm$ 265,3
2-5 cm	1375,3 $\pm$ 597,3	64,1 $\pm$ 17,5	255,8 $\pm$ 198,8	109 $\pm$ 27,3
5-10 cm	321,7 $\pm$ 182,9	13,4 $\pm$ 4,4	36,7 $\pm$ 21,2	102,6 $\pm$ 85,6
Total	3692,9 $\pm$ 578,5	708,0 $\pm$ 321,4	1269,8 $\pm$ 151,5	905,6 $\pm$ 319,9
Abril	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	1511,7 $\pm$ 178,7	823,4 $\pm$ 181,8	989,5 $\pm$ 209,5	955,7 $\pm$ 124,9
2-5 cm	528 $\pm$ 18,9	85,1 $\pm$ 67,1	167,8 $\pm$ 121,7	113,6 $\pm$ 45,9
5-10 cm	223,8 $\pm$ 105,9	8,7 $\pm$ 5,2	12,8 $\pm$ 7,3	49,5 $\pm$ 24,5
Total	2263,4 $\pm$ 271,6	917,2 $\pm$ 159,6	1170,2 $\pm$ 241,5	1118,9 $\pm$ 160

Cont. Tabela 19

Agosto				
	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	1193,5 ± 443,3	623 ± 201,5	486,6 ± 204,3	1007,6 ± 349,2
2-5 cm	281,5 ± 169,6	79,3 ± 44,4	138,7 ± 64,6	106,6 ± 28,6
5-10 cm	74 ± 14,7	7 ± 4,6	18,6 ± 5,3	29,1 ± 12,4
Total	1549 ± 523,1	709,2 ± 170,9	643,9 ± 159	1143,4 ± 376,4
Novembro				
0-2 cm	852 ± 254,6	562,4 ± 153,4	557,7 ± 13,6	586,2 ± 245,8
2-5 cm	567 ± 136,3	44,3 ± 31,3	51,9 ± 54	65,9 ± 46,7
5-10 cm	234,3 ± 148,5	11,1 ± 9,6	4,1 ± 1	11,7 ± 2
Total	1653,3 ± 368,1	617,7 ± 167,2	613,6 ± 184,5	663,8 ± 285,1

Tabela 20: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da meiofauna (ind. 10 cm⁻²) entre as estações (Stn) das enseadas de Fortaleza e Ubatuba (n = 12, cada enseada). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*). ns: valores de p não significativos.

Variação Espacial - Meiofauna (ind. 10 cm⁻²)			
Mês	Enseada	p	Diferenças (Tukey)
Dezembro	Fortaleza	0,0002*	Stn 01 ≠ Stn 02, Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,3927	ns
Abril	Fortaleza	0,0005*	Stn 01 ≠ Stn 02, Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,0002*	Stn 05 ≠ Stn 06, Stn 08; Stn 06 ≠ Stn 07; Stn 07 ≠ Stn 08
Agosto	Fortaleza	0,0387*	Stn 01 ≠ Stn 03
	Ubatuba	0,001*	Stn 05 ≠ Stn 07, Stn 08; Stn 06 ≠ Stn 07
Novembro	Fortaleza	0,0036*	Stn 01 ≠ Stn 02, Stn 03, Stn 04
	Ubatuba	0,5075	ns

Tabela 21: Densidade da meiofauna (ind. 10 cm⁻²), média ± desvio-padrão, registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.

Enseada de Ubatuba - Meiofauna (ind. 10 cm⁻²)				
Dezembro	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	512,2 ± 112,7	854,9 ± 750,2	364,2 ± 206,6	177,7 ± 32,3
2-5 cm	66,4 ± 39,5	202,8 ± 40,3	84,5 ± 26,5	176 ± 49,8
5-10 cm	28 ± 10,9	43,1 ± 4	62,9 ± 67,2	163,8 ± 87,6
Total	606,6 ± 112	1100,8 ± 749,7	511,7 ± 131,8	517,5 ± 150,4
Abril				
0-2 cm	584,5 ± 109,6	1250,0 ± 299,5	304,8 ± 146,4	1011,1 ± 200,6
2-5 cm	55,4 ± 16,1	206,3 ± 144,9	127,6 ± 15,2	743 ± 98,8
5-10 cm	15,7 ± 13,7	16,3 ± 7,9	101,4 ± 58	146,9 ± 74,8
Total	655,6 ± 89,5	1472,6 ± 151,9	533,8 ± 105,9	1900,9 ± 293,8

Cont. Tabela 21

Agosto				
	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
0-2 cm	251,2 ± 58,8	565,9 ± 232,5	1055,9 ± 247,9	922,5 ± 102,6
2-5 cm	58,9 ± 31,5	282,1 ± 197,9	785 ± 636,8	681,2 ± 186,9
5-10 cm	14 ± 8	33,2 ± 36,3	65,9 ± 49,7	292 ± 62,5
Total	324 ± 75,3	881,1 ± 43,7	1906,8 ± 718,6	1895,7 ± 352,1
Novembro				
0-2 cm	518,1 ± 126,9	678,3 ± 245,9	813,5 ± 257,5	372,4 ± 130,3
2-5 cm	123,5 ± 57,7	244,8 ± 22,3	132,3 ± 6,1	251,7 ± 230,5
5-10 cm	22,1 ± 4	24,5 ± 12,2	17,5 ± 5,2	211 ± 210,7
Total	663,8 ± 173,3	947,6 ± 212,1	963,3 ± 260	835,1 ± 342,6

Em relação à variação temporal, não foram observadas diferenças significativas nas estações 02 e 04 da EF (Figura 28, Tabela 22). Na Stn 01, foi registrada uma densidade significativamente maior em dezembro de 2004, comparado aos outros meses amostrados, que apresentaram um decréscimo nos valores de densidade, de abril a novembro de 2005 (Figura 28, Tabela 22). Na Stn 03, foi observado que, em dezembro de 2004 e abril de 2005, foram os meses com densidades significativamente maiores do que os outros meses (Figura 28, Tabela 22). Por outro lado, observou-se uma tendência diferente na EU (Figura 23). Maiores densidades foram encontradas principalmente em abril e agosto de 2005, exceto para a Stn 05 (Figura 28, Tabela 22). Nestes meses, as densidades foram significantemente maiores nas estações 07 e 08 em relação aos demais meses amostrados (Figura 28, Tabela 22). Na Stn 06, não houve diferenças temporais significativas (Figura 28, Tabela 22).

Figura 28: Variação temporal dos valores integrados da densidade da meiofauna (ind. 10 cm⁻²), média ± desvio-padrão, das estações (Stn) na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08) (escalas diferenciadas).

Tabela 22: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da meiofauna (ind. 10 cm⁻²) entre os meses amostrados (n = 18). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Temporal – Meiofauna (ind. 10 cm⁻²)		
Stn	p	Diferenças (Tukey)
1	0,0019*	Dez ≠ Abr, Ago, Nov
2	0,4271	ns
3	0,0048*	Dez, Abr ≠ Ago, Nov
4	0,2424	ns
5	0,0238*	Abr ≠ Ago; Ago ≠ Nov
6	0,1834	ns
7	0,0081*	Dez, Abr ≠ Ago
8	0,0021*	Dez ≠ Abr, Ago; Abr ≠ Nov; Ago ≠ Abr

ns: valores de p não significativos. Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

Em geral, houve uma diminuição na abundância de organismos da meiofauna com o aumento da profundidade da coluna sedimentar em ambas as enseadas e durante todo o período de estudo. Na EF, a Stn 01 destacou-se por apresentar maiores densidades de meiofauna em todos os estratos do sedimento e em todos os meses de amostragem (Figura 29, Tabela 19). Cabe ressaltar também que esta estação exibiu valores relativamente altos da densidade de meiofauna até camadas mais profundas da coluna sedimentar comparando-se com a distribuição vertical da meiofauna nas outras estações (Figura 29, Tabela 19). Em novembro de 2005, registraram-se valores de densidade relativamente menores em todos os estratos e estações nos sedimentos da EF (Figura 29, Tabela 19).

Em dezembro de 2004, as estações 05, 06 e 07 da EU apresentaram uma maior heterogeneidade na distribuição vertical de indivíduos da meiofauna, com maiores abundâncias na superfície do sedimento e um decréscimo no número de indivíduos no interior da coluna sedimentar (Figura 29, Tabela 21). Em contraste, a Stn 08 apresentou, neste mês, valores de abundâncias similares nos estratos da coluna sedimentar (Figura 29, Tabela 21). Em abril de 2005, as estações 05, 06 e 07, novamente houve maiores abundâncias na superfície do sedimento. Neste período, foram verificados valores de abundância relativamente maiores na Stn 08 no estrato intermediário (2-5 cm) e mais profundo (5-10 cm) do sedimento (Figura 29, Tabela 21). Em agosto de 2005, foram encontrados maiores valores de meiofauna na Stn 07 em quase todos os estratos da coluna sedimentar na EU (Figura 29, Tabela 21). Neste mês, foram ainda observados os segundos maiores valores de densidade da meiofauna nos estratos do sedimento da Stn 08 (Figura 29, Tabela 21). Em novembro de 2005, as abundâncias foram menores em todas as estações, principalmente na superfície do sedimento (Figura 29, Tabela 21).

Figura 29: Distribuição vertical da meiofauna, média $\pm$ desvio-padrão, nos períodos de dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005 nas estações de coleta na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Composição faunística da meiofauna

O grupo taxonômico dominante em todas as estações e meses de amostragem foi Nematoda, seguido de Copepoda (náuplios inclusos) (Tabelas 23 e 24). Os outros grupos encontrados foram pouco representativos em relação ao total de organismos da meiofauna (Tabelas 19, 21 e 24). Dentre estes, ocorreram, em ordem decrescente de abundância: Polychaeta, Bivalvia, Kinorhyncha, Foraminifera, Ostracoda, Acari, Cnidaria, Tardigrada, Isopoda, Mystacocarida, Ophiuroidea e Asteroidea. É importante ressaltar que muitos destes grupos constituíram-se de recrutas da macrofauna (i.e. Polychaeta, Bivalvia, Ophiuroidea, Asteroidea), sendo que Polychaeta e Bivalvia foram um pouco mais abundantes durante os meses de abril e agosto de 2005 (Tabela 24).

Como a maior parte da meiofauna total foi constituída pelo grupo Nematoda, estes organismos apresentaram a mesma tendência de variação observada para a densidade da meiofauna total, tanto espacialmente como temporalmente (Figuras 27 e 30). A densidade do grupo Nematoda variou de 279,7 a 3640,4 ind. 10 cm⁻² (Figura 30, Tabela 23). Na EF, a Stn 01, mais rasa e próxima da costa, apresentou as maiores densidades em todos os meses de amostragem (Figura 30, Tabela 23). O oposto foi observado na EU, onde a Stn 05, também a mais rasa e próxima da costa, foi a que registrou as menores densidades de Nematoda em quase todos os meses amostrados (Figura 30, Tabela 23). Dentre as demais estações desta enseada, destacaram-se as estações mais externas 07 e 08 com maiores densidades de Nematoda no mês de agosto de 2005 (Figura 30, Tabela 23).

Figura 30: Valores integrados da abundância de Nematoda (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar durante dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005 na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Cont. Figura 30

Tabela 23: Densidade dos grupos Nematoda e Copepoda (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, registrados nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar nos meses de coleta.

Dezembro de 2004			Abril de 2005	
Stn	Nematoda	Copepoda	Nematoda	Copepoda
1	3640,4 $\pm$ 1183,4	1,7 $\pm$ 1,7	2236,6 $\pm$ 300,7	3,5 $\pm$ 1,7
2	674,2 $\pm$ 334,9	1,7 $\pm$ -	886,9 $\pm$ 251,7	9,3 $\pm$ 4,4
3	1068,8 $\pm$ 395,4	23,9 $\pm$ 17,2	1126,5 $\pm$ 345,3	4,7 $\pm$ 1
4	809,4 $\pm$ 339,7	16,3 $\pm$ 19,3	1046,0 $\pm$ 186,8	32,6 $\pm$ 4
5	567,6 $\pm$ 149,4	7,6 $\pm$ 6,1	419,0 $\pm$ 151	159,1 $\pm$ 46
6	990,1 $\pm$ 699,9	31,5 $\pm$ 36,1	1264,6 $\pm$ 380,4	70,5 $\pm$ 19,2
7	458,6 $\pm$ 276,1	0,6 $\pm$ 1,0	494,8 $\pm$ 217,7	6,4 $\pm$ 1
8	386,4 $\pm$ 253,3	81,0 $\pm$ 71,8	1791,4 $\pm$ 375,9	8,7 $\pm$ 5,2
Agosto de 2005			Novembro de 2005	
Stn	Nematoda	Copepoda	Nematoda	Copepoda
1	1522,1 $\pm$ 625,3	4,1 $\pm$ 2,7	1609,6 $\pm$ 546,1	8,2 $\pm$ 2
2	662,0 $\pm$ 240,6	3,5 $\pm$ 3	578,7 $\pm$ 183,1	8,2 $\pm$ 7,1
3	589,2 $\pm$ 264,4	12,2 $\pm$ 7	583,3 $\pm$ 185,8	2,9 $\pm$ 2
4	1017,5 $\pm$ 360,9	39,6 $\pm$ 18,2	610,7 $\pm$ 281,1	16,9 $\pm$ 10,7
5	279,7 $\pm$ 83,8	7 $\pm$ 4,6	583,9 $\pm$ 182,9	15,7 $\pm$ 9,3
6	759,9 $\pm$ 362,9	43,7 $\pm$ 37,9	881,1 $\pm$ 279,3	18,1 $\pm$ 2
7	1844,4 $\pm$ 903,8	9,3 $\pm$ 3,6	921,3 $\pm$ 254,7	2,9 $\pm$ 3,6
8	1838,6 $\pm$ 324,6	8,2 $\pm$ 4,6	302,4 $\pm$ 163,3	257,6 $\pm$ 237,3

As densidades do grupo Copepoda foram menores do que as observadas para Nematoda (Tabela 23). Densidades entre 0,6 e 257,6 ind. 10 cm⁻² foram encontradas para estes organismos, sendo os maiores valores registrados na EU em comparação com a EF (Figura 31, Tabela 23). Na EF, a variabilidade da densidade de Copepoda foi menor, porém a Stn 04 se destacou por ter demonstrado maiores densidades em todos os meses. Na EU, as

estações 05 e 08 apresentaram os máximos das densidades de Copepoda em abril e novembro de 2005, respectivamente (Figura 31, Tabela 23).

Figura 31: Valores integrados da abundância de Copepoda (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar em dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005 na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08). Escala diferenciada para o mês de novembro de 2005.

A densidade dos grupos Polychaeta e Bivalvia variou de 0,6 a 58,9 ind. 10 cm⁻² (Tabela 24). Observando-se a média das densidades de Polychaeta entre as estações de coleta, pode-se notar que agosto de 2005 foi o mês que apresentou a maior densidade média em relação aos outros meses de amostragem (Tabela 24). Especialmente, não foram verificadas grandes variações das densidades dos grupos Polychaeta e Bivalvia da costa em direção ao largo, em ambas as enseadas. Contudo, a Stn 08 no mês de novembro, destacou-se por apresentar comparativamente a mais alta densidade de Polychaeta (Tabela 24).

Tabela 24: Densidade dos grupos Polychaeta e Bivalvia (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, registrados nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar nos meses de coleta.

Stn	Dezembro de 2004		Abril de 2005	
	Polychaeta	Bivalvia	Polychaeta	Bivalvia
1	22,1 $\pm$ 18,9	6,4 $\pm$ 5,3	7 $\pm$ 2	1,7 $\pm$ 1,7
2	4,7 $\pm$ 2	2,9 $\pm$ 2	5,8 $\pm$ 5,6	- -
3	13,4 $\pm$ 14,8	4,7 $\pm$ 4,6	21,0 $\pm$ 8,7	6,4 $\pm$ 2,7
4	12,2 $\pm$ 14,6	11,7 $\pm$ 8,1	9,9 $\pm$ 9,3	2,3 $\pm$ 2,7
5	15,7 $\pm$ 16,2	1,7 $\pm$ 3	8,7 $\pm$ 7,1	0,6 $\pm$ 1
6	5,2 $\pm$ 7,1	1,7 $\pm$ 3	11,1 $\pm$ 9,9	3,5 $\pm$ 4
7	4,1 $\pm$ 4,5	6,4 $\pm$ 10,1	7,0 $\pm$ 9,3	0,6 $\pm$ 1
8	4,1 $\pm$ 1	9,3 $\pm$ 5,3	29,1 $\pm$ 11,7	7 $\pm$ 6,7
média	10,2 $\pm$ 9,9	5,6 $\pm$ 5,2	12,5 $\pm$ 8	2,8 $\pm$ 2,5
Stn	Agosto de 2005		Novembro de 2005	
	Polychaeta	Bivalvia	Polychaeta	Bivalvia
1,0	11,7 $\pm$ 7,1	1,2 $\pm$ 1	4,1 $\pm$ 4,6	6,4 $\pm$ 5
2,0	14,6 $\pm$ 6,4	4,1 $\pm$ 4	3,5 $\pm$ 4,8	1,2 $\pm$ 2
3,0	17,5 $\pm$ 9,7	1,2 $\pm$ 1	3,5 $\pm$ 3	0,6 $\pm$ 1
4,0	25,1 $\pm$ 11,9	4,1 $\pm$ 2,7	6,4 $\pm$ 2,7	0,6 $\pm$ 1
5,0	13,4 $\pm$ 10,9	2,9 $\pm$ 2	16,9 $\pm$ 9	2,9 $\pm$ 2,7
6,0	7 $\pm$ 8,1	2,3 $\pm$ 2,8	3,5 $\pm$ 3,7	1,2 $\pm$ 1
7,0	22,7 $\pm$ 13,1	2,3 $\pm$ 2,7	13,4 $\pm$ 6,6	1,7 $\pm$ 3
8,0	16,3 $\pm$ 11,4	4,1 $\pm$ 4,5	58,9 $\pm$ 61,1	3,5 $\pm$ 3,8
média	16 $\pm$ 9,8	2,8 2,6	13,8 $\pm$ 11,9	2,3 $\pm$ 2,4

Verticalmente, o grupo Nematoda apresentou a mesma tendência observada para a distribuição vertical das densidades da meiofauna total (ver Figura 29), pois os mesmos foram os organismos mais representativos em relação aos demais grupos da meiofauna. O grupo Copepoda, ao contrário, esteve concentrado na superfície do sedimento em todas as estações e meses de coleta, com maiores densidades no interior da coluna sedimentar somente nos meses de dezembro de 2004 e novembro de 2005 na EU (Figura 32).

Figura 32: Distribuição vertical de Copepoda (ind. 10 cm⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, das estações (Stn) da Enseada de Ubatuba nos meses de dezembro 2004 e novembro 2005, quando foram observadas as densidades relativamente mais altas desse grupo até maiores profundidades do sedimento.

5.2.8. Macrofauna

Varição espacial, temporal e distribuição vertical

A densidade média integrada da macrofauna apresentou valores entre 317 e 4351,6 ind. m⁻² na EF, (Figura 33, Tabela 25). Nesta enseada, diferenças espaciais significativas foram detectadas somente no mês de novembro de 2005, quando a Stn 02 apresentou densidades significativamente menores que a Stn 01 (Tabelas 25 e 26). Na EU, as densidades médias integradas variaram de 201,7 a 3688,8 ind. m⁻² (Figura 33, Tabela 27). Foram detectadas diferenças significativas na densidade da macrofauna entre as estações desta enseada em todos os meses estudados, exceto em dezembro de 2004 e agosto de 2005 (Tabelas 26 e 27). Na EU, em abril e novembro 2005, observaram-se tendências opostas (Figura 33, Tabelas 26 e 27). Em abril de 2005, a densidade de macrofauna da Stn 08 foi significativamente maior que a Stn 05, já em novembro de 2005 a Stn 08 foi significativamente menor que a Stn 05 (Tabelas 26 e 27).

Figura 33: Valores integrados da abundância da macrofauna (ind. m⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar das estações de coleta na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08) nos meses amostrados.

Tabela 25: Densidade da macrofauna (ind. m⁻²), média ± desvio-padrão, registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada da Fortaleza.

Enseada da Fortaleza - Macrofauna (ind. m⁻²)				
Dezembro	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04
0-2 cm	749,3 ± 492,9	662,8 ± 218,5	403,5 ± 523,5	576,4 ± 420,1
2-5 cm	461,1 ± 513,5	144,1 ± 144,1	144,1 ± 203,8	345,8 ± 361,7
5-10 cm	374,6 ± 193,3	57,6 ± 78,9	172,9 ± 187,9	489,9 ± 241,1
Total	1585 ± 977,3	864,6 ± 288,2	720,5 ± 420,1	1729,1 ± 1034,1
Abril				
0-2 cm	2017,3 ± 1497,5	979,8 ± 694	3170 ± 1967,8	1585 ± 628,1
2-5 cm	489,9 ± 710,3	576,4 ± 288,2	1354,5 ± 361,7	835,7 ± 373
5-10 cm	489,9 ± 361,7	317 ± 157,8	172,9 ± 187,9	288,2 ± 101,9
Total	2997,1 ± 1131,8	1873,2 ± 982,6	4351,6 ± 2212,2	2708,9 ± 716,1
Agosto				
0-2 cm	2247,8 ± 633	1613,8 ± 1075,4	835,7 ± 425	1066,3 ± 710,3
2-5 cm	432,3 ± 203,8	518,7 ± 415,1	489,9 ± 361,7	749,3 ± 257,8
5-10 cm	201,7 ± 193,3	57,6 ± 78,9	144,1 ± 101,9	547,6 ± 373
Total	2881,8 ± 858,5	2190,2 ± 860,9	1469,7 ± 686,5	2363,1 ± 649,2
Novembro				
0-2 cm	634 ± 261,8	57,6 ± 78,9	547,6 ± 533,3	288,2 ± 176,5
2-5 cm	489,9 ± 361,7	115,3 ± 120,6	345,8 ± 164,3	374,6 ± 78,9
5-10 cm	144,1 ± 101,9	144,1 ± 249,6	144,1 ± -	259,4 ± 295,3
Total	1268 ± 213,7	317 ± 236,8	1037,5 ± 639,5	922,2 ± 361,7

Tabela 26: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da macrofauna (ind. m⁻²) entre as estações das enseadas de Fortaleza e Ubatuba (n = 12, cada enseada). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Espacial – Macrofauna (ind. m⁻²)			
Mês	Enseada	p	Diferenças (Tukey)
Dezembro	Fortaleza	0,122	ns
	Ubatuba	0,1464	ns
Abril	Fortaleza	0,0748	ns
	Ubatuba	0,014*	Stn 05 ≠ Stn 08
Agosto	Fortaleza	0,0681	ns
	Ubatuba	0,1244	ns
Novembro	Fortaleza	0,0113*	Stn 01 ≠ Stn 02
	Ubatuba	0,0125*	Stn 05 ≠ Stn 08

ns: valores de p não significativos.

Tabela 27: Densidade da macrofauna (ind. m⁻²), média ± desvio-padrão, registrada nos 10 cm superficiais da coluna sedimentar na Enseada de Ubatuba.

Enseada de Ubatuba - Macrofauna (ind. m⁻²)					
Dezembro	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08	
0-2 cm	1123,9 ± 836,5	288,2 ± 203,8	835,7 ± 412,6	1181,6 ± 907,9	
2-5 cm	489,9 ± 193,3	259,4 ± 187,9	1037,5 ± 778,6	288,2 ± 407,6	
5-10 cm	144,1 ± 101,9	201,7 ± 241,1	288,2 ± 269,6	57,6 ± 128,9	
Total	1757,9 ± 952,5	749,3 ± 328,6	2161,4 ± 1252	1527,4 ± 926	
Abril					
0-2 cm	259,4 ± 120,6	374,6 ± 361,7	951,0 ± 931,6	1815,6 ± 1146,4	
2-5 cm	374,6 ± 415,1	1354,5 ± 544,9	864,6 ± 337,9	1066,3 ± 745,9	
5-10 cm	259,4 ± 187,9	288,2 ± 499,2	403,5 ± 277,2	259,4 ± 120,6	
Total	893,4 ± 373	2017,3 ± 713,2	2219,0 ± 948,2	3141,2 ± 1409,6	
Agosto					
0-2 cm	778,1 ± 298,8	518,7 ± 164,3	1268 ± 723,3	2334,3 ± 1697	
2-5 cm	806,9 ± 505,4	1008,6 ± 548,7	951 ± 298,8	1239,2 ± 389,3	
5-10 cm	345,8 ± 389,3	1354,5 ± 641,2	461,1 ± 412,6	115,3 ± 64,4	
Total	1930,8 ± 1066,7	2881,8 ± 576,4	2680,1 ± 315,7	3688,8 ± 2052	
Novembro					
0-2 cm	720,5 ± 894,1	172,9 ± 120,6	172,9 ± 64,4	144,1 ± 144,1	
2-5 cm	288,2 ± 227,8	403,5 ± 513,5	259,4 ± 277,2	- ± -	
5-10 cm	172,9 ± 64,4	115,3 ± 120,6	317 ± 236,8	57,6 ± 78,9	
Total	1181,6 ± 830,3	691,6 ± 399,8	749,3 ± 412,6	201,7 ± 78,9	

Em relação à variação temporal, foram detectadas diferenças significativas em todas as estações da EF (Figura 34, Tabela 28). Nas estações 01 e 04, densidades significativamente maiores foram registradas em abril e agosto de 2005 (Figura 34, Tabela 28). As estações 02 e 03 da EF mostraram que as densidades da macrofauna foram significantemente menores em novembro e maiores em abril de 2005, respectivamente (Figura 34, Tabela 28). Na EU, a Stn 05 foi a única que não apresentou variação temporal significativa (Tabela 28). As demais estações da EU apresentaram densidades significativamente maiores nos meses de abril e agosto de 2005 e menores nos meses de dezembro de 2004 e novembro de 2005 (Figura 34, Tabela 28).

Figura 34: Variação temporal dos valores integrados da densidade da macrofauna (ind. m⁻²), média $\pm$ desvio-padrão, nas estações (Stn) da Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Tabela 28: Resultados da análise estatística ANOVA referentes à comparação da densidade da macrofauna (ind. m⁻²) das estações (Stn) entre os meses amostrados (n = 18). Os valores de p são considerados significativos abaixo de 0,05 (*).

Variação Temporal – Macrofauna (ind. m ⁻²)		
Stn	p	Diferenças (Tukey e SNK)
1	0,0109*	Abr, Ago $\neq$ Nov
2	0,0002*	Dez, Abr, Ago $\neq$ Nov
3	0,0005*	Dez $\neq$ Abr; Abr $\neq$ Ago, Nov
4	0,0073*	Abr, Ago $\neq$ Nov
5	0,2185	ns
6	0,0001*	Dez $\neq$ Abr, Ago; Abr, Ago $\neq$ Nov
7	0,008*	Abr, Ago $\neq$ Nov
8	0,0001*	Dez $\neq$ Abr, Ago, Nov; Abr, Ago $\neq$ Nov

ns: valores de p não significativos. Dez: dezembro 2004, Fev: fevereiro 2005, Abr: abril 2005; Jun: junho 2005; Ago: agosto 2005; Nov: novembro 2005.

A distribuição vertical dos organismos da macrofauna apresentou grandes variações entre estações e meses de amostragem (Figura 35). Na EF, os menores valores de densidade observados nos estratos do sedimento foram registrados nos meses de novembro de 2005 e dezembro de 2004 (Figura 35, Tabela 25). Nestes meses, as densidades dos estratos da coluna sedimentar foram similares, ou seja, apresentaram uma distribuição vertical relativamente homogênea no sedimento da EF (Figura 35, Tabela 25). Nesta mesma enseada, a distribuição vertical da densidade da macrofauna foi estratificada nos meses de abril e agosto de 2005, com maiores valores na superfície do sedimento, principalmente em abril de 2005 (Figura 35, Tabela 25). Por outro lado, não foram observadas estratificações marcadas na distribuição vertical das densidades de macrofauna na EU, exceto nas estações 05 e 08 (Figura 35, Tabela 28). Em abril e agosto de 2005, foram encontradas maiores densidades até estratos mais profundos da coluna sedimentar na EU, com máximos subsuperficiais na Stn 06, em ambos os

meses (Figura 35, Tabela 27). Em novembro de 2005, como observado também na EF, as densidades foram as menores registradas durante o período de estudo (Figura 35, Tabela 27).

Figura 35: Distribuição vertical da macrofauna, média $\pm$ desvio-padrão, no período de dezembro 2004, abril, agosto e novembro 2005 nas estações de coleta na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08).

Cont. Figura 35

Composição da macrofauna

O grupo que apresentou a maior abundância relativa entre as estações e meses de amostragem foi Polychaeta (40 a 90% do total de indivíduos) (Figura 36). O segundo grupo da macrofauna mais abundante foi Mollusca, seguido de Crustacea (Figura 36). Echinodermata foi o grupo com menor porcentagem relativa em relação ao total de indivíduos amostrados (Figura 36). Outros grupos menos abundantes e, portanto, menos representativos, incluíram os Platyhelminthes, Nemertea, Sipuncula, Echiura e Hemichordata (Figura 36).

Figura 36: Abundância relativa dos grandes grupos da macrofauna nas estações de coleta e períodos amostrados. Outros = Nemertea, Sipuncula e Hemichordata.

Cont. Figura 36

A determinação dos grupos tróficos de acordo com Fauchald & Jumars (1979) foi realizada somente com o grupo Polychaeta (ver Tabela com as espécies e os correspondentes grupos tróficos no Anexo II) que, como reportado anteriormente, apresentou maior abundância relativa do total de indivíduos da macrofauna. De modo geral, em ambas as enseadas houve a dominância dos depositívoros (depositívoros de superfície (DS) + depositívoros de subsuperfície (B)) (Figura 37). Em dezembro de 2004, os carnívoros (C) ocorreram em maior porcentagem relativa em comparação aos outros meses, principalmente na Stn 06, seguido dos DS (Figura 37). Já em abril de 2005, o contrário foi observado, com os DS em maiores porcentagens comparadas com os C (Figura 37). Os B também apareceram com abundâncias relativas pouco maiores nesse mês em relação a dezembro, principalmente na Stn 01 (Figura 37). Em novembro de 2005, os DS apresentam as maiores porcentagens, seguido dos C, além disso, os onívoros (O) apareceram com maiores abundâncias relativas, com destaque para a Stn 08 (Figura 37).

Figura 37: Abundância relativa dos grupos funcionais alimentares do grupo Polychaeta (C: carnívoros, B: depositívoros de subsuperfície, DS: depositívoros de superfície e O: onívoros).

Biomassa da macrofauna

A biomassa da macrofauna, peso seco livre de cinzas, apresentou grandes variações espaciais e temporais, com valores entre 138,3 e ~5000 mg m⁻² (Figura 38). Os maiores valores de biomassa foram registrados entre as estações da EF em comparação com a EU (Figura 38). Em dezembro de 2004, a Stn 04 foi a que apresentou maior biomassa da macrofauna, seguido da Stn 02 na EF (Figura 38). Em abril de 2005, as estações mais rasas e próximas da costa, Stn 01 e 02, foram as que demonstraram maiores valores de biomassa de organismos da macrofauna (Figura 38). No entanto, em agosto de 2005, somente a Stn 02 se destacou com alto valor de biomassa. O mês de novembro de 2005 foi o que apresentou menores valores de biomassa da macrofauna em todas as estações em relação aos outros meses (Figura 38).

Figura 38: Biomassa da macrofauna total (peso seco livre de cinzas, mg m^{-2}) nas enseadas da Fortaleza e Ubatuba durante os períodos amostrados.

A biomassa relativa de cada grande grupo da macrofauna, assim como para a biomassa por m^2 , apresentou uma grande variabilidade entre as estações oceanográficas e meses amostrados (Figura 39). Em dezembro de 2004, todas as estações, com exceção das Stn 07 e 08, apresentaram menores porcentagens do grupo Polychaeta em comparação aos demais grupos da macrofauna (Figura 39). Neste mês, o grupo Mollusca constituiu as maiores porcentagens relativas em relação aos outros grupos da macrofauna nas estações internas das enseadas (Stn 01 e 02 da EF e Stn 05 e 06 da EU) (Figura 39). Ainda, em dezembro de 2004, nas estações 03 e 04 da EF, os grupos Echinodermata e Sipuncula foram os mais representativos em termos de biomassa relativa da macrofauna, respectivamente (Figura 39). No mês de abril de 2005, a EF caracterizou-se pelas diferenças de grupos com maiores porcentagens de biomassa (~50-80%) entre as estações (Figura 39). Crustacea foi o que apresentou maior biomassa na Stn 01, enquanto que na Stn 02 foi Echinodermata, e nas Stn 03 e 04, Polychaeta e Sipuncula, respectivamente (Figura 39). Em abril de 2005, o mesmo padrão de dezembro de 2004 foi observado para as estações mais internas da EU, com menor

biomassa de Polychaeta (Figura 39). Porém, em agosto e novembro de 2005, a tendência foi outra, quando quase todas as estações foram marcadas pela alta porcentagem do grupo Polychaeta em relação aos diferentes grupos da macrofauna (Figura 39).

Figura 39: Biomassa relativa dos grandes grupos da macrofauna nas estações de coleta e períodos amostrados. Outros = Sipuncula.

Descritores da comunidade macrobêntica

A riqueza de espécies (S) variou de 4 a 38, com menores valores observados principalmente em novembro e maiores em abril e agosto de 2005 (Tabela 30). A equitatividade (J') variou de 0,6 a 0,96 (Tabela 30), sendo que os menores valores podem estar associados à dominância de algumas espécies. Em geral, a diversidade de espécies (H') apresentou valores de 1,33 a 3,35 nats/ind (H' em $\log_e$), com os maiores índices registrados nas estações de coleta principalmente em dezembro de 2004 e menores em novembro de 2005. (Tabela 29). Em abril de 2005, a Stn 06 apresentou a menor equitatividade e

diversidade de espécies, comparado com as outras estações neste mês, provavelmente devido a presença de altas abundâncias de algumas espécies. O mesmo pode ter ocorrido na Stn 06 durante agosto, mês em que a equitatividade e diversidade de espécies mostraram valores similares aos observados em abril de 2005 (Tabela 29). Em novembro de 2005, apesar da equitatividade ter sido relativamente alta em algumas estações, a riqueza de espécies foram baixas, o que contribuiu para os menores valores da diversidade de espécies (Tabela 29).

Tabela 29: Riqueza de espécies (S), índice de diversidade de espécies (H') e equitatividade (J'), observados nas estações (Stn) durante os meses amostrados.

Descritores da Comunidade Macrobêntica									
Mês	Stn	S	J'	H' (log _e)	Mês	Stn	S	J'	H' (log _e)
Dezembro	1	22	0,95	2,94	Agosto	1	28	0,88	2,92
	2	18	0,93	2,70		2	19	0,79	2,32
	3	12	0,94	2,33		3	13	0,87	2,23
	4	24	0,95	3,02		4	31	0,90	3,08
	5	17	0,89	2,52		5	13	0,88	2,25
	6	13	0,91	2,34		6	17	0,60	1,70
	7	21	0,77	2,35		7	21	0,78	2,39
	8	23	0,92	2,90		8	33	0,83	2,90
Abril	1	23	0,80	2,51	Novembro	1	21	0,92	2,80
	2	16	0,79	2,18		2	6	0,92	1,64
	3	30	0,76	2,58		3	16	0,86	2,38
	4	38	0,92	3,35		4	18	0,93	2,69
	5	16	0,96	2,65		5	15	0,85	2,30
	6	17	0,63	1,78		6	8	0,82	1,70
	7	23	0,86	2,69		7	12	0,90	2,25
	8	27	0,83	2,73		8	4	0,96	1,33

Distribuição das espécies mais abundantes da macrofauna em uma escala temporal e espacial

As espécies da macrofauna encontradas nas estações e nos meses de coleta estão apresentadas no Anexo II. Dentre as espécies consideradas neste estudo como as mais abundantes da macrofauna (>200 ind. m^{-2}), destacaram-se as espécies de poliqueta família Spionidae, *Spiophanes* sp. 1 e da família Paraonidae, *Aricidea* sp. 1, as quais atingiram abundâncias superiores a 1000 ind. m^{-2} nas estações 03 e 06, em abril e agosto de 2005. Os meses de abril e agosto de 2005 foram os que registraram as maiores abundâncias de várias espécies da macrofauna. Nestes meses, a espécie *Spiophanes* sp. esteve representada em abundâncias relativamente maiores, comparado com as outras espécies de poliqueta, em todas as estações da EF. Na EU, *Spiophanes* sp. 1 apareceu nas estações mais externas 07 e 08 e também com maior abundância em abril e agosto de 2005. Nos mesmos meses, a espécie

Aricidea sp. 1 apresentou maiores abundâncias concentradas em quase todas as estações da EU.

Dentre as outras espécies abundantes de poliqueta observadas nas estações da EF, pode-se citar a da família Cirratullidae, *Cirratullidae* sp. 1 e as da família Magelonidae, *Magelona papillicornis*, *Magelona posterolongata*, o capitélídeo *Mediomastus capensis* e o terebelídeo *Thelepus* sp., nos meses de abril e agosto de 2005. Todas estas espécies, exceto *Thelepus* sp. estiveram presentes em maiores abundâncias também na EU, em conjunto com outras espécies de poliquetas carnívoros, como as da família Lumbrineridae, *Lumbrineris tetraura*, *Ninoe brasiliensis* e Pilargidae, *Sigambra grubii* nos meses de abril e agosto de 2005. Além das espécies mais abundantes observadas no grupo Polychaeta, outras espécies mais abundantes da macrofauna pertenceram aos grupos Mollusca e Crustacea.

Os moluscos bivalves da espécie *Tellina* sp. e *Strigilla* sp. foram mais abundantes em abril de 2005 na Stn 01 da EF. A espécie *Tellina* sp. ocorreu novamente com maiores abundâncias em agosto de 2005 na Stn 05 da EU. Nesta enseada, também foram observadas outras espécies de bivalves com maiores abundâncias, como *Tellina versicolor* e *Nucula semiornata* em novembro de 2005.

Dentre os crustáceos, somente uma espécie se destacou em termos de maiores abundâncias, o anfípoda *Ampelisca paria*. Esta espécie ocorreu principalmente na EF, atingindo o pico de abundância em abril de 2005 na Stn 03. Já na EU, esta espécie só ocorreu em grandes números durante abril de 2005 na Stn 08.

5.3. Análises multivariadas

5.3.1. Correlação múltipla de Pearson

Para as análises de correlação múltipla de Pearson os resultados das variáveis mensuradas foram estudados separadamente em 0-2 cm, ou seja, a camada de sedimento correspondente à interface água-sedimento em cada enseada. O objetivo foi verificar o grau de relacionamento entre as variáveis ambientais e biológicas (Tabela 30). Os dados de densidade e biomassa das bactérias estão apresentados no Anexo III.

Tabela 30: Abreviação das variáveis ambientais e organismos bênticos utilizados nas análises multivariadas.

Abreviação	Variável
DM	Diâmetro médio (ϕ)
Prof	Profundidade da coluna de água (m)
MOT	Matéria orgânica total (%)

Cont. Tabela 30

Abreviação	Variável
COT	Carbono orgânico total (%)
S	Enxofre total (%)
N	Nitrogênio total (%)
C/N	Razão carbono orgânico total/nitrogênio total
Clor	Clorofila-a ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Feo	Feopigmentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Feo/Clor	Razão feopigmentos/clorofila
ATP	Biomassa microbiana ($\mu\text{gC g}^{-1}$)
BacBiom	Biomassa bacteriana ($\mu\text{gC g}^{-1}$)
BacDens	Densidade de bactérias (células $\text{g}^{-1} \times 10^6$)
Macro	Macrofauna (ind. m^{-2})
BioMacro	Biomassa macrofauna total (mg m^{-2})
C	Carnívoros (ind. m^{-2})
DS	Depositívoros de superfície (ind. m^{-2})
B	Depositívoros de subsuperfície (ind. m^{-2})
O	Onívoros (ind. m^{-2})
H'	Diversidade de espécies da macrofauna (nats/ind.)
Meio	Meiofauna (ind. 10 cm^{-2})
Nem	Nematoda (ind. 10 cm^{-2})
Cop	Copepoda (ind. 10 cm^{-2})

A Tabela 31 exibe os resultados da análise de correlação para 0-2 cm na EF. Os onívoros não foram incluídos na correlação por serem pouco representativos. Foi verificada a existência de correlação positiva significativa nesta enseada entre a prof, DM, %Finos (silte + argila), S e Cop (ver Tabela 30 para abreviações dos parâmetros). A prof apresentou correlação negativa somente com %Areia (total areia grossa, média, fina e muito fina) (Tabela 31). No entanto, a prof correlacionou-se positivamente com DM, %Finos, S e Cop. O DM esteve correlacionado positivamente com %Finos, S, Feo, BacDens, BacBiom (Tabela 31). Por outro lado, o DM teve correlações negativas significativas com %Areia, Meio e Nem (Tabela 31). A fração granulométrica correspondente a %Areia foi positivamente correlacionada somente com Nem e Macro (Tabela 31). Além disso, a %Areia apresentou correlações negativas significativas com S, C/N, Feo, BacDens e Cop (Tabela 31). A %Finos mostrou correlações significativas exatamente com os mesmos parâmetros que os da %Areia, porém, as correlações positivas foram com S, C/N, Feo, BacDens, Cop, enquanto que as negativas com Nem e Macro (Tabela 31). Os teores de MOT dos sedimentos foram positivamente correlacionados com COT, N, S, Clor e Feo (Tabela 31). Já o COT apresentou correlação positiva com N, S, Clor e Feo. Por sua vez, o N correlacionou-se positivamente com S, e os pigmentos fotossintéticos Clor e Feo (Tabela 31). O constituinte elementar S da

matéria orgânica e a razão C/N correlacionaram-se positivamente somente com Feo e ATP, respectivamente (Tabela 31). Dentre os pigmentos, houve correlação positiva entre a Clor e Feo, além de Feo com a razão Feo/Clor (Tabela 31). Por fim, as principais correlações entre os parâmetros referentes à fauna bêntica incluíram o grupo trófico C com B e DS (Tabela 31).

Em geral, para os dados dos 0-2 cm do sedimento, a EU apresentou maior número de correlações significativas do que a EF (Tabelas 31 e 32). É importante ressaltar que muitos dos padrões de correlações observados na EU foram opostos aos da EF (Tabelas 31 e 32). Na EU, foi verificada correlação positiva da prof somente com %Areia, enquanto que, a prof foi correlacionada negativamente com DM, %Finos, COT, N, S, Clor, BacDens e BacBiom (Tabela 32). O DM esteve positivamente correlacionado com %Finos, COT, N, S, C/N, C/S, Clor, ATP, BacDens e BacBiom (Tabela 32). A %Areia apresentou somente correlações significativas negativas com os parâmetros %Finos, N, S, Clor, Feo, BacDens e BacBiom (Tabela 33). Por outro lado, a soma das frações pelíticas do sedimento, %Finos, correlacionou-se positivamente com todos estes parâmetros e o COT (Tabela 32). O teor de MOT nos sedimentos foi positivamente correlacionado com COT, N, S, Clor, ATP, BacDens e BacBiom (Tabela 32). Os conteúdos de COT, o N e o S do sedimento estiveram correlacionados positivamente com Clor, ATP, BacDens e BacBiom (Tabela 32). Adicionalmente, o COT foi negativamente correlacionado com a BioMacro e o N com a razão Feo/Clor (Tabela 32). Entre as razões calculadas neste estudo, foi detectada correlação negativa entre C/N e Feo/Clor (Tabela 32). Dentre os pigmentos fotossintéticos, a Clor apresentou correlação positiva com Feo, BacDens e BacBiom (Tabela 32). O ATP correlacionou-se positivamente com BacDens e BacBiom (Tabela 32). Ainda, a BacDens foi relacionada positivamente com a BacBiom e negativamente com a Macro (Tabela 32). Já BacBiom foi negativamente correlacionada com a BioMacro (Tabela 32). Dentre os parâmetros referentes à fauna bêntica, as correlações significativas que se destacaram foram as correlações positivas entre Macro e os grupos tróficos C, B e DS (Tabela 32). Os C correlacionaram-se positivamente com DS e BioMacro (Tabela 33). Além disso, os indivíduos B apresentaram correlação positiva com DS e estes últimos com BioMacro (Tabela 32).

Tabela 31: Resultados da análise de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e organismos bênticos nos dois primeiros centímetros do sedimento na Enseada da Fortaleza. Coeficientes de correlação de Pearson significativos (n = 16, p< 0,05) representados em negrito. Abreviações na Tabela 30.

EF	Prof	DM	%Areia	%Finos	MOT	COT	N	S	C/N	Clor	Feo	Feo/Clor	ATP	BacDens	BacBiom	Meio	Nem	Cop	Macro	C	B	DS	BioMacro
Prof	1,00																						
DM	0,63	1,00																					
%Areia	-0,79	-0,82	1,00																				
%Finos	0,79	0,82	-1,00	1,00																			
MOT	0,39	0,83	-0,66	0,66	1,00																		
COT	0,13	0,46	-0,45	0,45	0,62	1,00																	
N	0,15	0,42	-0,46	0,46	0,62	0,98	1,00																
S	0,51	0,60	-0,73	0,73	0,63	0,84	0,83	1,00															
C/N	0,48	0,33	-0,57	0,57	0,42	0,22	0,25	0,42	1,00														
Clor	-0,09	0,39	-0,24	0,24	0,66	0,58	0,55	0,31	0,12	1,00													
Feo	0,23	0,59	-0,58	0,58	0,81	0,69	0,67	0,62	0,19	0,76	1,00												
Feo/Clor	0,36	0,27	-0,43	0,43	0,35	0,28	0,31	0,45	0,04	-0,02	0,58	1,00											
ATP	0,29	0,10	-0,20	0,20	0,26	0,18	0,14	0,32	0,74	0,10	0,13	0,08	1,00										
BacDens	0,17	0,60	-0,59	0,59	0,59	0,31	0,26	0,44	0,27	0,23	0,48	0,18	0,03	1,00									
BacBiom	0,21	0,55	-0,36	0,36	0,49	0,15	0,10	0,27	-0,04	0,16	0,32	0,16	-0,03	0,71	1,00								
Meio	-0,45	-0,53	0,48	-0,48	-0,30	-0,09	-0,05	-0,41	0,07	0,10	-0,25	-0,48	0,09	-0,32	-0,22	1,00							
Nem	-0,49	-0,61	0,54	-0,54	-0,37	-0,15	-0,11	-0,45	0,06	0,04	-0,31	-0,49	0,12	-0,36	-0,24	0,99	1,00						
Cop	0,75	0,48	-0,65	0,65	0,31	0,29	0,26	0,46	0,40	0,20	0,33	0,20	0,26	0,01	0,05	-0,11	-0,14	1,00					
Macro	-0,19	-0,33	0,51	-0,51	-0,19	-0,36	-0,38	-0,37	0,02	-0,15	-0,40	-0,24	0,36	-0,34	0,16	0,34	0,41	-0,16	1,00				
C	0,02	-0,04	0,26	-0,26	-0,26	-0,34	-0,37	-0,35	-0,41	-0,10	-0,29	-0,19	-0,25	-0,43	0,11	0,19	0,18	0,28	0,38	1,00			
B	-0,05	-0,29	0,23	-0,23	-0,38	-0,29	-0,34	-0,23	-0,18	0,00	-0,32	-0,37	-0,05	-0,29	0,14	0,29	0,34	0,26	0,50	0,63	1,00		
DS	0,15	0,06	0,21	-0,21	-0,12	-0,16	-0,22	-0,05	-0,14	-0,29	-0,41	-0,21	0,20	-0,24	0,36	-0,01	0,02	0,13	0,69	0,64	0,49	1,00	
BioMacro	0,49	0,17	-0,12	0,12	0,21	-0,15	-0,08	0,02	0,15	0,02	0,08	0,14	0,30	-0,29	0,08	-0,08	-0,11	0,20	0,23	0,23	0,06	0,32	1,00

Tabela 32: Resultados da análise de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e organismos bênticos nos dois primeiros centímetros do sedimento na Enseada de Ubatuba. Coeficientes de correlação de Pearson significativos (n = 16, p < 0,05) representados em negrito. Abreviações na Tabela 30.

EU	Prof	DM	%Areia	%Finos	MOT	COT	N	S	C/N	Clor	Feo	Feo/Clor	ATP	BacDens	BacBiom	Meio	Nem	Cop	Macro	C	B	DS	BioMacro
Prof	1,00																						
DM	-0,82	1,00																					
%Areia	0,59	-0,75	1,00																				
%Finos	-0,90	0,90	-0,76	1,00																			
MOT	-0,71	0,74	-0,79	0,77	1,00																		
COT	-0,74	0,66	-0,48	0,67	0,60	1,00																	
N	-0,80	0,77	-0,55	0,76	0,63	0,96	1,00																
S	-0,79	0,70	-0,54	0,72	0,66	0,98	0,96	1,00															
C/N	-0,30	0,55	-0,16	0,31	0,24	0,31	0,46	0,32	1,00														
Clor	-0,66	0,72	-0,71	0,72	0,87	0,84	0,84	0,85	0,29	1,00													
Feo	-0,40	0,46	-0,62	0,52	0,76	0,23	0,28	0,30	0,05	0,61	1,00												
Feo/Clor	0,41	-0,68	0,33	-0,49	-0,34	-0,35	-0,55	-0,37	-0,90	-0,37	-0,13	1,00											
ATP	-0,44	0,53	-0,44	0,48	0,18	0,63	0,60	0,58	0,18	0,40	0,13	-0,22	1,00										
BacDens	-0,77	0,82	-0,67	0,81	0,62	0,71	0,70	0,71	0,10	0,68	0,46	-0,22	0,63	1,00									
BacBiom	-0,74	0,86	-0,70	0,79	0,64	0,78	0,79	0,78	0,23	0,76	0,45	-0,35	0,65	0,96	1,00								
Meio	0,06	0,20	-0,38	0,11	0,02	-0,14	-0,07	-0,14	0,21	-0,04	0,14	-0,19	0,11	0,22	0,20	1,00							
Nem	0,06	0,22	-0,34	0,12	-0,03	-0,14	-0,04	-0,15	0,33	-0,04	0,11	-0,31	0,11	0,16	0,16	0,98	1,00						
Cop	-0,21	0,16	-0,33	0,14	0,36	0,17	0,05	0,22	-0,26	0,14	0,22	0,27	0,08	0,35	0,31	0,10	-0,10	1,00					
Macro	0,47	-0,30	0,24	-0,35	-0,36	-0,31	-0,19	-0,34	0,19	-0,25	-0,38	-0,34	-0,36	-0,50	-0,43	0,16	0,26	-0,46	1,00				
C	0,41	-0,20	0,02	-0,26	-0,22	-0,43	-0,29	-0,44	0,13	-0,21	-0,21	-0,28	-0,44	-0,41	-0,36	0,27	0,36	-0,45	0,87	1,00			
B	0,24	-0,17	0,08	-0,10	0,02	-0,16	-0,09	-0,12	0,20	-0,05	0,09	-0,28	-0,34	-0,35	-0,32	0,04	0,06	0,03	0,57	0,36	1,00		
DS	0,48	-0,20	0,17	-0,25	-0,29	-0,22	-0,12	-0,27	0,26	-0,15	-0,23	-0,39	-0,18	-0,40	-0,31	0,24	0,34	-0,49	0,90	0,72	0,55	1,00	
BioMacro	0,34	-0,32	0,31	-0,31	-0,26	-0,52	-0,38	-0,50	0,00	-0,32	-0,06	-0,16	-0,47	-0,49	-0,52	-0,18	-0,08	-0,52	0,70	0,72	0,40	0,50	1,00

5.3.2. Análise de Componentes Principais

Para a análise de componentes principais (PCA) foram utilizados os dados de biomarcadores lipídicos obtidos anteriormente (ver Tabela com concentrações dos compostos lipídicos no Anexo III), no mesmo projeto (Projeto DIAGEN), por Yoshinaga (2006) e Camila Ortulan (comunicação pessoal), em conjunto com os dados usados neste estudo para a determinação da qualidade da matéria orgânica sedimentar (matéria orgânica total - MOT, razão C/N, razão Feo/Clor, clorofila-a, feopigmentos, biomassa microbiana e bacteriana). As PCAs foram conduzidas com resultados referentes à camada superficial do sedimento (0-2 cm) para os meses de fevereiro e agosto de 2005, correspondentes ao final do verão e final do inverno. Os biomarcadores lipídicos utilizados nestas análises foram escolhidos em função da maior contribuição relativa de cada composto em cada classe lipídica identificada. As componentes PC1 e PC2 foram selecionadas para interpretar as relações entre as variáveis e estações de coleta. Em um primeiro passo da PCA, gráficos dos *loadings* (coeficientes de correlação entre cada variável e cada componente principal) das variáveis do PC1 versus PC2 foram construídos. O segundo passo da PCA foi confirmar a influência relativa de cada componente principal na composição da matéria orgânica de cada estação de amostragem, representando o PC1 e PC2 dos *scores* em gráficos (Zimmerman & Canuel, 2001; Dai & Sun, 2007). O objetivo destas análises foi verificar se as variáveis empregadas para a caracterização da matéria orgânica sedimentar neste estudo foram eficientes para classificação quanto à qualidade, ou seja, reatividade e fontes. Os principais compostos lipídicos indicadores de possíveis fontes da matéria orgânica pertencentes aos ácidos graxos e esteróis utilizados nas análises estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33: Possíveis fontes e abreviações dos principais compostos lipídicos identificados em trabalhos anteriores* na área de estudo, utilizados nas análises de componentes principais. Fonte: Yoshinaga (2006).

Composto(s) Lipídico(s)	Abreviação	Principal(is) fonte(s) - não específica(s)	Referências
Ácidos Graxos (FA)			
Σ SCFA	SCFA	Marinha não específica	Volkman et al. (1989)
Σ C ₁₅ & C ₁₇ (ramificados, iso e anteiso)	BRANCH	Bactérias	Volkman (1986); Kaneda (1991)
C ₁₆	C16	Diatomáceas, bactérias	Volkman (1986)
C _{16:1ω7}	C16:1 ω 7	Diatomáceas	Volkman et al. (1989) Volkman (1986); Kaneda (1991)
10-metilC ₁₆ (ramificado)	10MeBr	Bactérias	
C _{18:1ω9}	C18:1 ω 9	Zooplâncton, bactérias	Sargent (1976)
C _{18:1ω7}	C18:1 ω 7	Bactérias	Parkes & Taylor (1983)
C _{20:5ω3}	C20:5 ω 3	Diatomáceas	Dunstan et al. (1994)

Cont. Tabela 33

C _{22:6ω3}	C22:6ω3	Fauna marinha, dinoflagelados	Sargent (1976); Mansur et al. (1999)
ΣLCFA	LCFA	Plantas superiores	Nichols et al. (1982)
Esteróis	Abreviação	Principal(is) fonte(s) - não específica(s)	Referências
cholesta-5,22-dien-3β-ol	27Δ ^{5,22}	Zooplâncton, diatomáceas	Volkman (1986); Barret et al. (1995)
cholest-5-en-3β-ol	27Δ ⁵	Zooplâncton, microalgas, cianobactérias	Volkman (1986); Volkman (2003)
24-methylcholesta-5-en-3β-ol	28Δ ⁵	Plantas superiores, microalgas (Chlorophyceae, Prasinophyceae)	Nichols et al. (1982); Volkman (1986); Volkman (2003)
24-methylcholesta-5,22-dien-3β-ol	28Δ ^{5,22}	Microalgas, Haptophyceae	Volkman (1986)
24-methylcholesta-24(28)-en-3β-ol	28Δ ^{5,24(28)}	Diatomáceas	Volkman (1986); Barret et al. (1995)
24-ethylcholesta-5-en-3β-ol	29Δ ^{5,22}	Plantas superiores, microalgas (Chlorophyceae)	Volkman (1986); Nichols et al. (1982)
24-ethylcholesta-5,22-dien-3β-ol	29Δ ⁵	Plantas superiores, microalgas (Haptophyceae, Chlorophyceae, Crysiophyceae)	Volkman (1986); Nichols et al. (1982); Volkman (2003)
4a,23,24-trimethylcholesta-22-en-3β-ol	30Δ ²²	Dinoflagelados, Prymnesiófítas	Nichols et al. (1982); Mansour et al. (1999)
Álcoois			
Fitol	Fitol	Fitoplâncton	Rontani & Volkman (2003)
Σ SCOH	SCOH	Marinha não específica	Sargent (1976)
Σ LCOH	LCOH	Plantas superiores	Volkman et al. (1981)
Alquenonas (C₃₇ e C₃₈)	Alquenonas	Haptophyceae	Volkman et al. (1980)

*Yoshinaga (2006), Camila P. Ortulan (comunicação pessoal).

** SCFA: ácidos graxos saturados de cadeia curta (C₁₂ à C₂₂), BRANCH: ácidos graxos ramificados (10-metil-C₁₆, iso e anteiso C₁₃, C₁₅ e C₁₇), MUFA: ácidos graxos mono-insaturados (C₁₆, C₁₈ e C₂₀), PUFA: ácidos graxos poli-insaturados (C_{16:2}, 18:2, 20:4, 20:5, 22:5 e 22:6), LCFA: ácidos graxos saturados de cadeia longa (C₂₄ à C₃₂), SCOH: álcoois de cadeia curta (C_{14OH} à C_{22OH}), LCOH: álcoois de cadeia longa (C_{24OH} à C_{32OH}) e Alk: alquenonas C₃₇ e C₃₈.

Os ácidos graxos foram abreviados como A:BωC, onde A é o número de átomos de carbono, B é o número de ligações duplas e C quando conhecido é a posição das duplas ligações do final alifático da molécula.

Os esteróis foram abreviados usando a terminação xΔy,z, onde x=número de carbonos, Δy,z posição da dupla ligação(s).

Os resultados da PCA dos 0-2 cm do sedimento do mês de fevereiro de 2005 mostraram que os dois primeiros eixos explicaram 53,3% da variação das variáveis analisadas (Figura 40, Tabela 34). O eixo 1 explicou 29,3% da variação total dos dados apresentando correlação positiva (*loadings* >0,2) com COT, N, C/N, Alquenonas, LCOH, LCFA e BRANCH (ver Tabelas 30 e 33 para as abreviações); e negativas (*loadings* <-0,2) com C₁₆, C_{16:1ω7}, C_{20:5ω3}, 28Δ^{5,24(28)} e SCFA (Tabela 34). O segundo eixo explicou 24% das variações observadas nos parâmetros analisados, sendo correlacionado positivamente principalmente (*loadings* >0,2) com MOT, Clor, ATP, BacBiom, Fitol, 28Δ⁵, 29Δ^{5,22}, 29Δ⁵ e PUFA (Tabela 34). Este mesmo eixo não apresentou correlações negativas entre os *loadings* <-0,2 (Tabela 34).

Figura 40: Análise de componentes principais (PCA) com os *loadings* (a) (variáveis) e *scores* (b) (estações) utilizando dados de qualidade da matéria orgânica e variáveis ambientais durante fevereiro 2005 nos primeiros dois centímetros da coluna sedimentar. Ver abreviações das variáveis e compostos lipídicos nas Tabelas 30 e 33, respectivamente. Os ácidos graxos anteriormente abreviados como A:BωC foram representados como A:BwC e os esteróis abreviados como xΔy,z foram representados como xDy,z.

Tabela 34: Resultados da análise de componentes principais (PCA) dos meses de fevereiro (a) e agosto de 2005 (b), com a porcentagem de explicação e porcentagem cumulativa dos dois primeiros eixos. Em negrito aparecem as contribuições das variáveis que mais explicaram os dois eixos. Ver abreviações das variáveis e compostos lipídicos nas Tabelas 30 e 33, respectivamente.

PCA 0-2 cm Fevereiro			PCA 0-2 cm Agosto		
	Eixo 1	Eixo 2		Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	9,368	7,694	Eigenvalues	14,422	8,861
Porcentagem	29,275	24,043	Porcentagem	45,068	27,689
Porcentagem cumulativa	29,275	53,318	Porcentagem cumulativa	45,068	72,758
Variáveis			Variáveis		
	Eixo 1	Eixo 2		Eixo 1	Eixo 2
MOT	0,097	0,335	MOT	0,241	0,115
COT	0,255	0,041	COT	0,250	0,057
N	0,278	0,048	N	0,254	0,059
C/N	0,277	-0,005	C/N	0,183	0,038
Clor	-0,055	0,337	Clor	0,257	0,045
Feo	0,152	0,156	Feo	0,210	0,133
Feo/Clor	0,148	-0,109	Feo/Clor	-0,165	0,230
ATP	0,106	0,297	ATP	0,218	0,078
BacBiom	0,109	0,289	BacBiom	0,248	0,030
C ₁₆	-0,248	-0,032	C ₁₆	-0,092	-0,259
C _{16:1ω7}	-0,226	0,160	C _{16:1ω7}	0,057	-0,311
10MeBr	0,175	-0,019	10MeBr	-0,146	0,210
C _{18:1ω9}	0,108	-0,005	C _{18:1ω9}	-0,145	0,236
C _{18:1ω7}	0,141	0,020	C _{18:1ω7}	-0,041	0,213
C _{20:5ω3}	-0,290	0,112	C _{20:5ω3}	0,054	-0,302
C _{22:6ω3}	-0,143	0,160	C _{22:6ω3}	-0,082	-0,161
Fitol	-0,091	0,265	Fitol	0,184	-0,222
27Δ ^{5,22}	-0,103	-0,198	27Δ ^{5,22}	-0,244	-0,002
27Δ ⁵	-0,033	-0,156	27Δ ⁵	-0,185	0,046
28Δ ^{5,22}	-0,146	-0,121	28Δ ^{5,22}	-0,243	-0,044
28Δ ^{5,24(28)}	-0,243	-0,100	28Δ ^{5,24(28)}	-0,156	-0,067
28Δ ⁵	0,045	0,319	28Δ ⁵	0,253	-0,013
29Δ ^{5,22}	0,110	0,222	29Δ ^{5,22}	0,037	0,098
29Δ ⁵	-0,076	0,288	29Δ ⁵	0,225	0,000
30Δ ²²	0,078	0,081	30Δ ²²	0,093	0,275
Alquenonas	0,250	-0,064	Alquenonas	-0,056	0,231
LCOH	0,201	-0,019	LCOH	0,247	0,063
SCFA	-0,205	-0,105	SCFA	-0,016	-0,273
LCFA	0,242	-0,120	LCFA	0,180	0,199
BRANCH	0,210	-0,025	BRANCH	-0,175	0,228
MUFA	-0,137	0,150	MUFA	-0,017	-0,146
PUFA	-0,169	0,211	PUFA	0,078	-0,290

Os resultados referentes a PCA de agosto de 2005, com os dados da superfície do sedimento indicaram que a porcentagem de explicação acumulada dos dois primeiros eixos foi 72,7% (Figura 41, Tabela 34). O primeiro eixo explicou 45,1% da variação dos dados observados e registrou correlação positiva significativa principalmente (*loadings* >0,2) com MOT, COT, N, Clor, Feo, ATP, BacBiom, $28\Delta^5$, $29\Delta^5$ e LCOH (Tabela 34). Este mesmo eixo mostrou as maiores correlações negativas (*loadings* <-0,2) com $27\Delta^{5,22}$ e $28\Delta^{5,22}$ (Tabela 34). O eixo 2 apresentou 27,7% da variação total dos dados e esteve correlacionado positivamente com (*loadings* >0,2) com Feo/Clor, 10MeBr, $C_{18:1\omega 9}$, $C_{18:1\omega 7}$, $30\Delta^{22}$, Alquenonas e BRANCH (Tabela 34). As variáveis C_{16} , $C_{16:1\omega 7}$, $C_{20:5\omega 3}$, Fitol, SCFA e PUFA correlacionaram-se negativamente (*loadings* <-0,2) com esta componente (Tabela 34).

Figura 41: Análise de componentes principais (PCA) com os *loadings* (a) (variáveis) e *scores* (b) (estações) utilizando dados de qualidade da matéria orgânica e variáveis ambientais durante agosto 2005 nos primeiros dois centímetros da coluna sedimentar. Ver abreviações das variáveis e compostos lipídicos nas Tabelas 30 e 33, respectivamente. Os ácidos graxos anteriormente abreviados como A:BωC foram representados como A:BwC e os esteróis abreviados como xΔy,z foram representados como xDy,z.

b)

Cont. Figura 41

Com o objetivo de identificar algum padrão significativo de ordenação dos dados em função das variáveis ambientais e fauna, realizou-se a PCA com os resultados observados nas estações de cada enseada nos meses de coleta. Para melhor visualização das relações entre as variáveis e estações de amostragem, gráficos dos *loadings* e *scores* foram representados.

Os resultados da PCA na EF evidenciaram uma clara distinção entre as estações e os meses de coleta. Os dois primeiros eixos explicaram 59,7% da variação dos dados, sendo que o primeiro eixo explicou 37,3% e o segundo 22,4% (Figura 42, Tabela 35). A PC1 apresentou maior correlação positiva significativa com Feo, DM e %Finos (*loadings* >0,3) (Tabela 35). O mesmo eixo mostrou os valores de correlação negativos com %Areia (*loadings* <-0,3) (Tabela 35). A PC2 teve maior correlação positiva com ATP, Macro e DS (*loadings* >0,3) (Tabela 35), e negativamente com BacBiom (*loadings* <-0,299) (Tabela 35).

Na EU, os dois primeiros eixos da PCA explicaram 59,7% da variação dos dados. O primeiro eixo explicou 35,7% da variação dos dados, enquanto que segundo eixo explicou 24% (Figura 43, Tabela 35). A PC1 mostrou maior correlação positiva significativa com Clor, MOT, DM e %Finos (*loadings* >0,3) (Tabela 35). Dentre as correlações negativas significativas deste eixo, destacaram-se prof e %Areia (*loadings* <-0,3) (Tabela 35). Já o PC2 apresentou as principais correlações positivas (*loadings* >0,3) com as variáveis da densidade e

Tabela 36: Resultados da análise de componentes principais (PCA) nas enseadas da Fortaleza (a) e (b) Ubatuba, com a porcentagem de explicação e porcentagem cumulativa dos dois primeiros eixos. Em negrito aparecem as contribuições das variáveis que mais explicaram os dois eixos.

PCA Enseada da Fortaleza			PCA Enseada de Ubatuba		
	Eixo 1	Eixo 2		Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	7,836	4,713	Eigenvalues	7,513	5,032
Porcentagem	37,314	22,442	Porcentagem	35,774	23,961
Porcentagem cumulativa	37,314	59,756	Porcentagem cumulativa	35,774	59,735
Variáveis	Eixo 1	Eixo 2	Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
prof	0,275	0,206	Prof	-0,313	0,052
DM	0,339	0,104	DM	0,331	0,057
%Areia	-0,331	-0,100	%Areia	-0,342	0,064
%Finos	0,331	0,100	%Finos	0,305	-0,004
MOT	0,290	-0,012	MOT	0,305	0,101
Clor	0,059	-0,157	Clor	0,338	0,122
Feo	0,324	0,059	Feo	0,281	0,023
Fep/Clor	0,278	0,198	Fep/Clor	-0,15	-0,245
ATP	-0,015	0,344	ATP	0,206	0,239
BacBiom	0,162	-0,309	BacBiom	0,293	-0,048
BacDens	0,169	-0,265	BacDens	0,274	-0,136
Meio	-0,277	0,007	Meio	-0,079	0,26
Nem	-0,285	0,005	Nem	-0,068	0,315
Cop	0,187	0,219	Cop	-0,058	-0,279
Macro	-0,137	0,379	Macro	-0,064	0,415
C	-0,143	0,273	C	0,016	0,358
DS	-0,006	0,322	DS	-0,069	0,398
B	-0,162	0,275	B	0,088	0,27
O	0,016	0,158	O	-0,083	0,089
H'	-0,083	0,279	H'	-0,155	0,197
BioMacro	0,003	0,166	BioMacro	-0,094	0,054

a)

b)

Figura 43: Análise de componentes principais (PCA) com os *loadings* (a) (variáveis) e *scores* (b) (estações) para todos os meses amostrados (D: dezembro 2004, A: abril 2005, Ag: agosto 2005 e N: novembro 2005) e variáveis analisadas na Enseada de Ubatuba (U5, U6, U7 e U8). Ver abreviações na Tabela 30.

5.3.3. *Bio-Env (Biotic-Environmental Matching) e Ordenação por MDS (non-metric Multi Dimensional Scaling) - Relação das espécies da macrofauna com as variáveis ambientais*

A correlação entre as matrizes de similaridade da distribuição das espécies de cada mês investigado e as matrizes de similaridade geradas com as variáveis ambientais foram analisadas pelo Bio-Env. Todos os dados foram analisados com os valores integrados de 10 cm do sedimento. As variáveis ambientais utilizadas no teste foram %Areia, %Finos, DM, Prof, MOT, Clor, Feo, Feo/Clor, ATP, BacBiom e BacDens. Os resultados do Bio-Env apresentados na Tabela 36 indicaram que os padrões de distribuição das espécies da macrofauna nas estações estiveram relacionados a diferentes fatores em cada mês amostrado. Em dezembro de 2004, as variáveis que melhor explicaram a distribuição da macrofauna foram razão Feo/Clor e prof (ver abreviações na Tabela 30) (Tabela 36). As variáveis relacionadas às bactérias, BacBiom e BacDens, aos fotopigmentos, Clor e Feo, além da MOT foram as que melhor explicaram, em abril de 2005, a distribuição das espécies da macrofauna, com o mais alto coeficiente de correlação ($\rho_w = 0,751$) comparado aos outros meses (Tabela 36). Em agosto de 2005, alguns parâmetros relacionados a granulometria, como %Finos e %Areia, estiveram presentes na combinação de variáveis que foram correlacionadas com as espécies da macrofauna (Tabela 36). Em novembro de 2005, novamente a prof apareceu como um fator importante, constituindo o grupo das variáveis que mais explicou a variação das espécies da macrofauna nas estações de amostragem (Tabela 36).

Tabela 36: Resultados da análise Bio-Env, mostrando as combinações de variáveis que mais estiveram correlacionadas com as espécies da macrofauna. Ver abreviações na Tabela 31.

Mês	Correlação	Variáveis
Dezembro	0,474	Feo/Clor, Prof
Abril	0,751	BacBiom, BacDens, Clor, Feo, MOT
Agosto	0,541	BacBiom, BacDens, %Finos, %Areia, Prof
Novembro	0,674	Feo, DM, Prof

Análises MDS com as espécies da macrofauna e com as variáveis ambientais que mais explicaram a variação das espécies da macrofauna detectadas pelo Bio-Env foram realizadas com o intuito de verificar, em um plano bidimensional, a disposição das estações em função destes fatores (Figuras 44 a 47). Os diagramas de ordenação MDS apontaram grande similaridade na distribuição das estações em função das características específicas da macrofauna e variáveis ambientais (Figuras 44 a 47). No entanto, somente o mês de abril de 2005 apresentou maior variabilidade, comparando o MDS da distribuição das estações em

função das espécies da macrofauna, com o MDS de variáveis ambientais do Bio-Env (Figura 46). Os valores de stress observados para os meses de coleta variaram de 0 a 0,11, indicando uma boa ordenação das estações em duas dimensões (Clark & Warwick, 1994).

Figura 44: (a) Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em dezembro de 2004 (D) nas estações da Enseada da Fortaleza (F1, F2, F3 e F4) e Enseada de Ubatuba (U5, U6, U7 e U8). (b) MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de dezembro 2004, verificados previamente pela análise Bio-Env.

Figura 45: (a) Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em abril de 2005 (A) nas estações da Enseada da Fortaleza (F1, F2, F3 e F4) e Enseada de Ubatuba (U5, U6, U7 e U8). (b) MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de abril 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.

Figura 46: (a) Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em agosto de 2005 (Ag) nas estações da Enseada da Fortaleza (F1, F2, F3 e F4) e Enseada de Ubatuba (U5, U6, U7 e U8). (b) MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de agosto 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.

Figura 47: (a) Resultados do MDS das espécies da macrofauna encontradas em novembro de 2005 (N) nas estações da Enseada da Fortaleza (F1, F2, F3 e F4) e Enseada de Ubatuba (U5, U6, U7 e U8). (b) MDS das variáveis ambientais que mais explicaram a composição e densidade das espécies da macrofauna no mês de agosto 2005, verificados previamente pela análise Bio-Env.

5.4. Experimentos laboratoriais

5.4.1. Experimento bioturbação (mistura de partículas)

As maiores porcentagens de luminóforos foram observadas na superfície do sedimento em todos os testemunhos do experimento, tanto em sedimentos controle, quanto em sedimentos com fauna (Figura 48). Como esperado, os controles sem fauna apresentaram as menores migrações dos luminóforos para o interior do sedimento, comparado com os sedimentos que continham macrofauna (Figura 48). No entanto, nos sedimentos habitados pela macrofauna não foram observados aumentos expressivos das porcentagens dos luminóforos em um gradiente da coluna sedimentar de 15 a 55 dias (Figura 48). Somente no dia 30 foi detectada diferença significativa na distribuição de luminóforos entre testemunhos controles e testemunhos com fauna (Figura 48).

Figura 48: Distribuição vertical dos luminóforos na coluna sedimentar (0-10 cm) dos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, encontrada nos dias 25, 30, 45 e 55 do experimento de

bioturbação. (ns) diferença não significativa entre testemunho com fauna e controle $p > 0,05$, (*) diferença significativa entre testemunho com fauna e controle $p < 0,05$.

As taxas de bioturbação variaram de 0,084 a 0,33 $\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$, sendo a menor registrada no testemunho de 55 dias e a maior no testemunho de 15 dias (Tabela 37). Entretanto, os coeficientes de determinação (R) da curva obtida com o melhor ajuste entre os dados medidos (distribuição vertical dos luminóforos) e calculados pelo modelo (taxas de bioturbação), apontaram que o testemunho do dia 15 foi o que apresentou o menor valor de R e o de 30 dias, o maior (Tabela 37). Isto indicou que a taxa de bioturbação estimada no testemunho de 30 dias apresentou maior confiabilidade.

Tabela 37: Db (taxa de bioturbação) observados nos 15, 30, 45 e 55 dias de incubação do experimento. Os valores de R correspondem os coeficientes de determinação da curva com melhor ajuste entre os dados medidos e calculados pelo modelo.

	15 d ⁻¹	30 d ⁻¹	45 d ⁻¹	55 d ⁻¹
Db ($\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$)	0,328	0,084	0,097	0,082
R	0,594	0,777	0,595	0,657

A densidade da macrofauna encontrada nos sedimentos utilizados no experimento variou entre 1009 e 3026 ind. m^{-2} . Verticalmente, nos testemunhos de 15 e 30 dias, a densidade da macrofauna esteve concentrada em relativamente maiores números na superfície do sedimento (Figura 49, Tabela 38). No interior da coluna sedimentar, valores de 144 a 576 ind. m^{-2} foram registrados (Figura 49, Tabela 38). Os testemunhos de 45 e 55 foram os que mostraram as menores densidades da macrofauna, sendo que, em algumas camadas do sedimento, não foi verificada a presença de indivíduos da macrofauna (Figura 49, Tabela 38).

Figura 49: Densidade da macrofauna na coluna sedimentar (ind. m⁻², 0-10 cm) dos testemunhos, encontrada nos dias 25, 30, 45 e 55 do experimento de bioturbação.

Tabela 38: Densidade da macrofauna (ind. m⁻²) encontrada nos testemunhos do experimento de bioturbação.

<i>Testemunho</i>	Estratos da Coluna Sedimentar (cm)										
15 dias	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	total
Polychaeta	865	288	288	288	144	144		432		144	2594
Bivalvia		144									144
Cumacea		144									144
Ophiuroidea							144				144
total	865	576	288	288	144	144	144	432		144	3026
30 dias											
Polychaeta	1297	432	432	144	432	144				144	3026
total	1297	432	432	144	432	144				144	3026
45 dias											
Polychaeta	288						144	144	144		720
Brachyura						144					144
Ophiuroidea						144					144
total	288					288	144	144	144		1009
55 dias											
Polychaeta	432		432	144							1009
Bivalvia		144									144
total	432	144	432	144							1153

5.4.2. Experimento metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes

As características do sedimento observadas em campo e nos sedimentos com fauna dos tratamentos com *Tetraselmis* e *Sargassum* foram similares (Tabela 39). A porosidade não variou entre o registrado em campo e em laboratório nos dois tratamentos empregados (Tabela 39). A densidade do sedimento e a porcentagem de água variaram modestamente entre campo e experimentos, enquanto que a MOT e clorofila-a apresentaram valores relativamente maiores nos sedimentos com *Sargassum* (Tabela 39). É importante destacar que, no tratamento com *Tetraselmis*, as concentrações de clorofila-a foram menores comparando-se com os valores observados no campo e nos sedimentos com *Sargassum* (Tabela 39).

Tabela 39: Características do sedimento, média $\pm$ erro-padrão, da Stn 06, Enseada de Ubatuba, onde foram coletados os sedimentos para o experimento (Exp).

	Porosidade (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Água (%)	MOT (%)	Clorofila-a (µg g ⁻¹)
Campo	0,28 $\pm$ 0,08	0,48 $\pm$ 0,09	58,36 $\pm$ 12,56	10,53 $\pm$ 3,30	5,30 $\pm$ 2,20
Exp. <i>Tetraselmis</i> + Fauna	0,28 $\pm$ 0,02	0,49 $\pm$ 0,02	60,91 $\pm$ 7,62	10,54 $\pm$ 1,28	2,07 $\pm$ 1,55
Exp. <i>Sargassum</i> + Fauna	0,28 $\pm$ 0,02	0,47 $\pm$ 0,05	60,43 $\pm$ 5,51	13,21 $\pm$ 0,57	9,92 $\pm$ 25,46

Os perfis verticais de MOT dos testemunhos enriquecidos com *Tetraselmis*, mostraram que as porcentagens observadas para o controle foram significativamente maiores do que as dos sedimentos habitados pela macrofauna (Figura 50, Tabela 40). Contudo, a mesma tendência não foi detectada para os tratamentos com *Sargassum*, onde sedimentos controle e com fauna não apresentaram diferenças significativas dos perfis verticais de MOT (Figura 50, Tabela 40).

Figura 50: Matéria orgânica total (MOT, %), média $\pm$ erro-padrão, observada na coluna sedimentar até 10 cm de profundidade no final do experimento nos tratamentos com fauna e controle.

Tabela 40: Resultados do teste estatístico t e Mann-Whitney ($p < 0,05$) entre sedimento controle e sedimento com fauna das características do sedimento, metabolismo e nutrientes. (-) não foram coletadas amostras, (*) diferença significativa, (ns) diferença não significativa e (NID) nitrogênio inorgânico dissolvido total.

Matéria Orgânica e Metabolismo	MOT	Clorofila	Oxigênio	CO₂
Antes adição de algas	-	-	ns	ns
<i>Tetraselmis</i>	*	ns	ns	ns
<i>Sargassum</i>	ns	*	ns	ns
Nutrientes	Nitrato	Amônia	NID	Fosfato
Antes adição de algas	ns	ns	ns	ns
<i>Tetraselmis</i>	ns	ns	ns	ns
<i>Sargassum</i>	ns	ns	ns	ns

Nos perfis verticais de clorofila-a, ambos os tratamentos apresentaram maiores concentrações na superfície do sedimento. Não foi verificada diferença significativa entre sedimentos controle e enriquecidos com *Tetraselmis* e fauna, enquanto que as concentrações de clorofila-a na coluna sedimentar foram significativamente maiores no testemunho controle do tratamento com *Sargassum* e fauna (Figura 51, Tabela 40).

Figura 51: Clorofila-a ($\mu\text{g g}^{-1}$), média $\pm$ erro-padrão, observada na coluna sedimentar até 10 cm de profundidade no final do experimento nos tratamentos com fauna e controle.

Antes da adição de algas e em ambos os tratamentos foi observado um maior consumo de oxigênio nos sedimentos habitados pela macrofauna (Figura 52) em relação aos testemunhos controles. Apesar disso, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre controles e tratamentos (Tabela 40).

Figura 52: Fluxos de oxigênio ($\text{mm}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento. Painel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Painel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

A estimulação do consumo de oxigênio do sedimento pela presença da macrofauna (diferença porcentual entre controle e sedimento com fauna) antes do enriquecimento orgânico com as algas variou de 32-286% (Tabela 41). Logo após a adição de *Tetraselmis* a estimulação chegou ao pico de 313% (Figura 52, Tabela 41). A maior estimulação de

Sargassum foi observada no dia 32 com 72%, porém nos dias posteriores os valores diminuíram para 24-26%. A estimulação foi maior e imediata no tratamento contendo *Tetraselmis* (Figura 42, Tabela 41) comparado com os sedimentos enriquecidos com *Sargassum*.

Tabela 41: Porcentagem de estimulação de consumo de oxigênio nos sedimentos induzidos pela presença da macrofauna. (-) dias em que não foram realizadas medidas de fluxo.

Dia	(%) Estimulação	
4	91	
6	32	
11	286	
14	87	
Dia após adição de algas	<i>Tetraselmis</i>	<i>Sargassum</i>
21	-	33
24	313	-
27	53	-
32	-	72
33	32	-
34	-	26
35	27	-
38	-	24

Antes da introdução de *Tetraselmis*, a liberação de CO₂ nos testemunhos com fauna variou de 60 a 113 mM m⁻² d⁻¹, enquanto que após a introdução houve um aumento modesto de 82-149 mM m⁻² d⁻¹. No entanto, a liberação de CO₂ em alguns dias foi maior em testemunhos sem fauna (Figura 53). Um padrão similar foi observado para os tratamentos com *Sargassum*, ou seja, pouca variação dos fluxos de liberação de CO₂ (Figura 53), os quais variaram de 46 a 113 mM m⁻² d⁻¹ para os sedimentos com fauna. Apesar dessas variações, nenhuma diferença significativa entre controle e tratamentos foi verificada (Tabela 40).

Figura 53: Fluxo de CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento, em sedimentos enriquecidos organicamente. Painel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Painel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

Os fluxos de amônio nos sedimentos antes da adição e depois de enriquecidos com *Tetraselmis* não apresentaram diferenças significativas entre testemunhos habitados pela macrofauna e testemunhos controle sem fauna (Figura 54, Tabela 40). Já nos testemunhos enriquecidos com *Sargassum* observou-se, logo após a introdução dos fragmentos de algas (dia 21), uma maior liberação de amônio nos testemunhos com fauna em relação aos controles, apesar de não significativa (Figura 54, Tabela 40). Os outros dias das medidas de fluxo não foram detectados grandes diferenças entre testemunhos com fauna e controle (Figura 54).

Figura 54: Fluxos amônio ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento. Painel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Painel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

Os fluxos de nitrato apresentaram a tendência de um aumento após a adição de *Tetraselmis* em testemunhos habitados pela fauna, demonstrando uma maior liberação deste composto nestes sedimentos (Figura 55), embora não significativa (Tabela 40). Enquanto que, nos testemunhos onde *Sargassum* foi adicionado à superfície do sedimento, nenhuma modificação significativa foi observada, com variações apenas discretas entre os dias de medida de fluxo (Figura 55, Tabela 40).

Figura 55: Fluxos nitrato ($\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento. Pannel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Pannel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

Os fluxos de liberação de nitrogênio inorgânico total (NID = amônia + nitrato + nitrito) foram estimulados pela presença da fauna por 131 e 92% nos dias 27 e 33, respectivamente, após a adição de *Tetraselmis* (Figura 56). No entanto, após a adição de *Sargassum*, os testemunhos com fauna apresentaram um aumento discreto na liberação de NID, enquanto que nos testemunhos controle foi notado um consumo de NID (Figura 56). Embora variações tenham sido observadas, não foram verificadas diferenças significativas entre ambos os tratamentos com os controles (Tabela 40).

Figura 56: Fluxos nitrogênio orgânico dissolvido (NID) ($\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento. Painel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Painel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

O fosfato foi o composto que apresentou as menores escalas de variação dos fluxos de consumo e liberação do sedimento para a coluna de água, em comparação aos outros compostos medidos no experimento (Figura 57). Antes e após a adição de algas, não foram observadas diferenças significativas entre os controles e os sedimentos com fauna (Tabela 40).

Figura 57: Fluxos de fosfato ($\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nos testemunhos com fauna (+ Fauna) e controle, média $\pm$ erro-padrão, dentro do período de tempo que foi realizado o experimento. Painel da esquerda: tratamento com *Tetraselmis*. Painel da direita: tratamento com fragmentos de *Sargassum*.

6. DISCUSSÃO

6.1. Caracterização da coluna de água durante o período de estudo

As características da coluna de água na região são controladas por forçantes ambientais como ventos, radiação solar, temperatura do ar, frentes frias e pluviosidade (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1995; 1999). A maior temperatura da superfície da coluna de água foi observada em dezembro de 2004, fevereiro de 2005 (meses do verão) e em abril de 2005, provavelmente como resultado da maior intensidade luminosa e maior temperatura do ar, padrão identificado anteriormente por Aidar et al. (1993). Em contrapartida, a maior incidência de frentes frias, com conseqüente formação de ondas S/SE de forte intensidade, nos meses de junho e agosto de 2005, contribuíram para uma maior mistura da coluna de água, explicando os valores similares entre a temperatura de superfície e fundo. Isto confirma a tendência registrada em estudos pretéritos, de maior homogeneidade da coluna de água na região durante o inverno (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999).

A ACAS identificada em subsuperfície no início do verão (dezembro de 2004) com base nos valores de temperatura e salinidade, em quase todas as estações (9-20 m de profundidade), foi responsável pela maior disponibilização de nitrato em relação aos outros meses, com o pico de concentração de 8,2 μM . O afloramento em subsuperfície da ACAS nos meses do verão é resultado da prevalência de ventos N/NE, que favorecem a entrada desta massa de água do largo (300 a 400 m de profundidade) em direção à costa (Castro-Filho et al., 1987; Braga & Müller, 1998). A ACAS é uma massa de água fria, rica em nutrientes e oxigênio (Aidar et al., 1993; Braga & Müller, 1998). Contudo, o contato desta massa de água com o sedimento no decorrer de sua intrusão, pode resultar um em enriquecimento extra de nutrientes produzidos pela remineralização da matéria orgânica e um decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido (Braga & Müller, 1998). Neste estudo, com exceção do pico de nitrato encontrado durante a ACAS, os outros valores observados deste composto (0,03-5,1 μM) estiveram pouco abaixo das concentrações reportadas por outros autores para a mesma massa de água na região (6-12 μM , em profundidades de 8,5 a 300 m) (Aidar et al., 1993; Braga & Müller, 1998). Por outro lado, nas estações mais externas das enseadas (03, 04, 07 e 08), onde se verificou a presença da ACAS, as concentrações de oxigênio dissolvido de fundo foram menores, corroborando o registrado anteriormente em outros trabalhos (Aidar et al., 1993; Braga & Müller, 1998).

A presença da ACAS em dezembro de 2004 refletiu-se unicamente nas concentrações de nitrato e oxigênio, enquanto que os demais nutrientes essenciais para produção primária

incluindo amônia, fosfato e silicato não foram influenciados pela sua intrusão. O nitrato e a profundidade da zona eufótica são considerados um dos principais fatores necessários para o desenvolvimento do fitoplâncton, podendo ser limitantes para produção primária em baixas concentrações e insuficiência de luz (Pennington et al., 2006 e referências). Segundo Aidar et al. (1993), a profundidade da zona eufótica no domínio interno da plataforma interna de Ubatuba é de 25 m no verão. No presente estudo, a ACAS ocorreu até profundidades de 9 m, indicando que as maiores concentrações de nitrato disponibilizadas por esta massa de água em comparação aos meses em que AC esteve presente, podem ter atingido a zona eufótica, o que favoreceria a produção primária da área de estudo.

A maior incidência de frentes frias na região nos meses de inverno é um dos principais fatores responsáveis pela ressuspensão do sedimento (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999). Como consequência, nutrientes armazenados nos sedimentos são disponibilizados na coluna de água, contribuindo como uma importante fonte enriquecedora da coluna de água e aumento da biomassa do fitoplâncton (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999). No presente estudo, não foram verificadas maiores concentrações de nutrientes na coluna de água nos meses de junho e agosto de 2005, referentes ao inverno, período de maior frequência de frentes frias. Provavelmente, o caráter altamente dinâmico da área de estudo promoveu a mistura da coluna de água, transportando materiais e nutrientes para outros locais, não permitindo a detecção das diferenças de concentrações dos nutrientes.

As pluviosidades registradas durante o período de estudo (2227 mm) e no ano de 2005 (2324 mm) foram pouco acima do observado para região de Ubatuba (aproximadamente 2000 mm anuais) (Braga, 1995; Muniz, 2003). As variações de salinidade da coluna de água estiveram aparentemente relacionadas aos períodos de maiores pluviosidades. A maior pluviosidade do mês de abril de 2005 refletiu-se nos menores valores de salinidade da superfície da coluna de água, em ambas as enseadas. As menores salinidades da coluna de água no mês de novembro de 2005, em ambas as enseadas, também foram consequência da pluviosidade, que apresentou o segundo maior valor neste mês, dentre os meses de coleta. No entanto, a importância da pluviosidade na salinidade da EU como um todo, através da descarga fluvial é incerta, uma vez que, esta enseada com maior número de rios (quatro rios principais) não apresentou menores salinidades que a EF (um rio principal). Esta tendência foi observada em todos os meses, inclusive nos meses de maiores pluviosidades, exceto na Stn 05 durante o mês de abril de 2005 (mês de coleta com maior pluviosidade). Neste caso, a menor salinidade na superfície da coluna de água, pode ter sido função da proximidade da linha de

costa e maior descarga fluvial. Adicionalmente, os períodos de maior pluviosidade não tiveram implicações nas concentrações de nutrientes, via drenagem continental, contradizendo o relatado por outros autores com estudos na mesma região, os quais sugeriram que períodos de maiores pluviosidades disponibilizariam maiores concentrações de nutrientes da coluna de água (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999). Tal fato pode estar associado à escala temporal de amostragens, na qual pode não ter permitido a observação da influência da pluviosidade nas concentrações de nutrientes, e também pela rápida assimilação dos nutrientes, quando disponíveis pelos organismos da coluna de água.

As características da coluna de água, como a estrutura termohalina e concentrações de nutrientes foram determinadas essencialmente pelos ventos, que dependendo de sua direção e intensidade, promovem processos de intrusão da ACAS e ondas de S e S/SE, reflexo de frentes frias (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999). Mais especificamente, a ACAS teve maior efeito nas concentrações de nitrato, enquanto que as frentes frias atuaram na mistura da coluna de água e ressuspensão de sedimentos. Contudo, a fraca resposta dos nutrientes na coluna de água tanto aos eventos de ressuspensão do sedimento, quanto aos períodos de aumento na descarga fluvial em meses de maiores pluviosidades, sugere que área de estudo é altamente dinâmica em termos de processos físicos (i.e. transporte advectivo) e/ou biológicos (i.e. incorporação de nutrientes pelas microalgas).

6.2. Descrição do ambiente sedimentar – granulometria, matéria orgânica total, carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre total

As enseadas que compreenderam a área de estudo apresentaram-se heterogêneas em termos de granulometria. Este fato pode ser explicado pela atuação diferenciada dos processos hidrodinâmicos, em resposta à orientação e formação fisiográfica das enseadas, além da influência da ação de ondas (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998). A composição granulométrica dos depósitos sedimentares está geralmente associada às condições de energia hidrodinâmica prevalentes junto ao fundo (Suguio, 1973). Desta forma, sedimentos arenosos tendem a se depositar em áreas com maior energia hidrodinâmica, enquanto sedimentos mais finos, como silte e argila, depositam-se em áreas com menor energia (Suguio, 1973; Snelgrove & Butman, 1994). Com base nestas evidências e considerando aspectos do gradiente de energia das enseadas previamente definidos por Mahiques et al. (1998), características granulométricas indicadoras de áreas de alta e baixa energia hidrodinâmica foram identificadas no interior de cada enseada, representando,

respectivamente, ambientes arenosos e deposicionas. Entretanto, ao comparar as enseadas entre si, a EF apresentou maior energia hidrodinâmica do que a EU, como registrado anteriormente por Mahiques et al. (1998).

Na EF, a presença da Ilha do Mar Virado, ao SW da enseada, permitiu, relativamente, maiores deposições de silte e argila nos sedimentos de locais protegidos de ondulações SW, na porção externa, mais profunda da enseada. A correlação positiva entre profundidade, porcentagem de finos (silte + argila) e diâmetro médio confirma a tendência de deposição de frações de sedimentos finos em maiores profundidades da coluna de água na EF. Já na EU, o predomínio das frações finas nas estações rasas 05 e 06, no domínio interno e central, foi explicado pelo baixo hidrodinamismo, causado pela constrição na linha de costa nesta região da enseada, que promove a difração das ondas, atenuando a energia incidente sobre este local (Mahiques, 1995). Isto foi corroborado pela correlação negativa entre profundidade, porcentagem de finos e diâmetro médio. Além disso, o regime de circulação interna em sentido horário da enseada favorece a deposição de materiais finos na região central (Mahiques et al., 1998). A dominância de silte e argila nas áreas interna e central da EU, caracterizando um ambiente deposicional, foi previamente documentada por diversos autores (Mahiques et al., 1998; Burone et al., 2003; Muniz et al., 2006).

Por outro lado, na EF as frações mais grossas representadas pela porcentagem de areia (total entre areia grossa, média, fina e muito fina), foram observadas principalmente nas estações internas 01e 02, rasas e próximas da costa e na Stn 03 localizada na altura de sua desembocadura. Tais características podem ser explicadas pela maior energia hidrodinâmica incidente na parte interna e central da EF, provinda de ondas SE e correntes formadas durante tempestades (Mahiques, 1995). Este padrão de maiores contribuições de areia nas áreas rasas em relação às mais profundas na EF foi corroborado pela correlação negativa entre profundidade e porcentagem de areia. Enquanto que, na EU, as maiores porcentagens de areia foram registradas nas estações externas e mais profundas 07 e 08, evidenciando que esta área esteve sob ação de maior energia hidrodinâmica, comparado com as porções mais internas desta enseada. Este fato é demonstrado também pela correlação positiva entre profundidade e porcentagem de areia. Adicionalmente, maior variabilidade temporal e vertical dos tipos sedimentares foi verificada nestas estações, o que mostrou alto grau de exposição das mesmas aos processos hidrodinâmicos da região.

Os valores de MOT encontrados no estudo (1-13%) estiveram dentro da amplitude de variação reportada por outros autores na região de Ubatuba (Mahiques, 1995; Burone et al.,

2003; Muniz et al., 2006) e de sedimentos arenosos e lamosos na costa de regiões temperadas (0,1-14%) (Kristensen & Hansen, 1999; Quintana et al., 2007). A distribuição da MOT foi fortemente explicada pela composição granulométrica, que por sua vez, foi determinada em função das condições hidrodinâmicas locais. As maiores porcentagens médias de MOT na EU comparado com a EF foram explicadas pelas características deposicionais da primeira área, reveladas através da correlação positiva entre MOT, frações finas e diâmetro médio do sedimento. Já o acúmulo de MOT nas áreas centrais da EU observado em todos os meses, provavelmente refletiu o regime de circulação da enseada, o qual cria uma zona de central de deposição (Mahiques, 1995). Apesar da EF ter sido mais exposta às ações hidrodinâmicas, houve, como na EU, deposição de MOT na região central. Porém, isto só ocorreu nos meses mais calmos de dezembro de 2004 e abril de 2005. Enquanto que, com exceção da Stn 05 e 06, os menores valores de MOT de ambas as enseadas foram associados ao mês de inverno, junho de 2005, período que a incidência de frentes frias é intensificada (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1998), o que pode ter promovido a remobilização dos sedimentos, removendo e transportando a MOT da superfície do sedimento para outros locais. O carbono orgânico total, enxofre e nitrogênio total, seguiram a mesma tendência de variação observada para MOT, com valores similares aos registrados anteriormente na mesma região de estudo (Burone et al., 2003; Muniz et al., 2006).

A constância dos perfis verticais da MOT na EF demonstrou que a quantidade de MOT armazenada no interior da coluna sedimentar foi comparável às da superfície do sedimento, onde a MOT não se concentra devido à maior exposição desta enseada aos estresses físicos, em épocas de frentes frias e ondulações de forte intensidade. Ao contrário, na EU, o acúmulo de MOT detectado em maiores porcentagens na superfície do sedimento em quase todos os meses e estações, foi decorrente da maior contribuição de materiais derivados da produção primária, uma vez que a MOT foi positivamente correlacionada com a clorofila-a e feopigmentos. Porém, em termos temporais e espaciais (horizontais e verticais) deve-se considerar que o *pool* de matéria orgânica sedimentar marinha é derivado de uma mistura de fontes marinhas (autóctones) e terrestres (alóctones) em diferentes proporções. Assim, sedimentos antigos e mais profundos podem apresentar composição química da matéria orgânica diferente de sedimentos recentes e superficiais, não sendo possível identificar estas diferenças através da análise individual de MOT.

6.3. Distribuição dos potenciais recursos alimentares para o bentos – avaliação da qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar

6.3.1. Clorofila-a, feopigmentos e fitodetritos sedimentares

As concentrações de clorofila-a integrada (10 cm superficiais da coluna sedimentar) encontradas neste estudo ($1-51 \mu\text{g g}^{-1}$) foram similares aos valores observados em estudos prévios em Ubatuba, no litoral norte do Estado de São Paulo (Quintana, 2004; Muniz et al., 2006; Sumida et al., 2005; Yoshinaga et al., 2006) e em locais considerados eutróficos de regiões temperadas (Dell'Anno et al., 2002). Além disso, foram maiores do que os observados na plataforma interna de Ubatuba e em locais de ressurgência da costa brasileira, como Cabo Frio, RJ (40-100 m) (Sumida et al., 2005). Porém, os teores de clorofila-a dos sedimentos foram uma ordem de magnitude menor do que os registrados na região de ressurgência da costa do Chile ($40-453 \mu\text{g g}^{-1}$) (Gutiérrez et al., 2001).

De maneira geral, a maior concentração de clorofila-a integrada na EU e nos meses de junho e agosto de 2005, indicou maior quantidade de alimento fresco para a fauna bêntica nesta enseada do que na EF. É importante conhecer as concentrações de clorofila-a para acessar a quantidade e qualidade de alimento disponível, ou seja, material orgânico lábil ou fresco, como fonte alimentar para os organismos bênticos (Fabiano & Danovaro, 1994; Stephens et al., 1997; Wieking & Kröncke, 2005). A correlação positiva da clorofila-a com MOT, COT e N, em ambas as enseadas, demonstrou a contribuição significativa desta fonte de material lábil e rico em nitrogênio, nos *pools* de matéria orgânica e carbono orgânico dos sedimentos. Contudo, a variabilidade espacial e temporal das concentrações de clorofila-a na área de estudo foi determinada por diferentes fatores.

Particularmente na EU, as diferenças espaciais nas concentrações de clorofila-a observadas em todos os meses amostrados estiveram relacionadas principalmente à sua fisiografia. A constrição marcante na linha de costa desta enseada permite a proteção do domínio interno de ondas de S, conseqüentemente maior estabilidade é conferida ao ambiente. Isto explica as concentrações significativamente maiores de clorofila-a nas estações localizadas internamente na EU. Ao contrário, a EF possui uma grande abertura voltada para S/SE, caracterizando-a como um ambiente exposto aos eventos físicos de frentes frias e ondulações. Acredita-se que devido a este fato, as concentrações de clorofila-a não foram diferentes espacialmente nesta enseada, apresentando distribuição relativamente homogênea entre as estações.

Temporalmente, as maiores concentrações de clorofila-a observadas nas estações internas da EU foram provavelmente ligadas à deposição de materiais derivados do aumento da produção primária pelagial em junho e agosto de 2005. A ressuspensão de sedimentos mediada pela passagem de frentes frias, intensificada nos meses de inverno, é reconhecidamente um fator positivo para o aumento da produção primária pelagial (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1999). Além disso, foi observado que as frentes frias provindas do sul favoreceram o transporte de material de locais externos das enseadas, verificado pela diferença significativa da clorofila-a das estações mais distantes da EU, para locais próximos a linha de costa das enseadas, o que pode ter contribuído para as altas concentrações de clorofila-a encontradas no interior da EU. Já os valores de clorofila-a encontrados nos meses de dezembro de 2004, fevereiro e abril de 2005, podem estar associados ao ingresso da ACAS ocorrido em no primeiro mês citado, resultando na maior produção de diatomáceas (Yoshinaga, 2006; Yoshinaga et al., 2008). Tais valores não foram significativamente maiores que os registrados em outros meses, porém, aumentaram a qualidade da matéria orgânica total, como discutido posteriormente no próximo item. Por outro lado, a maior quantidade de clorofila-a observada somente na estação mais rasa da EF (Stn 01), em fevereiro de 2005, pode ser explicada pela maior transparência e estabilidade da coluna de água nesta época, que favorece o desenvolvimento de microfitobentos (Miller et al., 1996; Thornton et al., 2002). Na região de rasa de Ubatuba foi visualmente documentada, no verão, uma camada conspícua de microfitobentos na superfície de sedimentos (Quintana, 2004). Portanto, o crescimento de microfitobentos pode ter ocorrido nos sedimentos da Stn 01 da EF, contribuindo para os maiores valores de clorofila-a encontrados.

A clorofila-a pode ser convertida em feopigmentos durante a degradação bacteriana e atividades de pastejo do zooplâncton na coluna de água e da fauna bêntica em fundos marinhos (Christensen & Kanneworff, 1985; Sun et al., 1991; Sun et al., 1994; Miller et al., 1996). Usualmente, as concentrações de feopigmentos (derivados da clorofila-a e com estruturas químicas similares) são maiores que as de clorofila-a, que é altamente lábil, sendo rapidamente consumida pelos organismos heterotróficos (Sun et al., 1991; Sun et al., 1994). Este padrão de maiores quantidades de feopigmentos em relação à clorofila-a foi observado neste estudo e também foi reportado por outros estudos em Ubatuba (Quintana, 2004, Yoshinaga et al., 2006). As variações temporais e espaciais dos feopigmentos seguiram a mesma tendência observada para clorofila-a em ambas as enseadas, exceto na Stn 01 da EF, demonstrando os efeitos imediatos do pastejo do zooplâncton e processos metabólicos na

água e sedimentos. No caso da Stn 01, a constância temporal nas quantidades de feopigmentos além dos valores significativamente menores, sugere que esta estação não foi influenciada pelos processos pelagiais, confirmando a suposição anterior da presença de microfitobentos. Esta estação da EF foi a menos profunda (4 m) e próxima da Praia Dura, Ubatuba, com maiores chances da luz incidente na coluna de água alcançar o fundo marinho, o que favorece o crescimento de microalgas bênticas na superfície dos sedimentos.

A distribuição vertical dos fotopigmentos presentes no sedimento é controlada principalmente por processos de degradação e mistura física das partículas sedimentares (Sun et al., 1991; Sun et al., 1994; Stoeck & Kröncke, 2001). As maiores concentrações de clorofila-a na superfície do sedimento identificadas nos perfis verticais encontrados em ambas as enseadas, indicam exportação de materiais orgânicos da coluna de água para o fundo. Porém, esta exportação foi variável, uma vez que as escalas de valores de clorofila-a da superfície do sedimento modificaram-se temporalmente e espacialmente. Na EU, a deposição de materiais orgânicos foi mais concentrada em sua porção interior e nos meses de junho e agosto de 2005, meses que supostamente a produção primária foi governada pela ressuspensão de sedimentos, em contrapartida, na EF esta tendência não foi claramente detectada por esta enseada ter maior energia hidrodinâmica comparada com a EU. Além disso, os perfis estratificados de clorofila-a indicaram que os processos de degradação no interior do sedimento foram eficientes (Stoeck & Kröncke, 2001), pois as concentrações de clorofila-a foram menores em maiores profundidades da coluna sedimentar. As maiores concentrações de clorofila-a na superfície do sedimento, também podem estar associadas às baixas taxas de bioturbação, não suficientes para o enterramento significativo de clorofila-a para o interior do sedimento. Entretanto, exceções foram observadas a este padrão. Máximos subsuperficiais de clorofila-a encontrados no mês de agosto de 2005 na EF demonstraram que os processos físicos de frentes frias tiveram participação na remobilização do sedimento, transportando material reativo para o interior do sedimento. Em um estudo anterior, realizado em outra região exposta aos efeitos de frentes frias em Ubatuba, também foi observado picos subsuperficiais de clorofila-a como resultado da ação física de ressuspensão de sedimento durante o inverno (Quintana, 2004). Os máximos subsuperficiais podem ser causados por vários processos, dentre eles, aportes variáveis de matéria orgânica, atividades de bioturbação da macrofauna bêntica e taxas variáveis de degradação devido às diferentes condições oxidantes e temperaturas (Sun et al., 1994; Stoeck & Kröncke, 2001). No entanto, neste

estudo, a alta energia hidrodinâmica foi aparentemente o principal fator responsável pela incorporação de clorofila-a no interior da coluna sedimentar.

Os perfis de feopigmentos reforçam a interpretação anterior, de que a incidência de frentes frias promoveu a remobilização dos sedimentos, explicando a distribuição vertical homogênea das concentrações (na EF) e picos subsuperficiais de feopigmentos dentro do sedimento (na EF e externamente na EU). Acúmulos de feopigmentos na superfície dos sedimentos da EU nos meses de junho e agosto de 2005, também estiveram relacionados com a ressuspensão dos sedimentos, por promover a produtividade primária e maior taxa de decomposição. Gallucci & Netto (2004) avaliaram os efeitos das frentes frias no sublitoral de Santa Catarina e igualmente observaram maiores concentrações de feopigmentos após a ressuspensão dos sedimentos. Por outro lado, as maiores concentrações de feopigmentos na superfície dos sedimentos no mês de abril de 2005, provavelmente refletiram a utilização tanto dos organismos planctônicos, quanto bênticos, do material lábil produzido na presença da ACAS nos meses anteriores.

Os valores dos cloropigmentos (CPE) ou fitodetritos sedimentares ($2-124 \mu\text{g g}^{-1}$) estiveram dentro da escala encontrada para a região de estudo (Quintana, 2004) e maiores do que os documentados em plataforma continental (ca. 40 m) de regiões oligotróficas e temperadas ($2-12 \mu\text{g g}^{-1}$) (Danovaro et al., 1999; 2000). Grande parte dos CPE foram constituídos por feopigmentos, com algumas exceções, como na parte rasa da EF, onde as contribuições de clorofila-a foram maiores em relação aos feopigmentos, implicando em diferentes composições e labilidades dos fitodetritos (maiores detalhes no item 6.3.2). As variações dos CPE evidenciaram a influência dos processos hidrodinâmicos costeiros nas deposições de fitodetritos. Padrões de acúmulo e transporte de materiais orgânicos foram identificados, sendo que na EF tais eventos ocorreram com concentrações muito menores dos CPE. Nos meses do verão, épocas calmas (ondulações N/NE predominantes), a circulação no interior das enseadas governou a deposição dos fitodetritos, que se concentrou nas áreas centrais das enseadas. Embora as passagens de frentes frias (predomínio de ondulações S-SE de forte intensidade) tivessem efeito na produtividade primária, as mesmas impediram que os fitodetritos se depositassem em áreas expostas das enseadas. Além disso, como ressaltado anteriormente, as frentes nos meses de inverno (junho e agosto de 2005) promoveram o transporte dos fitodetritos produzidos e/ou armazenados nos sedimentos, para as áreas protegidas e mais rasas. Em suma, os eventos físicos de frentes frias foram os principais agentes controladores da dinâmica de deposição dos fitodetritos, sendo as concentrações

relativamente maiores de CPE encontradas nas áreas internas da EU reflexo de sua natureza deposicional.

6.3.2. Razões C/N, Feo/Clor e biomarcadores lipídicos

Os valores de C/N obtidos no presente estudo (9-15) sugerem uma origem mista das fontes da matéria orgânica. Usualmente, valores entre 5 e 7 indicam origem pelágica e maiores que 20, origem terrestre (Meyers, 1997; Rosenberg, 2001). Valores entre 8-12 resultam da mistura de materiais de ambas as origens (Meyers, 1997; Rosenberg, 2001). Contudo, algumas exceções foram notadas. Valores entre 5-7,4 encontrados no interior de ambas as enseadas em dezembro de 2004 sugerem uma origem autóctone da matéria orgânica e, portanto, mais lábil, derivada do aporte de diatomáceas ocorrido nesta época, segundo os dados de biomarcadores lipídicos (Yoshinaga, 2006). As microalgas são ricas em compostos nitrogenados, o que resulta em baixas razões C/N, enquanto que o oposto é observado em plantas vasculares (Hedges & Keil, 1995). Em regiões costeiras de Ubatuba é comum encontrar valores em média de 10-15 para C/N, por serem ambientes dinâmicos, com influência de inúmeras forçantes ambientais (Mahiques et al., 1998; Burone et al., 2003; Muniz et al., 2006).

Em contrapartida, as razões Feo/Clor demonstraram outra tendência em relação à composição dos materiais orgânicos, obviamente refletindo mais acentuadamente a influência da produtividade primária do sistema, embora as variações temporais nas quantidades de pigmentos fotossintéticos tenham sido detectadas dentro da mesma ordem de magnitude. Em média, os materiais lábeis, ou seja, as menores razões Feo/Clor, estiveram concentradas nos meses de inverno, possivelmente associadas à produção primária pelágica como resultado da ressuspensão de sedimentos. Em seguida, os meses de fevereiro e abril de 2005 apresentaram maior qualidade, devido à produção de diatomáceas pelágicas no mês de dezembro de 2004, como resultado da intrusão da ACAS. A Stn 01, destacou-se por apresentar independentemente do tempo, maior qualidade da matéria orgânica, o que pode estar ligado à produção primária bêntica, i.e. presença de microfitobentos, como discutido anteriormente.

As Análises de Componentes Principais (PCA) das variáveis utilizadas para acessar a quantidade e qualidade da matéria orgânica, como matéria orgânica total, constituintes elementares da matéria orgânica, pigmentos fotossintéticos, razão C/N, razão feopigmentos/clorofila-a (Feo/Clor), ATP, biomassa bacteriana e dados pretéritos de biomarcadores lipídicos, revelaram diferenças marcantes na composição dos materiais

orgânicos entre os meses de fevereiro e agosto de 2005. Além disso, evidenciaram estreita relação entre as variáveis medidas neste estudo e os biomarcadores lipídicos, podendo as mesmas suportar interpretações sobre as fontes e reatividade da matéria orgânica. Em fevereiro de 2005, mês do verão, as estações 01, 04 e 05 exibiram maiores quantidades de compostos lábeis. A maior contribuição nestas estações de compostos lipídicos como os ácidos graxos $C_{16:1\omega7}$, $C_{20:5\omega3}$ e do esterol $28\Delta^{5,22}$, derivados da produção primária (Volkman, 1986; Dunstan et al., 1994; Wakeham, 1995), provavelmente de diatomáceas nesta época (Aidar et al., 1993; Yoshinaga, 2006), explicaram a maior qualidade da matéria orgânica nesse período. Além disso, na Stn 01, o esterol $28\Delta^{5,24(28)}$ foi mais abundante. Este biomarcador pode ser considerado mais específico para diatomáceas na costa SE do Brasil (Barret et al., 1995; Wakeham, 1995; Yoshinaga et al., 2008), confirmando a suposição anterior da presença de microfitobentos neste local. Ainda, as maiores contribuições relativas de PUFA, C_{16} e a presença de Fitol e Clor, indicadores não específicos de aportes de fitoplâncton no sedimento, também sugeriram maior qualidade da matéria orgânica. Por outro lado, marcadores de materiais refratários derivados de plantas vasculares e/ou materiais em maior estágio de degradação foram encontrados em maiores concentrações nas estações 02, 06, 07 e 08. O que, com exceção da Stn 02, foi esperado, pois a EU recebe maior aporte de águas fluviais comparando-se com a EF. As variáveis como C/N, Feo/Clor, apareceram em conjunto com os marcadores de bactérias como os $C_{18:1\omega7}$, 10MeBr, BRANCH e com $C_{18:1\omega9}$, LCFA, derivados de zooplâncton e plantas superiores, respectivamente. Já outro conjunto com as maiores concentrações de $28\Delta^5$, $29\Delta^{5,22}$, Feo, BacBiom, ATP e a presença de MOT foi observado, mostrando que nas estações 02, 06, 07 e 08, as bactérias foram responsáveis pela degradação da matéria orgânica, explorando recursos alimentares de diferentes composições. Para maiores detalhes da caracterização lipídica da área de estudo, ver Yoshinaga (2006) e para biomassa bacteriana, Moraes (2007).

Em geral, devido à maior intensidade de frentes frias características do inverno (Aidar et al., 1993, Mahiques, 1995, Mahiques et al., 1998), em agosto de 2005, a matéria orgânica foi composta por uma mistura de fontes, em diferentes níveis de degradação. As estações 01 e 08 mostraram-se similares, com elevada qualidade da matéria orgânica comparando-se com as demais estações. As altas contribuições relativas dos biomarcadores C_{16} , PUFA, SCFA, $C_{16:1\omega7}$, $C_{20:5\omega3}$ e $28\Delta^{5,22}$ nestas estações, indicaram aporte de materiais autóctones. Segundo Yoshinaga (2006), os esteróis $28\Delta^5$ e $28\Delta^{5,22}$ denotam a produção derivada de nanoflagelados, pois estes organismos são encontrados em densidades relativamente altas durante o ano, em

Ubatuba (Sassi & Kutner, 1982; Aidar et al., 1993). Enquanto que, nas estações da EF, 02, 03 e 04, a matéria orgânica esteve presente em maiores níveis de degradação, devido ao predomínio de compostos atribuídos a bactérias e de altas razões Feo/Clor. Matéria orgânica mista foi encontrada nas estações 05, 06 e 07 da EU. Compostos como o $28\Delta^5$, $29\Delta^5$, LCFA, LCOH denotando fontes zooplancônicas e alóctones, e altas razões C/N foram observados nestas estações. Além dos maiores valores de MOT, COT, N, Clor, Feo, ATP e BacBiom, confirmando o caráter diversificado da matéria orgânica nesta época.

A composição bioquímica da matéria orgânica é resultado de um equilíbrio entre os aportes externos do sistema, produção autóctone e utilização heterotrófica (Fabiano & Danovaro, 1994; Dell'Anno et al., 2002). Neste estudo, observou-se que múltiplas fontes contribuíram para a composição da matéria orgânica sedimentar. Estas incluíram fitoplâncton, algas, pelotas fecais e carapaças de zooplâncton, organismos bênticos autotróficos (microfitobentos) e heterotróficos, bacterioplâncton, bactérias do sedimento e fragmentos de plantas vasculares (Yoshinaga, 2006). Contudo, as contribuições marinhas foram maiores que as terrestres, mesmo na EU onde a influência fluvial é maior que na EF (Yoshinaga, 2006). Na Stn 01, a matéria orgânica é de alta qualidade, devido a presença de microfitobentos e pouca quantidade de materiais degradados. Nos meses de verão, a contribuição da produção de diatomáceas bênticas elevou a qualidade da matéria orgânica nas áreas rasas das enseadas, enquanto no inverno, a produção biológica foi possivelmente dominada por nanoflagelados, o que elevou também a qualidade dos materiais orgânicos (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1995; Yoshinaga, 2006). Ainda no verão, segundo Yoshinaga (2006), salpas, detectadas pelos esteróis C_{27} podem ter acelerado o transporte de material orgânico particulado para o fundo marinho, através das pelotas fecais. Outra possível fonte de material orgânico são as macroalgas erodidas dos costões rochosos durante a passagem de frentes frias, consideradas como alta fonte de lipídios (Yoshinaga, 2006). Corbisier et al. (2006), em um estudo anterior, detectaram assinaturas isotópicas referentes a tais contribuições de macroalgas na matéria orgânica particulada em suspensão de Ubatuba. As demais estações apresentaram maiores quantidades de materiais de origem mista e/ou refratários, maiores valores da biomassa de bactérias e microorganismos, sendo que os dois últimos podem também representar uma fonte nutricional ricamente protéica para a fauna bêntica (Deming & Barros 1983, Danovaro et al., 1999).

A composição da matéria orgânica na área de estudo foi indiretamente regulada pelos processos hidrodinâmicos. Por a região de estudo localizar-se em uma área costeira, a

ressuspensão de sedimentos associada à circulação local, além da influência da ACAS e da drenagem continental, foram os principais determinantes para a reatividade e conteúdo químico da matéria orgânica depositada ou produzida nos sedimentos. Cada ferramenta utilizada para avaliar o grau da qualidade da matéria orgânica sedimentar revelou aspectos particulares, porém quando analisados em conjunto ofereceram uma boa interpretação dos processos que ocorreram no fundo marinho. No entanto, isto só foi possível para os meses de fevereiro e agosto de 2005, sendo fortemente recomendada a utilização dos dados lipídicos dos demais meses de amostragem para conclusões mais concretas a respeito da matéria orgânica disponível como fonte alimentar para a fauna bêntica.

6.4. Dinâmica do sistema bêntico – respostas aos aportes de matéria orgânica sedimentar

6.4.1. Biomassa microbiana sedimentar

Os valores integrados de biomassa microbiana sedimentar obtidos neste estudo foram comparáveis aos encontrados por Quintana (2004) na costa de Ubatuba ($4450\text{--}8088\ \mu\text{gC g}^{-1}$) e maiores que os observados por Sumida et al. (2005) (máximo de $5470\ \mu\text{gC g}^{-1}$), que analisaram sedimentos da plataforma de Cabo Frio (região de ressurgência). A biomassa microbiana registrada na área de estudo também foi maior do que os valores registrados em áreas rasas de regiões temperadas ($168\text{--}711\ \mu\text{gC g}^{-1}$) (Köster & Meyer-Reil, 2001). Uma série de variáveis como circulação de água, luz, temperatura, qualidade e disponibilidade da matéria orgânica, bioturbação, nutrientes orgânicos e inorgânicos determinam a variação dos microorganismos (Fabiano & Danovaro, 1998; Kristensen, 2000; Köster & Meyer-Reil, 2001; Canfield et al., 2005). Porém, dependendo das características da região, alguns fatores podem ter maior importância na estruturação e padrões de atividade das comunidades bênticas microbianas. No presente estudo, foi possível verificar a relação dos microorganismos com a matéria orgânica de diferentes composições, desempenhando papel fundamental nos processos de utilização e degradação destes materiais.

As flutuações espaciais e temporais dos valores integrados de biomassa microbiana seguiram, em geral, a tendência encontrada para a maior acumulação de matéria orgânica, tanto fresca, quanto degradada. As bactérias bênticas são capazes de explorar aportes orgânicos de composição variada (Deming & Barros, 1993; Danovaro et al., 1999), corroborando o encontrado no estudo. Em fevereiro de 2005, a maior biomassa microbiana encontrada nas estações centrais 02 e 06 foi possivelmente em resposta às maiores concentrações de materiais orgânicos, em função do padrão local de circulação nas enseadas

(Mahiques et al., 1998). Na EU, a correlação positiva entre a biomassa microbiana e o diâmetro médio, revelou que sedimentos finos com maiores quantidades de matéria orgânica (i.e. área interna da enseada) comportaram elevadas concentrações de biomassa microbiana em todos os meses comparados com sedimentos mais grossos, padrão também documentado por Köster & Meyer-Reil (2001).

A maior disponibilidade de matéria orgânica na EU foi o fator responsável pela maior biomassa microbiana encontrada nesta área. Respostas rápidas dos microorganismos em termos de densidade e biomassa aos aportes de material lábil (e.g. clorofila-a, proteínas e carboidratos) foram amplamente documentadas (Meyer-Reil, 1983; Graf, 1989; Fabiano & Danovaro, 1994; Danovaro et al., 1999; 2000; Smith Jr. et al., 2002; Rusch et al., 2003, entre outros). Moraes (2007) investigando a ecologia das bactérias bênticas na mesma área de estudo (Projeto DIAGEN), observou que a densidade e biomassa bacteriana correlacionaram-se com a clorofila-a, indicando a utilização de frações lábeis da matéria orgânica pelas bactérias. No entanto, no presente estudo, a falta de correlação entre a biomassa microbiana e parâmetros indicadores da qualidade da matéria orgânica como clorofila-a, Feo/Clor, e a correlação positiva com COT, N e S, sugere que os microorganismos utilizaram recursos orgânicos mais refratários, remineralizando-os e liberando compostos ricos em N e S, por exemplo. O mesmo tipo de resposta foi observado na EF, onde a biomassa microbiana foi correlacionada com a razão C/N, que indicou origem mista da matéria orgânica. As PCAs incluindo biomarcadores lipídicos apresentaram resultados similares, onde os maiores valores de biomassa microbiana foram associados às frações mistas, refratárias e/ou degradadas dos substratos orgânicos.

Em geral, as variações dos valores integrados da biomassa microbiana foram similares às encontradas para biomassa bacteriana (Moraes, 2007). A correlação positiva entre estes parâmetros demonstrou que parte da biomassa microbiana foi composta por bactérias do sedimento. Moraes (2007) verificou que em média 10% da biomassa microbiana foi representada por bactérias. Outros organismos como microalgas, protozoários e meiofauna podem ter contribuído para os valores de biomassa microbiana (Köster & Meyer-Reil, 2001; Mincks et al., 2005), uma vez que o ATP (marcador utilizado para estimar a biomassa microbiana) não distingue organismos procariontes e eucariontes (Novitsky & Karl, 1988). Além disso, a diferença entre a biomassa microbiana e bacteriana pode ser explicada pelo fator de conversão utilizado para extrapolar ATP à biomassa microbiana ($C:ATP = 250$) (Karl, 1993). As conversões podem variar em uma ou duas ordens de magnitude, devido

principalmente as diferenças fisiológicas e taxonômicas dos organismos nas condições ambientais locais (e.g. temperatura, luz, nutrientes) (Köster & Meyer-Reil, 2001). Contudo, a medida de biomassa microbiana é frequentemente associada à fração ativa dos microorganismos (Köster & Meyer-Reil, 2001; Smith et al., 2008) e quando utilizada em conjunto com outras variáveis, como biomassa de bactérias, fosfolipídios, aminoácidos enzimaticamente hidrolizáveis e clorofila-a, oferece dados pertinentes a respeito das respostas dos microorganismos aos aportes de matéria orgânica lábil (Graf, 1989; Köster & Meyer-Reil, 2001; Mincks et al., 2005; Sumida et al., 2005; Smith et al., 2008).

As modestas variações na maior parte dos perfis de biomassa microbiana da EF demonstraram a influência do maior nível de energia hidrodinâmica da enseada, que pode ter exercido grandes impactos na superfície dos sedimentos, reduzindo ou impedindo uma resposta dos microorganismos aos aportes de materiais orgânicos frescos. Quintana (2004) atribuiu a ausência de correlação da biomassa microbiana com compostos lábeis da matéria orgânica e fauna à exposição do sublitoral da Ilha Anchieta às perturbações físicas. Já na EU, os maiores valores de biomassa microbiana na área interna da EU, principalmente nos cinco primeiros centímetros da coluna sedimentar foram resultado das maiores concentrações de matéria orgânica sedimentar. Os picos subsuperficiais da biomassa microbiana presentes na Stn 05 em fevereiro e agosto de 2005 podem ter sido decorrentes da bioturbação promovida por indivíduos da macrofauna. O domínio interno da EU é protegido dos impactos de ondulações de forte intensidade e frentes frias. Por esta razão, os sedimentos não são ressuspensos ou retrabalhados pelas perturbações físicas das frentes frias e ondulações de forte intensidade. As atividades de bioturbação injetam oxigênio para camadas mais profundas da coluna sedimentar, permitindo uma maior degradação da matéria orgânica e favorecendo o desenvolvimento de microorganismos aeróbicos (Aller & Aller, 1998; Kristensen, 2000; Stoeck & Krönche, 2001). Isto pode explicar os máximos subsuperficiais observados neste estudo. Outro ponto importante relacionado com este aspecto, não só na EU, mas também na EF, pode estar no fato de que os microorganismos utilizaram a matéria orgânica refratária, que não foi limitada em maiores profundidades da coluna sedimentar (feopigmentos e marcadores lipídicos terrestres – Camila P. Ortulan, Laboratório de Dinâmica Bêntica – IOUSP, comunicação pessoal), provavelmente devido à baixa taxa de decomposição destes compostos menos lábeis, mantendo os materiais orgânicos preservados. Na Figura 58, que mostra os perfis das principais fontes lipídicas da matéria orgânica, pode-se observar que os perfis das fontes referentes às bactérias seguiram a mesma tendência dos

biomarcadores terrestres. Os microorganismos são conhecidos pela capacidade de explorar fontes variadas de substratos orgânicos (Danovaro et al., 1999; 2000), o que pode ter ocorrido nas camadas mais profundas da coluna sedimentar no presente estudo.

Figura 58: Perfis verticais das contribuições relativas das principais fontes de matéria orgânica nos sedimentos da Enseada da Fortaleza (EF) e Enseada de Ubatuba (EU) (Bactéria: somatório dos BRANCH, $C_{18:1\omega7}$, $C_{18:1\omega9}$ e dos ácidos graxos saturados C_{13} , C_{15} e C_{17} ; Fitoplâncton: somatório dos PUFA, $C_{22:5}$, $C_{22:6}$, esteróis C_{28} , $30\Delta^{22}$ e $C_{30\text{keto-ol}}$; Terrestre: somatório LCFA e LCOH). Fonte: Camila P. Ortulan (Relatório Técnico, Laboratório de Dinâmica Bêntica, IOUSP, 2008).

6.4.2. Meiofauna

A distribuição da meiofauna é controlada, basicamente, pela distância da costa (i.e. profundidade da coluna de água), composição do sedimento, concentração de oxigênio da coluna de água e sedimentos, fatores hidrodinâmicos, como correntes de fundo, suprimento e qualidade do alimento, conteúdo de carbonato e porosidade dos sedimentos (Danovaro et al., 2000, Soltwedel, 2000 e referências; Neira et al., 2001). Os valores da densidade da meiofauna encontrados na área de estudo, entre 342-3693 ind 10 cm⁻², foram menores do que os reportados previamente em sedimentos lamosos (ca. 9000 ind 10 cm⁻²) e similares aos arenosos (ca. 4500 ind 10 cm⁻²) na costa de Ubatuba (Quintana, 2004). Porém, foram maiores do que os observados em outras regiões tropicais e subtropicais (16-2650 ind 10 cm⁻²) (Soltwedel, 2000). Geralmente, é esperado que as variações temporais, espaciais e metabolismo das comunidades bênticas de águas rasas sejam fortemente acoplados com as mudanças nos aportes e qualidade do alimento (Graf, 1992; Danovaro et al., 2000). Em particular, a meiofauna é considerada em responder rapidamente em termos de densidade e

biomassa à disponibilidade de alimento fresco de alta qualidade, devido aos curtos ciclos de vida e à alta taxa de recrutamento (Danovaro, 1996).

Estas evidências foram modestamente observadas neste estudo, provavelmente em função da análise generalista da meiofauna adotada no presente estudo, na qual foram quantificadas as densidades dos grandes grupos da meiofauna e o seu total. Tal análise não foi suficiente para detectar mais especificamente as relações destes organismos com a composição e acúmulo de matéria orgânica, avaliados através de diversas medidas (razões C/N, Feo/Clor, biomarcadores lipídicos, concentrações MOT, COT e fotopigmentos). Na área de estudo e na costa do Brasil, o grupo Nematoda, predominante da meiofauna, apresenta alta diversidade (Curvelo, 2003; Gallucci & Netto, 2004), demonstrando que provavelmente uma análise em maior detalhe taxonômico poderia responder melhor aos parâmetros ambientais investigados neste estudo.

Entretanto, é importante destacar que, a meiofauna total apresentou diferentes comportamentos entre as enseadas. Na EF, a abundância da meiofauna foi regulada pela maior contribuição das frações de areia no sedimento, atestado pela correlação negativa entre estes organismos e diâmetro médio do sedimento. E, o grupo Nematoda representando 84-99% da meiofauna total, correlacionou-se positivamente com areia, negativamente com diâmetro médio e porcentagem de finos do sedimento, confirmando o pressuposto. A PCA realizada com valores integrados das variáveis ambientais e fauna bêntica da EF, também apontou o mesmo aspecto. Contrariamente ao documentado por Quintana (2004) e Venturini (2007), que registraram maiores densidades de meiofauna e Nematoda em sedimentos finos, ricos organicamente no litoral norte de São Paulo. Possivelmente, neste estudo, as espécies de Nematoda e Copepoda (não identificadas) foram mais adaptadas a habitar locais arenosos, com maior espaço intersticial (Higgins & Thiel, 1988), explicando as maiores densidades nestes tipos de sedimentos. Em contraste, na EU nenhum parâmetro ambiental utilizado no estudo correlacionou-se com as variações das abundâncias de meiofauna. No entanto, a PCA da EU revelou outra tendência, com maiores densidades de meiofauna e Nematoda (grupo dominante da meiofauna) associadas às maiores densidades de macrofauna, depositívoros de superfície e carnívoros mostrando uma provável interação biológica entre estes organismos (para maiores detalhes ver item 6.4.4).

De fato, muitos trabalhos, da costa ao mar profundo, não encontraram rápidas respostas da meiofauna aos pulsos de disponibilidade de alimento lábil (Radziejewska et al., 1996; Gooday et al., 1996; Danovaro et al., 2000). Já outros autores observaram aumentos da

densidade da meiofauna somente após um lapso temporal da deposição de materiais frescos (Rudnick, 1989; Danovaro et al., 2000). A relação entre a meiofauna e produção primária, é complexa, devido às influências simultâneas de fatores abióticos, processos biológicos e interações com outros componentes da fauna bêntica (e.g. competição, predação) (Danovaro, 1996; Albertelli et al., 1999; Danovaro et al., 2000; Soltwedel, 2000), dificultando o entendimento da dinâmica das associações de meiobentos e do funcionamento das cadeias tróficas bênticas. Além disso, a ausência de aumento da densidade e biomassa da meiofauna tem sido freqüentemente atribuída às lentas taxas do crescimento das gônadas de alguns grupos da meiofauna e a alocação de suas necessidades energéticas para a produção de ovos (Gooday et al., 1996; Danovaro et al., 2000).

Contudo, as diferenças espaciais e temporais significativas na densidade da meiofauna sugerem que estes organismos possam estar relacionados a mudanças na qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar ou a outros fatores ambientais não medidos neste estudo. Venturini (2007) encontrou, no Canal de São Sebastião, litoral norte de São Paulo, correlação positiva da meiofauna com a fração biopolimérica do carbono, obtida através da soma dos carboidratos, proteínas e lipídios totais do sedimento. Na EF, as mais altas densidades de meiofauna registradas na Stn 01, poderiam estar associadas a maior qualidade da matéria orgânica deste local, provavelmente composta pela maior biomassa de microfitobentos, detectada pelas elevadas concentrações de clorofila-a e de biomarcadores lipídicos de diatomáceas. Porém, isto só poderá ser provado estatisticamente quando os dados de lipídios dos meses de dezembro de 2004, abril e novembro de 2005 estiverem disponíveis (dados em processamento).

Ainda, a influência das perturbações físicas como as passagens de frentes frias em locais expostos da área de estudo pode ter induzido flutuações da meiofauna, reduzindo significativamente as densidades nos meses de novembro e em algumas estações da EF no mês de agosto de 2005. Organismos de pequeno porte, e.g. meiofauna, sofrem a ação da hidrodinâmica local, podendo ser transportados como grãos de sedimento (Gallucci & Netto, 2004), o que também é reconhecidamente um mecanismo de recrutamento destes indivíduos (Palmer, 1988). Portanto, a meiofauna pode ter sido controlada tanto pelos estresses físicos em ambientes expostos, quanto pela qualidade e disponibilidade de alimento, entretanto, mais estudos são necessários para que se possa identificar a importância de cada processo na estruturação das comunidades de meiobentos.

A dominância do grupo Nematoda foi observada em trabalhos prévios de diversas regiões (Corbisier et al., 1997; Danovaro et al., 1999; 2000; Soltwedel, 2000; Brown et al., 2001; Gallucci & Netto, 2004; Quintana, 2004; Venturini, 2007) e foi também registrada no presente estudo, variando de 64-99% da meiofauna total. Na EU, os Nematoda, assim como a meiofauna total, estiveram associados a maiores densidades de macrofauna, depositívoros de superfície e carnívoros, o que pode estar relacionado com atividades de predação da macrofauna sobre os Nematoda. Na EF, os Nematoda foram fortemente determinados pelas características granulométricas que, por sua vez, foram altamente correlacionadas com materiais refratários, densidade e biomassa de bactérias, sugerindo a utilização destes recursos alimentares por este grupo. A relação entre Nematoda e microorganismos já foi observada em outros estudos, os quais fundamentaram esta afinidade pelos requerimentos nutricionais dos Nematoda em termos protéicos, ou seja, nitrogênio, abundante nas bactérias (Montagna, 1984; Findlay & Tenore, 1982; Brown et al., 2001; Pascal et al., 2008). Além disso, as atividades de pastejo deste grupo da meiofauna estimulam o crescimento das comunidades microbianas (Montagna, 1984), reforçando a interação entre estes elos da cadeia trófica bêntica.

Em contrapartida, na EF a correlação positiva do grupo Copepoda com sedimentos finos e negativa com areia, principais parâmetros determinantes da MOT, feopigmentos e razão C/N revelou um consumo de materiais orgânicos provindos de produção primária por parte destes organismos, porém com um modesto nível de degradação. Mais especificamente, através da PCA, foi verificada uma associação entre Copepoda, maiores concentrações de feopigmentos e altas razões Feo/Clor. Os sedimentos das áreas externas da EF apresentaram maiores teores de fitodetritos, com grandes contribuições de feopigmentos, onde as densidades de Copepoda foram mais altas. Esta evidência foi observada também na EU, onde os Copepoda ocorreram em maiores densidades nas estações externas da enseada, locais onde elevadas razão Feo/Clor foram observadas. A correlação entre Copepoda e cloropigmentos foi também verificada em outras regiões (Rudnick, 1989; Radziejewska et al., 1996; Danovaro et al., 2000), confirmando o observado neste estudo. Ainda na EU, o grupo Copepoda foi negativamente correlacionado com biomassa da macrofauna, sugerindo uma possível predação da macrofauna sobre estes indivíduos, controlando as variações da abundância deste grupo.

Em uma escala vertical de centímetros, os efeitos das características abióticas dos sedimentos (e.g. concentração de oxigênio, ocorrência de sulfetos, quantidade de água,

proximidade da superfície do sedimento) são mais importantes para estruturação das comunidades do meiobentos do que outros fatores abióticos (como salinidade, variáveis geomorfológicas ou sedimentológicas) (Heip et al., 1985; Heldenberg & Jensen, 1993; Steyaert et al., 2003). Neste estudo, o oxigênio esteve presente em concentrações suficientes para permitir a ocorrência de maiores densidades de meiofauna até profundidades de ~5 cm do sedimento (visualmente observado no campo pela coloração amarronzada do sedimento em quase todas as estações de amostragem). Nematoda, pela maior capacidade de migrar entre os grãos de sedimento e suportar ambientes hipóxicos ou anóxicos, atingiram camadas com profundidade de 10 cm, como esperado, enquanto que Copepoda, mais sensível a diminuição do oxigênio (Heldenberg & Jensen, 1993; Galéron et al., 2001) foram limitados a superfície do sedimento.

Adicionalmente, as variações da densidade de meiofauna entre a superfície e subsuperfície do sedimento nas enseadas foram provavelmente associadas à constituição granulométrica e necessidades alimentares destes organismos. Geralmente, em sedimentos com maiores frações de silte, o padrão de distribuição dos Nematoda é bem estabelecido, com abundâncias extremamente altas na superfície e subsuperfície, diminuindo gradualmente em camadas mais profundas da coluna sedimentar (Galerón et al., 2001; Steyaert et al., 2003). Em condições mais arenosas, maiores flutuações em camadas mais profundas do sedimento são observadas (Steyaert et al., 2003). Tais padrões foram observados no estudo, sobretudo nas estações arenosas das enseadas, 01, 07 e 08. Por outro lado, a tendência geral de maiores densidades da meiofauna na superfície do sedimento na área de estudo sugere a utilização dos recursos alimentares disponíveis nestes locais, ou seja, na maior parte dos meses amostrados, uma mistura de compostos da matéria orgânica, como os fitodetritos e biomassa de bactérias.

Um conjunto de fatores determinou as variações temporais e espaciais da meiofauna de Ubatuba. Estes incluíram composição do sedimento, passagem de frentes frias, matéria orgânica de composição mista (i.e. cloropigmentos e microorganismos) e interações biológicas, como predação e competição. Entretanto, não foi observado, como esperado, em épocas (abril e agosto de 2005) e locais (áreas internas das enseadas) de elevada qualidade da matéria orgânica, um claro padrão de respostas em maiores densidades da meiofauna e dos principais grupos meiofaunísticos. Isto pode ter ocorrido em função da forma de análise utilizada, a qual compreendeu densidades totais dos grandes grupos taxonômicos, ou ainda, por a área de estudo ter sido rasa e localizada na costa, onde um grande número de variáveis atua simultaneamente sobre o sistema, dificultando a identificação de relações específicas

entre a meiofauna e a matéria orgânica. Em regiões costeiras caracterizadas pela natureza altamente dinâmica, os processos físicos influenciam diretamente a meiofauna pela remoção e transporte, alterando também a disponibilização e utilização dos recursos alimentares, usualmente, compostos por diversas fontes e níveis de degradação.

6.4.3. Macrofauna

A macrofauna bêntica desempenha um papel fundamental em processos-chave do funcionamento do ecossistema marinho (e.g. metabolismo bêntico, produtividade, ciclagem de nutrientes) (Waldbusser et al., 2004; Canuel et al., 2007; Norling et al., 2007; Smith et al., 2008). A macrofauna age nos processos de remineralização da matéria orgânica, através da bioturbação, disponibilizando nutrientes essenciais para a coluna de água (i.e. carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo), e/ou enterrando produtos orgânicos no interior do sedimento (Kristensen, 2000; Solan et al., 2004, Burdige, 2007). Ainda, influencia na estruturação das comunidades bênticas através das interações biológicas (i.e. como presas, competição, predação) (Albertelli et al., 1999; Duineveld et al., 2000; Galéron et al., 2001; Rocha et al., 2003), participando ativamente como um importante componente das cadeias tróficas marinhas. Neste estudo, a macrofauna demonstrou participar de todos os processos acima mencionados, que serão descritos a seguir, aqui e nos três itens posteriores.

Tradicionalmente, fatores clássicos como profundidade da coluna de água, tamanho dos grãos, heterogeneidade dos sedimentos e concentração de oxigênio são considerados determinantes da fauna bêntica. Entretanto, estudos das últimas duas décadas concluíram que a qualidade e quantidade da matéria orgânica disponível como alimento nos sedimentos possuem grande ou maior relevância para as comunidades macrobênticas (Dauwe et al., 1998; Gutiérrez et al., 2000; Josefson et al., 2002). A variação anual da produtividade primária afeta diretamente a qualidade e quantidade da matéria orgânica que se deposita nos sedimentos, e por consequência, a abundância, biomassa, diversidade, ciclos reprodutivos e assentamento larval da fauna bêntica (Gooday & Turley, 1990; Graf, 1992; Duineveld et al., 2000; Sumida et al., 2000; Rosenberg, 2001). A densidade da macrofauna encontrada neste estudo ($201-4352 \text{ ind m}^{-2}$) foi semelhante às registradas em estudos prévios em áreas costeiras de Ubatuba (Santos & Pires-Vanin, 2004; Muniz, 2003; Quintana, 2004). De acordo com as análises multivariadas, as diferenças na distribuição das comunidades macrobênticas foram causadas por uma miríade de fatores abióticos e bióticos, dentre eles, tipo do sedimento, profundidade

da coluna de água, microalgas planctônicas e bênticas, compostos refratários da matéria orgânica e microorganismos.

As alterações da densidade da macrofauna em ambas as enseadas foram mais marcadas temporalmente do que espacialmente. É importante destacar que, espacialmente, as estações obedeceram a um gradiente de profundidade da coluna de água, arranjadas em direção costa-oceano. Embora as densidades da macrofauna não tenham apresentado diferenças significativas entre quase todas as estações das enseadas, o padrão de distribuição das espécies foi parcialmente controlado pela profundidade da coluna de água, como demonstrado pela análise estatística *Biotic Environmental Matching* (Bio-Env). Provavelmente, pelo fato da profundidade ter sido um agente crucial na composição dos sedimentos e labilidade das fontes alimentares, especialmente na EU, mesmo representando uma escala relativamente pequena (4-20 m). A influência da profundidade na estruturação de comunidades macrobênticas é largamente documentada, tanto na região de estudo, como em outros pontos geográficos (Pires-Vanin, 1993; Sumida & Pires-Vanin, 1997; Duineveld et al., 2000; Jayaraj et al., 2008), porém em diferentes magnitudes. As enseadas foram caracterizadas por grande variação dos níveis de degradação dos materiais orgânicos com o aumento da profundidade, devido à maior exposição das áreas externas aos eventos físicos.

A tendência geral da dinâmica temporal da macrofauna no estudo aparentemente seguiu um ciclo anual de mudanças na densidade. A escala crescente de abundância da macrofauna, nos meses de novembro de 2000 e dezembro de 2004, com picos em abril e agosto de 2005, confirma este fato. Muniz (2003) e Santos & Pires-Vanin (2004) estudando a área costeira de Ubatuba também reportaram maiores densidades da macrofauna nos meses de abril e agosto de 2005. Os maiores valores da densidade em abril e agosto de 2005 podem estar associados à maior qualidade da matéria orgânica nestes meses em relação aos meses restantes. As altas qualidades dos recursos alimentares em abril de 2005, após o advento da ACAS resultando em florescimentos de diatomáceas e em agosto de 2005, pelo aumento da produtividade em decorrência da ressuspensão de sedimentos, foram atestadas pelas menores razões C/N (dezembro de 2004 e fevereiro de 2005) e Feo/Clor. Ambas as razões indicaram maiores aportes de compostos nitrogenados, essenciais para os requerimentos energéticos dos organismos bênticos (Phillips, 1984; Graf, 1992; Wieking & Krönche, 2005), comprovando o alto nível de qualidade nestes períodos.

A estrutura trófica dos poliquetas, grupo dominante da macrofauna, também evidenciou o padrão anual de flutuações, impulsionado principalmente pelos contrastes dos

suprimentos alimentares, em termos de composição da matéria orgânica sedimentar. A análise dos grupos tróficos das comunidades bênticas é um método amplamente empregado para determinar-se o fluxo de energia em sedimentos marinhos, sendo sensíveis a múltiplos fatores, incluindo distúrbios ambientais, qualidade e disponibilidade dos recursos alimentares, textura do sedimento, condições hidrodinâmicas e efeitos antropogênicos (Pearson & Rosenberg, 1978; Gaston & Nasci, 1988; Snelgrove & Butman, 1994; Dauwe et al., 1998; Muniz & Pires, 1999). A dominância dos depositívoros de superfície nos períodos dos máximos de abundância da macrofauna (abril e agosto de 2005) pode ter sido em função da maior qualidade da matéria orgânica (Dauwe et al., 1998; Krönche et al., 2004; Wieking & Krönche, 2005). Altas densidades de depositívoros de superfície e suspensívoros são freqüentemente atribuídas a deposições de grandes quantidades de matéria orgânica com alta qualidade (Dauwe et al., 1998).

As variações temporais dos depositívoros de superfície deste estudo não somente refletiram a influência dos aportes de matéria orgânica lábil, fonte alimentar preferencialmente consumida por estes organismos (Josefson et al., 2002), mas também comprovaram as alterações dos níveis de qualidade nutricional da matéria orgânica. Em contrapartida, a constância temporal das abundâncias relativas dos depositívoros de subsuperfície, compostas principalmente pela espécie *Mediomastus capensis*, reforçou o caráter misto e/ou refratário da matéria orgânica sedimentar em maiores profundidades da coluna sedimentar. Os depositívoros de subsuperfície utilizam o material degradado que permanece ou é enterrado no sedimento, sequencialmente, após o consumo dos materiais frescos pelos depositívoros de superfície (Dauwe et al., 1998; Wieking & Krönche, 2005).

As espécies *Spiophanes* sp. 1, *Aricidea* sp. 1, *Magelona papillicornis*, *M. posterolongata* e Cirratullidae sp. 1 foram as que mais contribuíram para a abundância relativa dos depositívoros de superfície. Com exceção de *Aricidea* sp. 1, estas espécies são dotadas de longos palpos ou tentáculos que capturam os materiais particulados na superfície do sedimento ou em suspensão na coluna de água (Fauchald & Jumars, 1979). Como observado para outras espécies da macrofauna, a ocorrência destas espécies mais abundantes em ambas as enseadas, demonstrou uma ampla distribuição das mesmas na área de estudo, em diferentes texturas dos sedimentos. As estações das enseadas diferiram entre maiores contribuições de frações arenosas e finas, evidenciando certa plasticidade das espécies em habitar locais deposicionais ou de alta energia hidrodinâmica. A ausência de correlações significativas entre os parâmetros sedimentares e densidades dos grupos tróficos da

macrofauna suporta esta tendência. Wieking & Krönche (2003) observaram o mesmo padrão, justificando ainda que a falta de correlação entre os grupos tróficos e as variáveis medidas no sedimento, se deve ao fornecimento de alimento determinado pelos fluxos de materiais particulados produzidos na coluna de água via sistemas frontais. A capacidade dos depositívoros de superfície de mudar o hábito alimentar para suspensívoros, ou vice-versa, seguindo as variações das correntes e fluxos de matéria orgânica, explica a alta dominância dos mesmos em muitos ambientes (Fauchald & Jumars, 1979; Snelgrove & Butman, 1994; Wieking & Krönche, 2003). Tal fato também explica a distribuição dos depositívoros de superfície nas enseadas, que utilizaram os recursos alimentares disponíveis mediante condições ambientais contrastantes.

A contribuição relativa decrescente dos carnívoros, com máximo em dezembro de 2004 e menores valores nos meses de abril, agosto e novembro de 2005, demonstrou que o sistema bêntico esteve em maior equilíbrio e em um estágio mais maduro da sucessão neste primeiro mês. Devido à posição superior dos carnívoros na cadeia alimentar, a dominância relativa dos mesmos pode ser considerada uma medida eficiente e confiável do grau de estruturação da comunidade (Muniz & Pires, 1999). A maior frequência relativa de outros grupos da macrofauna, como crustáceos e moluscos, também indicou maior estabilidade das comunidades macrobênticas em dezembro de 2004. Neste mês, condições ambientais menos estressantes, quantidades intermediárias de alimento com alta qualidade foram mais importantes para a maior equitatividade, seguido da diversidade e riqueza de espécies em quase todas as estações. Além disso, a crescente abundância relativa dos carnívoros, nos meses de abril, agosto e novembro de 2005, representados principalmente pelas espécies *Lumbrineris tetraura*, *Ninoe brasiliensis* e *Sigambra grubii*, pode ter sido resultado do aumento do número de presas potenciais, que apresentaram desenvolvimento favorecido pelas melhores condições alimentares.

Na EU, a PCA entre a fauna e parâmetros ambientais mostrou que os carnívoros foram relacionados com os Nematoda e meiofauna, indicando que os dois últimos poderiam ser utilizados como presas. Ainda, nesta enseada, a correlação positiva dos carnívoros com biomassa da macrofauna, mostrou que tais organismos foram de grande tamanho, podendo preda animais menores, como os depositívoros de superfície (e.g. *Aricidea* sp. 1). Este fato foi corroborado pela correlação positiva entre carnívoros e depositívoros de superfície. Na EF, o mesmo comportamento foi observado, porém, os carnívoros correlacionaram-se também com depositívoros de subsuperfície de pequeno biovolume (e.g. *Mediomastus capensis*). A

PCA suportou este aspecto através da associação entre os carnívoros e depositívoros de subsuperfície. Os carnívoros possuem relativamente maior mobilidade que os outros poliquetas (Fauchald & Jumars, 1979), o que facilita o acesso às presas que vivem em camadas mais profundas da coluna sedimentar.

Os onívoros foram pouco representativos em termos de abundância relativa, como também observado na região por outros autores (Muniz & Pires, 1999; Muniz, 2003; Arazaki et al., 2004). Porém, constituíram grande parte da biomassa da macrofauna, por serem de maior tamanho (i.e. espécies da família Nereididae) em comparação aos poliquetas dos outros grupos tróficos. Este aspecto pôde ser observado na PCA, onde os onívoros foram fortemente relacionados à biomassa de macrofauna em ambas as enseadas. Além disso, a posição central nos gráficos da PCA confirmou a característica das espécies onívoras de alimentarem-se de fontes variadas (e.g. microalgas, tecidos vivos, entre outros) (Muniz & Pires, 1999 e referências).

A dominância das espécies *Spiophanes* sp. 1, *Mediomastus capensis*, *Aricidea* sp. 1, *Magelona papillicornis* e *M. posterolongata* e Cirratullidae sp. 1, consideradas oportunistas, nos meses de abril e agosto de 2005, foi provavelmente em resposta ao enriquecimento dos recursos alimentares com materiais de alta qualidade nas enseadas (Pearson & Rosenberg, 1978; Fauchald & Jumars, 1979; Muniz, 2003). Estas famílias, gêneros ou espécies de poliquetas foram previamente documentados em maiores densidades nos meses de verão e primavera em outros estudos realizados no litoral norte de São Paulo (Pires-Vanin, 1993; Muniz, 2003; Arazaki et al., 2004; Santos & Pires-Vanin, 2004; Venturini, 2007). Adicionalmente, em agosto de 2005, mês de frentes frias intensificadas, a instabilidade do sedimento pode ter contribuído para as maiores densidades de oportunistas. Neste mês, o maior número de poliquetas na meiofauna sugere a presença de recrutas (formas de pequeno tamanho das famílias Spionidae, Paraonidae e Capitellidae – não quantificadas, possivelmente pertencentes às espécies encontradas em maiores abundâncias, citadas anteriormente). A ocorrência dos oportunistas em abril e agosto de 2005 reduziu a diversidade, riqueza de espécies e equitatividade em todas as estações das enseadas, com algumas exceções. Nos mesmos períodos, a elevada ocorrência de espécies raras (baixa dominância e frequência de ocorrência) explicou os maiores números da diversidade, riqueza de espécies e equitabilidade nas estações 01 e 04. Contudo, espécies raras também foram registradas nos outros meses. Na região de Ubatuba, é comum o grande número de espécies raras nas comunidades macrobênticas (Pires-Vanin, 1993; Muniz, 2003), certificando o observado no estudo.

O aparecimento, no mês de abril e agosto de 2005, de altas densidades dos moluscos *Tellina* sp. e *Strigilla* sp., esteve provavelmente também associado ao sinal de maior acúmulo de materiais orgânicos frescos provenientes da produção primária, de elevada qualidade nutricional. Estes bivalves são ativos cavadores infaunais, depositívoros, que utilizam os longos sifões para capturar as partículas depositadas na superfície do substrato (Arruda et al., 2003; Amaral et al., 2006). Os Tellinidae são conhecidos por habitar locais arenosos (Jayaraj et al., 2008), no entanto, são amplamente distribuídos, sendo adaptados a viver em sedimentos arenosos ou lamosos (Amaral et al., 2006). No presente estudo, ocorreram nas estações internas das EF e EU, com maiores porcentagens de frações arenosas e finas, respectivamente. A estabilidade temporal das densidades de bivalves juvenis (encontrados na meiofauna) e a presença de adultos, em abril e agosto de 2005, sugerem que o crescimento dos mesmos foi favorecido nos períodos de maior disponibilidade de recursos alimentares ricos em nitrogênio. O nitrogênio, abundante em microalgas e microorganismos, é fundamental para a nutrição, obtenção de aminoácidos essenciais, crescimento e ciclos reprodutivos da fauna bêntica (Phillips, 1984; Wieking & Krönche, 2003). Christensen & Kanneworff (1985) mostraram que a matéria orgânica proveniente de microalgas foi o fator determinante para o crescimento e produção de tecidos reprodutivos em vários invertebrados marinhos. Boon et al. (1998) e Wieking & Krönche (2003) verificaram que os crescimentos do bivalve *Mysella bidentata* e do ouriço *Echinocardium cordatum*, respectivamente, foram correlacionados com as concentrações de clorofila-a. Deste modo, as altas densidades dos bivalves em abril e agosto de 2005 podem ser explicadas pelo crescimento dos juvenis, beneficiados pela maior qualidade da matéria orgânica derivada da produção primária encontrada nestes meses.

O pico de abundância do anfípoda *Ampelisca paria* em abril de 2005 pode, igualmente aos outros componentes da fauna bêntica, estar relacionado às condições alimentares presentes nesta época. Esta espécie é relativamente comum e foi reportada em trabalhos anteriores na região do litoral norte de São Paulo (Muniz, 2003; Santos & Pires-Vanin, 2004; Venturini, 2007). Considerada oportunista, *A. paria* foi encontrada por Muniz (2003) em altas densidades no verão, mediante a maior carga orgânica presente nos sedimentos, resultados similares aos encontrados neste estudo.

Dada a variabilidade da macrofauna foi marcadamente temporal e as espécies foram comuns entre as enseadas, análises de Bio-Env e *non-Metric Multidimensional Scale* (MDS) foram realizadas para cada mês, utilizando as estações das enseadas agrupadas. Estas análises mostraram que os distúrbios físicos do inverno e a qualidade da matéria orgânica nos meses

de verão não somente determinaram a densidade e estrutura trófica da macrofauna, mas também a distribuição e composição das espécies. Além disso, foi revelado que as espécies da macrofauna variaram em função de outros fatores, como biomassa e densidade de bactérias.

O maior número de variáveis de explicação do Bio-Env para as espécies da macrofauna no mês de inverno, agosto de 2005, pode estar relacionado com as condições físicas estressantes desta época. Dentre as cinco variáveis significativas, três foram abióticas e associadas à granulometria, demonstrando a influência das características hidrodinâmicas na distribuição das espécies nas enseadas. Isto foi confirmado pela semelhança dos diagramas de ordenação, obtidos pelas análises de MDS das espécies e das variáveis de explicação do Bio-Env. Ainda, o Bio-Env de agosto de 2005 revelou que a densidade e biomassa de bactérias contribuíram para a variação da distribuição das espécies da macrofauna, provavelmente enriquecendo a matéria orgânica em termos protéicos, aumentando a labilidade dos recursos alimentares (Fabiano et al., 1995; Danovaro et al., 1999). No caso da EU, a ampla distribuição vertical das espécies nas estações internas, pode ter oferecido condições favoráveis para o desenvolvimento dos microorganismos, encontrados em abundância na subsuperfície do sedimento em agosto de 2005. No entanto, mais estudos são necessários para compreender a relação macrofauna-microorganismos na região.

Em contrapartida, no mês de abril de 2005, as espécies da macrofauna foram essencialmente determinadas pela composição da matéria orgânica e bactérias, revelado pelo mais alto coeficiente de correlação da análise Bio-Env. Nas estações 03, 04, 07 e 08, com maiores densidades da macrofauna, os valores de biomassa de bactérias foram menores (Moraes, 2007), revelando que provavelmente, as espécies da macrofauna utilizaram as bactérias como fonte alimentar. Por outro lado, a qualidade e quantidade dos recursos alimentares, demonstrado pela correlação significativa com as variáveis, clorofila-a e feopigmentos, também explicaram a distribuição das espécies, as quais exploraram a matéria orgânica de diferentes reatividades, de acordo com o modo trófico e posição na coluna sedimentar.

Em ambos os meses de dezembro de 2004 e novembro de 2005, a densidade da macrofauna foi relativamente menor do que em outros períodos. No entanto, a distribuição e composição das espécies foram explicadas por diferentes parâmetros. Em dezembro de 2004, segundo o Bio-Env, a razão Feo/Clor foi o que mais influenciou as espécies, comprovando a importância da qualidade da matéria orgânica derivada da produção primária para estes organismos. Já em novembro de 2005, as espécies utilizaram compostos da matéria orgânica

em maior estágio de degradação em decorrência da escassez de materiais orgânicos lábeis, como observado pelo Bio-Env, com feopigmentos sendo uma das variáveis que mais explicaram a distribuição e composição das espécies. Os diagramas de ordenação das espécies e das variáveis mais explicativas das análises de MDS apresentaram a disposição das estações de forma semelhante, assegurando estas interpretações. Em ambos os meses, a profundidade apareceu como variável significativa para as variações das espécies. Neste caso, devido à profundidade ter sido o fator principal na determinação da composição dos sedimentos nas enseadas e, conseqüentemente, na qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar, como mencionado anteriormente.

Cabe destacar que, as enseadas diferem quanto aos impactos antrópicos, sendo que a EU é mais afetada que a EF, principalmente devido ao crescente turismo e urbanização (Mahiques et al., 1998). Quatro rios influenciam a qualidade da água na EU, com maiores aportes no verão e períodos chuvosos, quando grandes quantidades de esgotos não tratados são introduzidos na enseada (Burone et al., 2003; Muniz et al., 2006). Muniz et al. (2006) avaliando as concentrações de metais pesados, concentrações de hidrocarbonetos e esteróis, concluíram que a área pode ser considerada moderadamente poluída. Assim, a área pode estar sujeita a modificações nas associações bênticas, já que nos sedimentos depositam-se o material orgânico particulado provindo de esgotos.

Usualmente, os estudos de poluição marinha utilizam como medidas simples, os teores de carbono orgânico e concentração de oxigênio dos sedimentos, para avaliar os subseqüentes impactos nas comunidades bênticas (Gray et al., 2002; Hyland et al., 2005). Maiores concentrações de carbono orgânico implicam nas menores concentrações de oxigênio, decorrentes dos processos oxidativos de degradação (Kristensen, 2000). Como resultado, pode ocorrer à liberação de NH_4^+ e H_2S dos sedimentos em concentrações tóxicas aos invertebrados, aumentando a mortalidade e diminuindo a biodiversidade (Gray et al., 2002; Hyland et al., 2005). Em um trabalho prévio, Burone (2002) encontrou maior teor de carbono orgânico na área central da EU nos meses de verão, período em que é esperado o aumento da descarga de esgotos domésticos. Isto resultou no aumento de amônio nas águas intersticiais do sedimento, como conseqüência da intensa oxidação da matéria orgânica (Burone, 2002), podendo ter efeitos tóxicos na fauna bêntica (Gray et al., 2002; Hyland et al., 2005). No presente estudo, as concentrações de carbono orgânico na área interna da EU não foram maiores nos meses verão avaliados (i.e. dezembro de 2004 e fevereiro de 2005), comparando-se aos outros meses. As concentrações do oxigênio dissolvido da água de fundo e as razões

C/S, constantemente usadas para detectar ambientes anóxicos (Leventhal, 1983; Muniz, 2003), não foram mais baixas nos meses de verão, indicando condições aeróbicas para a fauna bêntica. Além disso, a diversidade e riqueza de espécies da macrofauna das estações internas da EU, próximas da costa e efluentes, não foram relativamente menores no mês de verão estudado (i.e. dezembro de 2004).

No entanto, em julho, período em que também aumenta a população da EU (Burone, 2002), o grau de enriquecimento orgânico no mês subsequente agosto de 2005 (mês de inverno avaliado) foi relativamente maior internamente na EU, contudo as concentrações de oxigênio e razões C/S, não se modificaram. Em agosto de 2005, a diversidade e riqueza das espécies foram menores na estação central 06 da EU, onde a matéria orgânica total tende a se acumular em intervalos de frentes frias devido à circulação interna da enseada e meses calmos de verão. O mesmo padrão foi observado em abril de 2005, mês posterior ao verão. Estes aspectos corroboraram ao observado por Burone & Pires-Vanin (2006) e Muniz (2003), que encontraram menores diversidades das espécies de foraminíferos e macrofauna, respectivamente, na porção central da EU e próximo a desembocadura dos rios. Em ambos os meses, houve o aparecimento de grandes densidades de espécies oportunistas na Stn 06, o que explica a menor diversidade. Portanto, neste estudo, a estrutura da comunidade macrobêntica da Stn 06, pode ter sido moderadamente influenciada pelos efeitos da poluição orgânica da EU. Já nos demais locais desta enseada, considerando as condições relativamente aeróbicas e as baixas concentrações de carbono orgânico, as alterações da macrofauna podem ter resultado meramente de variações naturais, orientadas pelas forçantes ambientais.

Os maiores valores da biomassa da macrofauna (peso seco livre de cinzas), entre 3000-5000 mg m⁻² foram consequência da presença de alguns animais de grande tamanho em relação aos outros organismos da macrofauna, como sipúnculas do gênero *Sipunculus* (no gráfico representado como Outros), ofiuróides (*Amphiodia atra*), moluscos adultos do gênero *Tellina* e *Solen*, e crustáceos talassinídeos do gênero *Callianassa*. Excluindo estes altos valores, a biomassa da macrofauna variou de 140 a 1400 mg m⁻², sendo menores do que as registradas por Harriague et al. (2006) em bancos de gramíneas marinhas e do que as encontradas em sedimentos estuarinos (Hermant et al., 2008), ambos na costa do Mar Mediterrâneo, região temperada. E, foi comparável a biomassa encontrada em áreas de plataforma e mar profundo (ca. 1500 mg g⁻²) (Flach & Heip, 1996; Albertelli et al., 1999; Galéron et al., 2000; Witte, 2000). Tal fato pode ser explicado pela dominância de poliquetas de pequeno tamanho na área de estudo. López-Jamar et al. (1992) também registraram altos

números de poliquetas de pequeno tamanho, rápido crescimento e baixa biomassa, na plataforma da área de ressurgência na Galícia, Espanha, com pulsos de produção primária. Entretanto, menores valores de biomassa são esperados em ambientes profundos, onde os recursos alimentares são escassos (Flach & Heip, 1996; Galéron et al., 2000). Na área de estudo, a biomassa da macrofauna pode ser considerada baixa para uma região costeira, com quantidade não limitante de alimento nos sedimentos – os teores de fitodetritos foram similares aos de ambientes eutróficos (Dell’Anno et al., 2002; Vezzulli & Fabiano, 2006), embora o sistema seja classificado, de acordo com a biomassa fitoplânctônica, como oligomesotrófico (Aidar et al. 1993; Gaeta et al., 1995). Provavelmente, a instabilidade do sistema costeiro da área de Ubatuba, dificulta a obtenção de alimento pela macrofauna, que em intervalos de tempos calmos é dominada por espécies oportunistas de pequeno biovolume, capazes de explorar rapidamente os recursos disponíveis. Por outro lado, a menor biomassa da macrofauna, pode indicar uma adaptação dos organismos à alta energia hidrodinâmica atuante no local, facilitando o recrutamento das populações após a incidência de distúrbios físicos.

Com respeito à distribuição vertical, a maior penetração da macrofauna na coluna sedimentar da EU, comparado com a EF, nos meses de abril e agosto de 2005, pode ser explicada pela quantidade da matéria orgânica. Além da densidade, estrutura trófica e composição de espécies, a qualidade e magnitude dos enriquecimentos orgânicos dos sedimentos influenciam a distribuição vertical da macrofauna (Pearson & Rosenberg, 1978; Flach & Heip, 1996; Dauwe et al., 1998; Gutiérrez et al., 2000; Witte, 2000). Maiores aportes de matéria orgânica de alta qualidade implicam na dominância de organismos vivendo na superfície do sedimento, enquanto que locais contendo grandes quantidades de materiais refratários, são habitados por organismos adaptados a viver em maiores profundidades do sedimento (Levin et al., 1997; Dauwe et al., 1998; Gutiérrez et al., 2000). As partições do espaço e recursos alimentares também podem elucidar os padrões verticais de distribuição da macrofauna no sedimento, comportando a coexistência das espécies bênticas em diferentes profundidades da coluna sedimentar.

Na EU, nos meses de abril e agosto de 2005, a maior disponibilidade de alimentos de alta qualidade foi observada associada com a maior distribuição da macrofauna no interior do sedimento. Este padrão foi contrário ao observado por Dauwe et al. (1998) que, para os tipos de recursos alimentares disponíveis nestes meses, seria de uma estreita distribuição vertical da fauna. A macrofauna de abril e agosto de 2005, composta predominantemente por depositívoros de superfície, não foi encontrada em maiores densidades na superfície do

sedimento, como esperado. O comportamento de habitar locais mais profundos do sedimento pode estar relacionado a uma estratégia de repartição de alimento, consequência do maior sucesso de outros componentes do sistema bêntico na superfície do sedimento na utilização dos compostos lábeis abundantes (i.e. protozoários e/ou meiofauna) e da maior estabilidade do sedimento nas estações internas e protegidas da EU. Quintana (2004) observou distribuição homogênea da macrofauna na coluna sedimentar na Enseada do Flamengo, Ubatuba, em um local totalmente protegido de estresses físicos e composto por sedimentos pelíticos, portanto mais compactos. Tal estudo ainda sugeriu que a estabilidade reforça as inter-relações dos organismos, podendo ocorrer competição/predação na superfície do sedimento e influenciar a distribuição vertical da macrofauna, o que pode ter ocorrido nas estações internas da EU.

Ainda, na EU, a ampla densidade da macrofauna na coluna sedimentar correlacionou-se negativamente com a densidade de bactérias, demonstrando uma possível utilização dos microorganismos pela macrofauna como fonte alimentar, uma vez que as bactérias aderidas aos fitodetritos elevam nutricionalmente a qualidade da matéria orgânica (Lopez & Levinton, 1987; Danovaro et al., 1999; Pascal et al., 2008). A correlação negativa entre biomassa da macrofauna e biomassa de bactérias, e as correlações positivas deste último com a matéria orgânica fresca, justifica esta relação. Os microorganismos, encontrados em altas densidades até na subsuperfície do sedimento em alguns meses, além de terem sido estimulados ao desenvolvimento pela presença dos depositívoros de subsuperfície, podem ter sustentado os mesmos mediante a associação com os fitodetritos, visualizado na PCA da EU através da relação entre maiores densidades de depositívoros de subsuperfície e maiores concentrações de ATP, marcador da biomassa de microorganismos. Já na EF, a maior concentração da macrofauna na superfície do sedimento, em abril e agosto de 2005, pode estar relacionada com aportes intermediários de alimentos de maior qualidade (Dauwe et al., 1998). Inclusive, os microorganismos também podem ter constituído fontes alimentares para a macrofauna. Este fato foi detectado na PCA da EF, onde os depositívoros de superfície estiveram associados ao ATP.

Em suma, a densidade, grupos tróficos, diversidade das espécies e distribuição vertical da macrofauna foram regulados pelas variações temporais da qualidade dos materiais orgânicos no sedimento, que por sua vez, foram determinados pela profundidade, composição dos sedimentos e processos físicos. Embora o acúmulo de materiais orgânicos seja relativamente maior na EU, entre as enseadas estudadas houve pouca diferença entre as

comunidades da macrofauna. Apenas a distribuição vertical foi mais divergente entre a EU e a EF, revelando conseqüentemente, aspectos particulares do comportamento das espécies da macrofauna. Supõe-se que na EU, mais rica organicamente, a maior estabilidade dos sedimentos além de permitir a macrofauna habitar maiores profundidades dos sedimentos, permite relações mais estreitas entre os organismos bênticos. Enquanto que na EF, quantidades intermediárias de matéria orgânica, podem ter estimulado a bacterivoria por parte dos depositívoros de superfície, grupo dominante da macrofauna e com maior densidade concentrada nos dois primeiros centímetros do sedimento. Contudo, embora estes mecanismos de variações da macrofauna fossem discutidos aqui e parcialmente esclarecidos, alguns aspectos ainda necessitam mais estudos: (1) função das bactérias na estruturação das comunidades macrobênticas e (3) qual a causa da baixa biomassa da macrofauna na região costeira de Ubatuba mediante a não restrição de fontes alimentares.

6.4.4. Relações entre os compartimentos bênticos

Com as análises realizadas no presente estudo foi possível verificar a existência de inter-relações entre os componentes do sistema bêntico investigados nas enseadas. Ainda que a matéria orgânica sedimentar, principal recurso alimentar disponível para a fauna bêntica, não fosse limitada na região de Ubatuba, a competição pelas frações mais lábeis pode ter ocorrido entre os organismos da bêntica. Um exemplo de competição entre estes os organismos foi previamente documentado por Kristensen (2000) e Kristensen & Mikkelsen (2003), analisando o poliqueta *Nereis diversicolor* e comunidades microbianas. A contribuição microbiana para a degradação de detritos frescos na superfície do sedimento foi negativamente afetada por *N. diversicolor*, onde este se alimenta diretamente dos detritos mais atrativos, ou seja, lábeis, inibindo a atividade das bactérias (Kristensen & Mikkelsen, 2003). Por outro lado, neste estudo, as bactérias e a meiofauna atuaram especialmente na ligação entre os sistemas pelágicos e bênticos, consumindo compostos orgânicos derivados da produção primária, revertendo em biomassa e transferindo energia para níveis superiores da cadeia trófica, i.e. macrofauna. Tais eventos caracterizaram a predação da macrofauna sobre a meiofauna e bactérias. As interações entre os compartimentos bênticos em sedimentos costeiros de Ubatuba foram igualmente documentadas por Quintana (2004).

Alguns autores estabeleceram que a vantagem dos microorganismos em relação à macrofauna na obtenção de compostos lábeis, está associada às flutuações da temperatura da água de fundo (Boon et al., 1998; Duineveld et al., 2000). A temperatura é um fator crucial

para o metabolismo microbiano e oxidação do carbono orgânico em sedimentos, sendo que geralmente, os processos heterotróficos marinhos aumentam 2-3 vezes com a elevação de 10°C da temperatura (Kristensen et al., 1992). As bactérias possuem alta atividade nos meses de verão, de maiores temperaturas, apresentando mais sucesso que a macrofauna na obtenção de substratos orgânicos (Boon et al., 1998; Duineveld et al., 2000). Em contraste, nos demais meses de menores temperaturas e atividades das bactérias, a pressão da competição é menor, beneficiando diretamente a macrofauna, quando eventuais materiais algais frescos produzidos na coluna de água são exportados para o sedimento (Boon et al., 1998; Duineveld et al., 2000). Moraes (2007), investigando as bactérias bênticas de Ubatuba encontrou correlações positivas entre a temperatura de fundo e a densidade e biomassa bacteriana nos meses de verão, além do aumento da atividade de bactérias. Deste modo, pode-se inferir que a temperatura nos meses de verão, onde não ocorre a presença da ACAS (menores temperaturas de fundo), é possivelmente um fator mais favorável para os microorganismos do que para a macrofauna na utilização de material orgânico fresco na área de estudo.

Concomitantemente, a meiofauna pode competir com a macrofauna por compostos lábeis (Higgins & Thiel, 1988), já que a meiofauna tem a capacidade de explorar mais rapidamente os recursos alimentares disponíveis (Webb & Montagna, 1993; Brown et al., 2001). Quintana (2004) observou a competição entre meiofauna e macrofauna na Enseada do Flamengo, Ubatuba, local protegido das frentes frias. Porém, em áreas expostas nenhuma relação entre a fauna bêntica foi detectada (Quintana, 2004). Uma tendência similar foi observada neste estudo, uma vez que, a competição entre a meiofauna e macrofauna não foi claramente evidenciada na EF e áreas externas da EU, todas submetidas às turbulências geradas pelas frentes frias. Contudo, é difícil definir a posição exata da meiofauna na cadeia trófica bêntica, pois além de uma possível competição com a macrofauna por recursos alimentares, os depositívoros da macrofauna podem ingerir organismos da meiofauna durante a alimentação, agindo como predadores (Higgins & Thiel, 1988; Albertelli et al., 1999).

A predação da macrofauna sobre os microorganismos foi detectada em ambas as enseadas, a qual ocorreu provavelmente através da ingestão seletiva dos depositívoros pelos detritos colonizados por microorganismos (Lopez & Levinton, 1987). Isto foi confirmado pela relação entre biomassa de microorganismos e depositívoros de superfície e subsuperfície, visualizado nas PCAs. Em contrapartida, na EU, houve também a predação da macrofauna sobre a meiofauna. Este fato foi suportado pela PCA da EU, onde maiores densidades de depositívoros de superfície e carnívoros foram associadas às maiores densidades de

Nematoda. Alimentar-se de tecidos vivos é vantajoso para a macrofauna, pois tais fontes alimentares são relativamente mais nutritivas para os requerimentos por energia/proteína e nutrientes essenciais (Phillips, 1984; Wiekling & Krönche, 2005), explicando o comportamento de predação sugerido anteriormente. Em particular, o consumo de fontes ricas em esteróis, abundante em crustáceos, justifica-se por estes compostos serem parte dos nutrientes essenciais necessários para o crescimento (Phillips, 1984). Este fato foi observado no estudo, na EU, a partir da correlação negativa entre densidades de Copepoda e biomassa da macrofauna, evidenciando que o primeiro contribuiu significativamente para o aumento da biomassa da macrofauna, podendo ser considerado um importante item alimentar para o crescimento dos indivíduos da macrofauna.

6.5. *A importância da bioturbação exercida pela macrofauna em sedimentos costeiros de Ubatuba*

Uma vez estabelecida e estável nos sedimentos, a fauna bêntica altera o ambiente geoquímico através das atividades de bioturbação, i.e. mistura de partículas e irrigação dos sedimentos (Dauwe et al., 1998). A intensidade da bioturbação depende de vários fatores, como, densidade e biomassa da população, distribuição vertical da fauna, modificações na composição ou estruturação da fauna, condições ambientais e variabilidade intra-específica dos grupos tróficos funcionais (Hall, 1994; Waldbusser et al., 2004; Duport et al., 2006; Gilbert et al., 2007). Neste experimento laboratorial, foi analisada a taxa de bioturbação da fase sólida dos sedimentos da Stn 03 da EF, ou seja, das partículas sedimentares, através da quantificação dos luminóforos nas camadas até 10 cm da coluna sedimentar. As taxas de bioturbação obtidas no experimento, com base no melhor ajuste entre os modelos e os dados gerados, foram entre 0,082-0,33 cm² d⁻¹, similares aos valores encontrados por Sun et al. (1991), Gérino et al. (1994; 1998), que aplicaram o mesmo modelo de difusão, em regiões temperadas com pulsos de produtividade primária. No entanto, podem ser consideradas baixas para uma região costeira e tropical, onde se esperaria altos valores devido à maior diversidade da fauna bêntica e maiores quantidades de matéria orgânica. Em áreas com altas densidades da fauna bêntica, as taxas de bioturbação podem atingir > 5 cm² d⁻¹ (Boon & Duineveld, 1998), uma ordem de magnitude maior que os valores encontrados no presente estudo.

Estudos em campo e argumentos prévios sugerem que a bioturbação da fase sólida dos sedimentos é controlada por depositívoros de grande biomassa, em particular da macrofauna e megafauna (Smith et al., 2001; Solan & Kennedy, 2002). Gilbert et al. (2007) observaram um

acoplamento direto entre biovolume e taxas de retrabalhamento do sedimento pela macrofauna. Neste contexto, as baixas taxas de bioturbação obtidas no estudo podem ter sido em função da relativa baixa biomassa da macrofauna de Ubatuba em todos os testemunhos do sistema experimental (observação pessoal). Contudo, a variabilidade temporal das taxas de bioturbação indica que, provavelmente outros fatores também estiveram envolvidos, como densidade e grupo funcional alimentar dos organismos.

A maior densidade da macrofauna na superfície do sedimento do testemunho de 30 dias implicou na distribuição significativamente maior dos luminóforos no interior do sedimento em relação ao controle e na maior confiabilidade da taxa de bioturbação. A dependência entre a densidade e mistura do sedimento foi reportada anteriormente em experimentos laboratoriais (Ingalls et al., 2000; Duport et al., 2006). No entanto, o tratamento de 15 dias, com a mesma densidade dos sedimentos de 30 dias, não apresentou migração vertical dos luminóforos, como esperado. Provavelmente, pelo fato da macrofauna ter sido mais amplamente distribuída verticalmente nos sedimentos de 15 dias, comparando com os de 30 dias, que apresentou maior densidade concentrada no primeiro centímetro do sedimento. Além disso, a macrofauna presente nos sedimentos pode ter diferido entre os modos tróficos, sendo composta por fracos bioturbadores no testemunho de 15 dias, o que resultou na concentração dos luminóforos na superfície do sedimento. Esta maior quantidade de luminóforos na superfície do sedimento, também observada para os testemunhos de 45 e 55 dias, compromete a confiabilidade do modelo de difusão aplicado, formulado para seguir um decaimento exponencial das concentrações de luminóforos na coluna sedimentar (Boon & Duineveld, 1998; Gérino et al., 1998). Por isto, tanto o testemunho de 15 dias, quanto os testemunhos de 45 e 55 dias apresentaram coeficientes de determinação R menores do que o tratamento de 30 dias. Além disso, a menor densidade da macrofauna nos testemunhos de 45 e 55 foi possivelmente composta de fracos bioturbadores com baixa biomassa, explicando a pouca migração dos luminóforos na coluna sedimentar e os baixos valores de R . A partir destes resultados, pode-se constatar que a macrofauna bêntica da EF teve pouca participação na mistura das partículas sedimentares. E, considerando que estrutura das comunidades macrobênticas foi similar entre as enseadas, um efeito semelhante pode ser esperado para a EU.

De acordo com os resultados observados, pôde-se constatar que nos sedimentos de Ubatuba não houve enterramento expressivo de materiais orgânicos frescos através da mistura das partículas sedimentares, exercida pelas atividades da macrofauna. No entanto, uma

exceção deste padrão foi observada em um tratamento, onde se verificou migração significativa dos luminóforos, revelando que uma mistura em menor escala pode ocorrer somente quando existem altas densidades da macrofauna na superfície do sedimento em relação a camadas mais profundas da coluna sedimentar. Mediante a ausência deste fato, o enterramento de matéria orgânica lábil, quando observado, pode ser atribuído especialmente as perturbações físicas, que ressuspendem os sedimentos e redistribuem os compostos acumulados da superfície do sedimento para camadas mais profundas da coluna sedimentar. Por outro lado, a fraca bioturbação da macrofauna dos demais tratamentos pode estar ligada a baixa labilidade dos compostos contidos nos sedimentos utilizados no experimento, reduzindo as atividades de alimentação e conseqüentemente os valores das taxas de bioturbação. Ainda, as baixas da bioturbação podem estar relacionadas às discretas atividades do grupo Polychaeta, que dominou nos sedimentos do experimento (dados não apresentados). Este grupo foi composto predominantemente por depositívoros de superfície que, usando seus longos palpos e tentáculos, selecionam detritos na superfície do sedimento, tendo poucos efeitos no deslocamento das partículas do sedimento.

É importante ressaltar que o experimento de bioturbação utilizando luminóforos foi relativamente simples e teve o intuito de oferecer, preliminarmente, uma estimativa dos processos de bioturbação induzidos pela macrofauna em relação à mistura de partículas sedimentares. No experimento foi utilizado a macrofauna natural, coletada diretamente no ambiente sem qualquer manipulação, que refletiu-se fracamente na maioria das taxas de bioturbação, devido principalmente a baixa biomassa e ao tipo do grupo funcional (maior parte composta por pequenos comedores da interface sedimento-água). Para experimentos posteriores é importante identificar potenciais bioturbadores da macrofauna em termos de mistura de partículas (de grande biovolume e capacidade de mover expressivamente os sedimentos, por exemplo, em Ubatuba, sipúnculas do gênero *Sipunculus*, crustáceos talassinídeos como *Callinassa* e *Upogebia*, ofiuróides do gênero *Amphiura*, ou representantes de maior tamanho dos poliquetas Nereididae, Maldanidae e Capitellidae) e isolá-los em condições laboratoriais. Assim, efeitos posteriores de maior impacto podem ser investigados, podendo revelar aspectos particulares referentes ao enterramento de matéria orgânica lábil. O transporte de detritos frescos da superfície para o interior do sedimento pode ter implicações fundamentais nos processos de degradação e preservação da matéria orgânica dos depósitos sedimentares. Entender o destino final do carbono fixado nas margens continentais é crucial para prever a habilidade do oceano em armazenar carbono e reagir contra os efeitos

antropogênicos nos ciclos naturais do carbono (Green et al., 2002), justificando assim, a importância dos estudos de bioturbação.

Uma vez que, a mistura de partículas do sedimento aparentemente não foi o principal fator exercido pela bioturbação da fauna bêntica, deve-se considerar que a irrigação promovida por estes organismos provavelmente possui um importante papel na degradação da matéria orgânica depositada no sedimento. Com respeito às condições metodológicas, o tamanho do grão dos luminóforos utilizados (125-250 μm) pode não ter sido adequado para o estudo, já que os sedimentos do experimento apresentaram maiores porcentagens da fração granulométrica entre 62 e 125 μm (areia muito fina). A menor densidade da fauna em testemunhos de períodos mais avançados pode estar relacionada a uma maior mortalidade da macrofauna em condições laboratoriais, porém não foi visualmente identificado nos testemunhos animais mortos. Contudo, considerando que o experimento de bioturbação foi o primeiro realizado no Laboratório de Dinâmica Bêntica, os resultados obtidos prontamente contribuíram para um aprimoramento de futuros estudos utilizando microcosmos.

6.6. O papel da macrofauna nos processos biogeoquímicos de sedimentos recentes em Ubatuba

Experimentalmente, os impactos da bioturbação (i.e. mistura de partículas e irrigação) da macrofauna natural de Ubatuba nos processos remineralização da matéria orgânica ou diagênese recente foram avaliados analisando a produção e consumo de solutos na água adjacente aos sedimentos. A adição dos dois tipos de algas: (1) a microalga *Tetraselmis* e (2) a macroalga *Sargassum*, nos tratamentos, resultou em respostas particulares da comunidade macrobêntica, assim como, dos processos microbianos dos sedimentos. Em geral, os processos biogeoquímicos de ambos os tratamentos, microalga e macroalga, foram governados fundamentalmente pelos processos microbianos de degradação, devido à participação discreta da presença da macrofauna na estimulação da diagênese recente da matéria orgânica.

A presença da macrofauna aumentou a quantidade de água dos sedimentos, o que foi esperado, mediante as atividades de bioturbação. No entanto, a porosidade e a densidade do sedimento não foram afetadas, demonstrando que a bioturbação foi relativamente fraca. Porém, a bioturbação explicou os valores significativamente menores dos perfis verticais de MOT no tratamento com fauna e *Tetraselmis*, em comparação ao sedimento controle, além das concentrações significativamente menores de clorofila-a nos sedimentos com fauna e

Sargassum em relação ao controle. Estes menores valores da MOT e clorofila-a sugerem que a própria macrofauna utilizou *Tetraselmis* e *Sargassum* como fontes alimentares, ou alguma outra fonte previamente presente nos sedimentos. Adicionalmente, a macrofauna pode ter estimulado os processos de degradação da matéria orgânica disponível, reduzindo a concentração de MOT e clorofila-a em comparação com os sedimentos controle. Este aspecto pode ser confirmado pelo maior consumo de oxigênio e liberação de amônio nos sedimentos com *Tetraselmis* e *Sargassum*, respectivamente.

A degradação dos substratos orgânicos em sedimentos marinhos é mediada por uma série de processos microbianos aeróbicos e anaeróbicos (Kristensen, 2000). Na interface sedimento-água, o oxigênio é preferencialmente utilizado como aceptor de elétrons nas reações químicas da decomposição da matéria orgânica (Henrichs, 1992; Kristensen, 2000). Nas camadas inferiores sub-óxicas e anóxicas, a degradação ocorre seguindo uma seqüência termodinâmica de compostos inorgânicos como aceptores de elétrons: Mn^{4+} , NO_3^- , Fe^{3+} , SO_4^{2-} e por fim, CO_2 (metanogênese) (Kristensen, 2000; Canfield et al., 2005). Porém, esta seqüência é quebrada pela presença da macrofauna nos sedimentos (Kristensen, 2000; Michaud et al., 2006). Os tubos e galerias escavados pela macrofauna aumentam a superfície disponível para trocas difusivas de solutos (Aller & Aller, 1998; Kristensen, 2000; Kristensen & Kotska, 2005). Conseqüentemente, a atividade microbiana é beneficiada pelas freqüentes oscilações das condições redox, que causam aumento no suprimento de aceptores de elétrons e remoção de produtos inibidores das águas intersticiais (Aller & Aller, 1998; Kristensen & Kotska, 2005). Tais observações explicaram parcialmente, o consumo de oxigênio observado nos sedimentos habitados pela macrofauna local nos tratamentos com *Tetraselmis* e *Sargassum*. Embora a macrofauna apresentasse baixa biomassa, provavelmente os processos de irrigação promovidos por estes organismos foram suficientes para estimular um moderado aumento do consumo de oxigênio. Além disso, é importante salientar que macrofauna encontrada nos sedimentos do experimento foi composta por poliquetas relativamente pequenos (observação pessoal), provavelmente contribuindo pouco para o consumo de oxigênio através da respiração.

Os valores da estimulação do aumento dos fluxos de oxigênio para o interior do sedimento (i.e. consumo), tanto antes, quanto depois do enriquecimento orgânico algal foram similares aos reportados por outros autores em diversas áreas geográficas, utilizando espécies isoladas de poliquetas, crustáceos ou equinodermos (Tabela 42). O grau da estimulação é controlado por vários fatores, e.g. quantidade e qualidade da matéria orgânica, grupo

funcional da infauna, temperatura, sazonalidade, densidade e tamanho da fauna presente nos sedimentos (Kristensen, 2000; Kristensen & Mikkelsen, 2003; Welsh, 2003). No caso do presente estudo, a fauna constituiu predominantemente de depositívoros de superfície (observação pessoal), do grupo dos biodifusores (Soetaert et al., 1996; François et al., 2001; Gérino et al., 2003). Este grupo inclui espécies que movimentam as partículas do sedimento de maneira aleatória, por curtas distâncias, compreendendo a menor escala em que a bioturbação pode operar (Soetaert et al., 1996; François et al., 2001; Gérino et al., 2003). A bioturbação na superfície do sedimento pode ter induzido o consumo de oxigênio, composto termodinamicamente mais favorável nos processos oxidativos (Kristensen, 2000; Canfield et al., 2005), pela interação mais próxima entre a fauna e a comunidade aeróbica microbiana. No entanto, tais fluxos de oxigênio não foram significativamente maiores do que os registrados nos sedimentos controle, demonstrando que a participação da comunidade microbiana total foi igualmente ou mais importante nos processos de degradação da matéria orgânica.

Tabela 42: Exemplo de valores publicados para o aumento do consumo de oxigênio em sedimentos habitados por construtores de galerias e tubos. O aumento é determinado pela porcentagem da diferença entre o consumo de O₂ entre sedimentos habitados pela infauna e sedimento sem fauna.

Espécies	Aumento do fluxo de oxigênio	
	(%)	Referência
<i>Nereis virens</i>	74	Kristensen (1985)
<i>Nereis virens</i>	152	Kristensen & Blackburn (1987)
<i>Nereis virens</i>	74-84	Andersen & Kristensen (1988)
<i>Nereis virens</i>	72-89	Banta et al. (1999)
<i>Nereis diversicolor</i>	25-35	Kristensen et al. (1992)
<i>Nereis diversicolor</i>	100-140	Hansen & Kristensen (1997)
<i>Nereis diversicolor</i>	38-122	Kristensen & Hansen (1999)
<i>Nephtys</i> spp.	225	Hansen & Blackburn (1992)
<i>Arenicola marina</i>	41-271	Banta et al. (1999)
<i>Penaeus setiferus</i>	60-90	Vetter & Hopkinson (1985)
<i>Echinocardium chordatum</i>	10-108	Van Duyl et al. (1992)
Macrofauna total	24-313	Presente estudo

A maior e imediata estimulação do tratamento contendo fauna e *Tetraselmis* comparado com os sedimentos habitados pela fauna e enriquecidos com *Sargassum* pode estar associada ao tamanho das partículas orgânicas ou as composições químicas destas algas adicionadas no experimento. *Tetraselmis* é uma microalga e, portanto, consistiu em micropartículas orgânicas, em contraste, os tratamentos com *Sargassum* foram compostos de

maiores partículas, obtidas pelo corte em pequenos fragmentos dos talos (ca. 1-5 mm). Experimentos anteriores demonstraram que a diferença no tamanho e reatividade das partículas orgânicas adicionadas em sedimentos é um fator determinante na degradação, a qual é menor em partículas maiores e envelhecidas, i.e. menos lábeis (Kristensen & Holmer, 2001). Ainda, algas marrons geralmente contêm compostos fenólicos em altas concentrações, que mesmo para os herbívoros não são palatáveis, resultando em baixa eficiência na assimilação (Jormalainen et al., 2001). Portanto, os menores valores de consumo e estimulação de oxigênio nos sedimentos enriquecidos com *Sargassum* podem estar associados à menor degradação dos fragmentos de *Sargassum* e à sua menor labilidade, comparando-se com *Tetraselmis*.

A baixa atividade da macrofauna nos sedimentos enriquecidos com *Tetraselmis* e *Sargassum* refletiu-se em modificações não significativas dos principais processos biogeoquímicos, como liberação de CO₂ (um dos produtos finais da degradação da matéria orgânica) e fluxos de nutrientes. Entretanto, foram verificadas tendências nos fluxos destes compostos, que merecem serem destacadas. O aumento do CO₂ nos tratamentos controle após a introdução de *Tetraselmis* e *Sargassum*, em comparação aos sedimentos com fauna, pode estar associado à maior degradação anaeróbica, já que a camada óxica dos sedimentos controle foi pouco representativa, com 2-3 mm de profundidade e dos sedimentos com fauna de 2-4,5 cm. Aumentos discretos nos sedimentos habitados pela macrofauna dos fluxos de amônio após a introdução de *Sargassum*, dos fluxos de nitrato após a adição de *Tetraselmis*, e também do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) em ambos os tratamentos, indicaram modesta participação da fauna tanto na degradação da matéria orgânica quanto nos processos de nitrificação-denitrificação e transporte de compostos dos sedimentos para a água. Esta estimulação acoplada dos processos de nitrificação e denitrificação na presença da fauna bêntica foi também previamente documentada por outros estudos (Gilbert et al., 2003; Mermillod-Blondin et al., 2004; Heilskov et al., 2006; Michaud et al., 2006).

Pelo fato da macrofauna estar localizada na zona de nitrificação, i.e. primeiros centímetros do sedimento com maiores concentrações de nitrato (Kristensen, 2000; Canfield et al., 2005), as atividades de bioturbação (neste caso irrigação) nos testemunhos com *Tetraselmis*, possivelmente favoreceram a liberação de nitrato do sedimento para a água. Além disso, visto que a liberação de amônio destes tratamentos foi baixa, a oxidação do amônio (i.e. nitrificação) pela ação das bactérias nitrificantes pode ter ocorrido, fazendo com que o amônio produzido nos processos de degradação fosse convertido rapidamente para

nitrato. Estas tendências também foram observadas previamente em microcosmos com o anfípoda *Corophium volutator* (Mermillod-Blodin et al., 2004) e com o bivalve *Macoma balthica* (Michaud et al., 2006), por estes organismos serem encontrados nos primeiros centímetros da coluna sedimentar. Em contrapartida, nos testemunhos com *Sargassum*, as atividades da fauna provavelmente favoreceram a remoção do amônio do sedimento para água, metabólito produzido em função da degradação desta alga, observado pelo aumento nos fluxos de liberação de amônio. No entanto, a denitrificação pode ter contribuído em parte na liberação de amônio, uma vez que foi notado o consumo de nitrato nos sedimentos.

Os fluxos de fosfato não foram diferentes dos fluxos dos controles e a variabilidade do fosfato não permitiu a observação de uma tendência expressiva. Isto foi também observado em outros estudos, os quais não detectaram os efeitos da fauna na liberação do fosfato dos sedimentos (Mermillod-Blondin et al., 2004; Waldbusser et al., 2004; Heilskov et al., 2006; Michaud et al., 2006). Esta condição foi atribuída ou à baixa taxa de remineralização, liberando concentrações não significativas do fosfato do sedimento para a água, ou à maior penetração do oxigênio no sedimento, que causa adsorção mineral do fosfato (precipitação através da ligação do fosfato aos oxihidratos de ferro ou manganês), não sendo possível detectar diferenças nos fluxos (Welsh, 2003; Waldbusser et al. 2004; Heilskov et al., 2006). A capacidade de adsorção do fosfato é maior em condições óxicas do que anóxicas, explicando a observação anterior (Waldbusser et al. 2004). Neste estudo, provavelmente ocorreram ambos os processos citados anteriormente, devido às baixas taxas de bioturbação da fauna com taxas de remineralização conseqüentemente menores e liberação de fosfato; enquanto que, por outro lado, a ligação fosfato-ferro/manganês foi fortalecida pela maior camada óxica do sedimento em relação aos controles.

O experimento conduzido permitiu elucidar aspectos antes não estudados sobre a macrofauna benthica de Ubatuba e subseqüentes impactos na diagênese recente mediada por microorganismos. Foi claramente evidenciado que a macrofauna presente nos sedimentos modificou modestamente os processos biogeoquímicos. Acredita-se que, os fatores principais para tal fato foram relacionados à baixa biomassa e os grupos tróficos compostos predominantemente por depositívoros de superfície da macrofauna (dados não apresentados). Entretanto, as diferenças significativas dos perfis verticais de MOT e clorofila-a entre os sedimentos habitados pela macrofauna e controle comprovaram a dicotomia da relação da macrofauna com a matéria orgânica: (1) consumo da matéria orgânica como recurso alimentar e (2) estimulação das comunidades microbianas nos processos diagenéticos através da

bioturbação. Adicionalmente, estes resultados mostraram que, se os perfis verticais da concentração dos nutrientes e CO₂ da água intersticial fossem analisados, possivelmente o papel da macrofauna na remineralização da matéria orgânica nos sedimentos poderia ser descrito com maior nível de precisão. Mermillod-Blondin et al. (2004) encontraram melhores respostas dos impactos da presença da fauna bêntica nos perfis verticais de nutrientes do que nos fluxos medidos destes compostos, demonstrando a importância de se investigar além da dinâmica dos fluxos, a concentração dos solutos da água intersticial nos sedimentos.

Com base aos inúmeros estudos realizados previamente em microcosmos, a influência das populações macrofaunais foi provada em desempenhar papel fundamental na regulação da decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, processos de troca entre o compartimento bêntico e coluna de água, de oxigênio, nutrientes dissolvidos orgânicos e inorgânicos (Kristensen, 2000; Welsh, 2003 e referências). Contrariamente à maior parte dos microcosmos, que utilizaram espécies isoladas e sedimentos homogeneizados, este experimento foi conduzido com sedimentos intactos e comunidade natural da macrofauna bêntica. No entanto, devido ao tempo de execução relativamente curto, os resultados não podem ser extrapolados para o ambiente natural. Neste contexto, pode-se considerar que o presente estudo foi apenas inicial e mais experimentos são necessários para investigar qual a real função da macrofauna de Ubatuba na diagênese recente que, por sua vez, tem grande participação no controle da composição química das águas e sedimentos em áreas costeiras (Michaud et al., 2006). Por exemplo, com o uso simultâneo de marcadores para a fase sólida dos depósitos sedimentares e para os solutos, as taxas de irrigação e mistura de partículas, i.e. bioturbação podem ser estimadas eficientemente (Quintana et al., 2007). Ainda, marcadores radioativos ou isotópicos para a matéria orgânica (i.e. ¹⁴C e ¹³C, respectivamente), ajudam a traçar as vias da remineralização, quantificar as taxas de degradação e taxas de assimilação faunal (Kristensen, et al., 1992; Kristensen & Mikkelsen, 2003). A contribuição anaeróbica da degradação da matéria orgânica, que normalmente é inibida pela bioturbação, pode ser inferida pela análise das taxas de redução de sulfato. Portanto, a inclusão destas técnicas em experimentos laboratoriais permite maior acesso aos principais processos biogeoquímicos dos sedimentos, contribuindo fortemente para a elucidação dos impactos da macrofauna na remineralização da matéria orgânica.

7. RESPOSTAS DAS PERGUNTAS FORMULADAS E CONCLUSÕES

A hipótese testada neste estudo: “A *qualidade e quantidade da matéria orgânica influenciam as respostas dos organismos do sistema bêntico. Contudo, a composição, concentração e diagênese recente da matéria orgânica sedimentar são resultado de variações temporais, espaciais e bioturbação*” foi avaliada por perguntas, as quais foram respondidas a seguir:

7.1. *A distância da costa, características hidrodinâmicas e fluviais das enseadas atuam como fatores de alteração na qualidade e quantidade dos materiais orgânicos disponíveis como fonte alimentar para o bentos?*

Na área de estudo, a qualidade e quantidade da matéria orgânica sedimentar são diretamente influenciadas pela distância da costa e características hidrodinâmicas das enseadas. Porém, a distância da costa tem maior importância na distribuição de matéria orgânica na EU, por esta enseada ser dividida em duas regiões de acordo com sua formação fisiográfica, resultando em maiores deposições nas áreas mais próximas da costa, protegidas de frentes frias e ondulações de forte intensidade. O contrário é observado nas áreas externas da EU, mais afastadas da costa e com menores concentrações de matéria orgânica, consequência da maior energia hidrodinâmica atuante neste local. A EF, por sua vez, orientada à S/SE e com maior desembocadura que a EU, é relativamente mais afetada pelos estresses físicos, intensificados no inverno, quando frentes frias do sul ocorrem com maior frequência. Isto impede acúmulos significativos de matéria orgânica neste local, resultando em uma homogeneidade espacial das concentrações destes materiais. As condições físicas instáveis da região costeira de Ubatuba também implicam em alterações na qualidade da matéria orgânica, estimulando a produção primária após a ressuspensão dos sedimentos, elevando a qualidade através da maior exportação de materiais lábeis produzidos na coluna de água. Entretanto, sem um padrão espacial claro de locais com alta qualidade nas enseadas, exceto nas áreas mais rasas (~4 m), onde ocorre o microfitobentos. Já os reduzidos aportes fluviais exercem pouca influência na disponibilização de nutrientes para a produção primária e introdução de material terrestre para *pool* de matéria orgânica dos sedimentos.

7.2. *As respostas da macrofauna, meiofauna e microorganismos bênticos são reflexos das variações da composição e disponibilidade de matéria orgânica nas duas enseadas estudadas?*

Os menores integrantes do sistema bêntico, os microorganismos, acompanham fortemente as variações da quantidade da matéria orgânica, explorando materiais orgânicos de diferentes qualidades. Porém, esta tendência não se repete para os outros organismos bênticos da meio e macrofauna. A relação direta da meiofauna com as variações temporais da qualidade e quantidade da matéria orgânica não é claramente evidente. A meiofauna foi avaliada de maneira generalista, não sendo possível identificar respostas totais de grupos com alta diversidade, como os Nematoda, explicando a fraca relação com a matéria orgânica. Em contrapartida, as respostas da macrofauna, investigadas mais especificamente pela densidade, composição das espécies e estrutura trófica, são associadas à qualidade da matéria orgânica. Após os aumentos da qualidade da matéria orgânica iniciados em dezembro de 2004, em decorrência da intrusão da ACAS, a estrutura da macrofauna alterou-se. De um maior estágio de sucessão atingido em dezembro de 2004, a macrofauna passou, nos meses subsequentes, a constituir-se predominantemente de espécies oportunistas, depositívoras de superfície e de pequeno biovolume, comportamentos associados à maior qualidade de matéria orgânica. Ainda, os períodos de maior disponibilidade de matéria orgânica fresca são importantes, pois os microorganismos aderidos aos fitodetritos contribuem no sentido de elevar a qualidade da matéria orgânica, em termos de compostos nitrogenados, constituindo uma relevante fonte nutritiva para a macrofauna.

7.3. A bioturbação da macrofauna bêntica possui papel relevante no retrabalhamento do sedimento e conseqüentemente na degradação de materiais orgânicos?

Em geral, a mistura de partículas de sedimento promovida pela macrofauna (i.e. bioturbação), avaliada no estudo através de microcosmos, demonstra não ser significativa nos sedimentos de Ubatuba. Portanto, as baixas taxas de mistura de partículas têm poucos efeitos no transporte de substratos orgânicos reativos para o interior do sedimento, estimulando discretamente os processos microbianos de decomposição da matéria orgânica. A bioturbação exercida pelas comunidades macrobênticas naturais de Ubatuba é fraca comparada as de outras regiões, devido à biomassa relativamente baixa e grupos tróficos compostos predominantemente por depositívoros de superfície. Tais organismos selecionam detritos frescos na superfície do sedimento ou alternam para o modo trófico suspensívoro, resultando em deslocamentos não eficazes das partículas sedimentares. Contudo, a densidade e distribuição vertical da macrofauna revelaram-se como parâmetros determinantes para a migração dos luminóforos, traçadores da mistura de partículas. Sedimentos com maiores

densidades da macrofauna no primeiro centímetro e possivelmente pertencentes a grupos tróficos mais efetivos na mistura de partículas, apresentaram maior penetração dos luminóforos na coluna sedimentar. Isto significa que, nestas condições, o transporte de compostos lábeis para camadas mais profundas do sedimento pelas atividades da macrofauna pode ocorrer. Porém, este foi um caso isolado e mais experimentos são necessários para verificar a autenticidade destas informações. Deste modo, pode-se concluir que, o experimento conduzido revelou importantes aspectos para a compreensão dos processos e funcionamento do ecossistema costeiro de Ubatuba, onde a fauna bêntica composta por fracos bioturbadores e ampla distribuição vertical exerce pouca influência na estimulação dos processos diagenéticos.

7.4. A presença da macroinfauna influencia o metabolismo bêntico e processos biogeoquímicos em sedimentos enriquecidos por compostos orgânicos de fontes distintas?

Pelas mesmas razões destacadas no experimento anterior, em relação à estrutura da macrofauna (i.e. baixa biomassa e predomínio de depositívoros de superfície), o metabolismo bêntico e fluxos de nutrientes são modestamente afetados pela fauna bêntica nos sedimentos de Ubatuba. Porém, como observado na pergunta anterior, que a mistura de partículas em Ubatuba não é aparentemente representativa em termos de remineralização da matéria orgânica, a irrigação, embora discreta, pode exercer um importante papel nos fluxos de nutrientes e metabolismo bêntico. A irrigação é reconhecida por ser volumetricamente mais efetiva que a mistura de partículas nos processos diagenéticos. De fato, no experimento, as atividades de irrigação da macrofauna foram responsáveis por um aumento no influxo de oxigênio e no efluxo de compostos nitrogenados, ambos os processos referentes à degradação de materiais orgânicos. Esta evidência foi comprovada quando se observou que verticalmente nos sedimentos, a macrofauna reduziu significativamente as concentrações de materiais orgânicos tanto pela indução do aumento das taxas de decomposição, quanto pela alimentação. O experimento demonstrou que a presença da macrofauna exerce importante papel em processos biogeoquímicos-chave para o ecossistema marinho, liberando nutrientes essenciais e contribuindo para ciclagem dos elementos.

Além das respostas às perguntas previamente levantadas, CONCLUIU-SE que:

- No verão, a ACAS atua na elevação da qualidade da matéria orgânica sedimentar através dos florescimentos de diatomáceas, enquanto que a ressuspensão de sedimentos, intensificada nos meses de inverno, é responsável por manter os níveis de labilidade nestes períodos;
- A composição dos sedimentos, concentrações de MOT, COT, N, S, fotopigmentos, fitodetritos, biomarcadores lipídicos e microorganismos são diretamente relacionadas à formação fisiográfica e orientação das enseadas, que por sua vez, direcionam os efeitos das condições hidrodinâmicas;
- A natureza dinâmica da área costeira de Ubatuba reflete-se no caráter diversificado da composição da matéria orgânica sedimentar, embora exista predominância de compostos lábeis em períodos produtivos. Maiores contribuições relativas dos biomarcadores lipídicos indicativos de fontes autóctones, como microalgas, bactérias, zooplâncton e fauna bêntica compõem o *pool* de matéria orgânica de Ubatuba, enquanto que fontes alóctones e/ou terrestres têm uma contribuição relativamente pequena;
- Os microorganismos, dependendo da posição vertical na coluna sedimentar, exploram matéria orgânica de composições variadas. Na superfície, são sustentados por acúmulos de matéria orgânica fresca, já em subsuperfície utilizam matéria orgânica refratária ou de origem terrestre, encontrada em abundância nesta profundidade do sedimento;
- O pastejo dos Nematoda ocorre preferencialmente por microorganismos. Em contrapartida, os Copepoda alimentam-se de materiais derivados da produção primária com modesto nível de degradação, i.e. feopigmentos, fitodetritos;
- A predação da macrofauna sobre tais grupos da meiofauna indica que estes organismos desempenham função fundamental na ligação entre os componentes fitoplâncton, microorganismos e macrofauna da cadeia trófica marinha;
- A estrutura das comunidades macrobênticas segue um ciclo anual de variação, conduzido pelos estresses físicos e maior disponibilidade de materiais orgânicos frescos, atingindo estágio mais maturo da sucessão no início do verão, onde condições favoráveis como, temperatura, quantidade intermediária de alimentos ricos em nitrogênio e menor pressão dos distúrbios físicos prevalecem;
- A distribuição das espécies dominantes da macrofauna é ampla, independente da concentração da matéria orgânica e sem preferência por tipos sedimentares, em função da

habilidade das mesmas explorar recursos alimentares em condições ambientais contrastantes, ou seja, recém depositados e/ou em suspensão;

- A biomassa da macrofauna não é proporcional à magnitude dos aportes orgânicos sedimentares em decorrência dos frequentes distúrbios físicos nas áreas costeiras de Ubatuba;
- Os microorganismos exercem importante papel na densidade, distribuição vertical e composição das espécies da macrofauna constituindo fontes protéicas e de nutrientes essenciais, enriquecendo os detritos orgânicos através da produção de biomassa e estimulando a bacterivoria;
- O transporte de compostos lábeis da superfície para o interior do sedimento através da bioturbação só acontece quando existem altas densidades da macrofauna na superfície do sedimento pertencentes a grupos tróficos eficazes na mistura de partículas e condições físicas menos estressantes;
- A presença da macrofauna influenciou discretamente os fluxos de nutrientes e metabolismo bêntico, porém tais efeitos foram suficientes para estimular a degradação da matéria orgânica verticalmente nos sedimentos;
- Por fim, a dinâmica dos processos físicos da região costeira de Ubatuba, assim como as variações estruturais da macrofauna, são importantes fatores ecológicos na modulação de funções fundamentais do ecossistema local incluindo produtividade, metabolismo bêntico, ciclagem de nutrientes e fluxos de energia, evidenciando sobretudo que investigações integradas do sistema bêntico e aspectos biogeoquímicos dos sedimentos são imprescindíveis para o entendimento do ecossistema como um todo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ecossistemas costeiros marinhos estão entre os mais produtivos e diversos em nível mundial, sendo de importância global para o clima, reservas de nutrientes e produtividade primária (Solan et al., 2004). O presente estudo contribuiu com informações simultâneas dos principais componentes do sistema bêntico do ecossistema costeiro de Ubatuba, de compostos orgânicos a microorganismos, meio e macrofauna. Além disso, analisou implicações geradas pela bioturbação da macrofauna nos processos diagenéticos e liberação de nutrientes dos sedimentos de volta para a coluna de água, caracterizando o acoplamento bento-pelágico. Estudar os fluxos de energia na cadeia trófica marinha mediante variações contrastantes dos produtores primários, bem como o papel dos organismos macrobênticos nos processos biogeoquímicos é crucial para a compreensão do funcionamento do ecossistema e ciclos de elementos importantes como carbono, nitrogênio e fósforo. Tais conhecimentos são necessários para elucidar e prever respostas do ecossistema frente variações naturais e modificações impostas pelas atividades humanas, dentre elas, sobrepesca, destruição de habitat, poluição, introdução de espécies exóticas e mais recentemente, mudanças climáticas. Estes impactos antropogênicos levam a reduções da diversidade e alterações dos grupos funcionais alimentares, especialmente da macrofauna, comprometendo diversas funções do ecossistema, destacando-se as taxas de bioturbação e em decorrência o processamento da matéria orgânica e regeneração de nutrientes. Portanto, considerando que os ecossistemas costeiros são proporcionalmente mais expostos a modificações na biodiversidade, e que neste estudo alguns aspectos necessitam serem ampliados para fortalecer o entendimento das interações entre processos ecológicos, biogeoquímicos e oceanográficos das áreas costeiras de Ubatuba, sugere-se para trabalhos futuros:

- Quantificar e identificar a composição dos fluxos de matéria orgânica particulada que é exportada da coluna de água para o fundo marinho através análise da concentração do carbono orgânico total, fotopigmentos e composição relativa dos lipídios;
- Mensurar a composição isotópica de compostos lipídios individuais dos sedimentos e da coluna de água, principalmente dos sintetizados por diversos organismos e mais importantes para o sistema como em Ubatuba, como os esteróis $28\Delta^{5,24(28)}$, $29\Delta^{5,22}$, $29\Delta^5$, dentre outros, para identificar no nível máximo de precisão a origem específica dos biomarcadores lipídicos;

- Utilizar os isótopos estáveis de carbono, $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ para identificar os caminhos percorridos e qual a contribuição dos compostos orgânicos para cada componente da cadeia trófica bêntica, frente aos pulsos de materiais lábeis, tanto no campo, quanto experimentalmente;
- Analisar mais especificamente a estrutura das comunidades de meiofauna, quantificando a biomassa e identificando as espécies e grupos tróficos dos organismos dominantes, para melhor compreender suas respostas aos aportes de materiais frescos e seu papel no funcionamento do ecossistema costeiro de Ubatuba;
- Realizar experimentos em laboratório com a macrofauna e pulsos de matéria orgânica marcada (e.g. ^{14}C) para quantificar a estimulação da bioturbação no metabolismo bêntico, processos de degradação (total do $^{14}\text{CO}_2$, liberação de Carbono Orgânico Dissolvido - ^{14}COD), através de fluxos e análise da água intersticial, além de avaliar as taxas de incorporação da matéria orgânica utilizada como alimento pela macrofauna;
- Investigar experimentalmente, em laboratório, os impactos da bioturbação não somente com espécies isoladas, mas também com múltiplas espécies pertencentes a grupos tróficos funcionais distintos de Ubatuba, nos processos biogeoquímicos aeróbico e anaeróbico;
- Repetir tais experimentos com sedimentos predominantemente arenosos, lodosos e contaminados com petróleo, para verificar as diferenças entre os tipos sedimentares da função da bioturbação na decomposição de compostos orgânicos e hidrocarbonetos introduzidos pelas atividades humanas;
- Estudar os microambientes gerados pela bioturbação, utilizando microeletrodos para mensurar o potencial redox, oxigênio e nutrientes;
- Simular em laboratório a ressuspensão do sedimento para verificar se ocorre liberação significativa de nutrientes e subsequente estimulação da produtividade primária, incubando a água logo após a ressuspensão e comunidades fitoplanctônicas naturais com ^{14}C ;
- Avaliar a densidade, biomassa e diversidade microbiana de todos os experimentos acima propostos, utilizando técnicas de contagem com corante DAPI live/dead, para quantificar proporções entre bactérias ativas e inativas, e técnicas independentes de cultura, como gel de gradiente de desnaturação do DNA (DGGE) de seqüências amplificadas do 16S rRNA ou 16S rDNA dos sedimentos submetidos a diferentes tratamentos, para investigar possíveis modificações na estrutura das comunidades microbianas;

- Verificar experimentalmente em laboratório e/ou em campo, qual a participação dos microorganismos na degradação do material particulado em suspensão da coluna de água, que são posteriormente exportados para o fundo;
- Executar experimentos *in situ*, primariamente com a macrofauna natural, utilizando câmaras de incubação, com o intuito de mensurar o metabolismo bêntico e principais processos biogeoquímicos do sedimento;
- Refinar os estudos sobre o ecossistema marinho costeiro de Ubatuba, analisando pontualmente em campo, em escalas de horas ou dias, as conseqüências imediatas da ressuspensão e presença da ACAS nas concentrações de nutrientes da coluna de água, produção primária, microorganismos e fauna bêntica.

ANEXO I

Valores em porcentagem das principais frações granulométricas, diâmetro médio (DM, phi), carbonato de cálcio, classificação granulométrica (Shepard, 1954) e grau de seleção dos estratos do sedimento de todos os meses de coleta. Valores em negrito representam a média.

Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Dez	01	0-2	77,82	11,95	10,24	3,89	8,55	areia	PS
	01	2-5	83,1	10,14	6,76	3,71	7,87	areia	MS
	01	5-10	86,4	6,8	6,8	3,62	7,66	areia	MS
			82,44	9,63	7,93	3,74	8,02		
	02	0-2	57,25	34,2	8,55	4,11	13,11	areia siltica	PS
	02	2-5	50,8	37,33	11,88	4,27	14,54	areia siltica	PS
	02	5-10	35,88	48,94	15,19	5,3	18,58	silte arenoso	PS
			47,98	40,16	11,87	4,56	15,41		
	03	0-2	15,88	50,47	33,65	6,33	25,85	silte argiloso	PS
	03	2-5	30,23	44,2	25,5	5,65	20,80	silte argilo arenoso	PS
	03	5-10	42,55	42,24	15,21	5,23	17,73	areia siltica	PS
			29,55	45,64	24,79	5,74	21,46		
	04	0-2	25,5	59,26	15,24	4,92	19,64	silte arenoso	PS
	04	2-5	14,49	65,39	20,12	5,66	21,76	silte argiloso	PS
	04	5-10	8,03	76,05	15,92	5,68	22,85	silte	PS
			16,01	66,90	17,09	5,42	21,42		
	05	0-2	24,92	62,13	10,36	4,88	26,89	silte arenoso	PS
	05	2-5	28,16	52,52	10,17	4,71	31,15	silte arenoso	MPS
	05	5-10	24,83	52,61	17,54	5,36	31,35	silte arenoso	MPS
			25,97	55,75	12,69	4,98	29,80		
	06	0-2	3,17	68,45	28,38	6,37	30,28	silte argiloso	PS
	06	2-5	5,76	62,27	31,98	6,55	28,32	silte argiloso	PS
	06	5-10	9,32	84,31	6,36	5,28	27,07	silte	PS
			6,08	71,68	22,24	6,07	28,56		
	07	0-2	59,57	25,27	15,16	5,02	14,91	areia siltica	PS
	07	2-5	71,25	16,91	11,84	4,59	11,24	areia siltica	PS
	07	5-10	85,95	6,97	6,97	3,62	7,79	areia	MS
			72,26	16,38	11,32	4,41	11,31		
	08	0-2	100	0	0	3,33	5,51	areia	MBS
	08	2-5	100	0	0	3,27	6,46	areia	BS
	08	5-10	99,97	0	0	3,04	11,22	areia	MS
			99,99	0,00	0,00	3,21	7,73		
Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Fev	01	0-2	89,91	5,09	5,09	3,64	9,83	areia	MS
	01	2-5	91,49	8,51	0	3,61	7,96	areia	MBS
	01	5-10	93,3	1,68	5,03	3,57	9,72	areia	MS
			91,57	5,09	3,37	3,61	9,17		
	02	0-2	48,45	34,92	16,63	5,21	14,16	areia siltica	PS
	02	2-5	42,8	38,69	18,51	5,31	17,43	areia siltica	PS
	02	5-10	30,25	47,64	22,12	5,57	21,27	silte arenoso	PS
			40,50	40,42	19,09	5,36	17,62		
	03	0-2	56,7	29,98	13,32	4,63	12,13	areia siltica	PS

Continuação									
	03	2-5	56,75	31,6	11,64	4,4	14,00	areia siltica	PS
	03	5-10	55,22	26,53	18,24	5,21	16,15	areia siltica	PS
			56,22	29,37	14,40	4,75	14,09		
	04	0-2	27,78	58,78	13,44	4,67	18,54	silte arenoso	PS
	04	2-5	20,9	63,95	15,15	4,75	20,47	silte arenoso	PS
	04	5-10	19,71	65,24	15,06	5,4	20,54	silte arenoso	PS
			22,80	62,66	14,55	4,94	19,85		
	05	0-2	28,21	50,92	20,37	5,51	28,00	silte arenoso	MPS
	05	2-5	27,2	47,25	16,87	5,18	29,42	silte arenoso	MPS
	05	5-10	14,3	53,73	28,54	6,04	31,10	silte argiloso	MPS
			23,24	50,63	21,93	5,58	29,51		
	06	0-2	0	86,21	13,79	6,06	35,71	silte	PS
	06	2-5	4,49	65,35	30,16	6,58	31,87	silte argiloso	PS
	06	5-10	9,37	60,42	30,21	6,23	28,81	silte argiloso	PS
			4,62	70,66	24,72	6,29	32,13		
	07	0-2	19,68	43,51	36,81	6,41	28,32	silte argiloso	MPS
	07	2-5	74,96	18,36	6,68	4,12	8,76	areia siltica	PB
	07	5-10	68,1	13,43	18,47	5,07	12,04	areia argilosa	MPS
			54,25	25,10	20,65	5,20	16,37		
	08	0-2	100	0	0	3,31	6,45	areia	BS
	08	2-5	100	0	0	3,26	7,10	areia	BS
	08	5-10	99,83	0	0	3,19	7,28	areia	MS
			99,94	0,00	0,00	3,25	6,95		
Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Abr	01	0-2	84,74	8,48	6,78	3,66	8,67	areia	MS
	01	2-5	89,97	5,02	5,02	3,62	7,40	areia	MS
	01	5-10	88,15	3,38	8,44	3,63	8,90	areia	MS
			87,62	5,63	6,75	3,64	8,32		
	02	0-2	57,72	27,04	15,21	4,41	11,29	areia siltica	PS
	02	2-5	59,21	27,19	13,6	4,42	12,70	areia siltica	PS
	02	5-10	40,92	38,8	20,24	5,4	15,82	areia siltica	PS
			52,62	31,01	16,35	4,74	13,27		
	03	0-2	64,69	16,81	18,49	5,18	10,38	areia argilosa	PS
	03	2-5	52,73	27,01	20,26	5,25	16,15	areia siltica	PS
	03	5-10	35,7	40,61	23,69	5,55	19,58	silte arenoso	PS
			51,04	28,14	20,81	5,33	15,37		
	04	0-2	22,26	67,14	10,6	4,88	20,48	silte arenoso	PS
	04	2-5	14,26	62,21	23,54	5,71	25,80	silte argiloso	PS
	04	5-10	12,66	63,82	23,51	5,77	23,65	silte argiloso	PS
			16,39	64,39	19,22	5,45	23,31		
	05	0-2	10,47	60,42	28,53	6,09	33,00	silte argiloso	PS
	05	2-5	17,23	58,76	23,51	5,78	29,95	silte argiloso	PS
	05	5-10	17,83	55,84	23,69	5,76	72,37	silte argiloso	MPS
			15,18	58,34	25,24	5,88	45,11		
	06	0-2	4,96	64,49	30,55	6,45	30,69	silte argiloso	PS

Continuação									
	06	2-5	5,5	64,12	30,37	6,38	28,00	silte argiloso	PS
	06	5-10	17,4	55,63	26,97	6,01	25,15	silte argiloso	PS
			9,29	61,41	29,30	6,28	27,94		
	07	0-2	84,75	6,78	8,47	3,64	6,76	areia	MS
	07	2-5	100	0	0	3,49	3,99	areia	MBS
	07	5-10	100	0	0	3,48	4,09	areia	MBS
			94,92	2,26	2,82	3,54	4,95		
	08	0-2	100	0	0	3,35	7,58	areia	MBS
	08	2-5	79,77	6,71	13,42	4,58	10,38	areia	PS
	08	5-10	43,88	11,9	44,22	6,26	19,06	argila arenosa	MPS
			74,55	6,20	19,21	4,73	12,34		
Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Jun	01	0-2	62,3	17,14	20,56	5,21	12,77	areia argilosa	PS
	01	2-5	66,52	20,09	13,39	4,84	14,73	areia siltica	PS
	01	5-10	86,08	3,37	10,11	3,62	9,28	areia	MS
			71,63	13,53	14,69	4,56	12,26		
	02	0-2	54,48	28,66	16,86	5,17	12,59	areia siltica	PS
	02	2-5	54,61	26,9	18,49	5,22	13,37	areia siltica	PS
	02	5-10	34,28	43,82	21,91	5,51	16,67	silte argiloso	PS
			47,79	33,13	19,09	5,30	14,21		
	03	0-2	59,72	20,14	20,14	5,19	13,29	areia argilosa	MPS
	03	2-5	66,26	18,56	15,18	4,62	11,94	areia siltica	PS
	03	5-10	47,46	35,59	16,95	5,28	17,24	areia siltica	PS
			57,81	24,76	17,42	5,03	14,16		
	04	0-2	28,72	57,71	13,58	4,67	18,89	silte arenoso	PS
	04	2-5	16,88	74,09	9,04	4,76	21,17	silte arenoso	PS
	04	5-10	19,46	62,08	18,46	5,57	23,03	silte arenoso	PS
			21,69	64,63	13,69	5,00	21,03		
	05	0-2	19,19	80,78	0	6,02	49,45	silte	PS
	05	2-5	12,25	46,33	41,18	6,48	42,64	silte argiloso	MPS
	05	5-10	17,31	55,71	26,11	5,95	31,00	silte argiloso	MPS
			16,25	60,94	22,43	6,15	41,03		
	06	0-2	3,36	49,17	47,47	7,18	44,12	silte argiloso	PS
	06	2-5	4,01	57,26	38,73	6,64	36,61	silte argiloso	PS
	06	5-10	3,2	53,4	43,39	6,87	38,10	silte argiloso	PS
			3,52	53,28	43,20	6,90	39,61		
	07	0-2	93,19	5,11	1,7	3,55	4,89	areia	BS
	07	2-5	89,64	8,63	1,73	3,55	5,68	areia	MS
	07	5-10	48,61	29,12	22,27	5,3	19,26	areia siltica	MPS
			77,15	14,29	8,57	4,13	9,94		
	08	0-2	100	0	0	3,19	7,34	areia	BS
	08	2-5	100	0	0	3,21	7,91	areia	BS
	08	5-10	99,86	0	0	3,16	6,95	areia	MS
			99,95	0,00	0,00	3,19	7,40		

Continuação									
Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Ago	01	0-2	83,04	5,09	11,87	3,78	8,98	areia	PS
	01	2-5	71,55	16,73	11,71	4,21	12,97	areia siltica	PS
	01	5-10	67,92	20,26	11,82	4,02	15,07	areia siltica	PS
			74,17	14,03	11,80	4,00	12,34		
	02	0-2	57,9	25,26	16,84	5,15	12,50	areia siltica	PS
	02	2-5	59,16	25,48	15,29	4,65	13,45	areia siltica	PS
	02	5-10	35,62	40,66	23,72	5,56	19,43	silte arenoso	PS
			50,89	30,47	18,62	5,12	15,13		
	03	0-2	64,91	15,04	20,05	5,18	12,92	areia argilosa	MPS
	03	2-5	56,57	31,74	11,69	4,65	14,50	areia siltica	PS
	03	5-10	52,72	33,77	13,51	5,01	14,21	areia siltica	PS
			58,07	26,85	15,08	4,95	13,87		
	04	0-2	27,19	55,88	16,93	5,41	20,39	silte arenoso	PS
	04	2-5	20,77	60,69	18,54	5,52	22,61	silte arenoso	PS
	04	5-10	13,07	66,06	20,86	5,72	23,85	silte argiloso	PS
			20,34	60,88	18,78	5,55	22,28		
	05	0-2	9,99	56,05	33,97	6,2	24,23	silte argiloso	PS
	05	2-5	21,96	54,05	21,96	5,52	29,04	silte argiloso	MPS
	05	5-10	18,21	58,14	21,59	5,73	29,16	silte argiloso	MPS
			16,72	56,08	25,84	5,82	27,48		
	06	0-2	18,33	56,53	23,98	5,78	26,20	silte argiloso	MPS
	06	2-5	6,03	67,59	26,38	6,35	25,24	silte argiloso	PS
	06	5-10	8,39	61,63	29,98	6,23	24,63	silte argiloso	PS
			10,92	61,92	26,78	6,12	25,36		
	07	0-2	53,76	34,68	11,56	4,82	15,58	areia siltica	PS
	07	2-5	63,32	25,01	11,67	4,77	13,16	areia siltica	PS
	07	5-10	58,19	29,62	12,2	4,55	13,35	areia siltica	PS
			58,42	29,77	11,81	4,71	14,03		
	08	0-2	94,96	5,04	0	3,41	6,37	areia	BS
	08	2-5	94,91	3,39	1,7	3,37	7,72	areia	MS
	08	5-10	88,25	6,7	5,02	3,42	8,81	areia	PS
			92,71	5,04	2,24	3,40	7,63		
Mês	Stn	Estrato (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	DM	CaCO ₃ (%)	Classificação	Seleção
Nov	01	0-2	81,19	8,55	10,26	3,9	8,40	areia	PS
	01	2-5	83,15	8,43	8,43	3,76	9,95	areia	PS
	01	5-10	79,37	10,32	10,32	3,93	11,02	areia	PS
			81,24	9,10	9,67	3,86	9,79		
	02	0-2	15,37	62,63	22	5,68	23,26	silte argiloso	PS
	02	2-5	27,97	56,95	15,08	5,33	17,87	silte arenoso	PS
	02	5-10	41,02	45,5	13,48	5,14	16,70	silte arenoso	PS
			28,12	55,03	16,85	5,38	19,28		
	03	0-2	39,58	41,96	18,46	5,39	17,54	silte arenoso	PS
	03	2-5	51,72	36,21	12,07	4,77	16,67	areia siltica	PS
	03	5-10	49,12	35,62	15,26	5,15	16,48	areia siltica	PS

Continuação								
		46,81	37,93	15,26	5,10	16,90		
04	0-2	17,67	61,75	20,58	5,61	20,47	silte argiloso	PS
04	2-5	17,95	63,63	18,42	5,59	20,51	silte argiloso	PS
04	5-10	20,77	65,14	14,08	5,13	20,69	silte arenoso	PS
		18,80	63,51	17,69	5,44	20,56		
05	0-2	15,14	66,19	18,67	5,64	25,70	silte argiloso	PS
05	2-5	14,61	64,85	20,48	5,68	25,72	silte argiloso	PS
05	5-10	20,05	56,74	20,63	5,56	29,40	silte argiloso	MPS
		16,60	62,59	19,93	5,63	26,94		
07	0-2	96,52	3,48	0	3,55	4,23	areia	MBS
07	2-5	79,14	12,17	8,69	3,83	9,91	areia	PS
07	5-10	74,36	18,8	6,84	3,98	10,33	areia siltica	PS
		83,34	11,48	5,18	3,79	8,15		
08	0-2	99,25	0	0	0,86	9,94	areia	MS
08	2-5	98,35	0	0	1,08	9,34	areia	MS
08	5-10	21,23	62,25	15,14	5,52	26,81	silte arenoso	MPS
		72,94	20,75	5,05	2,49	15,36		

dez: dezembro, fev: fevereiro, abr: abril, jun: junho, ago: agosto e nov: novembro, MBS: muito bem selecionado, BS: bem selecionado, MS: moderadamente selecionado, MPS: muito pobremente selecionado, PS: pobremente selecionado

ANEXO II

Abundância média (ind. m⁻²) das espécies da macrofauna encontradas nas estações e meses de coleta na Enseada da Fortaleza (Stn 01 a 04) e Enseada de Ubatuba (Stn 05 a 08). Em negrito aparecem as espécies mais abundantes (>200 ind. m⁻²).

Stn 01			
Dezembro 2004		Abril 2005	
Nemertinea	28,82	Nemertinea	57,64
<i>Eulima bifasciata</i>	86,46	<i>Tellina</i> sp.	201,73
<i>Semele</i> sp.	57,64	<i>Nucula semiornata</i>	86,46
<i>Tellina versicolor</i>	86,46	<i>Strigilla</i> sp.	893,37
<i>Tellinidae</i> sp.	57,64	<i>Diplodonta</i> sp.	57,64
<i>Thysanocardia catharinae</i>	57,64	<i>Gruberelepis</i> cf. <i>fimbriata</i>	28,82
<i>Leanira</i> sp.	57,64	<i>Axiothella</i> sp.	28,82
<i>Spiophanes</i> sp.1	144,09	<i>Spiophanes</i> sp.1	115,27
<i>Paraprionospio</i> sp.	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	57,64
<i>Spiophanes</i> sp. 2	28,82	<i>Magelona posterolongata</i>	57,64
<i>Magelona papillicornis</i>	28,82	<i>Magelona variolamellata</i>	57,64
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82	<i>Onuphis eremita oculata</i>	86,46
<i>Onuphis</i> sp.	86,46	<i>Nothria</i> sp.	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	28,82	Dorvilleidae sp.	28,82
<i>Parandalia americana</i>	57,64	Cirratullidae sp. 1	86,46
<i>Ninoe brasiliensis</i>	86,46	<i>Drilonereis</i> sp.	57,64
<i>Goniada</i> sp.	144,09	<i>Parandalia americana</i>	57,64
<i>Mediomastus capensis</i>	115,27	<i>Scoloplos</i> sp.	374,64
<i>Microphoxus cornutus</i>	115,27	<i>Mediomastus capensis</i>	57,64
<i>Ampelisca paria</i>	86,46	<i>Microphoxus cornutus</i>	86,46
<i>Acutihumerus cavooreni</i>	57,64	<i>Ampelisca paria</i>	230,55
<i>Resupinus coloni</i>	28,82	<i>Acutihumerus cavooreni</i>	28,82
Euphausiacea/Mysidacea	28,82	<i>Callichirus major</i>	115,27
<i>Callichirus major</i>	28,82	<i>Albunea paretii</i>	86,46
<i>Albunea paretii</i>	28,82	<i>Austinixa patagoniensis</i>	28,82
Agosto 2005		Novembro 2005	
<i>Volvullela</i> sp.	28,82	Nemertinea	28,82
<i>Atys</i> sp.	28,82	<i>Strigilla</i> sp.	115,27
<i>Strigilla</i> sp.	57,64	<i>Modiolus carvalhoi</i>	28,82
<i>Tellina gibber</i>	28,82	<i>Gruberelepis</i> cf. <i>fimbriata</i>	28,82
<i>Tellina</i> sp.	28,82	<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	28,82
<i>Corbula caribaea</i>	28,82	<i>Aedicira</i> sp.	28,82
<i>Dentalium</i> sp.	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	28,82
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	57,64	Cirratullidae sp. 1	115,27
<i>Aedicira</i> sp.	86,46	<i>Scoloplos</i> sp.	172,91
<i>Spiophanes</i> sp.1	605,19	<i>Parandalia americana</i>	144,09
Spionidae	28,82	<i>Onuphis eremita oculata</i>	57,64
<i>Magelona papillicornis</i>	172,91	<i>Kinbergonuphis</i> sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82	<i>Nephtys</i> sp.	28,82
Cirratullidae sp. 1	172,91	<i>Mediomastus capensis</i>	28,82

Continuação

Agosto 2005		Novembro 2005	
<i>Sigambra grubii</i>	57,64	<i>Microphoxus cornutus</i>	86,46
<i>Parandalia americana</i>	144,09	<i>Ampelisca paria</i>	57,64
Armandia sp.	288,18	<i>Resupinus coloni</i>	28,82
<i>Haploscoloplos</i> sp.	86,46	<i>Gammaropsis</i> sp.	28,82
<i>Scoloplos</i> sp.	115,27	<i>Photis longicaudata</i>	28,82
<i>Onuphis</i> sp.	28,82	<i>Cheiriphotis</i> sp.	28,82
<i>Glycinde multidentis</i>	86,46	<i>Acutihumerus cavooreni</i>	86,46
<i>Mediomastus capensis</i>	172,91	Euphausiacea/Mysidacea	28,82
<i>Microphoxus cornutus</i>	115,27	<i>Amphipholis subutilis</i>	28,82
<i>Ampelisca paria</i>	28,82		
<i>Resupinus coloni</i>	57,64		
<i>Acutihumerus cavooreni</i>	57,64		
Diastylidae sp.	115,27		
Bodotriidae sp. 1	57,64		
<i>Nannastacidae</i>	57,64		
<i>Callichirus major</i>	28,82		
<i>Tellina exerythra</i>	28,82		

Stn 02

Dezembro 2004		Abril 2005	
Nemertinea	28,82	<i>Sipunculus</i> sp.	28,82
<i>Strigilla</i> sp.	28,82	<i>Natica micra</i>	28,82
<i>Semele</i> sp.	28,82	<i>Solen</i> sp.	57,64
<i>Solen</i> sp.	57,64	<i>Temnoconcha brasiliiana</i>	28,82
<i>Tellina versicolor</i>	28,82	<i>Pherusa</i> sp.	28,82
<i>Nucula semiornata</i>	28,82	<i>Aricidea</i> sp. 1	115,27
<i>Spiophanes</i> sp.1	86,46	<i>Spiophanes</i> sp.1	605,19
<i>Magelona papillicornis</i>	28,82	Spionidae sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	86,46	<i>Magelona posterolongata</i>	86,46
<i>Onuphis</i> sp.	28,82	<i>Poecilochaetus australis</i>	28,82
<i>Ninoe brasiliensis</i>	28,82	<i>Parandalia americana</i>	57,64
<i>Goniada</i> sp.	28,82	Cirratullidae sp. 1	288,18
<i>Ampelisca paria</i>	144,09	<i>Aglaophamus</i> sp.	57,64
<i>Calappa</i> sp.	28,82	<i>Goniada</i> sp.	28,82
<i>Photis brevipes</i>	28,82	<i>Hemipodus</i> sp.	28,82
Phoxocephalidae	28,82	<i>Mediomastus capensis</i>	230,55
Diastylidae	28,82	<i>Ampelisca paria</i>	57,64
<i>Idotea</i> sp. 1	28,82	Novembro 2005	
Euphausiacea/Mysidacea	28,82	<i>Tellina versicolor</i>	28,82
<i>Amphiodia atra</i>	28,82	<i>Aricidea</i> sp. 1	57,64
Enteropneusta	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	115,27
Agosto 2005		<i>Scoloplos</i> sp.	28,82
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	28,82	<i>Parandalia americana</i>	28,82

Continuação

Agosto 2005		Novembro 2005	
<i>Aricidea</i> sp. 1	230,55	<i>Ninoe brasiliensis</i>	57,64
<i>Spiophanes</i> sp.1	778,10		
<i>Magelona papillicornis</i>	57,64		
<i>Magelona posterolongata</i>	115,27		
<i>Magelona variolamellata</i>	28,82		
<i>Poecilochaetus australis</i>	28,82		
<i>Sigambra grubii</i>	86,46		
<i>Parandalia americana</i>	172,91		
Cirratullidae sp. 2	28,82		
<i>Scoloplos</i> sp.	28,82		
<i>Ninoe brasiliensis</i>	28,82		
<i>Glycinde multidentis</i>	57,64		
Nereidae sp. 1	57,64		
<i>Mediomastus capensis</i>	115,27		
<i>Ampelisca paria</i>	230,55		
Diastylidae sp.	57,64		
Bodotriidae sp. 1	28,82		

Stn 03

Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Sipunculus</i> sp.	57,64	Nemertinea	28,82
<i>Pholoe minuta</i>	28,82	<i>Semele</i> sp.	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	115,27	<i>Tellina</i> sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	86,46	<i>Tellina exerythra</i>	28,82
<i>Magelona variolamellata</i>	28,82	<i>Leanira</i> sp.	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	28,82	<i>Pholoe minuta</i>	28,82
<i>Parandalia americana</i>	28,82	<i>Cistenides</i> sp.	57,64
<i>Scoloplos</i> sp.	28,82	<i>Axiiothella</i> sp.	28,82
<i>Mediomastus capensis</i>	28,82	<i>Aricidea</i> sp. 1	57,64
<i>Ampelisca paria</i>	115,27	<i>Cirrophorus</i> sp. 1	57,64
<i>Photis brevipes</i>	57,64	<i>Spiophanes</i> sp.1	1037,46
Decapoda sp.	28,82	<i>Boccardia polybranchia</i>	28,82
Euphausiacea/Mysidacea	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	28,82
<i>Pinnixa sayana</i>	57,64	<i>Magelona posterolongata</i>	230,55
Agosto 2005		<i>Magelona variolamellata</i>	144,09
Nemertinea	28,82	<i>Poecilochaetus australis</i>	634,01
Gastropoda sp.	28,82	<i>Diopatra aciculata</i>	57,64
<i>Tellina</i> sp.	28,82	<i>Sigambra grubii</i>	144,09
<i>Tellina pettitiana</i>	28,82	<i>Parandalia americana</i>	57,64
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	57,64	Dorvilleidae sp.	28,82
<i>Asychis</i> sp.	28,82	Cirratullidae sp. 1	432,28
<i>Spiophanes</i> sp.1	288,18	<i>Scoloplos</i> sp.	57,64
<i>Magelona posterolongata</i>	259,37	<i>Phylo</i> sp.	57,64

Continuação

Agosto 2005		Abril 2005	
<i>Sigambra grubii</i>	115,27	<i>Aglaophamus</i> sp.	28,82
<i>Parandalia americana</i>	144,09	Nereidae sp. 2	57,64
Cirratullidae sp. 2	57,64	<i>Mediomastus capensis</i>	115,27
<i>Scoloplos</i> sp.	57,64	Decapoda sp.	57,64
<i>Glycinde multident</i>	28,82	<i>Microphoxus cornutus</i>	28,82
<i>Ampelisca paria</i>	230,55	<i>Ampelisca paria</i>	835,73
<i>Microphoxus cornutus</i>	28,82	Bodotriidae sp. 1	28,82
Diastylidae sp.	57,64	Diastylidae	115,27
Novembro 2005		<i>Austinixa patagoniensis</i>	28,82
<i>Volvullela</i> sp.	28,82	Picnogonida	28,82
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	28,82	<i>Hemipholis elongata</i>	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	28,82	Enteropneusta	28,82
<i>Spiophanes</i> sp.1	144,09		
<i>Magelona papillicornis</i>	317,00		
Cirratullidae sp. 1	57,64		
Cirratullidae sp. 2	28,82		
<i>Parandalia americana</i>	28,82		
<i>Haploscoloplos</i> sp.	28,82		
<i>Scoloplos</i> sp.	86,46		
<i>Neanthes bruaca</i>	57,64		
<i>Glycinde multident</i>	28,82		
<i>Glycinde nordmanni</i>	57,64		
<i>Aglaophamus</i> sp.	28,82		
<i>Ampelisca paria</i>	28,82		
<i>Corophium</i> sp.	57,64		

Stn 04

Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Tellina</i> sp.	57,64	Nemertinea	28,82
<i>Semele</i> sp.	57,64	Aplacophora	28,82
<i>Felaniella</i> sp.	28,82	Bivalve sp.	57,64
<i>Ctena pectinella</i>	57,64	<i>Tellina versicolor</i>	28,82
<i>Corbula contracta</i>	57,64	<i>Macoma uruguayensis</i>	28,82
Polynoidae sp. 1	28,82	<i>Nucula semiornata</i>	28,82
Sigalionidae sp.	28,82	<i>Ctena pectinella</i>	57,64
<i>Artacama</i> sp.	28,82	<i>Corbula contracta</i>	86,46
<i>Euclymene</i> sp.	28,82	<i>Abra lioica</i>	28,82
<i>Pseudoeurythoe</i> sp.	115,27	Polynoidae sp. 1	57,64
<i>Cirrophorus</i> sp. 1	57,64	<i>Euclymene</i> sp.	172,91
<i>Cirrophorus</i> sp. 2	115,27	<i>Axiiothella</i> sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	57,64	<i>Asychis</i> sp.	57,64
<i>Magelona variolamellata</i>	28,82	<i>Amphinome</i> sp.	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	28,82	<i>Amphicteis</i> sp.	115,27

Continuação

Dezembro 2004		Abril 2005	
Dorvilleidae sp.	28,82	Aricidea sp. 1	115,27
Cirratulidae sp. 2	86,46	Cirrophorus sp. 1	172,91
Scoloplos sp.	57,64	Cirrophorus sp. 2	28,82
Arabella sp.	28,82	Spiophanes sp.1	115,27
Notomastus sp.	28,82	Boccardia polybranchia	28,82
Mediomastus capensis	28,82	Magelona papillicornis	115,27
Diastylidae	57,64	Magelona posterolongata	144,09
Natatolana sp.	28,82	Magelona variolamellata	57,64
Idotea sp. 2	28,82	Poecilochaetus australis	115,27
Amphiodia atra	115,27	Sigambra grubii	57,64
Hemipholis elongata	115,27	Parandalia americana	86,46
Amphipholis subutilis	28,82	Arabella sp.	57,64
Agosto 2005		Lumbrineris tetraura	28,82
Mellanela sp.	28,82	Ninoe brasiliensis	28,82
Bivalve sp.	28,82	Aglaophamus sp.	28,82
Corbula contracta	86,46	Gymnonereis crosslandi	28,82
Abra lioica	28,82	Mediomastus capensis	115,27
Pholoe minuta	28,82	Ogyrides hayi	28,82
Thelepus sp.	317,00	Pseuharpinia dentata	28,82
Pseudoeurythoe sp.	57,64	Ampelisca paria	317,00
Aricidea sp. 1	86,46	Saltipedis paulensis	57,64
Aricidea sp. 2	201,73	Anthuridae	28,82
Cirrophorus sp. 1	57,64	Callichirus major	28,82
Spiophanes sp.1	115,27	Amphiuridae sp.	28,82
Magelona sp.	28,82	Amphiodia atra	28,82
Magelona posterolongata	317,00	Novembro 2005	
Magelona variolamellata	28,82	Nemertinea	28,82
Poecilochaetus australis	57,64	Corbula contracta	28,82
Cirratullidae sp. 2	28,82	Anandara brasiliiana	28,82
Exogone sp.	28,82	Tellinidae sp.	28,82
Sigambra grubii	57,64	Semelidae sp.	28,82
Parandalia americana	115,27	Thelepus sp.	86,46
Cabira incerta	28,82	Pseudoeurythoe sp.	28,82
Haploscoloplos sp.	28,82	Aricidea sp. 2	28,82
Ninoe brasiliensis	57,64	Cirrophorus sp. 1	57,64
Aglaophamus sp.	28,82	Spiophanes sp.1	28,82
Goniada sp.	57,64	Magelona posterolongata	144,09
Glycinde multident	86,46	Magelona variolamellata	115,27
Neanthes sp.	57,64	Parandalia americana	57,64
Notomastus sp.	57,64	Lumbrineris tetraura	28,82
Mediomastus capensis	28,82	Ninoe brasiliensis	28,82
Ampelisca paria	115,27	Scoloplos sp.	28,82
Natatolana sp.	28,82	Neanthes bruaca	28,82
Phoxocephalidae	28,82	Glycinde nordmanni	28,82

Continuação

Agosto 2005		Novembro 2005	
Diastylidae	28,82	Nereidae sp. 2	28,82
Anthuridae	28,82	Natatolana sp.	28,82
		<i>Amphipholis subutilis</i>	28,82

Stn 05			
Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Eulima bifasciata</i>	28,82	Nemertinea	144,09
<i>Olivella minuta</i>	57,64	<i>Olivella minuta</i>	28,82
<i>Nucula semiornata</i>	374,64	<i>Tellina</i> sp.	28,82
<i>Tellina versicolor</i>	57,64	<i>Tellina versicolor</i>	28,82
<i>Gattyana</i> cf. <i>cirrosa rustica</i>	28,82	<i>Tellina exerythra</i>	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	28,82	<i>Nucula semiornata</i>	86,46
<i>Spiophanes</i> sp. 2	28,82	<i>Temnoconcha brasiliiana</i>	28,82
<i>Magelona papillicornis</i>	57,64	<i>Sthenelanella</i> sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	57,64	Polynoidae sp. 1	57,64
<i>Sigambra grubii</i>	86,46	<i>Aricidea</i> sp. 1	28,82
<i>Parandalia americana</i>	57,64	<i>Aedicira</i> sp.	28,82
Nereidae sp. 1	57,64	<i>Spiophanes</i> sp.1	57,64
<i>Goniada</i> sp.	86,46	<i>Magelona posterolongata</i>	57,64
<i>Mediomastus capensis</i>	115,27	Nereidae sp. 2	28,82
Picnogonida	201,73	<i>Goniadides</i> sp.	57,64
<i>Acutihumerus cavooreni</i>	57,64	<i>Capitella</i> sp.	115,27
<i>Photis longicaudata</i>	28,82	Amphiuridae sp.	28,82
Diastylidae	144,09	<i>Amphiodia atra</i>	28,82
Euphausiacea/Mysidacea	172,91	Novembro 2005	
Enteropneusta	28,82	Nemertinea	28,82
Agosto 2005		<i>Tellina versicolor</i>	201,73
<i>Tellina</i> sp.	403,46	<i>Nucula semiornata</i>	230,55
<i>Nucula semiornata</i>	115,27	<i>Cooperalla atlantica</i>	28,82
<i>Semele</i> sp.	57,64	<i>Fellaniela</i> sp.	28,82
<i>Mulinia cleryana</i>	28,82	Polynoidae sp.	57,64
Sigalionidae	57,64	<i>Aricidea</i> sp. 1	201,73
<i>Aricidea</i> sp. 1	201,73	<i>Aedicira</i> sp.	28,82
<i>Spiophanes</i> sp.1	28,82	<i>Paraprionaspio</i> sp.	28,82
<i>Spio</i> sp.	115,27	Spionidae sp. 1	115,27
<i>Magelona papillicornis</i>	115,27	Spionidae sp. 2	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	201,73	<i>Magelona papillicornis</i>	57,64
<i>Parandalia americana</i>	57,64	<i>Parandalia americana</i>	28,82
<i>Glycinde multidentis</i>	115,27	<i>Ninoe brasiliensis</i>	28,82
<i>Ophioglycera</i> sp.	28,82	<i>Neanthes bruaca</i>	28,82
<i>Capitella</i> sp.	374,64	<i>Glycinde multidentis</i>	28,82
<i>Ampelisca paria</i>	28,82	<i>Ampelisca paria</i>	28,82

Stn 06			
Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Olivella minuta</i>	28,82	Nemertinea	86,46
<i>Nucula semiornata</i>	28,82	Bivalve sp.	28,82
<i>Tellina versicolor</i>	28,82	<i>Nucula puelcha</i>	28,82
<i>Antalis</i> sp.	28,82	<i>Nucula semiornata</i>	28,82
<i>Gattyana</i> cf. <i>cirrosa rustica</i>	57,64	<i>Temnoconcha brasiliiana</i>	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	86,46	<i>Pseudoeurythoe</i> sp.	28,82
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82	<i>Aricidea</i> sp. 1	1008,65
<i>Sigambra grubii</i>	57,64	<i>Magelona papillicornis</i>	28,82
<i>Parandalia americana</i>	28,82	Dorvilleidae sp.	86,46
<i>Ninoe brasiliensis</i>	172,91	Cirratullidae sp. 2	57,64
<i>Goniada</i> sp.	57,64	<i>Sigambra grubii</i>	28,82
<i>Ampelisca paria</i>	28,82	<i>Scoloplos</i> sp.	28,82
Euphausiacea/Mysidacea	28,82	<i>Fauveliapsis</i> sp.	57,64
<i>Ogyrides hayi</i>	28,82	<i>Arabella</i> sp.	28,82
Enteropneusta	57,64	<i>Gyptis</i> sp.	28,82
Agosto 2005		Nereidae sp. 2	57,64
<i>Volvullela</i> sp.	28,82	<i>Mediomastus capensis</i>	201,73
Bivalve sp.	28,82	Decapoda sp.	28,82
<i>Tellina versicolor</i>	115,27	Euphausiacea/Mysidacea	28,82
<i>Temnoconcha brasiliiana</i>	28,82	<i>Ogyrides hayi</i>	28,82
<i>Nucula semiornata</i>	57,64	<i>Austinixa patagoniensis</i>	28,82
<i>Felaniella</i> sp.	28,82	Enteropneusta	57,64
<i>Aricidea</i> sp. 1	1440,92	Novembro 2005	
<i>Spiophanes</i> sp.1	28,82	<i>Tellina</i> sp.	28,82
Spionidae sp. 1	28,82	<i>Nucula semiornata</i>	230,55
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82	<i>Aricidea</i> sp. 1	201,73
<i>Sigambra grubii</i>	86,46	<i>Sigambra grubii</i>	28,82
<i>Scoloplos</i> sp.	28,82	<i>Ninoe brasiliensis</i>	57,64
<i>Lumbrineris tetraura</i>	201,73	<i>Goniada</i> sp.	57,64
<i>Ninoe brasiliensis</i>	86,46	<i>Goniada</i> cf. <i>brunea</i>	28,82
<i>Goniada</i> sp.	28,82	<i>Glycinde nordmanni</i>	28,82
<i>Mediomastus capensis</i>	547,55	<i>Capitella</i> sp.	28,82
<i>Ampelisca paria</i>	28,82		
<i>Cheiriphotis</i> sp.	28,82		
<i>Diastylidae</i> sp.	28,82		

Stn 07			
Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Nucula semiornata</i>	28,82	Nemertinea	57,64
<i>Corbula contracta</i>	28,82	Sipuncula sp. 1	28,82
<i>Pseudoeurythoe</i> sp.	28,82	<i>Tellina</i> sp.	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	374,64	<i>Tellina versicolor</i>	28,82
<i>Spiophanes</i> sp. 2	28,82	<i>Nucula semiornata</i>	57,64

Continuação

Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Magelona posterolongata</i>	662,82	<i>Semele casali</i>	28,82
<i>Magelona variolamellata</i>	86,46	<i>Aricidea</i> sp. 1	86,46
<i>Nothria</i> sp.	28,82	<i>Cirrophorus</i> sp. 2	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	28,82	<i>Spiophanes</i> sp.1	461,10
<i>Parandalia americana</i>	57,64	<i>Paraprionospio</i> sp.	28,82
<i>Cirratulidae</i> sp. 1	28,82	<i>Spio</i> sp.	28,82
<i>Scoloplos</i> sp.	115,27	<i>Magelona papillicornis</i>	57,64
<i>Ninoe brasiliensis</i>	230,55	<i>Poecilochaetus australis</i>	28,82
<i>Nereidae</i> sp. 1	28,82	<i>Cirratullidae</i> sp. 1	259,37
<i>Hemipodus</i> sp.	28,82	<i>Sigambra grubii</i>	57,64
<i>Goniada</i> sp.	28,82	<i>Haploscoloplos</i> sp.	57,64
<i>Mediomastus capensis</i>	28,82	<i>Scoloplos</i> sp.	144,09
<i>Ampelisca paria</i>	172,91	<i>Fauveliopsis</i> sp.	28,82
<i>Microphoxus cornutus</i>	57,64	<i>Ninoe brasiliensis</i>	86,46
<i>Resupinus coloni</i>	28,82	<i>Neanthes bruaca</i>	28,82
<i>Gibberosus myersi</i>	28,82	<i>Goniada</i> cf. <i>maculata</i>	57,64
<i>Enteropneusta</i> sp.	28,82	<i>Glycinde multicens</i>	86,46
		<i>Mediomastus capensis</i>	259,37
Agosto 2005		<i>Decapoda</i> sp.	28,82
<i>Nemertinea</i>	28,82	<i>Ogyrides hayi</i>	28,82
<i>Semele</i> sp.	28,82	<i>Ampelisca paria</i>	144,09
<i>Tellina</i> sp.	28,82		
<i>Nucula puelcha</i>	28,82	Novembro 2005	
<i>Pholoe minuta</i>	28,82	<i>Nemertinea</i>	28,82
<i>Aricidea</i> sp. 1	634,01	<i>Tellina</i> sp.	28,82
<i>Aedicira</i> sp.	28,82	<i>Nucula puelcha</i>	28,82
<i>Spiophanes</i> sp.1	576,37	<i>Axiiothella</i> sp.	28,82
<i>Magelona papillicornis</i>	230,55	<i>Aricidea</i> sp. 1	86,46
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	172,91
<i>Poecilochaetus australis</i>	86,46	<i>Scoloplos</i> sp.	86,46
<i>Cirratullidae</i> sp. 1	28,82	<i>Ninoe brasiliensis</i>	115,27
<i>Cirratullidae</i> sp. 2	144,09	<i>Goniada maculata</i>	57,64
<i>Sigambra grubii</i>	28,82	<i>Neanthes bruaca</i>	28,82
<i>Scoloplos</i> sp.	28,82	<i>Mediomastus capensis</i>	28,82
<i>Lumbrineris tetraura</i>	57,64	<i>Ampelisca paria</i>	28,82
<i>Ninoe brasiliensis</i>	230,55	<i>Albunea paretii</i>	28,82
<i>Goniada</i> sp.	28,82		
<i>Hemipodus</i> sp.	57,64		
<i>Neanthes</i> sp.	28,82		
<i>Mediomastus capensis</i>	201,73		
<i>Ampelisca paria</i>	57,64		
<i>Diastylidae</i> sp.	28,82		
<i>Enteropneusta</i>	28,82		

Stn 08			
Dezembro 2004		Abril 2005	
<i>Tellina</i> sp.	28,82	Nemertinea	28,82
<i>Semele</i> sp.	28,82	Sipuncula sp. 1	57,64
Sigalionidae sp.	28,82	<i>Natica limbata</i>	28,82
<i>Sigalion</i> sp.	28,82	<i>Natica micra</i>	57,64
<i>Owenia fusiformis</i>	28,82	<i>Caecum</i> sp.	115,27
<i>Aricidea</i> sp. 1	28,82	<i>Semele casali</i>	86,46
<i>Aedicira</i> sp.	144,09	<i>Ctena pectinella</i>	28,82
<i>Spiophanes</i> sp.1	201,73	<i>Aricidea</i> sp. 1	86,46
<i>Paraprionospio</i> sp.	57,64	<i>Cirrophorus</i> sp. 1	28,82
<i>Magelona crenulata</i>	57,64	<i>Cirrophorus</i> sp. 2	57,64
<i>Exogone</i> sp.	86,46	<i>Aedicira</i> sp.	57,64
<i>Kinbergonuphis</i> sp.	57,64	<i>Spiophanes</i> sp.1	720,46
<i>Parandalia americana</i>	28,82	<i>Spiophanes</i> sp.	28,82
<i>Scoloplos</i> sp.	28,82	Cirratullidae sp. 1	201,73
Nephytidae sp.	28,82	Cirratullidae sp. 2	28,82
Nereidae sp. 2	28,82	<i>Magelona papillicornis</i>	201,73
<i>Photis brevipes</i>	28,82	<i>Magelona posterolongata</i>	28,82
<i>Microphoxus cornutus</i>	144,09	<i>Magelona variolamellata</i>	86,46
<i>Tiburonella viscana</i>	86,46	<i>Sigambra grubii</i>	28,82
<i>Aoridae</i> sp.	115,27	<i>Parandalia americana</i>	144,09
Phoxocephalidae	57,64	<i>Scoloplos</i> sp.	28,82
Diastylidae	28,82	<i>Kinbergonuphis</i> sp.	115,27
Bodotriidae sp. 3	57,64	<i>Ninoe brasiliensis</i>	86,46
Nannastacidae	28,82	<i>Mediomastus capensis</i>	288,18
<i>Idotea</i> sp. 1	57,64	<i>Ogyrides hayi</i>	28,82
<i>Pinnixa sayana</i>	28,82	<i>Photis brevipes</i>	28,82
Agosto 2005		<i>Ampelisca paria</i>	374,64
Nemertinea	115,27	Euphausiacea/Mysidacea	57,64
Sipuncula sp. 2	86,46	<i>Calappa</i> sp.	28,82
Sipuncula sp. 3	57,64	Novembro 2005	
<i>Volvullela</i> sp.	28,82	<i>Corbula caribaea</i>	28,82
<i>Caecum</i> sp.	57,64	<i>Lagerhansia</i> sp.	57,64
Bivalve sp.	28,82	<i>Scoloplos</i> sp.	28,82
<i>Tellina versicolor</i>	86,46	Onuphidae sp.	28,82
<i>Abra lioica</i>	28,82	<i>Gnatia</i> sp.	28,82
<i>Semele</i> sp.	57,64	<i>Bouchardia rosea</i>	28,82
<i>Tellina</i> sp.	28,82		
<i>Nucula semiornata</i>	28,82		
<i>Antalis</i> sp.	57,64		
<i>Owenia fusiformis</i>	28,82		
<i>Aricidea</i> sp. 1	115,27		
<i>Cirrophorus</i> sp. 2	28,82		
<i>Aedicira</i> sp.	28,82		
<i>Spiophanes</i> sp.1	951,01		

Continuação

Agosto 2005	
<i>Magelona papillicornis</i>	144,09
<i>Magelona posterolongata</i>	28,82
<i>Magelona variolamellata</i>	86,46
<i>Poecilochaetus australis</i>	57,64
Cirratullidae sp. 1	259,37
Cirratullidae sp. 2	115,27
<i>Exogone</i> sp.	57,64
<i>Lagerhansia</i> sp.	28,82
<i>Sigambra grubii</i>	201,73
<i>Synelmis</i> sp.	144,09
<i>Kinbergonuphis</i> sp.	28,82
<i>Ninoe brasiliensis</i>	144,09
<i>Neanthes</i> sp.	57,64
<i>Ophioglycera</i> sp.	28,82
<i>Mediomastus capensis</i>	144,09
<i>Ampelisca paria</i>	201,73
Phoxocephalidae	28,82
Bodotriidae sp. 2	28,82
<i>Branchiostoma</i> sp.	28,82

Classificação das espécies do grupo Polychaeta em grupos tróficos (GT).

Espécies	GT	Espécies	GT
<i>Aedicira</i> sp.	DS	<i>Leanira</i> sp.	C
<i>Aglaophamus</i> sp.	C	<i>Lumbrineris tetraura</i>	C
<i>Amphicteis</i> sp.	DS	Magelonidae sp.	DS
<i>Amphinome</i> sp.	C	<i>Magelona crenulata</i>	DS
<i>Arabella</i> sp.	C	<i>Magelona papillicornis</i>	DS
<i>Aricidea</i> sp.1 e 2	DS	<i>Magelona posterolongata</i>	DS
<i>Armandia</i> sp.	B	<i>Magelona variolamellata</i>	DS
<i>Artacama</i> sp.	DS	<i>Mediomastus capensis</i>	B
<i>Asychis</i> sp.	B	Nephytidae sp.	C
<i>Axiothella</i> sp.	B	<i>Nephtys</i> sp.	C
<i>Boccardia polybranchia</i>	DS	<i>Neanthes bruaca</i>	O
<i>Cabira incerta</i>	C	<i>Neanthes</i> sp.	O
Cirratulidae sp. 1 e 2	DS	<i>Ninoe brasiliensis</i>	C
<i>Cirrophorus</i> sp. 1	DS	Nereidae sp. 1 e 2	C
<i>Cirrophorus</i> sp. 2	DS	<i>Notomastus</i> sp.	B
<i>Cistenides</i> sp.	DS	<i>Nothria</i> sp.	C
<i>Diopatra aciculata</i>	C	Onuphidae sp.	C
Dorvilleidae sp.	O	<i>Onuphis</i> sp.	C
<i>Drilonereis</i> sp.	C	<i>Onuphis eremita oculata</i>	C
<i>Euclymene</i> sp.	B	<i>Owenia fusiformis</i>	B
<i>Exogone</i> sp.	O	<i>Ophioglycera</i> sp.	C
<i>Fauveliapsis</i> sp.	B	<i>Paraprionospio</i> sp.	DS

Continuação			
Espécies	GT	Espécies	GT
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	C	<i>Pherusa</i> sp.	DS
<i>Gattyana</i> cf. <i>cirrosa rustica</i>	C	<i>Pholoë minuta</i>	C
<i>Glycera</i> cf. <i>dibranchiata</i>	C	<i>Poecilochaetus australis</i>	DS
<i>Glycinde nordmanni</i>	C	Polyonidae sp.	C
<i>Glycinde multidentis</i>	C	<i>Pseudoeurythoe</i> sp.	C
<i>Goniada</i> cf. <i>brunea</i>	C	<i>Scoloplos</i> sp.	B
<i>Goniada</i> cf. <i>maculata</i>	C	<i>Sigambra grubii</i>	C
<i>Goniada</i> sp.	C	Sigalionidae sp.	C
<i>Goniadides</i> sp.	C	<i>Sigalion</i> sp.	C
<i>Gruberelepis</i> cf. <i>fimbriata</i>	C	Spionidae sp. 1 e 2	DS
<i>Gymnonereis crosslandi</i>	C	<i>Spio</i> sp.	DS
<i>Gyptis</i> sp.	C	<i>Spiophanes</i> sp. 1 e 2	DS
<i>Haploscoloplos</i> sp.	B	<i>Sthenelanella</i> sp.	C
<i>Hemipodus</i> sp.	C	<i>Synelmis</i> sp.	C
<i>Kinbergonuphis</i> sp.	C	<i>Thelepus</i> sp.	B
<i>Lagerhansia</i> sp.	O		

C: carnívoros, DS: depositívoros de superfície, B: depositívoros de subsuperfície, O: omnívoros.

ANEXO III

Dados de biomassa e densidade de bactérias nos 0-2 cm do sedimento e em 0-10 cm da coluna sedimentar (valores integrados) utilizados nas análises multivariadas deste estudo.

Biomassa Bactérias ($\mu\text{gC g}^{-1}$) (0-2 cm do sedimento)						
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro
Stn 01	12,60	16,03	5,36	22,26	19,18	8,86
Stn 02	8,60	13,84	10,80	22,59	18,11	17,66
Stn 03	17,14	17,85	18,44	17,21	12,28	14,20
Stn 04	15,03	23,18	13,43	20,83	12,24	14,77
Stn 05	23,23	17,91	38,82	66,31	65,65	50,89
Stn 06	51,56	101,00	76,69	63,44	47,86	73,63
Stn 07	19,14	70,56	19,83	29,55	24,83	12,34
Stn 08	12,10	24,67	15,53	21,55	16,97	12,44

Biomassa Bactérias ($\mu\text{gC g}^{-1}$) (valores integrados, 0-10 cm do sedimento)						
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro
Stn 01	27,09	38,25	45,43	77,40	39,83	27,15
Stn 02	38,57	38,07	51,41	76,16	36,50	56,50
Stn 03	38,11	54,71	37,87	71,50	32,29	45,23
Stn 04	31,61	61,86	23,36	74,91	30,94	42,56
Stn 05	58,92	77,04	62,75	181,29	168,97	142,92
Stn 06	132,50	171,48	185,50	207,38	166,35	187,34
Stn 07	66,85	150,12	57,95	136,99	81,50	43,95
Stn 08	52,06	106,92	45,43	75,29	42,63	63,44

Densidade Bactérias (células $\text{g}^{-1} \times 10^6$) (0-2 cm do sedimento)						
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro
Stn 01	99,11	107,93	39,94	219,76	107,45	84,39
Stn 02	81,32	125,63	98,90	225,31	99,74	183,37
Stn 03	131,14	139,25	115,33	169,19	74,43	112,32
Stn 04	97,60	170,04	98,63	196,11	76,22	136,89
Stn 05	191,76	137,52	317,08	652,08	411,99	389,30
Stn 06	398,32	585,52	524,10	672,70	288,11	531,47
Stn 07	184,90	495,60	152,03	289,96	172,22	125,84
Stn 08	81,20	216,47	140,14	203,71	143,92	156,63

Densidade Bactérias (células $\text{g}^{-1} \times 10^6$) (valores integrados, 0-10 cm)						
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Novembro
Stn 01	262,17	341,30	183,47	862,19	304,01	344,11
Stn 02	398,69	398,08	487,13	928,21	323,85	716,94
Stn 03	337,22	456,34	333,19	913,56	254,93	519,46
Stn 04	244,17	524,81	264,69	945,79	285,07	493,79
Stn 05	567,65	609,15	639,71	2100,24	1174,24	1342,40
Stn 06	1281,01	1308,56	1650,40	2531,61	1034,87	1792,03
Stn 07	686,78	1298,60	532,61	1701,60	623,27	519,89

Continuação						
Stn 08	393,29	942,81	464,84	855,10	360,26	932,52

Concentração dos compostos lipídicos nos 0-2 cm do sedimento observadas durante fevereiro e agosto de 2005 e utilizadas nas análises multivariadas deste estudo.

Compostos Lipídicos		Fevereiro 2005						
Ácidos Graxos (ng g ⁻¹)	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
SCFA	1947,5	904,7	958,7	1558,0	5799,2	17592,2	6516,8	1775,2
MUFA	989,8	604,4	381,8	900,6	3193,3	15067,9	1379,0	1155,0
LCFA	79,3	186,1	576,9	391,0	641,5	3673,9	2098,7	220,0
BRANCH	321,0	416,2	306,8	366,8	1263,5	6274,8	1680,4	681,2
PUFA	303,7	101,6	64,2	286,5	713,7	3921,0	956,3	133,8
C16:1ω7	667,2	246,2	116,3	392,8	2012,4	8332,0	240,5	521,6
C16	1071,5	486,8	444,4	934,9	2980,4	9925,4	3420,6	960,3
10MeBr	53,5	95,0	63,1	71,5	257,1	1437,1	301,3	191,4
C18:1ω9	64,9	84,0	71,8	135,9	249,8	1645,2	140,2	157,7
C18:1ω7	84,7	128,2	82,6	190,1	341,3	2253,3	377,2	228,8
C20:5ω3	213,3	45,4	29,1	126,7	438,2	1735,7	197,7	46,8
C22:6ω3	21,3	12,4	0,0	27,3	32,1	300,4	39,0	8,4
Álcoois (ng g ⁻¹)								
LCOH	25,4	107,9	4488,4	371,3	479,8	2153,2	1202,6	205,5
Fitol	102,3	178,0	3336,0	731,3	3661,7	12494,2	4480,2	372,0
Esteróis (ng g ⁻¹)								
27Δ5,22	46,9	113,6	1702,8	377,2	392,6	1919,4	1348,3	264,2
27Δ5	109,8	196,3	3609,7	851,5	724,3	3577,4	2291,2	1297,1
28Δ5,22	76,9	178,3	1806,8	493,0	488,8	2717,3	1995,7	364,8
28Δ5,24(28)	52,8	56,2	1464,2	231,6	311,5	1545,2	675,3	114,5
28Δ5	12,7	90,1	738,0	311,9	875,8	4456,0	1254,5	200,3
29Δ5,22	12,5	77,3	608,5	253,3	360,9	2624,2	1019,5	201,7
29Δ5	58,6	109,4	1594,2	399,3	758,3	5972,1	1834,5	331,8
30Δ22	31,9	92,7	1997,5	329,0	472,0	2591,9	1433,2	115,8
Alquenonas (ng g ⁻¹)								
	15,6	106,3	2733,2	395,0	563,4	2237,9	1421,3	157,6

Compostos Lipídicos		Agosto 2005						
Ácidos Graxos (ng g ⁻¹)	Stn 01	Stn 02	Stn 03	Stn 04	Stn 05	Stn 06	Stn 07	Stn 08
SCFA	1456,8	800,3	929,5	1293,0	27838,2	13017,0	2741,2	2464,9
MUFA	1052,9	706,5	683,4	944,5	22789,0	9907,6	1937,0	1939,6
LCFA	114,1	140,0	245,7	289,2	9786,2	3899,3	834,9	244,7
BRANCH	543,9	708,3	619,6	685,9	12134,0	6646,2	1361,7	1188,9
PUFA	475,1	104,7	145,9	177,9	5467,4	3900,0	523,9	552,4
C16:1ω7	607,6	204,3	230,3	316,4	10233,1	4100,2	766,8	1006,1
C16	802,9	470,8	487,5	682,7	14835,9	6725,8	1446,5	1453,3
10MeBr	113,1	208,8	162,0	154,8	2839,7	1910,9	349,3	353,7

Continuação								
C18:1 ω 9	119,5	140,5	121,7	148,1	3051,4	1430,9	273,5	263,5
C18:1 ω 7	156,8	157,9	141,8	271,4	4455,2	2096,5	447,2	374,1
C20:5 ω 3	227,2	36,8	58,5	50,1	2117,4	1597,2	196,4	246,0
C22:6 ω 3	34,8	13,3	19,5	24,3	446,6	208,1	33,5	29,9
Álcoois (ng g⁻¹)								
LCOH	95,3	209,1	90,1	229,3	2939,6	1791,9	645,5	75,1
Fitol	369,3	231,0	116,4	428,0	8208,5	4935,8	1359,4	324,5
Esteróis (ng g⁻¹)								
27 Δ 5,22	83,9	146,1	85,0	227,0	1402,6	922,9	363,2	83,1
27 Δ 5	235,6	438,2	334,2	501,5	3633,9	2017,5	976,8	187,3
28 Δ 5,22	130,9	225,6	132,5	341,4	1797,5	1296,7	563,2	142,0
28 Δ 5,24(28)	42,6	56,9	34,9	125,8	623,8	464,8	162,3	34,0
28 Δ 5	68,8	94,6	58,2	170,7	2179,9	1308,2	352,8	66,4
29 Δ 5,22	49,8	95,9	48,5	214,6	1479,0	899,8	292,4	65,2
29 Δ 5	176,5	232,4	89,5	506,3	6977,8	2925,1	742,5	135,6
30 Δ 22	60,4	152,4	67,1	243,3	2167,2	1151,6	484,5	57,7
Alquenonas (ng g⁻¹)	66,4	216,2	55,2	282,2	1684,0	1129,1	528,6	65,9