



**GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO**

José Serra
Governador

Francisco Graziano Neto
Secretário do Meio Ambiente

Fernando Rei
Diretor-Presidente

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CETESB

São Paulo
2007



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Cetesb

RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS

São Paulo

2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418r CETESB (São Paulo)

Relatório de monitoramento de emissários submarinos / CETESB.

- - São Paulo : CETESB, 2007.

106p. : il. ; 30 cm. - - (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103)

Publicado simultaneamente em CD ROM.

Disponível também em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.

1. Água – poluição 2. Águas costeiras 3. Emissário submarino 4. Esgoto sanitário 5. Monitoramento – meio ambiente I. Título. II. Série.

CDD (21. ed. Esp.)

CDU (ed. 99 port.) 628.241.2

Margot Terada CRB 8.4422



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Cetesb

Fernando Rei
Diretor-Presidente

Edson Tomaz de Lima Filho
Diretor de Gestão Corporativa

Otávio Okano
Diretor de Controle de Poluição Ambiental

Marcelo de Souza Minelli
Diretor de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental

Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental

Engº. Marcelo de Souza Minelli
Diretor

Coordenação geral

Engº. Eduardo Mazzolenis de Oliveira
Gerente do Departamento de Tecnologia de Águas Superficiais e Efluentes Líquidos

Coordenação técnica

Quím. José Eduardo Bevilacqua
Assessor da Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental
Biól. Claudia Condé Lamparelli
Gerente do Setor de Águas Litorâneas

Elaboração

Biól. Claudia Condé Lamparelli
Biól. Débora Orgler de Moura
Biól. Karla Cristiane Pinto
Geóg. Aparecida Cristina Camolez
Estag. Ricardo de Mattos Fortis
Estag. Camila Bueno Pacheco Pereira

Mapas

Geóg. Aparecida Cristina Camolez

Amostragem e análises laboratoriais

Setor de Laboratório da Bacia da Baixada Santista
Setor de Laboratório das Bacias do Paraíba do Sul e Litoral Norte
Setor de Hidrologia
Setor de Efluentes Líquidos
Setor de Amostragem em Ambientes Aquáticos e Ensaio Granulométricos
Setor de Química Inorgânica e Radioatividade
Setor de Química Orgânica
Setor de Comunidades Aquáticas
Setor de Ecotoxicologia Aquática
Setor de Microbiologia e Parasitologia

Colaboração

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências
Profa. Wânia Duleba

Projeto editorial

Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente
Revisão de Texto: Wanda E. S. Barbosa
Capa: Vera Severo

Editoração/Diagramação

Páginas e Letras Editora e Gráfica Ltda.
Tel.: (11) 6618 2461 e 6694 3449
E-mail: paginaseletras@uol.com.br

Produção Editorial, Fotolito e Impressão

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Concluído em Fevereiro/2007

Distribuição: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros
Tel.: (11) 3133-6000 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP

Apresentação

A grande população já existente em alguns municípios do litoral paulista acrescida pelo intenso afluxo de turistas que procuram a região nas épocas de veraneio, provoca um aumento considerável da quantidade de esgotos domésticos gerada. A opção de lançar os esgotos domésticos no mar por meio de emissários submarinos tornou-se uma alternativa adotada no mundo todo, inclusive no Brasil.

No Estado de São Paulo existem sete emissários submarinos de esgotos que lançam seus efluentes no mar após pré condicionamento. Estes sistemas, embora tragam muitos benefícios para a qualidade das praias na medida em que afastam o esgoto das mesmas, podem também trazer prejuízos ambientais se não forem bem dimensionados e operados. Desse modo, o monitoramento ambiental desses lançamentos é muito importante.

A CETESB, acompanhando as estratégias das agências ambientais internacionais, passou a monitorar os emissários da costa paulista desde 2002, ampliando sua abrangência em 2005, quando passou a contemplar os quatro emissários do canal de São Sebastião. Devido à complexidade dos trabalhos envolvidos, a CETESB realizou parceria com o Instituto de Geociências da USP que colaborou nas análises biogeoquímicas e da microfauna dos sedimentos e na interpretação integrada de todos esses componentes ambientais.

Nesta publicação são apresentados, portanto, o estado da arte dos emissários da costa paulista e os resultados do monitoramento ambiental incluindo a interpretação dos resultados da qualidade das águas e dos sedimentos das áreas de influência dos emissários submarinos que, em conjunto com outras informações, permitem dar suporte técnico ao gerenciamento ambiental desses sistemas.

O trabalho realizado pela CETESB em cooperação com outras entidades demonstrou que o monitoramento da operação dos emissários submarinos, por meio da avaliação da qualidade ambiental, constitui ferramenta fundamental no suporte às decisões técnicas sobre instalação, operação e manutenção desses sistemas tendo sido útil nos processos de licenciamento desses empreendimentos.

A CETESB espera, com base no levantamento realizado até o momento, reunir informações sobre as alterações decorrentes da operação dos emissários na costa paulista e acredita que com o prosseguimento do monitoramento será possível um melhor diagnóstico da qualidade ambiental das áreas sob influência desses lançamentos, que servirá como subsídio para o planejamento, projeto e operação de emissários submarinos no Estado de São Paulo e também para o Brasil.

Fernando Rei
Diretor Presidente da Cetesb

SUMÁRIO

Capítulo 1

Introdução	11
1.1. A disposição oceânica no Estado de São Paulo	11
1.2. Legislação ambiental	13

Capítulo 2

Características dos Emissários Monitorados	15
2.1. Emissário do Araçá	15
2.2. Emissário das Cigarras	16
2.3. Emissário do Saco da Capela	16
2.4. Emissário do Tebar	17
2.5. Emissário de Santos	19

Capítulo 3

Modelagem Computacional da Dispersão da Pluma dos Emissários Submarinos Monitorados pela Cetesb	21
3.1. Análise dos processos físicos intervenientes à disposição oceânica	21
3.2. Descrição do modelo Cormix	22
3.3. Modelagem computacional da pluma do emissário submarino de Santos	23
3.4. Características hidrodinâmicas do Canal de São Sebastião	26
3.5. Modelagem computacional da pluma do emissário do Araçá	28
3.6. Modelagem computacional da pluma do emissário da praia das Cigarras	32
3.7. Modelagem computacional do emissário do Saco da Capela	36
3.8. Modelagem computacional da pluma do emissário do Tebar	30

Capítulo 4

Metodologia de Monitoramento da Qualidade das Águas e dos Sedimentos Marinhos	45
4.1. Monitoramento da qualidade da águas	45
4.2. Monitoramento da qualidade dos sedimentos	46

Capítulo 5

Monitoramento da Qualidade das Águas	53
5.1. Emissário de Santos	53
5.2. Emissário do Araçá	59
5.3. Emissário das Cigarras	62
5.4. Emissário Tebar	65
5.5. Emissário Saco da Capela	66

Capítulo 6

Qualidade dos Sedimentos	71
6.1. Emissário de Santos	72
Granulometria	72
Nutrientes e razões	76
Foraminíferos	84
6.2. Emissário do Araçá	88
Granulometria	88
Nutrientes e razões	90
Foraminíferos	94
6.3. Emissário do Tebar	95
Granulometria	95
Nutrientes e razões	98
Foraminíferos	101
6.4. Emissário do Saco da Capela	102
Granulometria	102
Nutrientes e razões	104
Foraminíferos	107
6.5. Qualidade dos sedimentos	108
Emissário de Santos	108
Emissários do Canal de São Sebastião	108
Fauna de foraminíferos	110
6.6. Resultados microbiológicos	111

Capítulo 7

Considerações Finais	113
Referências	115

1. Introdução

1 | 1. A disposição oceânica no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo existem sete emissários submarinos de esgotos domésticos, operados pela Sabesp e um de efluentes industriais no terminal petrolífero da Petrobras – Tebar (Terminal Marítimo Almirante Barroso). Suas características de projeto estão apresentadas na Tabela 1 e suas localizações nas imagens de satélite da Figura 1.

Os emissários da Sabesp, a maioria deles instalados na década de 1990, lançam seus efluentes no mar após um pré-condicionamento que consiste em gradeamento, caixa de remoção de areia e peneiramento fino. Na Baixada Santista são quatro emissários sendo o mais antigo o de Santos que iniciou sua operação em 1979 e o mais recente o do Guarujá instalado em 1997. No Litoral Norte são três e localizam-se na região do canal de São Sebastião. Também localizado nesse canal, o emissário submarino do Tebar foi projetado para efluentes líquidos tratados, gerados na drenagem dos fundos dos tanques de petróleo e navios, e para águas pluviais e industriais contaminadas com óleo.

Tabela 1: Descrição das características dos emissários submarinos do Estado de São Paulo.

Características dos Emissários Submarinos do ESP							
Município / Emissário	População máxima*	Vazão (m ³ /s)	Comp. (m)	Prof. (m)	Diâmetro (m)	Tubo difusor	Nº de orifícios
Santos José Menino	1.332.100	7,2	4.000	10	1,75	200	40
Guarujá Enseada	445.858	1,45	4.500	14	0,9	300	150
Praia Grande Subsistema 1	253.755	1,04	3.300	12	1,0	435	174
Praia Grande Subsistema 2	348.635	1,36	3.400	13	1,0	570	228
Ilhabela Saco da Capela	4.848	0,03	220	24	0,25	2,5	24
São Sebastião Pta. Cigarras	1.600	0,012	1.068	8,5	0,16	3,5	7
São Sebastião Pta. Araçá	21.396	0,14	1.061	8	0,4	10,1	17
São Sebastião Tebar	-	0,208	1.500	22	0,25	60	6

* Estimativa populacional.



Figura 1: Localização dos Emissários Submarinos do Canal de São Sebastião e da Baixada Santista

Embora estes sistemas tragam benefícios para a qualidade das praias, na medida em que afastam o esgoto, podem também trazer prejuízos ambientais se não forem bem dimensionados e operados. Por esse motivo, o monitoramento ambiental na área circunvizinha ao lançamento é imprescindível. Desse modo, a Cetesb iniciou, a partir de 2002, o monitoramento de dois deles: o emissário de Santos, na Baixada Santista, e o do Araçá, no Canal de São Sebastião.

Em 2005 esse monitoramento foi estendido para todos os emissários do Canal de São Sebastião além do de Santos. Essa extensão se deu dentro do projeto Fehidro – Fundo Estadual de Recursos Hídricos - aprovado pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte (CBH-LN). Neste projeto está sendo avaliado o desempenho dos quatro emissários submarinos existentes no Canal, a saber: Araçá, Cigarras e Tebar em São Sebastião, e Saco da Capela, em Ilhabela.

1 | 2. Legislação ambiental

Como os emissários submarinos são considerados fontes potenciais de poluição, devem ser submetidos ao licenciamento ambiental e obter as licenças Previa, de Instalação e de Operação.

Uma vez em funcionamento, seu lançamento deve atender aos padrões de emissão estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005. Além disso, o corpo d'água receptor deve ter suas características mantidas de acordo com sua classe de enquadramento. Como as águas marinhas ainda não foram enquadradas são consideradas como de Classe 1 e seus padrões de qualidade devem ser atendidos (Tabela 2). Desse modo o lançamento de esgotos ou outros efluentes não pode alterar essas características. Também pode ser utilizada a Resolução Conama 274/2000 relativa aos padrões de balneabilidade (Tabela 3).

Desse modo, o monitoramento das águas sob influência desses lançamentos visa avaliar a eficiência desses sistemas, se a qualidade das águas está adequada para os usos previsto e identificar se estão ocorrendo impactos ambientais no meio marinho.

Resolução Conama 357/2005

A Resolução 357 apresenta uma série de aperfeiçoamentos em relação à anterior. No que se refere às águas salinas e salobras, os avanços foram muitos, sendo os principais a inclusão de novos parâmetros, como os nutrientes e o estabelecimento de quatro categorias de classes de qualidade de águas (Especial, Classe 1, Classe 2 e Classe 3) tanto para águas salinas quanto salobras, substituindo as duas classes anteriormente existentes, cujas características principais estão descritas a seguir:

Classe Especial: mais restritiva - manutenção das condições e do equilíbrio natural

Classe 1: não verificação de efeito tóxico crônico a organismos

Classe 2: não verificação de efeito tóxico agudo a organismos

Classe 3: menos restritiva - poucos padrões

Os usos previstos para essas classes estão listados a seguir:

Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 % (Artigo 5º, Resolução Conama 357/05)

I - Classe Especial - águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama 274/2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas; e
- c) à aquicultura e à atividade de pesca.

III - Classe 2 - águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora; e
- b) à recreação de contato secundário.

IV - Classe 3 - águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 % (Artigo 6º, Resolução Conama 357/05)

I - Classe Especial - águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama 274/2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à aquicultura e à atividade de pesca;
- d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e
- e) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - Classe 2 - águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora; e
- b) à recreação de contato secundário.

IV - Classe 3 - águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

As tabelas a seguir mostram alguns dos padrões estabelecidos para as classes de águas salinas e salobras no que se refere aos nutrientes e outros indicadores de eutrofização, além dos indicadores bacteriológicos para os diversos usos.

Tabela 2: Padrões de qualidade para as classes de águas salinas e salobras.

Padrões para as classes de qualidade de água						
Composto	Águas Salinas			Águas Salobras		
	Classe 1 (mg/L)	Classe 2 (mg/L)	Classe 3 (mg/L)	Classe 1 (mg/L)	Classe 2 (mg/L)	Classe 3 (mg/L)
Oxigênio Dissolvido	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0
Carbono Orgânico Total	3,0	5,0	10,0	3,0	5,0	10,0
Nitrogênio Amoniacal	0,40	0,70	-	0,40	0,70	-
Nitrito	0,07	0,20	-	0,07	0,20	-
Nitrato	0,40	0,70	-	0,40	0,70	-
Fósforo	0,062	0,093	-	0,124	0,186	-
Polifosfato	0,031	0,046	-	0,062	0,093	-

Tabela 3: Padrões microbiológicos para as classes de águas salinas e salobras.

Padrões de coliformes termotolerantes (UFC/100 mL) para os diversos usos previstos				
Classes	Recreação de contato primário	Cultivo de moluscos bivalves	Recreação de contato secundário	Demais usos
Classe 1	< 1000 em 80% < 2500 em 90% 5 amostras semanais	Média g.< 43 em 80% e < 88 em 90% 15 amostras (5x/ano)	* < 200 (salobra)	< 1000 em 80% (6 amostras/ano)
Classe 2	-	-	< 2500 em 80% (6 amostras/ ano)	< 2500 em 80% (6 amostras/ano)
Classe 3	-	-	-	< 4000 em 80% (6 amostras/ano)

* Irrigação.

2. Características dos Emissários Monitorados

2|1. Emissário do Araçá

A estação de pré-condicionamento (EPC) de esgotos do Araçá atende cerca de 21.200 habitantes, perfazendo uma vazão total de 140L/s (MARCELINO, 2000). O esgoto passa por uma caixa de areia (Figura 2) e seis peneiras estáticas (Figura 3) e posteriormente é clorado para desinfecção. O efluente da EPC é encaminhado por recalque até a chaminé de equilíbrio por emissário terrestre de ferro fundido com 0,50 m de diâmetro e extensão de 5.182 m. A chaminé de equilíbrio funciona como divisória, entre o trecho da tubulação que é recalçada (bombeada) e o trecho que o efluente é encaminhado para o emissário submarino por gravidade.



Figura 2: Caixa de areia e peneiras estáticas da EPC do emissário do Araçá.



Figura 3: Peneiras estáticas da EPC do emissário do Araçá.

Esta EPC tem sua eficiência comprometida nos períodos chuvosos, devido à falta da rede de drenagem que atende a região. Para evitar que a água das chuvas entre nas casas, a população abre as tampas da rede de esgoto (bocas de lobo) para que a água escoe. A água pluvial, que deveria seguir pela rede de dre-

nagem, é encaminhada para a rede de esgoto e segue para a EPC com grande quantidade de areia e outros sólidos, o que causa abrasão das bombas e compromete a eficiência da EPC.

Além de aumentar os gastos com reparo das bombas e os custos de disposição e transporte dos sólidos removidos, acabam também por prejudicar os efeitos da cloração. Sabe-se que, quanto menor o grau de tratamento, maior a quantidade de sólidos em suspensão e maior quantidade de matéria orgânica, acarretando maior quantidade de cloro para alcançar a mesma eficiência, e em alguns casos ocasionando riscos microbiológicos às águas marinhas.

2 | 2. Emissário das Cigarras

A Praia das Cigarras está localizada próxima ao bairro de São Francisco, entre São Sebastião e Caraguatuba, no chamado bairro do Barro. A área de esgotamento sanitário consiste em uma bacia de rede coletora com 28 ha de área. Segundo Marcelino (2000), devido à pequena população e pela localização da Praia das Cigarras, a 9 km do limite da área de projeto do município de São Sebastião, este sistema foi concebido em separado do sistema Centro. As vazões variam entre 1,5 L/s (baixa temporada) e 7,6 L/s (alta temporada), com uma vazão máxima de projeto de 9,44 L/s.

Após vistorias realizadas em 1985, sobre a operação e estado de conservação do emissário submarino, constatou-se pontos de vazamento devido à fadiga das juntas de soldagem na tubulação perto da praia, rompimentos causados por formações de bolsas de ar internas e ancoragem insuficiente, além de não ter sido encontrado o trecho final de 300 m do difusor.

O sistema de pré-condicionamento possui um sistema de gradeamento médio, onde os resíduos gerados são levados para o aterro municipal, com limpeza semanal das grades. O efluente ainda recebe cloração, antes de ser encaminhado para o emissário submarino. O trecho terrestre do emissário, em vez de seguir diretamente para o mar, percorre uma distância de 45 m paralelo a praia, desde a estação elevatória nas proximidades da Ponta do Arpoador.

A chaminé de equilíbrio (Figura 4) proporciona melhores condições operacionais, pois, em função do trecho entre a chaminé e o sistema difusor no oceano possuir baixa declividade, a chaminé assegura a carga manométrica necessária para encaminhar o esgoto, por meio do seu acúmulo de volume. Outra função importante é evitar o chamado “golpe de aríete”, passível de ocorrer quando da queda repentina do plano de carga, com a parada do sistema de bombeamento, além de assegurar um possível retorno do efluente quando operado em baixas vazões e em maré alta.



Figura 4: Chaminé de equilíbrio da EPC do emissário das Cigarras.

2 | 3. Emissário do Saco da Capela

O município de Ilhabela inicialmente possuía atendimento com rede coletora de esgotos somente na região central da cidade. Com o projeto de ampliação concluído, está previsto o atendimento por rede

coletora na região do Saco da Capela, ao longo da Av. Pedro Paulo de Moraes, desde a rua Benedito Félix até a Região Central próxima à foz do rio Nossa Senhora da Ajuda.

A EPC está localizada na margem esquerda do rio Nossa Senhora da Ajuda no final da rua Dr. Carvalho e é composta das seguintes unidades: estação elevatória final, peneira estática e tanque de contato para cloração.

O esgoto, antes de ser enviado para o emissário submarino (Figura 5), sofre o tratamento preliminar com a remoção de sólidos grosseiros através da peneira e da desinfecção por cloração.

O tanque de contato de cloro, em concreto, tem dimensões em planta de 6,10 m por 5,50 m e é compartimentado por chicanas espaçadas de 0,7 m. A altura total do tanque é de 1,85 m com 1,20 m de lâmina d'água e 0,65 m de borda livre, perfazendo um volume total igual a 62 m³. Por meio da dosagem de cloro tem-se uma quantidade de coliformes termotolerantes da ordem de 107 NMP/100 mL na saída dos orifícios difusores.

O recalque possui um sistema de “by-pass” que permite isolar as instalações da peneira e do tanque de contato para manutenção, interligando o recalque da elevatória diretamente com o emissário submarino (MARCELINO, 2000).



Figura 5: Tubulação de PEAD do emissário submarino do Saco da Capela com os lastros de concreto na transição terra-mar.

2 | 4. Emissário do Tebar

O Tebar - Terminal Almirante Barroso, foi construído em 1967 pela Petrobrás - Petróleo Brasileiro S.A., para recepção marítima, armazenamento e bombeamento de petróleo e derivados. É o maior terminal da América Latina representando no total uma capacidade de tancagem de 2 milhões de m³ (para petróleo e derivados), destinados a abastecer quatro refinarias no Estado de São Paulo por oleodutos.

O terminal é constituído de um oleoduto ligando duas plataformas situadas no meio do Canal de São Sebastião (a aproximadamente 1km da costa) a um conjunto de 40 tanques de armazenamento (na parte terrestre). As plataformas foram construídas nessa distância devido às profundidades do canal, da ordem de até 40 m, o que permite aos navios de maior porte poder atracar (até 300 mil toneladas).

Na ligação entre as plataformas e a parte terrestre existe uma rede de canalizações, além das várias tubulações que escoam o petróleo e os produtos derivados até os tanques de armazenamento, entre as quais:

- canalização para escoamento da água de produção, separada do petróleo no próprio interior dos navios por diferença de densidade, para o tanque de água destinada à ETE;
- duas canalizações de esgotos (enviadas para os dois emissários submarinos situados perto da plataforma Pier Sul).

O terminal gera dois tipos principais de efluentes líquidos (as linhas 1 e 2), que são misturados antes de ser enviados para os emissários, sendo:

- Linha 1: efluentes líquidos gerados na drenagem dos fundos dos tanques e dos navios (enviados para o terminal ao atracar);
- Linha 2: águas pluviais e industriais contaminadas com óleo (águas de incêndio, vazamento de válvulas, etc).

As duas linhas dos emissários submarinos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) são chamadas de Linha Norte e Linha Sul e recebem os efluentes misturados das Linhas 1 e 2, citados acima. A linha sul tem um comprimento aproximado de 1.600 metros e a norte de 1.400 metros (Figura 6).

Os dois emissários do Tebar estão assentados ao lado da plataforma do Pier Sul. O emissário I (correspondendo à Linha Norte) é situado a uma profundidade de 19,45 m; quanto ao emissário II (Linha Sul), sua profundidade é de 25,15 m. Na ponta de cada linha existe uma seção difusora com três risers (tubulações verticais, também de PEAD) com aproximadamente 1,5 m de altura e diâmetro igual a 0,15 m cada, voltados para a superfície.



Figura 6: Disposição das linhas do emissário submarino do Tebar.

A estação de tratamento implantada em 1986 é baseada em técnicas de separação por diferença de densidade e tratamento físico-químico. Existem duas linhas de esgotos, cada uma com um tratamento específico:

- Os despejos da Linha 1 provenientes da drenagem do fundo dos tanques do terminal e dos navios são tratados na ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) basicamente com uma etapa de flotação e um processo de oxidação com peróxido de hidrogênio. Essa ETE tem capacidade para tratar 250 m³/h de efluentes líquidos. A montante dessa linha, encontra-se um tanque de alta capacidade - o tanque 13 - onde são estocadas todas as águas de produção. Nesse tanque são avaliadas as características físico-químicas da água a tratar, a fim de estabelecer as quantidades de peróxido de hidrogênio, de ácido sulfúrico e de soda cáustica ao tratamento. Cada etapa do tratamento se dá em um tanque específico. A ordem das etapas de tratamento é a seguinte:
 1. Etapa de flotação para eliminar óleos e graxas.
 2. Etapa de oxidação com peróxido de hidrogênio para a eliminação de enxofre e sulfeto.
 3. Etapa de acidificação do efluente com ácido sulfúrico, a fim de abaixar o pH até 2, adicionando sulfeto ferroso como catalisador para a etapa seguinte.
 4. Oxidação de fenóis com peróxido de hidrogênio.
 5. Ajuste do pH com soda cáustica, para obter valores entre 6,5 e 7.
- Os despejos da Linha 2 (águas pluviais, vazamentos, incêndios, etc.) são tratados em dois sistemas de Separação de Águas Oleosas - SAO.
 - SAO I: constituídos de 6 células

- SAO IV: constituídos de 2 células.

Trata-se de uma etapa de decantação, onde a matéria oleosa fica acima da fase aquosa, por diferença de densidade, e dessa maneira a água é coletada pelo fundo. Quanto aos óleos sobrenadantes, estes são enviados aos tanques de petróleo destinados às refinarias. A água desses separadores é analisada na saída, para verificar se está em conformidade com a legislação, caso não atenda aos padrões de emissão, é enviada para o tanque 13, a fim de ser tratada pela ETE. As águas pluviais são derivadas desse sistema de tratamento e vão diretamente para os emissários submarinos. Segundo Cetesb (2001a), cada um desses sistemas tem capacidade de tratar 250 m³/h de despejos.

2 | 5. Emissário de Santos

O emissário submarino de Santos entrou em operação em 1979 e está localizado na praia José Menino, na cidade de Santos, São Paulo. Foi construído com tubos de aço de 1,75 m de diâmetro interno, revestido externamente de concreto, de modo a garantir um peso de lastro. Sua extensão total é de 4.007 m.

A tubulação difusora (última seção componente do sistema de disposição oceânica) tem 200 m de extensão e possui 40 orifícios com tubos verticais (*risers*) espaçados de 5,0 m, e diâmetro interno de 30 cm. Os tubos afloram a uma altura de 50 cm do assoalho submarino.

O esgoto coletado é encaminhado para a Estação de Pré-Condicionamento onde é submetido a gradeamento, peneiramento e desinfecção por cloro. Esse emissário, além de receber as contribuições dos coletores de esgotos, recebe também as águas dos canais de drenagem.

Nas saídas desses canais foram instaladas comportas que são mantidas fechadas, bloqueando as descargas na água do mar em períodos de pouca chuva. Este procedimento evita a poluição das praias, uma vez que todos os canais recebem uma carga de poluição difusa por ligações irregulares, e ao mesmo tempo não permite a entrada de areia nos canais em decorrência das variações das marés. Na ocorrência de fortes precipitações essas comportas são abertas, permitindo a saída das águas pluviais diretamente para o mar.

3. Modelagem Computacional da Dispersão da Pluma dos Emissários Submarinos Monitorados pela Cetesb

3 | 1. Análise dos processos físicos intervenientes na disposição oceânica

Quando o efluente é lançado em forma de jato no fundo do oceano pelos difusores de um emissário submarino, o fluxo é elevado por duas forças: a quantidade de movimento (força de lançamento) e o empuxo, que é a diferença entre a densidade do efluente (998 kg/m^3) e a da água do mar (1.022 kg/m^3). À medida que o jato se eleva em direção à superfície, mistura-se com a água do mar, e tanto a força de lançamento quanto o empuxo decrescem, sendo transformados pela ação advectiva das correntes marinhas. Este processo é denominado de diluição inicial, ocorre na região chamada “campo próximo” e depende basicamente das condições ambientais (nível de turbulência das águas, velocidade de deslocamento e estratificação térmica) e das características geométricas do difusor (quantidade, diâmetro, alinhamento). É consenso entre os especialistas que um sistema difusor eficiente deva alcançar diluições da ordem de 100 ($D0 = C0 / C$; sendo $D0$ = Diluição inicial, $C0$ = Concentração inicial, C = Concentração final) no campo próximo.

Os jatos lançados em alta velocidade pelo sistema difusor podem ser afetados pela corrente do ambiente e pela estratificação térmica. As correntes irão defletir gradualmente o jato flutuante na direção do seu escoamento induzindo um aumento da mistura (Figura 7). Por outro lado, um ambiente estratificado, irá dificultar a ascensão do jato, aprisionando a pluma de efluente em um certo nível da coluna d’água (Figura 8). Ambas as situações podem ocorrer simultaneamente, como é o caso de águas profundas (geralmente com mais de 10 m) e estratificadas (com variação de temperatura ao longo da coluna d’água) e são passíveis de fortes correntes marinhas. Nesta fase se inicia o chamado “campo de esgoto” que poderá ficar emerso ou submerso.

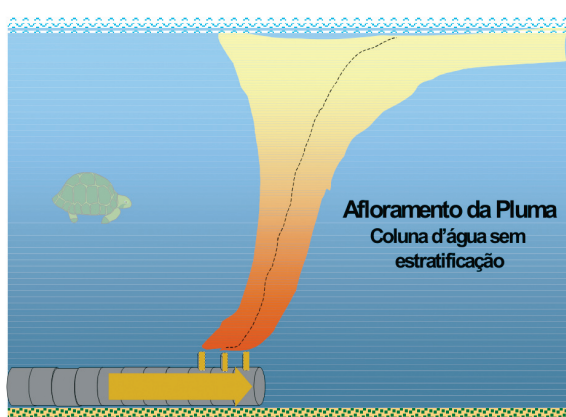


Figura 7: Jato flutuante em ambiente não estratificado e defletido pela corrente.

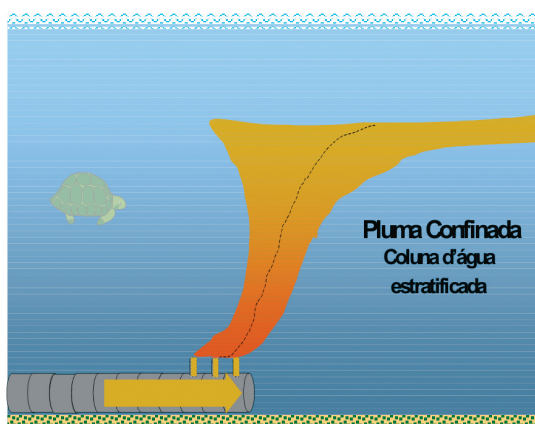


Figura 8: Jato flutuante em ambiente estratificado e defletido pela corrente.

Conforme a pluma se afasta do ponto de lançamento, as características geométricas do difusor diminuem a influência no processo de mistura, e uma segunda fase se inicia, na qual as condições do ambiente (p. ex.: velocidade da corrente) irão controlar a trajetória e a taxa de diluição da pluma. Esta região é chamada de “campo distante”. A diminuição da concentração do efluente, a partir deste ponto, será condicionada por dois processos naturais de mistura: a difusão e o transporte pelas correntes.

A utilização de emissários submarinos para o lançamento de efluentes domésticos e industriais, deve ser definida a partir de projetos adequados para garantir a qualidade da água após o processo de diluição inicial. A zona de mistura de um efluente (Figura 9) no corpo d’água, abrange tanto o campo próximo quanto o campo distante.

Legalmente, a extensão da zona de mistura de um efluente em um corpo d'água pode ser definida como uma região onde os parâmetros de qualidade da água podem ser excedidos dentro de novos valores limites. É comum estabelecer a zona de mistura somente para um constituinte, ou um conjunto deles.

Na prática, para determinar a zona de mistura, estipula-se uma área, comprimento, largura ou volume, o menor possível e de fácil identificação, variando em função das características ambientais do corpo receptor, não interferindo nos usos previstos para a água.

A Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005, demonstra um avanço na questão do estabelecimento de uma zona de mistura. O Artigo 33 descreve em relação a zona de mistura de efluentes que: “[...] o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.” E continua em seu parágrafo único que “[...] a extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.”

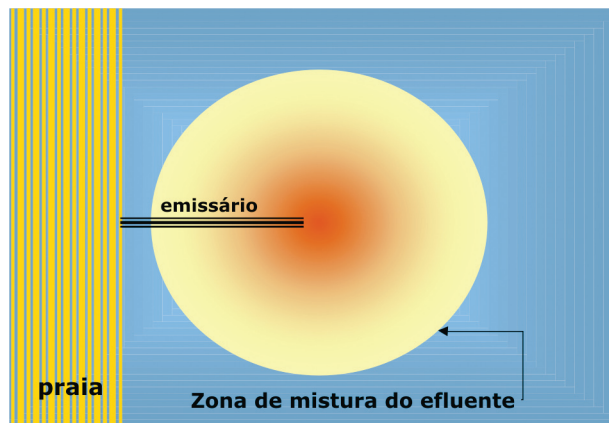


Figura 9: Exemplo de zona de mistura do efluente.

Outro fator de extrema importância nos projetos de sistemas de disposição oceânica de esgotos domésticos é a determinação da razão de desaparecimento de bactérias e vírus (decaimento bacteriano) dos efluentes sanitários lançados ao mar, para garantir o atendimento aos padrões de balneabilidade das praias. O tempo requerido para o decaimento de 90%, é identificado pela sigla T90, cujo processo depende de inúmeros fatores ambientais, como: radiação, sedimentação, temperatura, mistura oceânica, salinidade e outros. Estudos realizados no litoral santista determinaram um T90 que varia de 60 a 120 minutos (OCCHIPINTI, 1973).

O conhecimento da ocorrência do T90 é imprescindível para o dimensionamento racional de um sistema de emissários submarinos próximos às áreas de lazer e recreação, conduzindo a uma ótima interação entre o tratamento, a desinfecção e as características geométricas do difusor.

3 | 2. Descrição do modelo Cormix

O Sistema Especialista Cormix (Cornell Mixing Zone) é um software de análise e prognóstico do lançamento e dispersão de efluentes domésticos e industriais em diversos tipos de corpos d'água, além de também permitir a verificação do atendimento dos padrões de qualidade da água estabelecidos pela legislação vigente.

O resultado do modelo computacional é baseado nas características geométricas do emissário e do efluente e nas condições ambientais do corpo d'água (Tabela 4), fornecendo o resultado de diluição inicial do poluente a ser analisado, o comportamento da pluma do efluente a grandes distâncias, além de verificar a ocorrência de recirculação e impacto bêntico nas circunvizinhanças do lançamento (JIRKA et al, 1996).

Tabela 4: Principais dados de entrada do Modelo Cormix.

Condições ambientais	Configuração geométrica do sistema difusor	Características do efluente
<ul style="list-style-type: none"> - profundidade do corpo receptor (m); - profundidade do lançamento (m); - velocidade do ambiente (m/s); - oscilação de maré; - densidade da água do corpo receptor. 	<ul style="list-style-type: none"> - localização e distância da margem (praia); - comprimento da seção difusora (m) - espaçamento entre orifícios (m); - diâmetro dos orifícios de descarga (m) - ângulos do orifício de lançamento do efluente (vertical e horizontal). 	<ul style="list-style-type: none"> - vazão de lançamento (m^3/s); - temperatura ($^{\circ}C$); - concentração da substância (mg/L); - taxa de decaimento (substâncias não conservativas ou microrganismos).

Nesse sentido é necessário conhecer as condições ambientais do local estudado, que são variáveis e altamente complexas, principalmente no mar. Desse modo, para verificar o comportamento da pluma é preciso selecionar os cenários a serem analisados e inserir as condições de lançamento (concentração e vazão do efluente, configuração geométrica do difusor, profundidade, etc.) para interagir com as condições ambientais (perfil de estratificação, velocidade de corrente, etc.).

3 | 3. Modelagem computacional da pluma do emissário de Santos

A análise computacional da eficiência do sistema difusor do emissário submarino de Santos/São Vicente foi realizada com o intuito de verificar a condição de balneabilidade das praias, na faixa de proteção de 300 m a partir da margem, referente ao parâmetro coliformes termotolerantes, com concentração $C_0 = 4,5 \cdot 10^{-6}$, e considerando um valor de decaimento bacteriano $T_{90} = 2h^{-1}$.

Para realizar as simulações, foram consideradas duas situações: a primeira referente às informações existentes no projeto executivo fornecido pela Sabesp, e a segunda, considerando uma suposta degradação da estrutura física dos emissários submarinos ao longo da vida útil até o tempo atual, decorrente: do entupimento da maioria dos orifícios difusores, da quebra dos risers e ruptura da tubulação por âncoras e redes de pesca, e do assoreamento e incrustação dos sedimentos e organismos marinhos.

A seguir estão sintetizados os principais dados de entrada do modelo computacional:

Tabela 5: Parâmetros utilizados na simulação com o Modelo Cormix.

Parâmetros de simulação		Projeto		Atual	
Ambiente	Ha (m) – altura da coluna d’água	10			
	Va (m/s)	0,40 – regime permanente, com a corrente direcionada paralela à linha do difusor em direção à praia			
	Estratificação (kg/m ³)	estratificação linear ou de transição que ocorre em cerca de 90% do tempo, com uma diferença de densidade de 2kg/m ³ ($\rho_{\text{SUPERFÍCIE}} = 1021\text{kg/m}^3$ e $\rho_{\text{FUNDO}} = 1023\text{kg/m}^3$).			
Efluente (saída da EPC)	Concentração	4,5 x 10 ⁻⁶ (NMP/100mL)			
	Vazão (m ³ /s)	Max = 7,3	Med = 3	Max = 7,3	Med = 3
	Densidade (kg/m ³)	998 – equivalente à densidade da água doce			
	T90 ^a (h ⁻¹)	2			
Geometria do sistema difusor	Comprimento (m)	200		20	
	Diâmetro do orifício (m)	0,30			
	Alinhamento	estrutura perpendicular ao sentido da corrente da maré; e risers a 90° em relação ao leito de fundo			
	nº risers/orifícios	40 ^a		4 ^b	

(a) 40 orifícios é um dado de projeto, porém, acredita-se que desde o início da operação do sistema somente 20 risers/orifícios foram abertos para o lançamento do efluente.

(b) Suposta configuração atual devido ao desgaste do sistema ao longo da sua vida útil.

A Figura 10 apresenta as linhas de concentração do parâmetro coliformes termotolerantes e o padrão de balneabilidade das praias (linha vermelha igual a 1.000 NMP/100 mL), considerando-se os dados da Tabela 5. Basicamente as simulações foram realizadas para duas configurações geométricas: a do projeto original do emissário de Santos/São Vicente, e a referente à suposta situação atual do sistema difusor do mesmo emissário. Para ambas as configurações, trabalhou-se com duas faixas de vazão – a máxima de projeto e a média anual.

Observa-se que, para a configuração com 40 difusores, a diluição inicial é muito mais acentuada, alcançando valores da ordem de 50, enquanto para 4 difusores a diluição inicial será menor ou igual a 10. Para esta mesma configuração atual, com 4 difusores em funcionamento, as linhas de concentração no campo próximo têm declividade muito baixa, caracterizando ineficiência do atual sistema, onde somente após aproximadamente 800-900 m do lançamento é que ocorre a diminuição acentuada da concentração de coliformes termotolerantes propiciada pelo decaimento bacteriano no meio aquático.

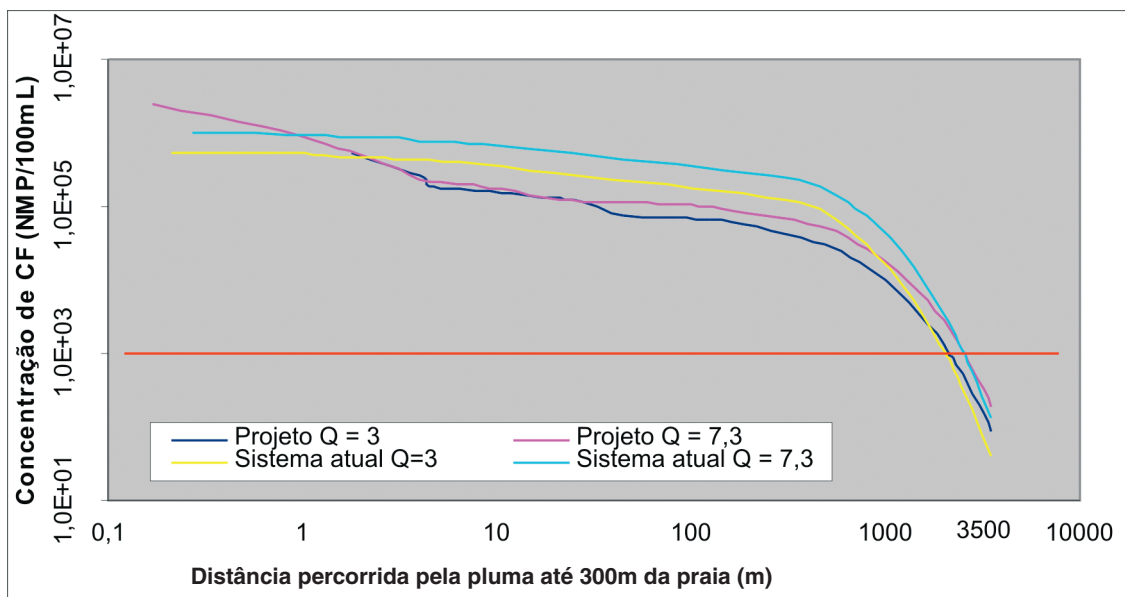


Figura 10: Linhas de concentração da pluma do efluente do emissário de Santos / São Vicente.

Para a configuração atual, o padrão de qualidade do corpo d'água é alcançado a aproximadamente 1.500 m ($Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$) e 1.000 m ($Q = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$) da zona de proteção a 300 m da margem.

Tais valores são similares aos encontrados para a configuração de projeto com 40 difusores, o que representa, para ambos os casos, que as configurações não são eficientes no processo de diluição inicial, apesar de atenderem à legislação vigente no quesito balneabilidade das praias.

Conclui-se que o principal mecanismo de diluição para ambos os casos é o decaimento bacteriano, e que seria recomendável a readequação no sistema difusor desse emissário, para alcançar diluições aproximadas de 100 no campo próximo, o que traria maior segurança quanto ao atendimento do padrão de balneabilidade das praias e menor impacto ambiental na vizinhança do lançamento aos altos índices microbiológicos na água.

Na Tabela 6 e nas Figuras 11 e 12, são descritas sucintamente as características hidrodinâmicas da pluma do efluente de ambas as configurações geométricas do sistema difusor do emissário de Santos/São Vicente.

Tabela 6: Características da pluma do efluente^(a).

Características da pluma	Projeto		Atual	
	$Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$
$C_{300\text{m}}$ (NMP/100mL) ^b	86,6	187	40,5	133
$X_{1000 \text{ NMP}/100\text{mL}}$ (m) ^c	2140	2540	2050	2550
Largura (m)	1360	1600	820	1100

(a) Valores aproximados em ordem de grandeza.

(b) Concentração da pluma do efluente a 300 m da praia.

(c) Distância percorrida pela pluma, em direção a praia, até o momento de alcançar o Padrão de Qualidade das Águas (1000 NMP/100mL).

A Figura 11 mostra uma esquematização da característica hidrodinâmica da descarga do efluente para a configuração geométrica do sistema difusor com 40 difusores, onde se observa, que o fluxo é afetado pela estratificação linear do ambiente, aprisionando-se a 1,5 m da superfície e sofrendo uma forte advecção devido à corrente marinha. A pluma desenvolve-se ao longo da linha difusora, espalhando-se lateralmente e diminuindo de espessura. A partir deste momento, inicia-se o campo distante, onde a turbulência do ambiente se torna o único mecanismo de mistura, em taxa relativamente menor do que no campo próximo.

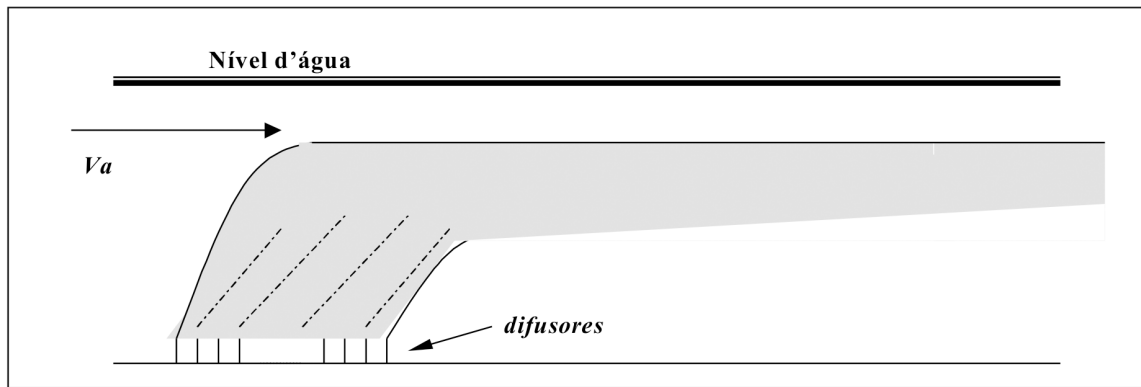


Figura 11: Vista lateral da descarga do efluente do sistema difusor com 40 orifícios.

Para um sistema difusor com quatro orifícios (Figura 12), utilizando-se tanto a vazão de projeto quanto a média anual, observa-se que o fluxo da descarga apresenta um efeito no local de descarga com maior intensidade que as condições ambientais (velocidade do meio e estratificação térmica). Devido a esse fator, a configuração de descarga é hidrodinamicamente instável, acarretando na recirculação da pluma na vizinhança dos difusores e na intrusão a montante do emissário. Com a ação constante da velocidade do meio, a pluma tende a ser direcionada à praia, reestratificando-se e espalhando-se lateralmente. A partir deste momento, tem início o campo distante, onde a turbulência do ambiente se torna o único mecanismo de mistura, em taxa relativamente menor do que no campo próximo.

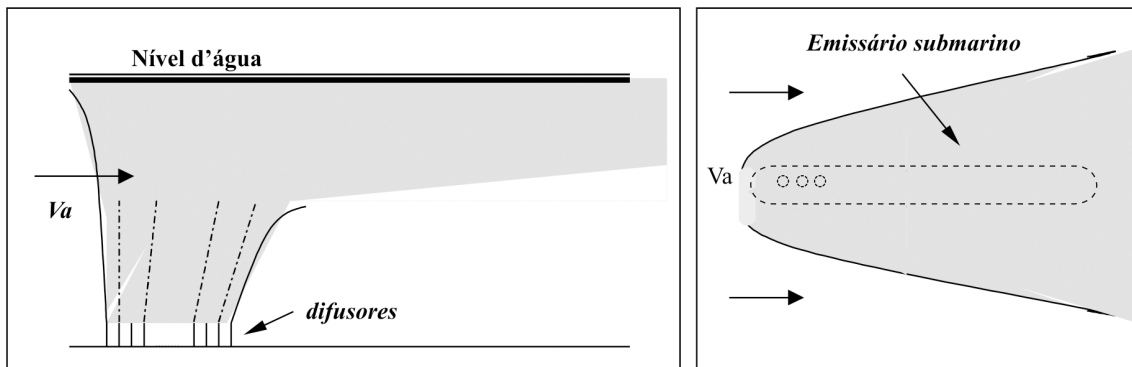


Figura 12: Vista lateral e em planta da descarga do efluente do sistema difusor com quatro orifícios.

3 | 4. Características hidrodinâmicas do Canal de São Sebastião

O Canal de São Sebastião (CSS) está localizado na costa nordeste do Estado de São Paulo. O canal separa o continente da Ilha de São Sebastião que abriga o município de Ilhabela. Este canal limita-se ao Norte, pela Ponta das Canas e ao Sul, pela Ponta da Sela, ambas situadas na Ilha de São Sebastião. A extensão é de aproximadamente 25 km e largura varia entre 6 km na entrada norte, 7 km na entrada sul e 2 km no ponto central.

O CSS apresenta vertentes nas duas laterais: a Serra do Juqueriquerê, pelo lado do continente, acompanhando a linha de costa e, pelo outro lado, a Ilha de São Sebastião, que apresenta altitudes de até 1.379 m (Pico de São Sebastião). Este fato demonstra que o canal é abrigado do Oceano Atlântico, funcionando como um funil para os ventos. A porção do litoral onde se situa o canal, é saliente em relação à linha da costa faz com que seja um obstáculo para as correntes marinhas costeiras. Já a profundidade do canal, é variável e aumenta das desembocaduras para o centro, de 23 metros na parte sul e 25 metros na parte norte, chegando a mais de 40 metros próximo ao terminal petrolífero Tebar na região central do canal. Sua parte mais profunda está localizada no lado insular (Heitor, 2002).

Silva (2001), que estudou a circulação e estrutura termohalina do CSS, indicou que o nível do mar no CSS, varia entre - 0,219 m no norte, lado oeste, e -0,232 no sul, também do lado oeste; que as correntes

superficiais fluem para sudoeste com intensificação no estreito do canal, onde as velocidades chegam a 0,45 m/s; as temperaturas superficiais variam entre 18°C e 26°C, sendo as maiores encontradas no norte do canal, do lado oeste, e as menores no sul, também do lado oeste; as maiores salinidades estão no sul do CSS, no lado oeste, e as menores estão no norte do domínio, do lado oeste. Nos locais onde ocorrem as menores temperaturas e as menores salinidades, encontram-se os maiores gradientes de densidade. A salinidade diminui dos extremos para o centro do canal e aumenta da superfície para o fundo.

Segundo Heitor (2002), o comportamento hidrodinâmico na região do CSS é complexo, sendo regido principalmente pela ação dos ventos. Os ventos sul propiciam a entrada de correntes de superfície para o norte. A dinâmica das massas d'água que atuam no canal é fortemente influenciada pelo avanço e retração sazonal da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), pelo fundo, em direção a porções mais rasas da plataforma, e que leva o deslocamento da Água Costeira (AC), pela superfície, em direção às porções mais externas. O avanço da ACAS ocorre nos meses de primavera/verão, gerando uma termoclina (camada intermediária na coluna d'água onde ocorre um salto de diferença da temperatura/densidade, entre a camada inferior – menor temperatura e maior densidade, e a camada superior, mais próxima à superfície). Os níveis superiores da ACAS (denominados de Frente Térmica Profunda), em ocasiões de intrusões bem desenvolvidas, oscilam entre as isóbatas de 20 a 40 m. No outono/inverno, a retração de ACAS permite o avanço da Água Tropical (AT) na maior parte da plataforma, acarretando condições mais homogêneas da coluna d'água na região mais interna desta.

As condições hidrodinâmicas para a determinação dos cenários das simulações computacionais dos emissários submarinos de esgoto doméstico do Araçá, Cigarras e Saco da Capela, basearam-se em uma série de levantamentos realizados pela Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas – Fundespa no Canal de São Sebastião.

Com base nesses dados, selecionou-se uma faixa de variação de velocidade de corrente de 0,1 a 0,5 m/s coerente e abrangente, para ser utilizada na análise da influência da pluma dos emissários submarinos na balneabilidade das praias.

Em relação à estratificação da coluna d'água, o CSS, principalmente nos meses quentes de verão, apresenta notável variação de temperatura e salinidade, da superfície até o fundo; esta variação pode ser linear (diminuição gradativa da temperatura) ou ocasionar termoclina e haloclina, que é uma camada intermediária em que ocorre uma diferença acentuada de temperatura e salinidade, respectivamente entre a superfície e o fundo.

Com o intuito de analisar a influência da estratificação da coluna d'água estabeleceram-se quatro cenários para essa condição, sendo os cenários C6 a C9 com perfil de estratificação linear ($\Delta\rho$), variando de 1 a 4 kg/m³ respectivamente, a uma velocidade média de corrente de 0,3 m/s. O valor máximo de 4 kg/m³, foi observado pela Fundespa (2003), nas proximidades do Terminal Aquaviário de São Sebastião, em profundidades da ordem de 18 a 25 m.

As simulações computacionais do comportamento hidrodinâmico da pluma do efluente dos emissários submarinos de esgoto doméstico do Araçá, Cigarras e Saco da Capela, utilizando o Modelo Cormix, foram realizadas para analisar a influência da pluma na balneabilidade das praias.

Utilizou-se o parâmetro coliformes termotolerantes, adotando taxa de decaimento bacteriano, T90 = 2h (120 min), e concentração inicial (após desinfecção), igual a 4,8.10⁶ NMP/100 mL. As simulações foram feitas considerando as vazões máximas de projeto e os dados de configuração geométrica de cada sistema. As principais condições estabelecidas para os emissários submarinos do Araçá, Cigarras e do Saco da Capela estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7: Resumo dos cenários utilizados nas simulações computacionais da pluma dos efluentes dos emissários do Araçá, das Cigarras e do Saco da Capela.

Cenários	Velocidade da corrente em direção a praia	Densidade e perfil de estratificação	Decaimento Bacteriano (T90)	Concentração de Coliformes Termotolerantes	
C1	0,1 m/s	1022 kg/m ³ uniforme em toda a coluna d'água	2 horas (120 min)	4,8x10 ⁶ NMP/100mL	
C2	0,2 m/s				
C3	0,3 m/s				
C4	0,4 m/s				
C5	0,5 m/s				
C6	0,3 m/s				$\Delta \rho = 1 \text{ kg/m}^3$
C7					$\Delta \rho = 2 \text{ kg/m}^3$
C8					$\Delta \rho = 3 \text{ kg/m}^3$
C9					$\Delta \rho = 4 \text{ kg/m}^3$

3 | 5. Modelagem computacional da pluma do emissário do Araçá

Para as simulações do Emissário Submarino do Araçá, observa-se na Tabela 8 que a diluição inicial (S0) é superior a 100, para os casos com velocidade de corrente superior a 0,2 m/s e com perfil de estratificação linear ou no máximo com uma diferença de 1kg/m³ (cenários C3 a C6). Para cenários com velocidade de corrente muito baixa (C1 e C2) ou com estratificação acentuada (C7 a C9), a diluição inicial é desfavorecida. Destaca-se que, para nenhum cenário, o padrão de qualidade das águas para coliformes termotolerantes na zona de balneabilidade das praias foi atingido.

Tabela 8: Resultados das simulações para o emissário submarino do Araçá.

Cenários	Campo próximo				Campo distante ^a		
	Diluição Inicial	Coliformes (NMP/100mL)	χ^b (m)	largura (m)	Diluição	Coliformes (NMP/100mL)	largura (m)
C1	59	79106	12,34	25	217	7669	424
C2	96	48987	23,69	9	579	4896	215
C3	137	34335	36,74	8,5	1085	3130	143
C4	180	26219	50,69	8,5	1744	2117	106
C5	223	21151	64,62	8,5	1874	2079	70
C6	137	34128	50,27	9	1035	3280	142
C7	64	72699	40,3	16,5	426	7940	215
C8	52	90289	31,5	16	389	8689	224
C9	45	104555	26,68	16	365	9267	231

(a) Dados da dimensão da pluma na zona de balneabilidade das praias (a 300 m da margem).

(b) Comprimento do eixo da pluma a partir da seção central do sistema difusor em direção à praia.

Na Figura 13 pode-se visualizar as concentrações de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) no término do campo próximo e a elevação da pluma do efluente, observando-se claramente a ocorrência ou não de confinamento da pluma. A profundidade máxima até os orifícios de descarga é de 7,6 m.

Verifica-se que o término do campo próximo se dá na interação da pluma com a superfície (C1 a C6) ou em uma camada estratificada (C7 a C9). Quanto maior a velocidade da corrente, maior a deflexão e mais distante do ponto de lançamento a pluma irá aflorar, contribuindo para uma melhor diluição do efluente (o cenário C5 apresenta o melhor resultado). Nos casos em que a pluma se encontra confinada, a concentração de coliformes termotolerantes é maior, devido à uma menor taxa de diluição provocada pela diminuição da altura da coluna d'água (o cenário C9 apresenta o pior resultado).

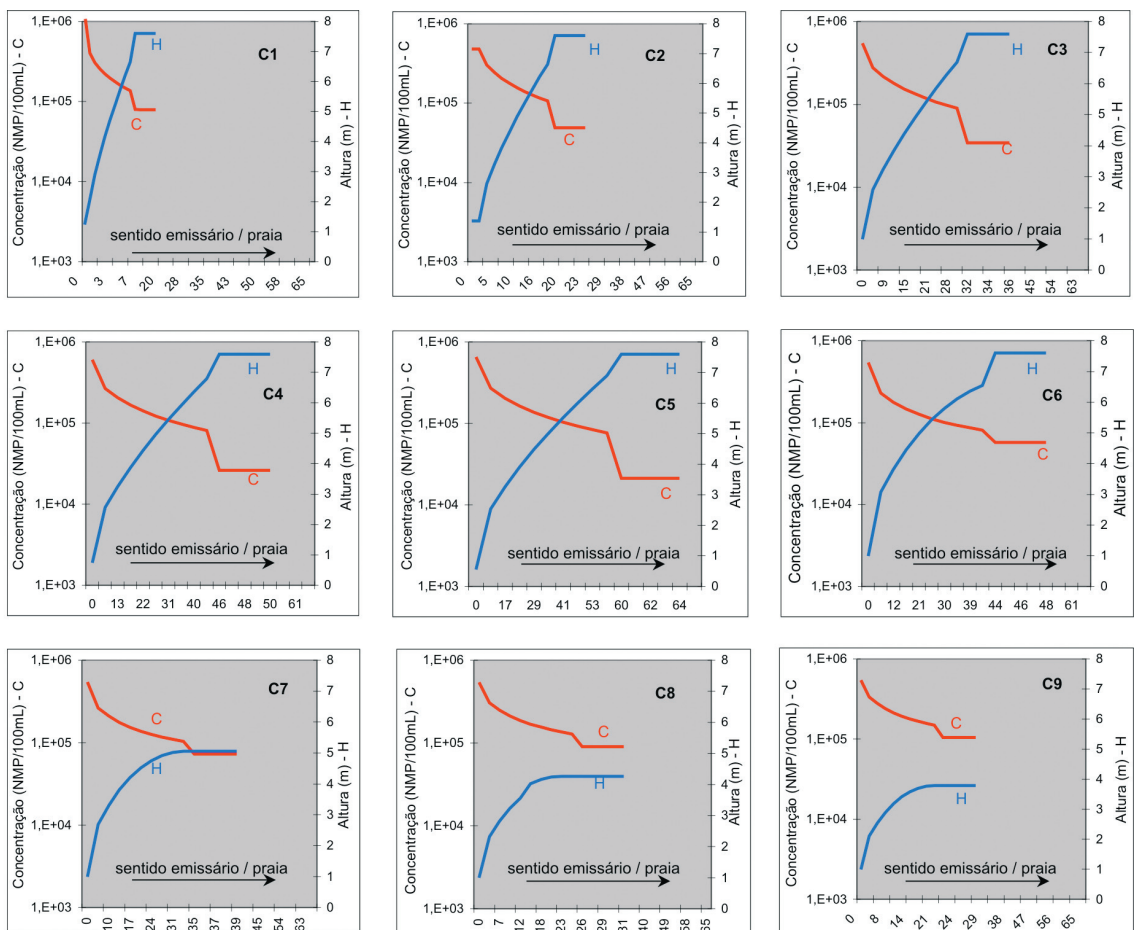


Figura 13: Concentração de coliformes termotolerantes e elevação da pluma do efluente do emissário submarino do Araújo, no campo próximo.

A Figura 14 apresenta a concentração de coliformes termotolerantes a 300 e 600 m do lançamento e a 300 m da praia, respectivamente, para todos os cenários expostos na Tabela 6 para o Emissário Submarino do Araújo.

Observa-se que as menores concentrações no campo distante em direção à praia, ocorrem nos cenários sem estratificação e quanto maior for a velocidade de corrente (C4 e C5).

Comparando a figura abaixo com a Tabela 8, pode-se verificar a largura da pluma e a concentração de coliformes termotolerantes a 300 m da praia (zona de balneabilidade). Para todos os cenários analisados o padrão de qualidade das águas para coliformes termotolerantes (1000NMP/100 mL) não foi atingido.

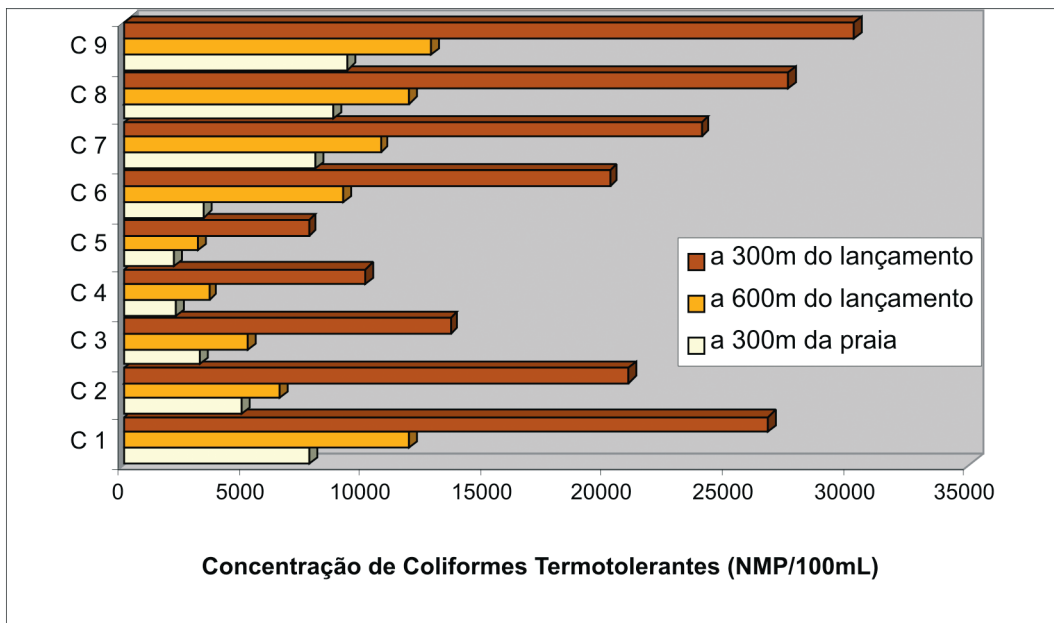


Figura 14: Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) a 300 e 600 m do lançamento e a 300 m da praia, para todos os cenários do Emissário Submarino do Araçá.

A Figura 15 apresenta a extensão e a largura da pluma do emissário submarino do Araçá, vista em planta, a partir do momento em que a pluma aflora à superfície e caminha em direção à praia. Foi escolhido para a representação gráfica o cenário C3, com uma velocidade de corrente igual a 0,3 m/s e um ambiente sem estratificação.

A figura apresenta o ponto de lançamento que é coincidente com a seção central do sistema difusor, e a concentração de coliformes termotolerantes na superfície em vários pontos até 300 m da margem (zona de balneabilidade das praias).

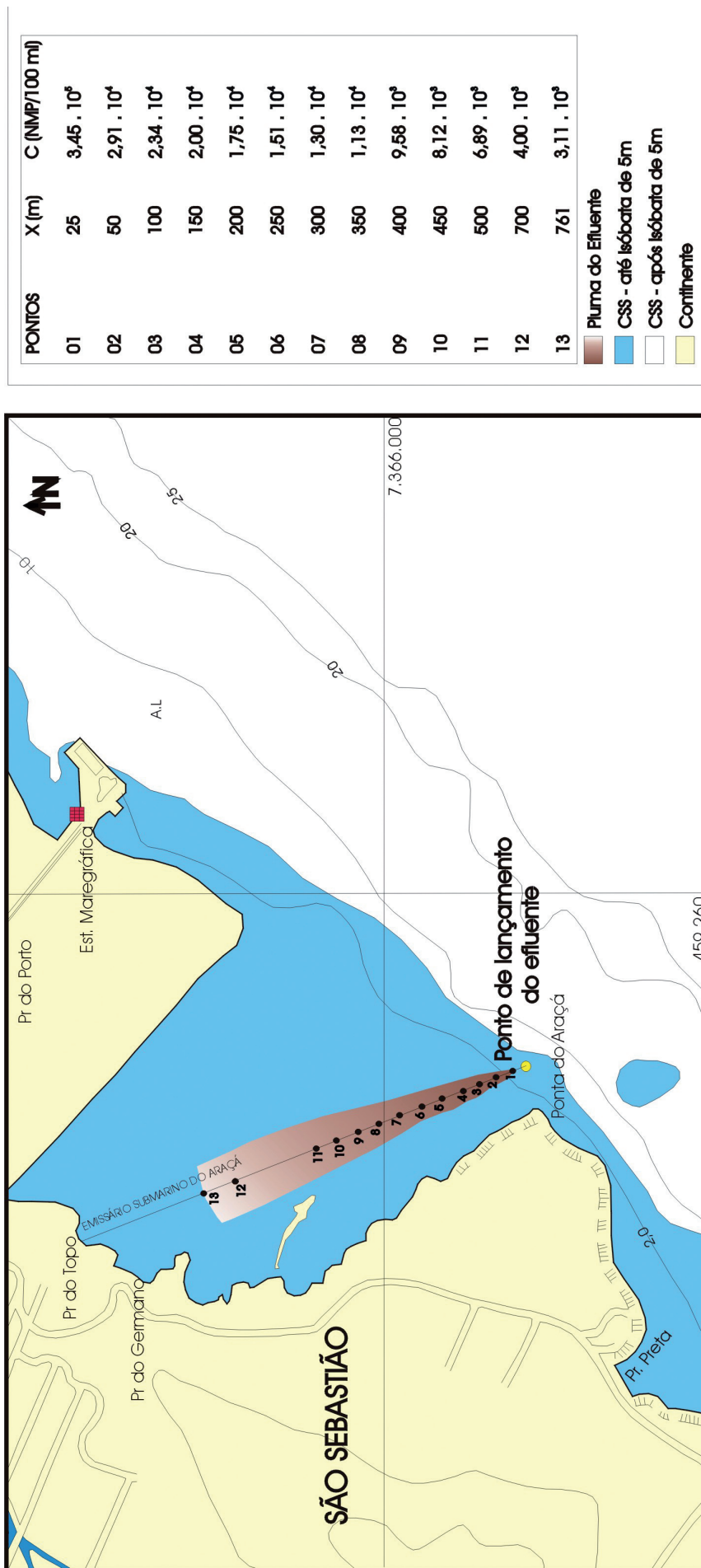


Figura 15: Dispersão da pluma do efluente do emissário do Araçá na superfície livre.

3 | 6. Modelagem computacional da pluma do emissário da Praia das Cigarras

Para as simulações do emissário submarino das Cigarras, utilizou-se a versão Cormix 1, por imposição do programa, pois este considera que, quando o comprimento do sistema difusor for menor que a profundidade do local de lançamento, o emissário se comporta como se tivesse um único orifício de saída (considerou-se o diâmetro equivalente à soma dos diâmetros de cada orifício). Os resultados, todavia, são satisfatórios, mesmo tratando-se como uma fonte de lançamento de efluentes puntiforme.

Observa-se na Tabela 9, que a diluição inicial (S_0) alcança valores bem superiores àqueles determinados para o emissário do Araçá, principalmente, quando se tem intensidade de corrente maiores. Em condições de estratificação mais acentuada (cenários C6 a C9), a diluição será desfavorecida, porém, ainda com concentração menor que 1000NMP/100 mL a 300 m da margem da praia. Observa-se que o emissário das Cigarras apresenta características ambientais e geométricas semelhantes ao emissário do Araçá, porém opera com vazões bem menores.

Tabela 9: Resultados das simulações para o emissário submarino das Cigarras.

Cenários	Campo próximo				Campo distante ^a		
	Diluição Inicial	Coliformes (NMP/100mL)	X^b (m)	Largura (m)	Diluição	Coliformes (NMP/100mL)	Largura (m)
C1	191,5	25040	9.64	6.0	5237	839	188
C2	526.2	9110	26.51	7.0	13876	331	84
C3	789.4	6069	46.51	7.0	10744	434	40
C4	1015.7	4716	69.08	7.0	8105	579	22.5
C5	1228	3900	94.19	6.8	8227	573	18.3
C6	220.4	21767	19.83	3.7	8449	552	164
C7	142.7	33623	13.94	3.0	7370	632	180
C8	111.8	42932	11.34	2.6	6805	685	190
C9	94.5	50756	9.79	2.4	6431	725	200

(a) Dados da dimensão da pluma na zona de balneabilidade das praias (a 300 m da margem).

(b) Comprimento do eixo da pluma a partir da seção central do sistema difusor em direção à praia.

Na Figura 16 pode-se visualizar as concentrações de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), no término do campo próximo e a elevação da pluma do efluente, observando-se claramente a ocorrência ou não de confinamento da pluma. A profundidade máxima até os orifícios de descarga é de 8,34 m.

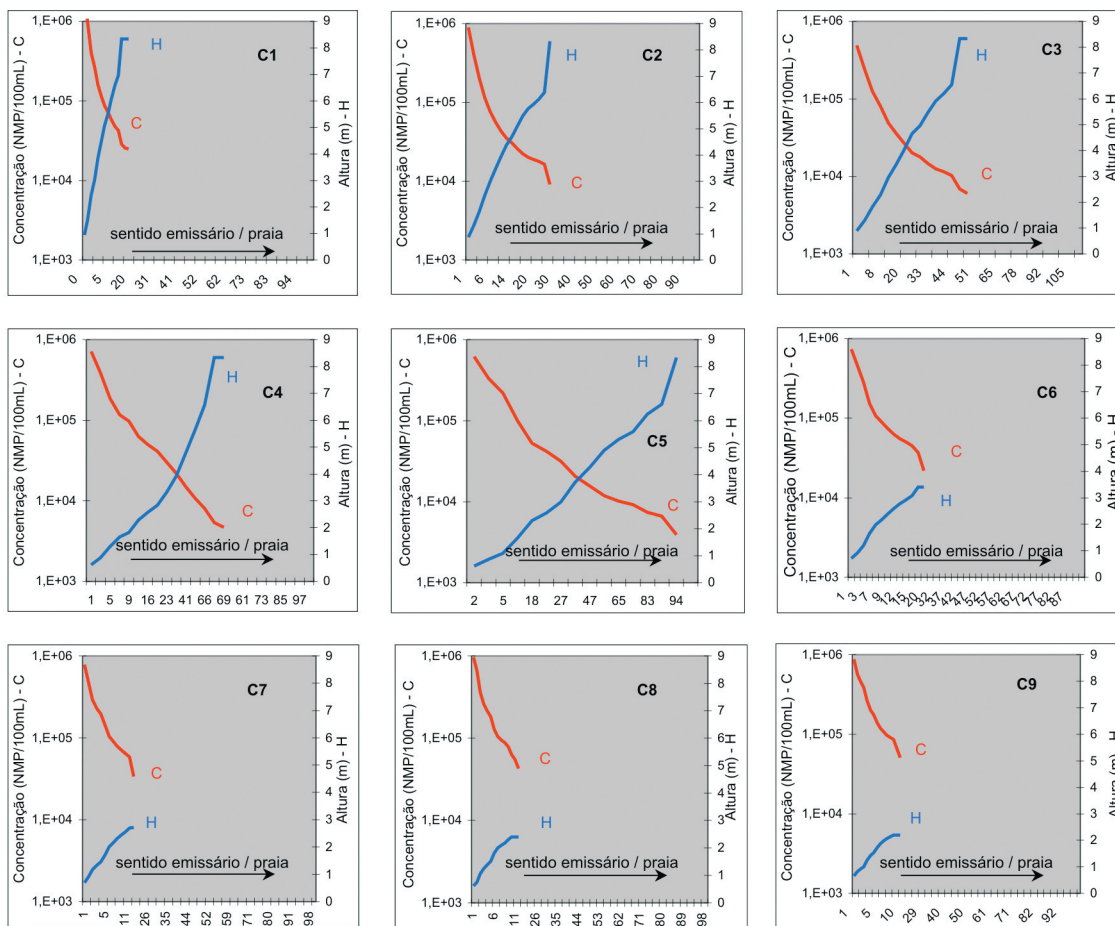


Figura 16: Concentração de Coliformes Termotolerantes e elevação da pluma do efluente do emissário submarino das Cigarras no campo próximo.

Verifica-se que o término do campo próximo se dá na interação da pluma com a superfície (C1 a C6) ou em uma camada estratificada (C7 a C9). Quanto maior a velocidade da corrente, maior a deflexão e mais distante do ponto de lançamento a pluma irá aflorar, contribuindo para uma melhor diluição do efluente (o Cenário C5 apresenta o melhor resultado). Nos casos em que a pluma se encontra confinada, a concentração de coliformes termotolerantes é maior, devido à uma menor taxa de diluição provocada pela diminuição da altura da coluna d'água (o Cenário C9 apresenta o pior resultado).

A Figura 17 apresenta a concentração de coliformes termotolerantes a 300 e 600 m do lançamento e a 300 m da praia, respectivamente, para todos os cenários expostos na Tabela 9 para o emissário submarino das Cigarras.

Não houve nenhuma simulação em que no término do campo próximo, a pluma apresentasse concentrações inferiores a 1000NMP/100 mL. Porém, a fase secundária (advecção + decaimento bacteriano), foi suficiente para reduzir a concentração de coliformes termotolerantes a níveis inferiores a 1000NMP/100 mL. Constata-se que, em condições não estratificadas (inverno) os resultados foram mais favoráveis do que os cenários com estratificação (verão).

Ainda em relação à condição sem estratificação, apesar dos cenários com velocidades de corrente mais intensas apresentarem melhor resultado no término do campo próximo, os cenários com velocidade de 0,2 a 0,3 m/s apresentaram melhor desempenho no atendimento à legislação de balneabilidade das praias. Isto pode ser explicado porque para baixas correntes (0,1 m/s) a diluição inicial é menor, acarretando melhor ação do efeito do decaimento bacteriano para a redução da concentração de coliformes termotolerantes; e, para velocidades mais intensas (0,4 e 0,5 m/s), a corrente deflete a pluma mais rapidamente em direção à margem, acarretando um tempo de percurso menor.

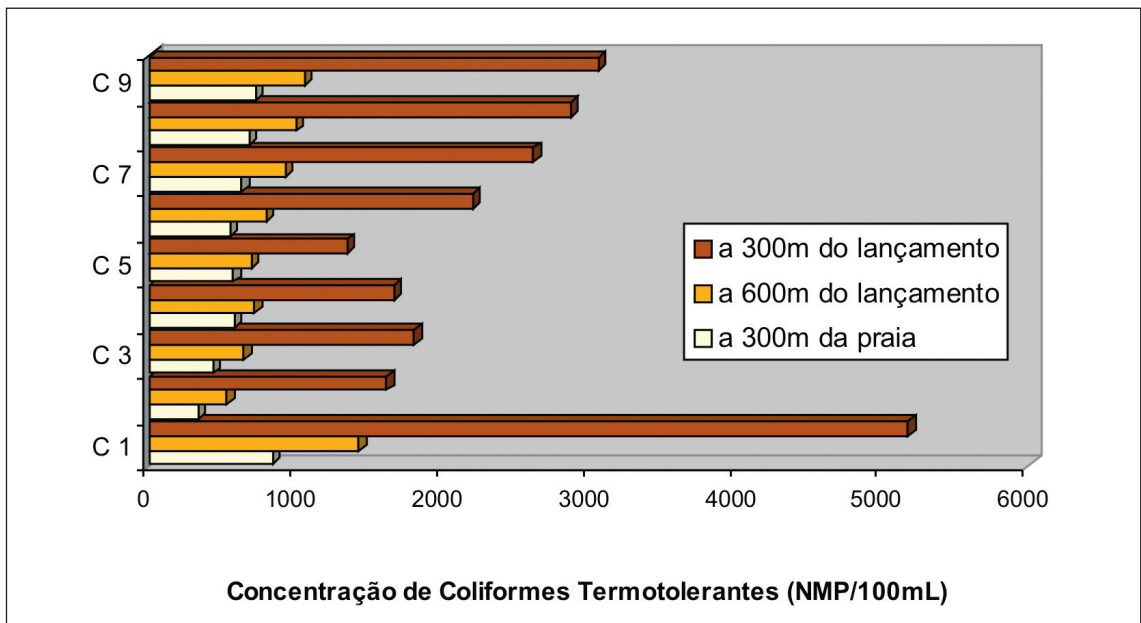
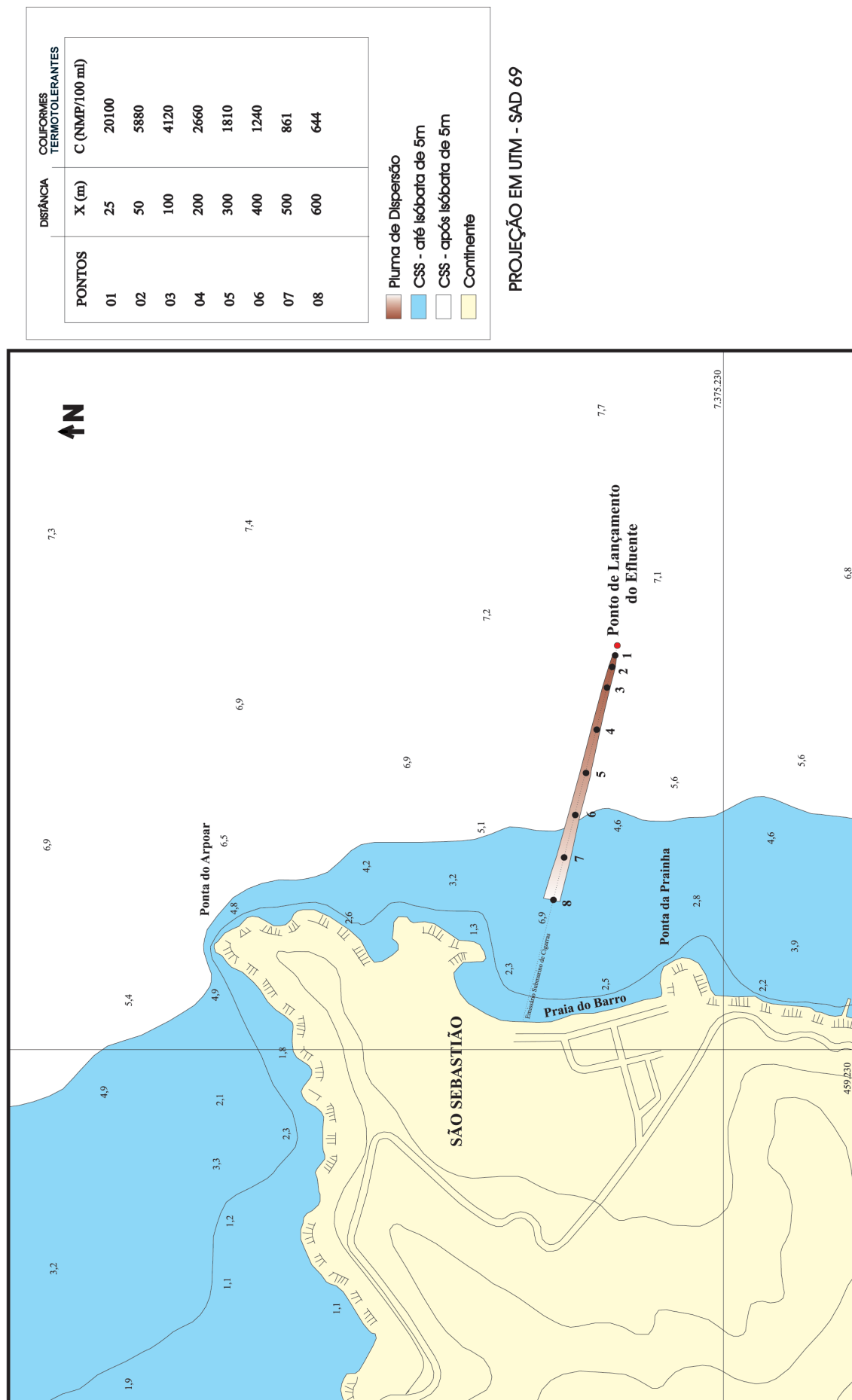


Figura 17: Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) a 300 e 600m do lançamento e a 300m da praia, para todos os cenários do emissário submarino das Cigarras.

A Figura 18 apresenta a extensão e largura da pluma do emissário submarino das Cigarras, vistas em planta, a partir do momento em que a pluma aflora à superfície e caminha em direção à praia. Foi escolhido para a representação gráfica o cenário C3, com uma velocidade de corrente igual a 0,3 m/s e um ambiente sem estratificação.

A figura apresenta o ponto de lançamento que é coincidente com a seção central do sistema difusor e a concentração de coliformes termotolerantes na superfície em vários pontos até 300 m da margem (zona de balneabilidade das praias).



FONTE: CARTA NÁUTICA (Nº 1643) - CANAL DE SÃO SEBASTIÃO (PARTE NORTE). PUBLICAÇÃO DA SEGUNDA EDIÇÃO, NO RIO DE JANEIRO, EM 2003.

Figura 18: Dispersão da pluma do efluente do emissário das Cigarras na superfície livre.

3 | 7. Modelagem computacional da pluma do emissário do Saco da Capela

Para as simulações do emissário submarino do Saco da Capela, utilizou-se também a versão Cormix 1.

Observa-se na Tabela 10 que, a diluição inicial (S0) apresenta valores satisfatórios, e isto ocorre, possivelmente, devido à alta profundidade da localização do sistema difusor, da ordem de 24 m.

Porém, o emissário do Saco da Capela não se apresentou adequado quanto ao atendimento dos padrões de balneabilidade das praias em nenhum cenário utilizado, principalmente devido ao seu pequeno comprimento (220 m).

No cenário C5, observa-se que a pluma do efluente alcança a margem da praia antes do término do processo físico de diluição inicial se completar.

Tabela 10: Resultados das simulações para o emissário submarino do Saco da Capela.

Cenários	Campo próximo				Campo distante ^a		
	Diluição Inicial	Coliformes (NMP/100mL)	X ^b (m)	Largura (m)	Diluição	Coliformes (NMP/100mL)	Largura (m)
C1	515	9287	30	17.6	839	5580	107.4
C2	1355	3527	150	20.0	1844	2570	54.4
C3	2033	2349	129	20.2	2420	1970	32.4
C4	2639	1808	191	19.9	2812	1700	22.8
C5	1588	3010	220 ^c	9.1	-	-	-
C6	303	15804	35.5	7.8	685	6950	43.0
C7	196	24392	25.4	6.3	520	9160	43.2
C8	154	31146	21.0	5.4	448	10600	43.6
C9	130	36850	18.3	5.1	405	11700	44.0

^(a) O Emissário do Saco da Capela encontra-se dentro da zona de balneabilidade; portanto, o campo distante só pode ser analisado até 220 m.

^(b) Comprimento do eixo da pluma a partir da seção central do sistema difusor em direção à praia.

^(c) A pluma sofre a ação dos fenômenos do campo próximo até a margem da praia.

Na Figura 19 pode-se visualizar as concentrações de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), no término do campo próximo e até os 220 m na margem da praia e a elevação da pluma do efluente, observando-se claramente a ocorrência ou não de confinamento da pluma. A profundidade máxima até os orifícios de descarga é de aproximadamente 24 m.

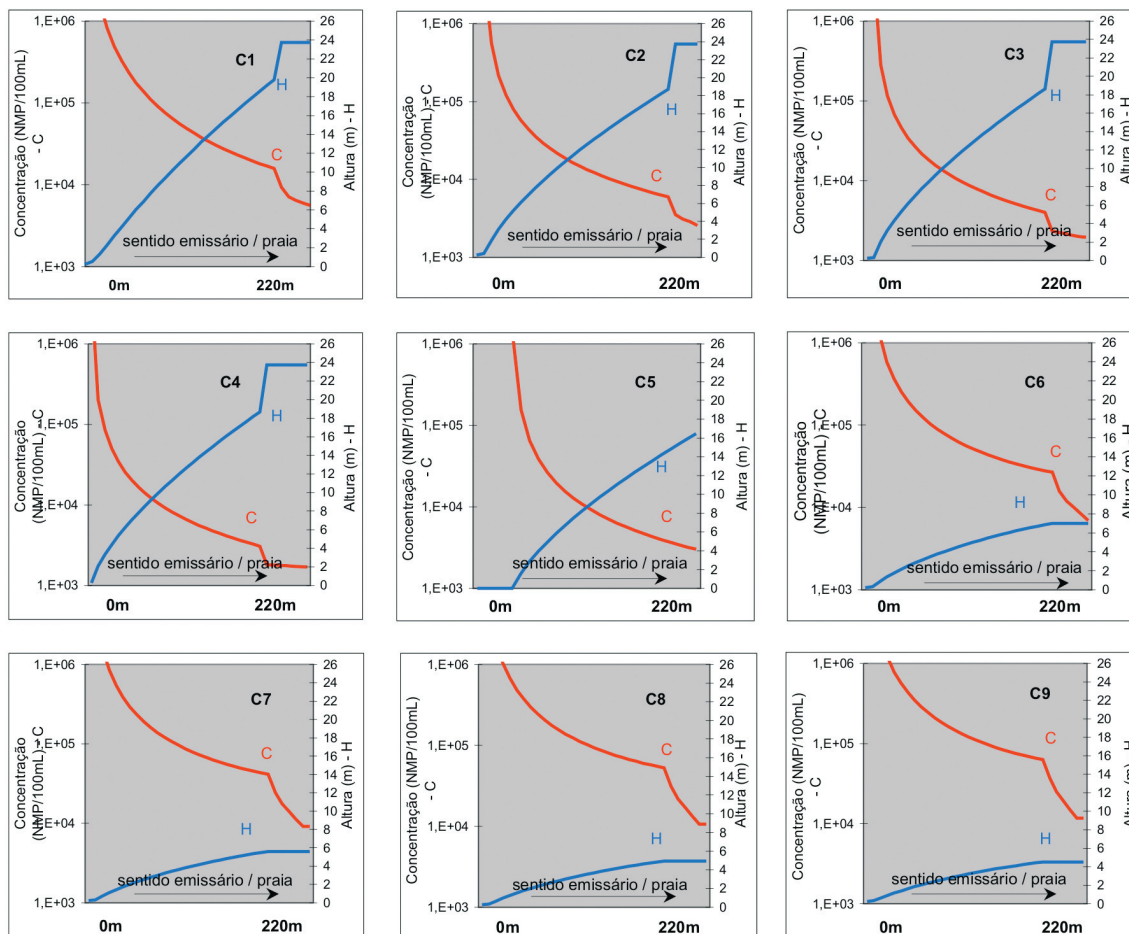


Figura 19: Concentração de Coliformes Termotolerantes e elevação da pluma do efluente do emissário submarino do Saco da Capela no campo próximo.

Verifica-se que a termoclina ocorre de forma mais acentuada do que em relação às simulações dos emissários submarinos do Araçá e das Cigarras. Isto se deve, provavelmente, à maior profundidade da água e, portanto, a uma maior diferença de temperatura entre a superfície e o fundo. Esta condição ambiental se observa nos cenários C6 a C9. O cenário C5, devido à uma velocidade de corrente elevada (0,5 m/s) tem nesta condição a pluma defletida com maior intensidade do que os cenários C1 a C4; e a 220 m do lançamento (margem da praia) a pluma ainda não aflorou.

Ressalta-se aqui que, quanto maior a velocidade da corrente, maior a deflexão e mais distante do ponto de lançamento a pluma irá aflorar, contribuindo para uma melhor diluição do efluente. Porém, devido ao pequeno comprimento do emissário submarino do Saco da Capela, o C5 (cenário simulado com maior velocidade de corrente), resulta na pluma sendo arrastada com muita intensidade, não sendo passível da ação do decaimento bacteriano com tanta eficiência como nos cenários C1 a C4.

A Figura 20 apresenta a concentração de coliformes termotolerantes a 220 m do lançamento, onde a pluma atinge a margem da praia.

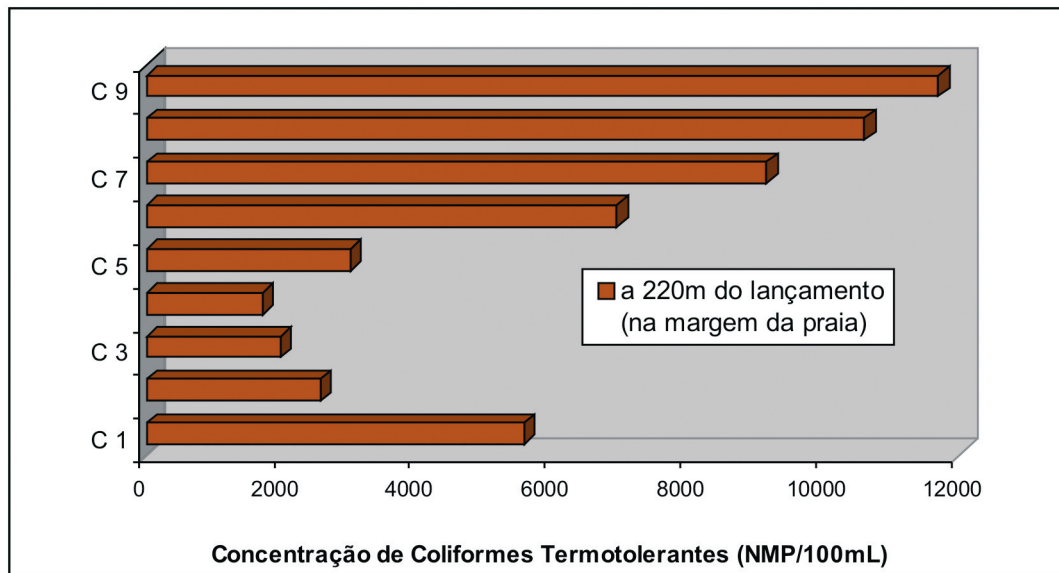


Figura 20: Concentração de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) a 220 m do lançamento (na margem da praia) para todos os cenários do Emissário Submarino do Saco da Capela.

Não houve nenhuma simulação em que no término do campo distante a pluma apresentasse concentrações inferiores a 1000NMP/100 mL. Isto ocorre principalmente devido ao curto comprimento da tubulação do emissário submarino, fazendo com que na fase secundária (advecção + decaimento bacteriano) não haja tempo suficiente para ocorrer adequada redução da concentração de coliformes termotolerantes.

A Figura 21 apresenta a extensão e a largura da pluma do emissário submarino do Saco da Capela, vista em planta, a partir do momento em que a pluma aflora à superfície e caminha em direção à praia. Foi escolhido para a representação gráfica o cenário C3, com uma velocidade de corrente igual a 0,3 m/s e um ambiente sem estratificação.

A figura apresenta o ponto de lançamento, que é coincidente com a seção central do sistema difusor, e a concentração de coliformes termotolerantes na superfície em vários pontos até a margem da praia.



FONTE: CARTA NÁUTICA (Nº 1643) - CANAL DE SÃO SEBASTIÃO (PARTE NORTE), PUBLICAÇÃO DA SEGUNDA EDIÇÃO, NO RIO DE JANEIRO, EM 2003..

Figura 21: Dispersão da pluma do efluente do emissário submarino do Saco da Capela na superfície livre.

3 | 8. Modelagem computacional da pluma do emissário do Tebar

Para o emissário submarino do Tebar, foi realizada uma análise do impacto ambiental da pluma no corpo d'água, através do parâmetro amônia (NH_3) com concentração máxima de 125,5 mg/L (FUNDESPA, 2002). As simulações foram realizadas considerando uma vazão operacional do efluente igual a 0,128 m^3/s (FUNDESPA, 2003).

As demais características do efluente e do sistema difusor, são as seguintes:

- Densidade do efluente (ρ_e) = 1.036,7 kg/m^3 ($T = 27,8^\circ\text{C}$; Salinidade = 53,8); valores médios (FUNDESPA, 2002);
- Geometria do sistema difusor: 2 linhas paralelas de emissários, com 1.600 m e 1.400 m; onde, por limitação do programa, será considerada uma linha única a 45° em relação ao sentido predominante da corrente - NE;
- Sistema difusor com 6 risers, Altura (H) = 1,5 m, Diâmetro (D) = 0,15 m, Espaçamento (S) = 30 m, bocais direcionados na vertical;
- Profundidade máxima do canal nas vizinhanças do lançamento = 25 m;
- Profundidade média do emissário submarino = 22,3 m;

Considerou-se para o Emissário Submarino do Tebar, 8 cenários a serem analisados (Tabela 11).

Tabela 11: Resumo dos cenários com as principais condições das simulações computacionais da pluma do efluente dos Emissários Submarinos do Tebar.

Verão: estratificação forte linear (1.022 a 1.026 kg/m^3)		
C1	Va = 0,19 m/s (NE)	Vazão do efluente = 0,128 m^3/s Concentração – 125,5 mg/L
C2	Va = 0,11 m/s (NE)	
C3	Va = 0,1 m/s (NE)	
Verão: estratificação forte linear (1.022 a 1.025 kg/m^3)		
C4	Va = 0,14 m/s (NE)	Vazão do efluente = 0,128 m^3/s Concentração – 125,5 mg/L
C5	Va = 0,03 m/s (NE)	
C6	Va = 0,07 m/s (NE)	
Inverno: sem estratificação, densidade uniforme (1.022 kg/m^3)		
C7	Va = 0,17 m/s (NE)	Vazão do efluente = 0,128 m^3/s Concentração – 125,5 mg/L
C8	Va = 0,95 m/s (NE)	

A Figura 22 apresenta as linhas de concentração da pluma do efluente dos emissários submarinos do Tebar, até 40 m do lançamento (campo próximo). As linhas verticais correspondem ao término do campo próximo, devido ao forte impacto bêntico decorrente da alta densidade do efluente para cada um dos oito cenários analisados.

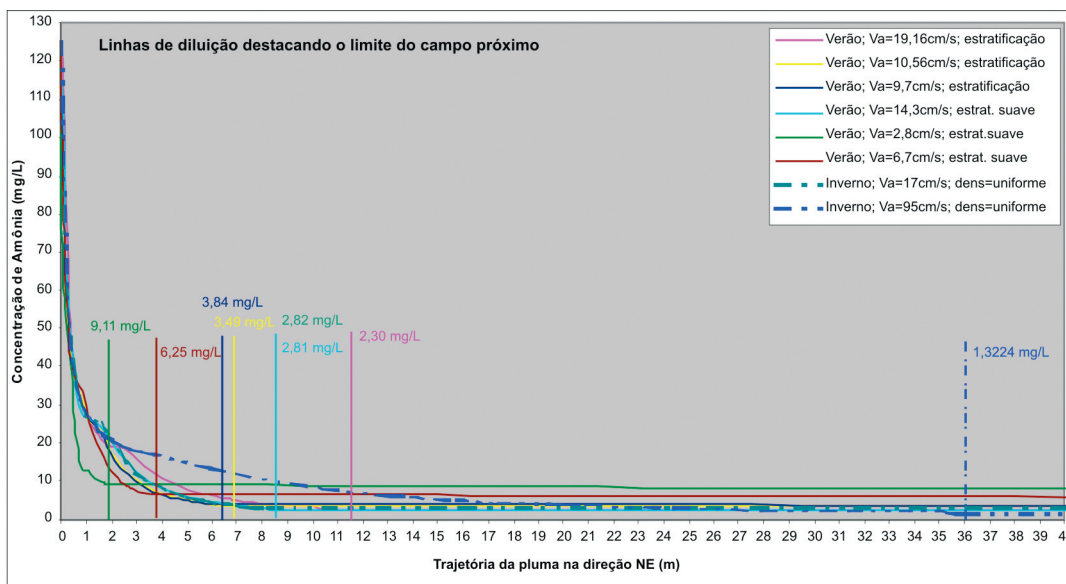


Figura 22: Concentração de amônia (mg/L) no término do campo próximo para os cenários C1 a C8 da pluma de efluente dos emissários submarinos do Tebar.

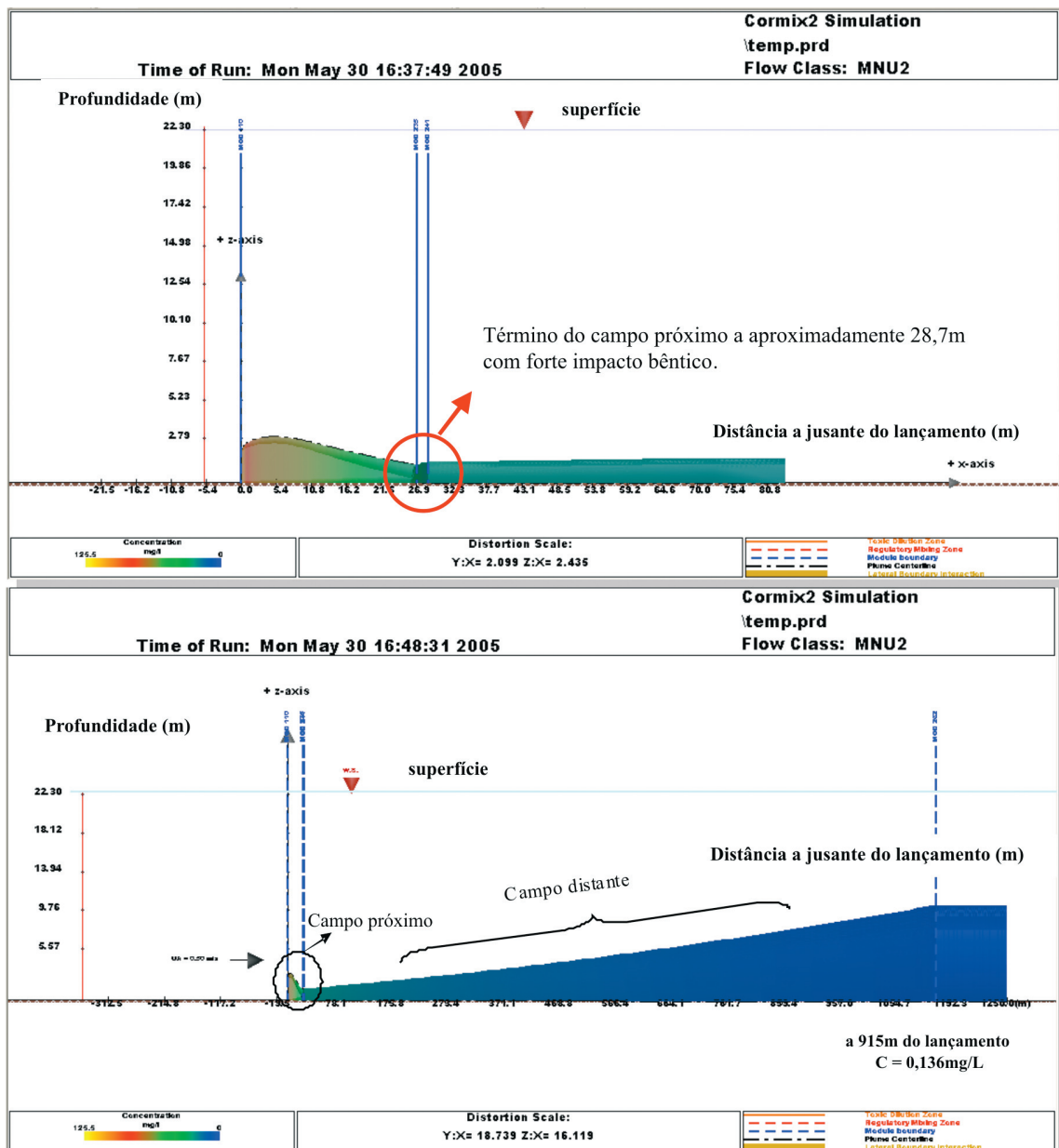
Observa-se que, para menores intensidades de corrente (0,03; 0,07; 0,1 e 0,11 m/s) o limite do campo próximo e o seu efeito na diluição inicial será tanto menor quanto menor for a velocidade. Velocidades mais baixas irão acarretar a submersão mais prematura da pluma, devido à fraca corrente do ambiente e à alta densidade do efluente, chocando-se com o leito de fundo. Para a simulação com $V_a = 0,03$ m/s, este impacto será a menos de 1 metro do lançamento com a pluma com concentração $C = 12,8$ mg/L NH_3 .

Nota-se também que o efeito da estratificação térmica não ocasionou alteração de eficiência na diluição inicial. Isto pode ser observado comparando-se as simulações para a condição de inverno (sem estratificação) e verão (estratificação). A simulação com $V_a = 0,17$ m/s teve o limite do seu campo próximo localizado em uma distância entre as simulações com velocidades intermediárias (0,11 e 0,19 m/s) e em ambiente com forte estratificação. Já para a simulação com velocidade de corrente máxima (0,95 m/s) é determinada uma maior zona de diluição (campo próximo mais extenso), principalmente devido à influência da corrente. Para o campo próximo, conclui-se que a densidade do efluente limita a diluição inicial em razão de qualquer outra característica ambiental. O jato atinge alturas máximas da ordem de 2 m a 4,5 m a partir do orifício de saída, quando se inicia seu processo de submersão.

Para o caso da análise do campo distante, apesar de necessária, principalmente para visualizar a extensão percorrida pela pluma até atingir o padrão de qualidade das águas, a complexa batimetria onde está localizado o sistema difusor é uma limitação para o programa, pois para o mesmo admite-se uma esquematização retangular da área circunvizinha ao lançamento. Para tal situação, é recomendável a utilização de modelos mais robustos, que permitem o desenho da geometria do canal.

Para este caso em particular, a pluma do efluente do Tebar, apresentou em todas as simulações realizadas uma descarga com comportamento com empuxo negativo. Isto ocorre por causa da elevada densidade do efluente (maior que a do meio aquático), ocasionando uma submersão após o lançamento vertical através dos orifícios de saída do sistema difusor, sendo a pluma arrastada nas camadas próximas do leito de fundo.

Tal comportamento hidrodinâmico pode ser melhor visualizado na Figura 23, onde se observa que a pluma do efluente fica confinada nas camadas mais profundas da coluna d'água.

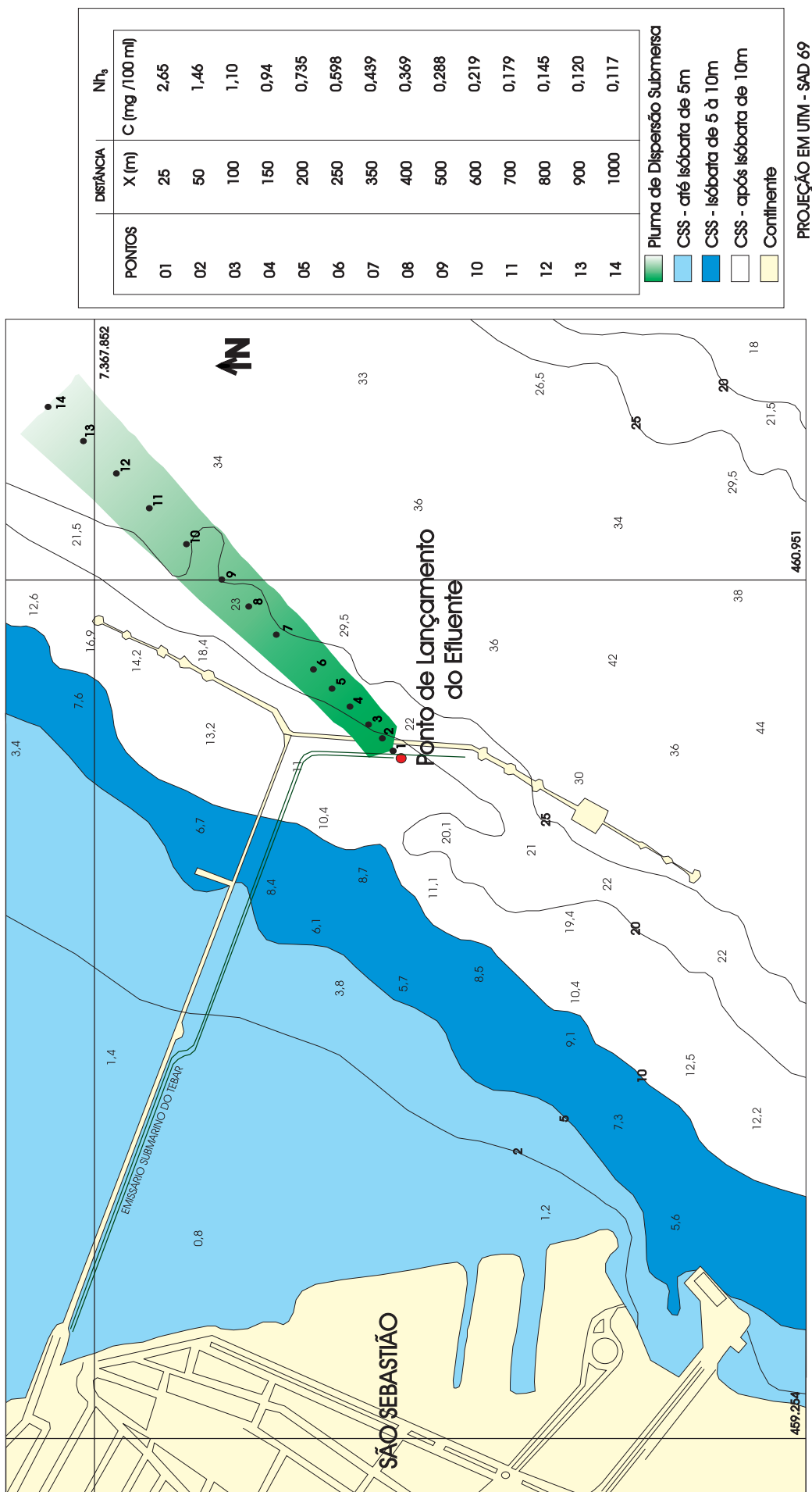


42

Figura 23: Vista lateral da pluma do Emissário Submarino Tebar no campo próximo e no campo distante, através da saída gráfica do Cormix (FORTIS, 2005).

A Figura 24 apresenta a largura da pluma do emissário submarino do Tebar, vista em planta, da pluma submersa e rente ao leito de fundo. Foi escolhido para a representação gráfica o cenário C8, com uma velocidade de corrente igual a 0,95 m/s e um ambiente sem estratificação.

A figura apresenta o ponto de lançamento que é coincidente com a seção central do sistema difusor, e a concentração de amônia em vários pontos até 1.000 m do lançamento, na direção NE do Canal de São Sebastião.



FONTE: CARTA NÁUTICA (Nº 1643) - CANAL DE SÃO SEBASTIÃO (PARTE NORTE). PUBLICAÇÃO DA SEGUNDA EDIÇÃO, NO RIO DE JANEIRO, EM 2003.

Figura 24: Dispersão da pluma submersa do efluente do emissário submarino do Tebar.

4. Metodologia do Monitoramento da Qualidade das Águas e dos Sedimentos Marinhos

4.1. Monitoramento da qualidade das águas

A malha amostral

A malha amostral é definida em circunferências concêntricas com raios crescentes de 50 em 50 m ou de 100 em 100 m a partir do ponto 1 que é o local de lançamento do emissário. Os outros pontos localizam-se nessas circunferências distanciando-se gradativamente do ponto central.

Esse desenho amostral mostrou-se o mais adequado para que se consiga detectar a pluma de esgotos e verificar o gradiente de diluição dos mesmos no meio aquático.

O número de pontos é limitado a, no máximo, 20, pois é a quantidade que se consegue realizar em um dia de amostragem (cerca de 9 horas de trabalho de campo).

No entorno do emissário de Santos foram amostrados 18 pontos, além do ponto controle e nos emissários localizados no Canal de São Sebastião foram coletadas amostras em 12 pontos, além de dois pontos controle. As malhas amostrais no entorno do ponto de lançamento estão apresentadas nas figuras: Santos (Figura 25), Araçá (Figura 26), Cigarras (Figura 27), Saco da Capela (Figura 28) e Tebar (Figura 29).

Em cada ponto são coletadas amostras de água do mar em três profundidades, uma vez que existem diferenças na qualidade das águas das diferentes camadas da coluna d'água. Também realiza-se o perfil com medições de metro em metro para alguns parâmetros.

As amostras de água do mar foram, portanto, coletadas com garrafas de Van Dorn em três profundidades (superfície, meio e fundo) nas quais foram realizadas determinações microbiológicas e físico-químicas.

Freqüência

A freqüência amostral adotada é semestral, considerada mínima em estudos desse tipo, pois existem características distintas nas massas d'água entre as épocas de verão e inverno, condicionadas por variáveis climáticas como temperatura e pluviosidade, assim como correntes marinhas, além da influência das atividades humanas na zona costeira que são sazonais. As amostragens deveriam idealmente realizar-se nessas estações. Outra questão a ser observada no momento da coleta são as condições de maré que devem ser de quadratura, nas quais a movimentação da água é menor e o deslocamento de pluma seria mais lento, facilitando a amostragem da pluma.

Parâmetros

Os parâmetros de qualidade de água avaliados no entorno dos emissários (Tabela 12) foram:

Nutrientes (ortofosfato, fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio kjeldahl, nitrito, nitrato), carbono orgânico total, resíduos totais, óleos e graxas (este somente na superfície), fenol, sulfeto, turbidez, microbiológicos (coliformes termotolerantes e enterococos), hidrobiológicos (clorofila-a e feofitina) e toxicidade aguda. Devido à limitação dos laboratórios, os três últimos indicadores de qualidade (clorofila-a, feofitina e toxicidade aguda) foram realizados apenas em seis pontos, sendo os parâmetros de produtividade realizados apenas na superfície e meio da coluna d'água.

Tabela 12: Parâmetros de qualidade da água.

Água	Parâmetros medidos nas amostragens	
	Salinidade Condutividade pH OD Ortofosfato Fósforo total Nitrogênio amoniacal N - kjeldahl Nitrogênio nitrito Nitrogênio nitrato Fenol Resíduo total Alumínio Cádmio Cobre Chumbo Cromo Níquel Ferro Estanho Zinco Sulfeto Turbidez Sólidos totais Coliformes termotolerantes Enterococos	
	Óleos e graxas	12 pontos + controle somente superfície total = 13 amostras
	Clorofila-a	6 pontos + controle 2 réplicas total = 14 amostras
	Toxicidade aguda - Microtox	6 pontos + controle 2 réplicas total = 14 amostras

Os parâmetros clorofila-a e feofitina indicam o estado trófico do ambiente aquático, representando indiretamente a produtividade fitoplanctônica. Em ambientes ricos em nutrientes ocorre um aumento da produtividade fitoplanctônica e o conseqüente aumento nas concentrações de clorofila. Dessa forma, e pelo fato de não ser simples estabelecer uma relação entre nutrientes e eutrofização no meio marinho, optou-se pelo uso desses indicadores. Os resultados desses parâmetros apresentados neste relatório referem-se aos anos de 2004 (Santos e Araçá), e 2005, para todos os emissários. Em 2004, entretanto, as amostras foram realizadas apenas na superfície e nos 10 primeiros pontos de amostragem.

Os indicadores de qualidade de água avaliados no entorno do emissário de Santos foram os mesmos descritos acima, com exceção apenas dos metais pesados.

4 | 2. Monitoramento da qualidade dos sedimentos

No que se refere à avaliação da qualidade dos sedimento no entorno dos emissários, são coletadas amostras com o pegador de Van Veen em 10 pontos de amostragem coincidentes com os pontos de amostragem de água. Assim, nas mesmas coordenadas geográficas em que foram coletadas as amostras de água, o sedimento foi amostrado nos 10 primeiros pontos. São realizadas determinações de parâmetros físico-químicos, granulométricos, geoquímicos, microbiológicos e toxicológicos (Tabela 13).

Para essas análises, a Cesteb mantém parceria com o IGc (Instituto de Geociências da USP) sob a responsabilidade da Prof. Dra. Wânia Duleba, em um projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp e, por meio deste, com o Laboratório de Sedimentologia do IGc, são realizadas as análises granulométricas e geoquímicas. Os parâmetros determinados são os seguintes: concentração de carbonato de cálcio, de carbono orgânico, nitrogênio total e enxofre total. São também realizadas as determinações qualitativas e quantitativas dos foraminíferos presentes nos sedimentos (Tabela 13).

Para a análise dos foraminíferos, o sedimento foi fixado com álcool 70° GL e corado com Rosa de Bengala, durante as coletas de campo. O álcool evita o ataque bacteriano ao protoplasma e o Rosa de Bengala serve para corá-lo, sendo possível, posteriormente, diferenciar os foraminíferos vivos dos mortos. Em laboratório foram retiradas alíquotas do sedimento corado, que variaram em função da quantidade de foraminíferos vivos presentes na amostra. Essas alíquotas foram peneiradas a úmido, e o material lavado foi secado e submetido à análise densimétrica por flutuação-afundamento em tricloroetileno. Uma vez os foraminíferos separados do sedimento, todas as carapaças coradas foram triadas, contadas e identificadas.

Tabela 13: Parâmetros de qualidade do sedimento.

Sedimento - CETESB	pH E _H	10 pontos + controle
	Resíduo total/fixo/volátil Alumínio Arsênico Cadmio Cobre Chumbo Cromo Níquel Ferro Estanho Zinco Clostridium perfringens Coliformes termotolerantes Óleos e graxas Benzo(a)pireno Benzeno Estireno Etibenzeno M,pXileno O Xileno Tolueno	3 pontos + controle
	Toxicidade Lytechinus Superficial	
Sedimento - IGC USP	Granulometria Carbono Orgânico Total Nitrogênio Total Enxofre Total Foraminíferos	10 pontos + controle

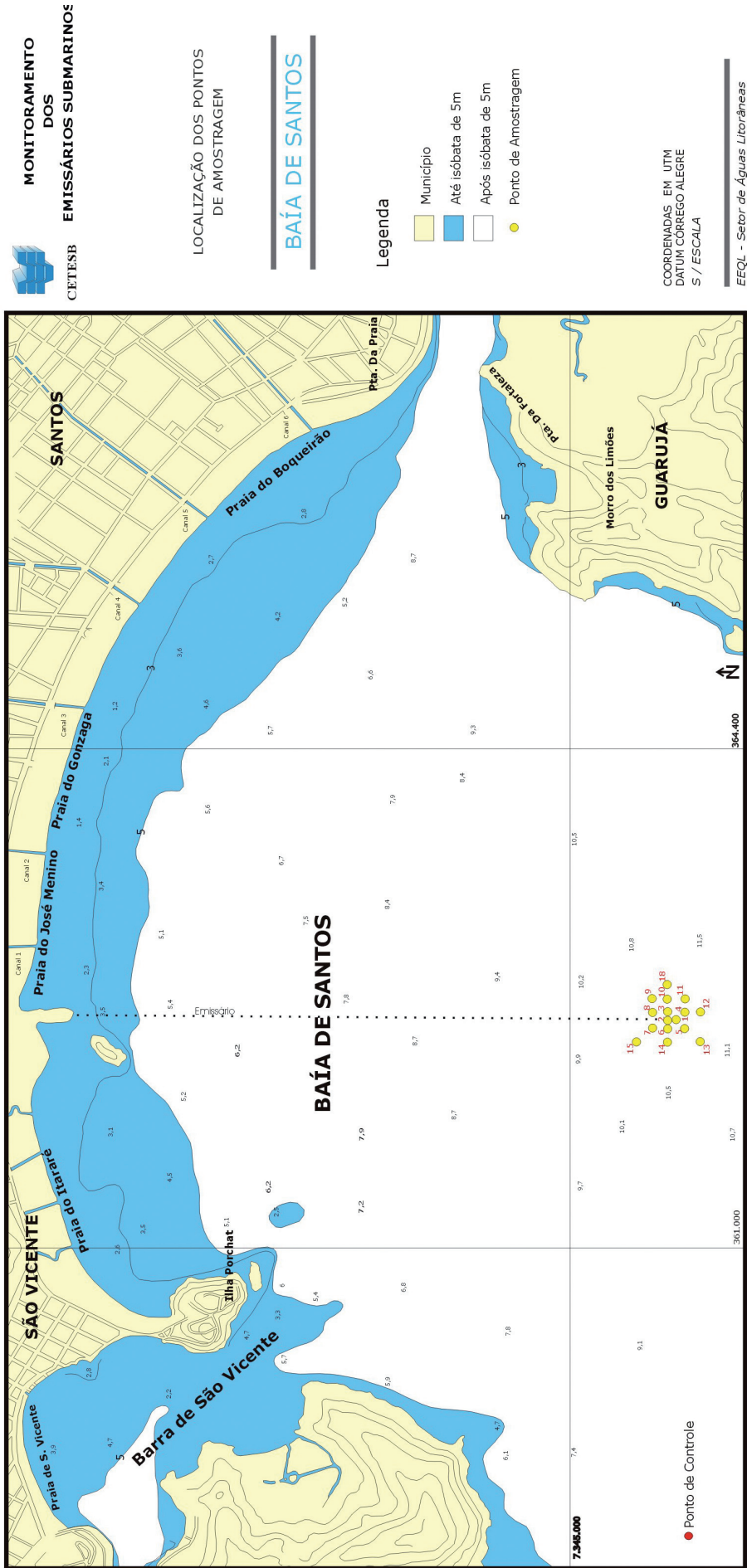


Figura 25: Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de influência do Emissário de Santos.

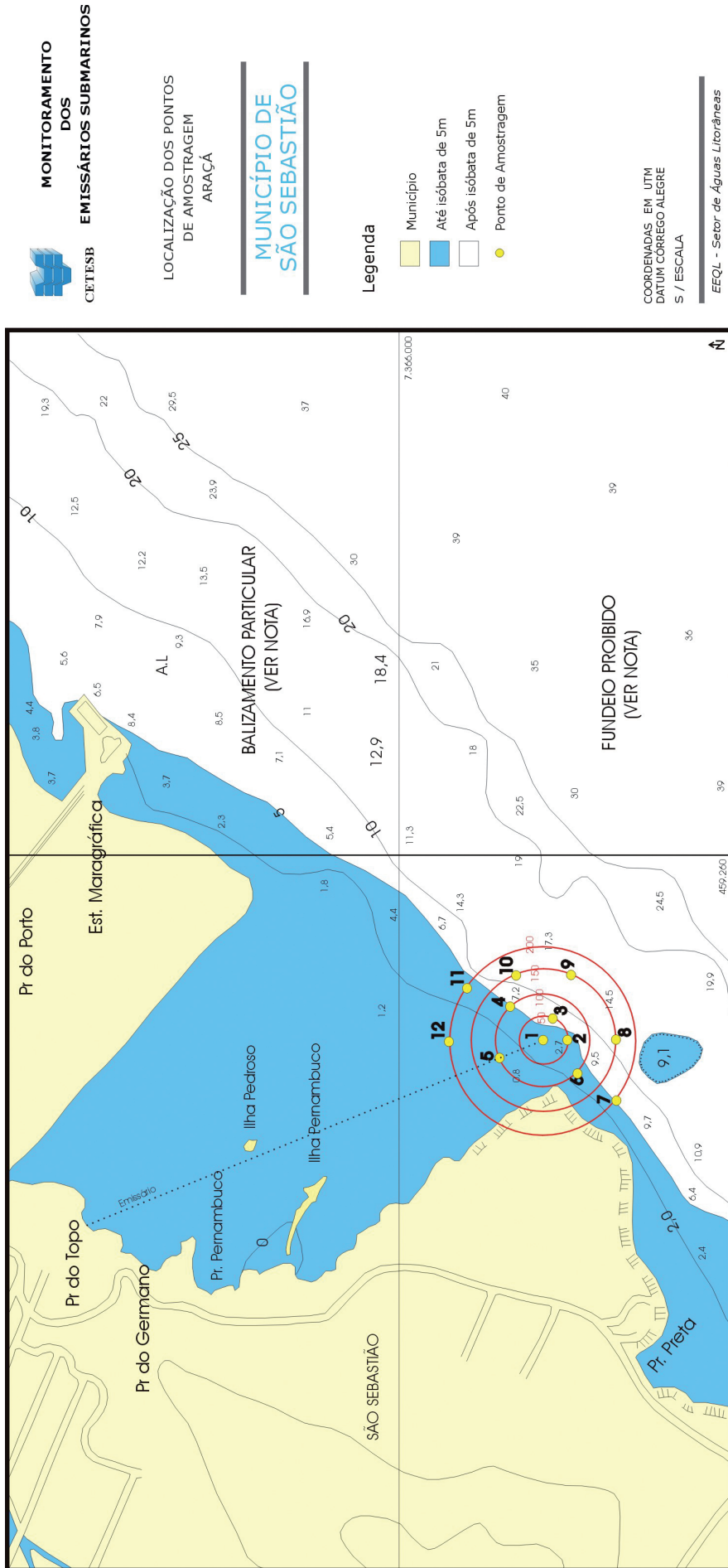


Figura 26: Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de influência do Emissário do Araçá.

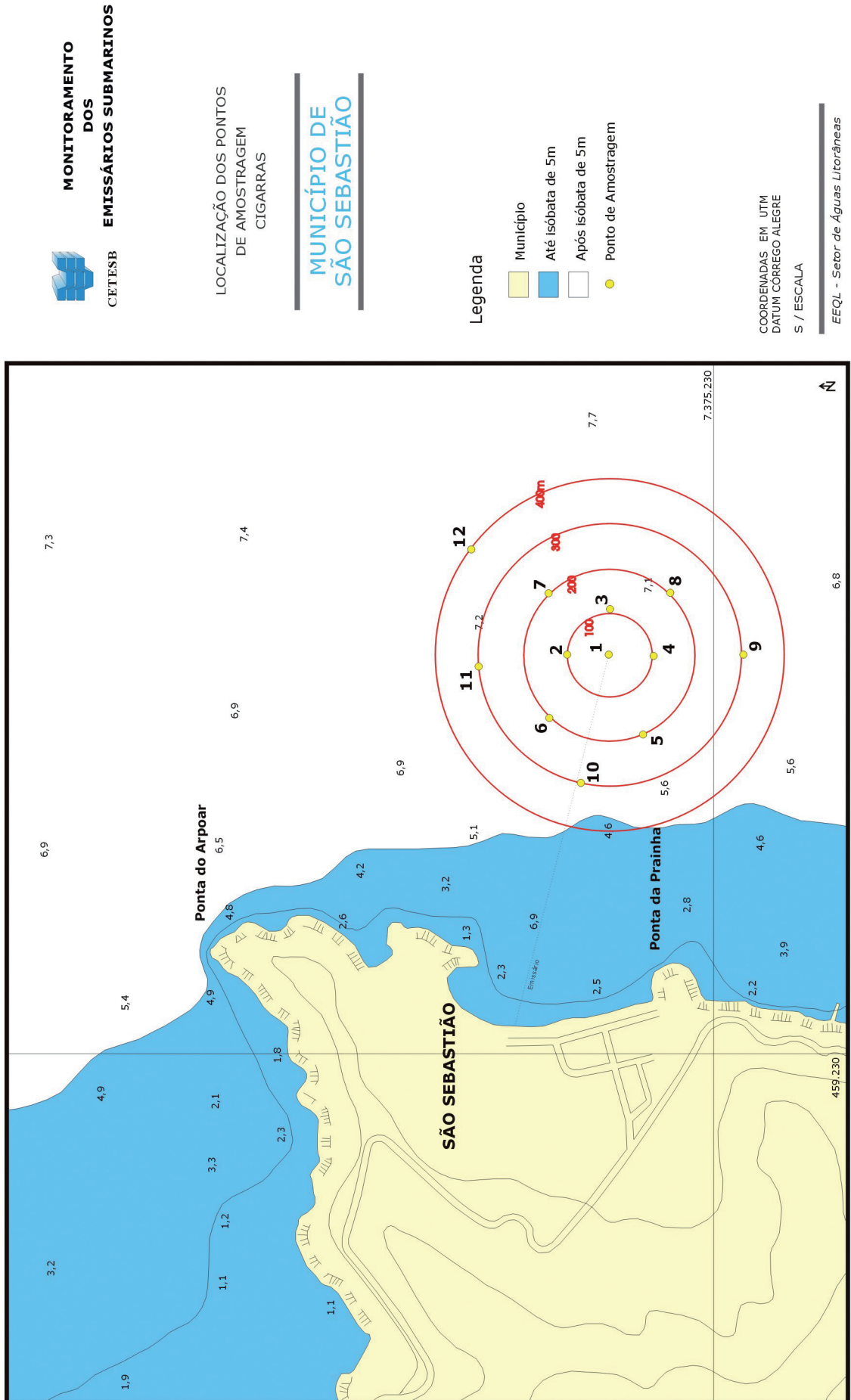


Figura 27: Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de influência do Emissário das Cigarras.

FONTE: CARTA NÁUTICA (Nº 1643) - CANAL DE SÃO SEBASTIÃO (PARTE NORTE). PUBLICAÇÃO DA SEGUNDA EDIÇÃO, NO RIO DE JANEIRO, EM 2003.

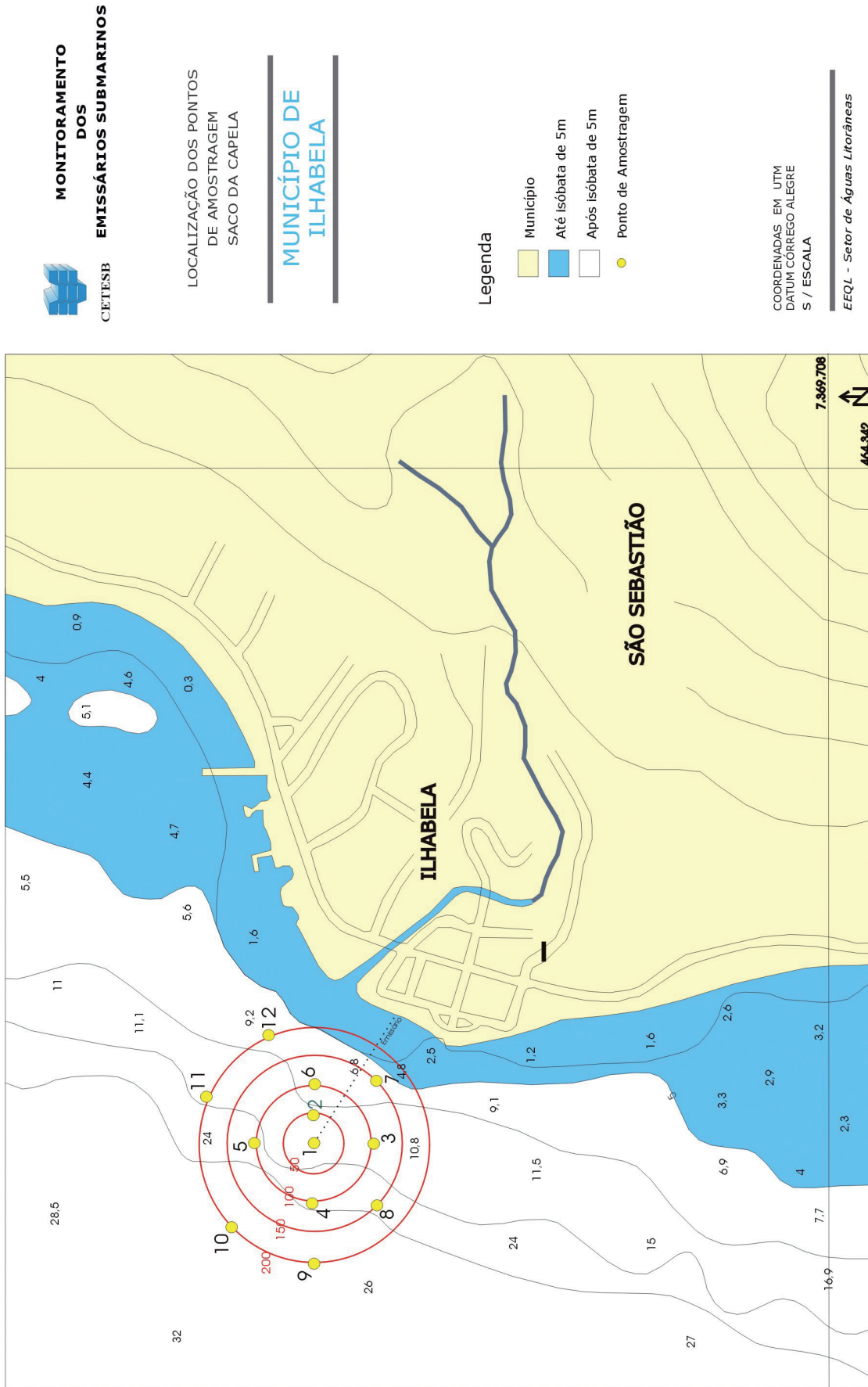
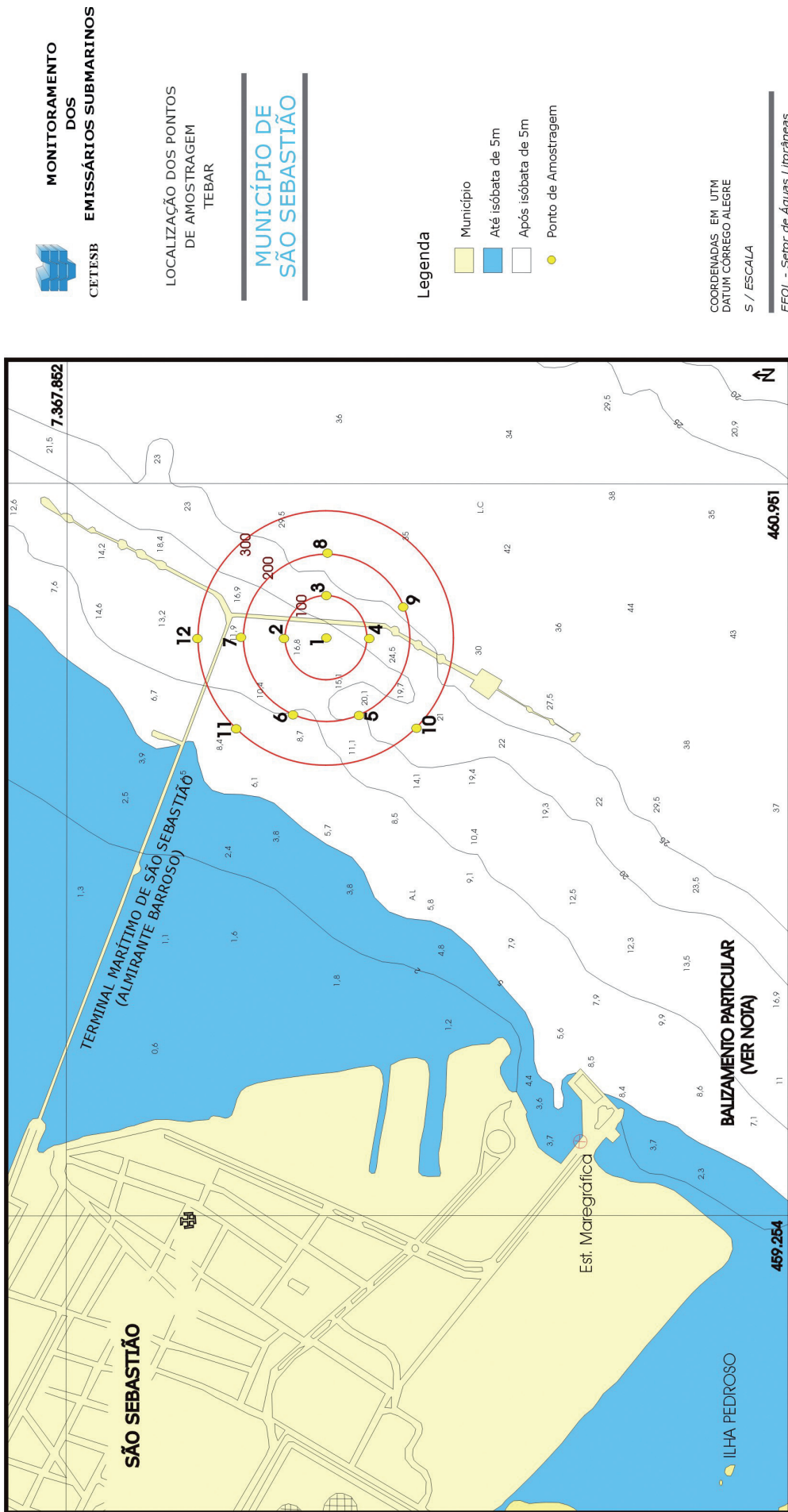


Figura 28: Distribuição dos pontos de amostragem de água na área de influência do Emissário do Saco da Capela.



FONTE: CARTA NÁUTICA (Nº 1643) - CANAL DE SÃO SEBASTIÃO (PARTE NORTE). PUBLICAÇÃO DA SEGUNDA EDIÇÃO, NO RIO DE JANEIRO, EM 2003.

5. Resultados do Monitoramento da Qualidade das Águas

5.1. Emissário de Santos

A Tabela 14 apresenta os resultados dos indicadores microbiológicos e físico-químicos de qualidade das águas obtidos por meio das coletas na campanha de 2005 (junho).

Tabela 14: Resultados de qualidade da água do mar (campanha de junho de 2005 – área de influência do emissário de Santos).

Parâmetros	Padrões Conama 357/05	Máximo	Mínimo	Médio	se	Nº de amostras	não conforme (%)
Medidas de campo							
Condutividade (mS/cm)		54	45,8	49,9	2,0	196	0,0
pH	6,5 a 8,5	8,29	7,62	8,1	0,1	196	0,0
OD (mg/L)	6	9,56	4,27	6,2	1,3	196	54,6
Salinidade (‰)	>=30‰	35,5	32,1	34,8	0,8	196	0,0
Temperatura da água (°C)		26,6	23,4	23,6	0,3	196	0,0
Parâmetros físico-químicos							
Fosfato orto-solúvel (mg/L)		0,06	0,01	0,03	0,01	28	0,0
Fósforo Total (mg/L)	0,062	0,1	0,03	0,06	0,02	28	35,7
N Amoniacal (mg/L)	0,4	0,37	0,05	0,16	0,09	28	0,0
N Kjeldahl Total (mg/L)		1,21	0,17	0,43	0,21	28	0,0
Turbidez (UNT)		8,7	2	3,05	1,31	28	0,0
Fenol (Totais) (mg/L)	0,001						
Sulfeto (mg/L)	0,002	<1	<1	<1		0	
Óleos e graxas (mg/L)	Ausente						
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)*	1.000	16	3	10	5	13	0,0
Enterococos (UFC/100mL)	100	59	1	6	11	39	0,0

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05.

* Limite de detecção do método superior ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05.

- Parâmetro não detectado.

se Desvio Padrão.

Parâmetros físico-químicos

A salinidade variou entre 32,1 a 35,5, apresentando um valor médio de 34,8, valores esses superiores aos obtidos nos anos anteriores de monitoramento, e esperado para as águas marinhas.

Já os valores de OD obtidos em 2005 foram significativamente inferiores aos obtidos nas campanhas anteriores, apresentando cerca de 55% dos resultados abaixo do padrão estabelecido, que é de 6,0 mg/L. Tais valores foram obtidos do meio da coluna d'água para o fundo, observando-se um nítido gradiente de

redução do OD em relação à profundidade, podendo estar associado à operação do emissário submarino.

Os resultados de pH foram semelhantes aos encontrados nas campanhas anteriores, ou seja, apresentaram uma pequena faixa de variação, entre 8,1 a 8,3, não apresentando assim nenhum sinal de anormalidade.

Nutrientes: Fósforo e Nitrogênio

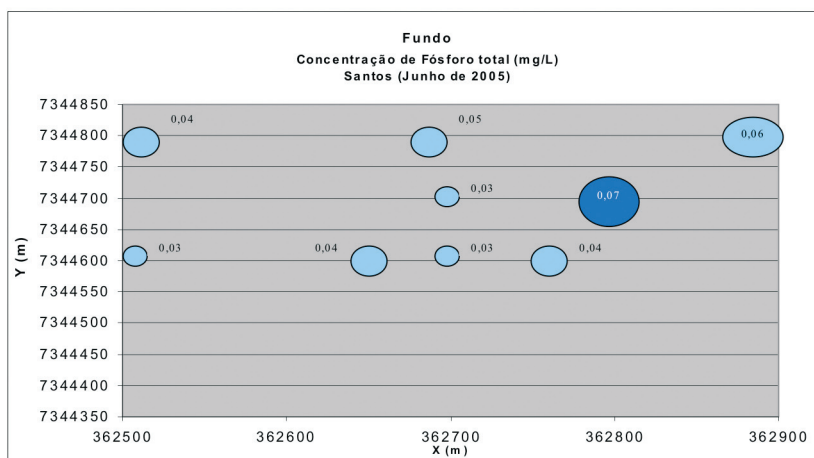
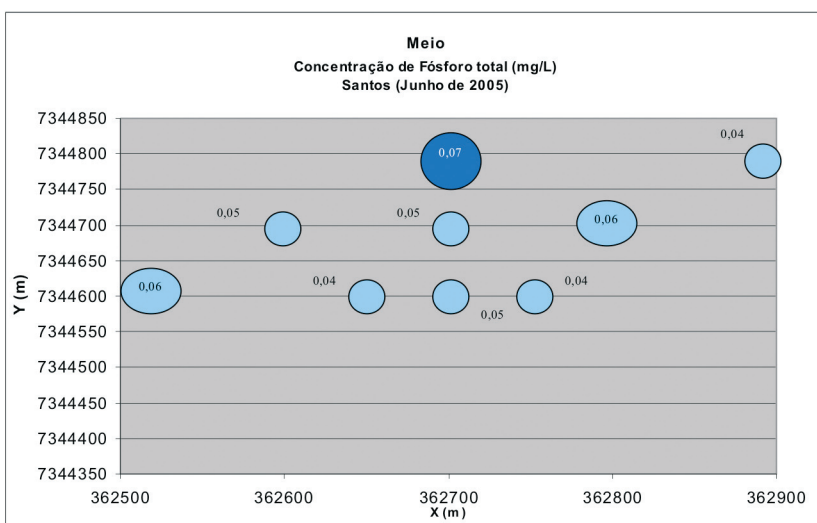
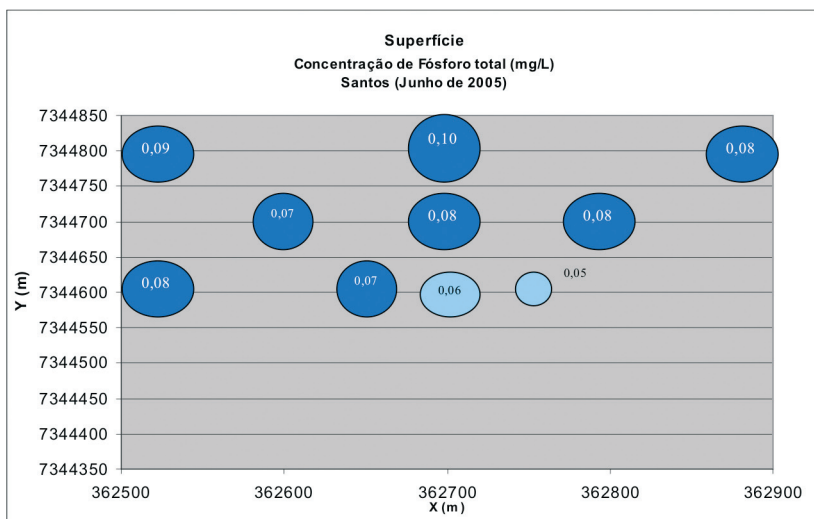
Para o fósforo total foram observados valores muito elevados, acima dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05, que é de 0,062 mg/L para águas de Classe 1, e muito acima das concentrações encontradas para o ponto controle, que apresentou nas três profundidades, 0,03 mg/L.

Em todas as campanhas realizadas anteriormente foram constatados elevados valores de fósforo total. Em 2002, 2003 e abril de 2004, mais de 75% das amostras analisadas apresentaram concentrações acima do padrão. Em outubro de 2004, 17% das amostras apresentaram concentrações acima do padrão, e nesta última campanha, cerca de 36% das amostras apresentaram-se acima do padrão; nesse ano, a maioria das concentrações acima do padrão foram obtidas na superfície (Figura 30).

Assim como para o OD, observou-se uma estratificação na coluna d'água das concentrações de fósforo total: 80% das amostras analisadas na superfície apresentaram concentrações acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05 (Figura 30). As maiores concentrações de fósforo total foram observadas nos pontos mais próximos ao lançamento do efluente do emissário. Na superfície, os pontos que excederam o padrão foram os de 1 a 8, no meio o ponto 2, e no fundo o ponto 6.

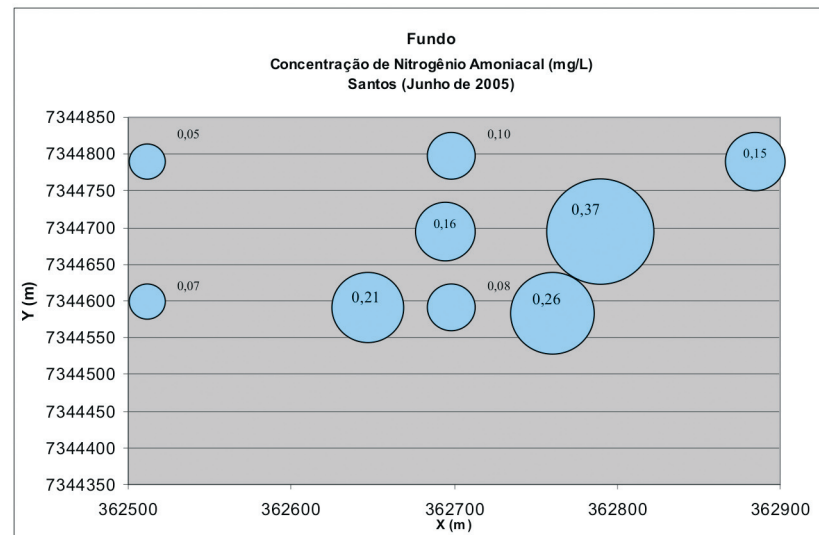
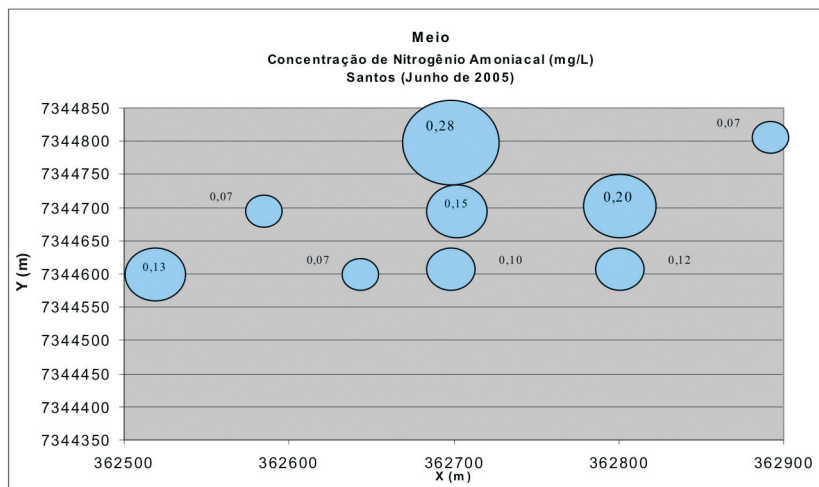
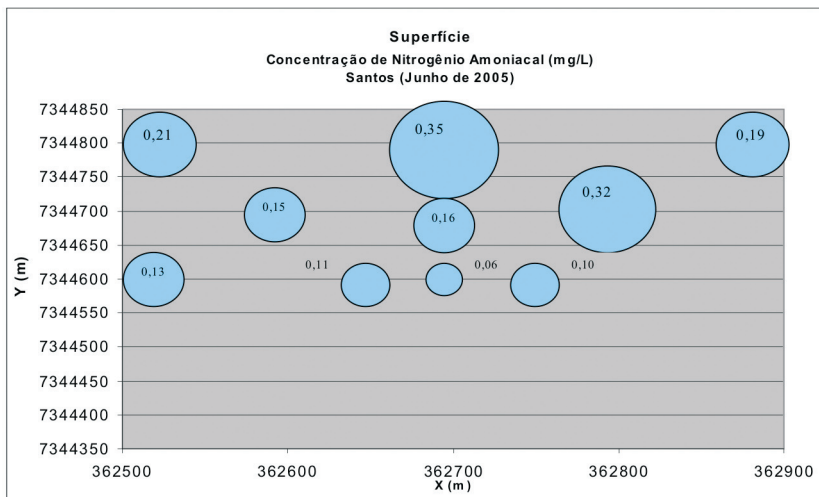
Em relação ao nitrogênio amoniacal (Figura 31), não foram observadas concentrações acima do padrão em nenhuma das amostras analisadas, mas, pode-se observar, entretanto, que alguns dos valores obtidos foram muito elevados, aproximando-se do padrão estabelecido pela Resolução Conama 375/05. Os resultados obtidos no entorno da saída do emissário são muito superiores aos obtidos no ponto controle, cujas concentrações foram 0,04; 0,06 e 0,05 mg/L (superfície, meio e fundo, respectivamente). Assim como observado para o fósforo total, os maiores valores foram observados nos pontos mais próximos ao lançamento do efluente e na superfície (0,35 mg/L no Ponto 2; 0,32 mg/L no Ponto 6) com exceção do Ponto 6, na maior profundidade (fundo) onde foi obtido 0,37 mg/L.

Apenas em novembro de 2002 e em 2004 não foram observadas concentrações superiores ao padrão para o nitrogênio amoniacal e esse fato ocorreu novamente nesta campanha de 2005. Apesar disso, pode-se considerar que as concentrações desse nutriente nas águas da baía foram elevadas, ocasionando o enriquecimento das águas da Baía de Santos.



- concentrações acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05
- concentrações abaixo do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05

Figura 30: Distribuição espacial da concentração de Fósforo Total (mg/L) na água do mar em três profundidades.



- concentrações abaixo do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05

Figura 31: Distribuição espacial da concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) na água do mar em três profundidades.

Com relação ao sulfeto, nada se pode afirmar devido ao elevado valor do limite de detecção do método analítico empregado. O mesmo ocorreu nas campanhas de 2004; entretanto, em 2002 e 2003 foram observados diversos valores superiores ao padrão, considerando-se imprescindível o monitoramento deste parâmetro nas águas da baía de Santos.

Indicadores microbiológicos

No que se refere aos parâmetros microbiológicos não foi observado, na campanha de 2005, nenhum valor acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 274/00, tendo o mesmo ocorrido nas campanhas de 2003.

Em 2004 foram observadas concentrações muito elevadas de enterococos e coliformes termotolerantes, na ordem de 10^4 e 10^5 , respectivamente, mas obtidos em alguns pontos isolados. Acredita-se que não foi possível, na campanha (2005), amostrar a pluma do emissário e portanto observou-se resultados desses indicadores muito baixos.

Clorofila-a e feofitina

Os resultados de clorofila-a e feofitina referentes ao ano de 2004 e 2005 estão representados na Figura 32.

Na primeira campanha de 2004, foram analisadas somente amostras de superfície. Com base nos resultados obtidos, pode-se dizer que as concentrações de clorofila-a e feofitina foram elevadas, principalmente nas campanhas de abril de 2004 e junho de 2005. Na primeira campanha de 2004 e na campanha de 2005 foram observadas concentrações de clorofila-a próximas a $10 \mu\text{g/L}$; em 2005, dois pontos (12 e 14) apresentaram concentrações acima de $10 \mu\text{g/L}$, que é o limite estabelecido por Vollenweider (apud Toledo et al., 1983) para água doce, acima do qual um ambiente é considerado eutrofizado.

As concentrações de clorofila-a obtidas nas campanhas seguem os teores de fósforo total observados. Como mencionado acima, em todas as campanhas foram constatados valores elevados de fósforo total, mas em abril de 2004 e junho de 2005 foram observadas as maiores porcentagens de amostras com resultados acima do padrão, (mais de 75%, em 2004 e cerca de 36%, em 2005). Além disso, em junho de 2005, quando foram analisadas amostras de superfície e meio da coluna d'água, pôde-se observar que as maiores concentrações de clorofila-a foram na superfície e 80% das amostras de superfície analisadas apresentaram concentrações de fósforo acima do padrão. Os elevados teores de nitrogênio amoniacal também devem contribuir para a alta concentração de clorofila observada nas águas da baía.

Dessa forma, com base nos resultados de nutrientes e clorofila-a, pode-se concluir que as águas da baía de Santos estão eutrofizadas.

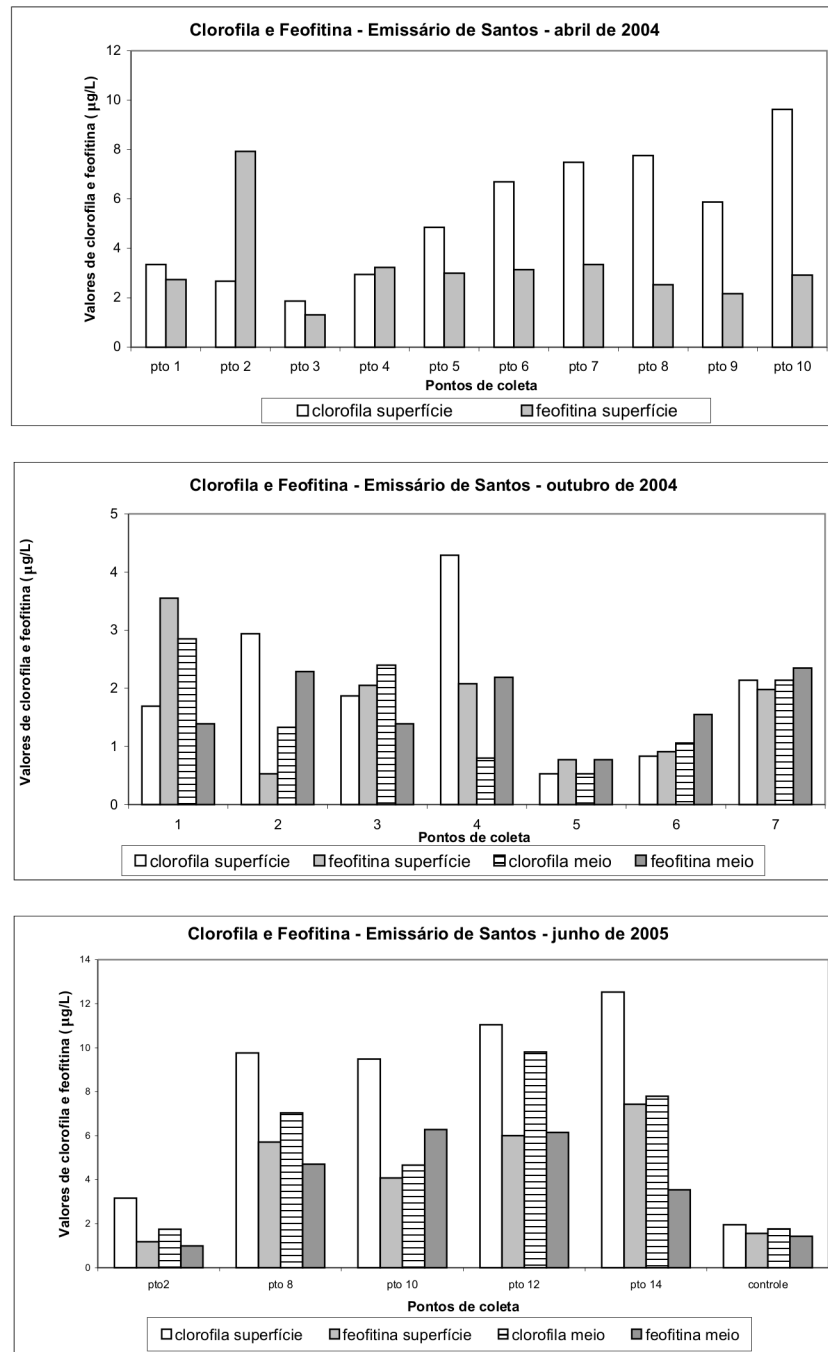


Figura 32: Concentrações de clorofila-a e feofitina na água do mar nas camadas superficiais e de meio obtidas em 2004 e 2005.

Em síntese, os resultados encontrados em 2005 indicam alterações na qualidade das águas da Baía de Santos, sendo as mais evidentes associadas à depleção dos níveis de OD, às concentrações de fósforo total e clorofila-a/feofitina, demonstrando haver eutrofização nessas águas e conseqüentes implicações desfavoráveis à biota aquática.

5 | 2. Emissário do Araçá

A seguir são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos para água na Campanha de julho de 2005 do Emissário do Araçá (Tabela 15).

Tabela 15: Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de julho de 2005 – área de influência do emissário do Araçá).

Parâmetros	Padrões CONAMA 357/85	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão	Nº de amostras	não conforme (%)
Medidas de campo							
Condutividade (mS/cm)		54,6	52,2	53,14	0,43	37	
pH	6,5 a 8,5	8,25	8,17	8,21	0,21	38	
OD	6	7,6	6,33	7,17	0,26	37	
Salinidade		35,9	34,2	34,86	0,29	37	
Temperatura da água (°C)		22,7	20,6	22,20	0,6	38	
Parâmetros físico-químicos							
Fosfato orto-solúvel (mg/L)		0,03	<0,01	0,01	0,003	38	
Fosforo Total (mg/L)	0,062	0,03	<0,01	0,01	0,003	38	0
N Amoniacal (mg/L)	0,4	0,03	<0,01	0,01	0,003	38	0
N Kjeldahl total (mg/L)		0,46	<0,1	0,12	0,06	38	
N nitrato (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		38	0
N nitrito (mg/L)	0,07	<0,001	<0,001	<0,001		38	0
Turbidez (UNT)		4,3	0,71	2,05	0,91	38	0
Fenol (Totais) (mg/L)		<0,001	<0,001	<0,001		38	0
Sulfeto (mg/L)	0,002						
Sólido Total (mg/L)		70018	40434	47679,1	8298,1	38	
Óleos e Graxas	Virt. Ausente	<10	<10	<10		12	
Alumínio (mg/L)	1,5	0,96	<0,15	0,22	0,15	38	0
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,005	<0,005	<0,005		38	0
Chumbo (mg/L)	0,01	<0,04	<0,04	<0,04		38	0
Cobre (mg/L)	0,005	0,06	0,04	0,05	0,007	38	100
Cromo Total (mg/L)	0,05	0,05	0,04	0,04	0,003	38	0
Estanho (mg/L)		<0,81	<0,81	<0,81		38	
Ferro (mg/L)	0,3	0,3	<0,07	0,11	0,1	38	0
Níquel (mg/L)	0,025	<0,02	<0,02	<0,02		38	0
Zinco (mg/L)	0,09	0,06	<0,02	0,02	0,01	38	0
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)*	1000	74	1	17,14	20,9	37	0
Enterococos (UFC/100ml)	100	60	<1	11,54	15,2	37	0
Parâmetros hidrobiológicos							
Clorofila -a (µg/L)		1,07	<0,01	0,5	0,32	25	
Feofitina -a (µg/L)		1,5	<0,01	0,61	0,44	25	
Toxicidade CE20, 15 min (%)		NT**	NT**	NT		21	
Toxicidade CE50, 15 min Controle Positivo (mg/L)		3,32 (2,07-5,31)				21	

Legenda * limite de detecção do método superior ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05
 - Parâmetro não detectado
 NT** Não Tóxica

Nutrientes: Fósforo e Nitrogênio

No ano de 2005, as concentrações obtidas para o fósforo total foram semelhantes às das campanhas anteriores (menor que 0,01 mg/L), e apenas na superfície do ponto 2 e ponto 6 foram observadas concentrações de 0,02 e 0,03 mg/L, respectivamente.

O indicador Nitrogênio Amoniacal, apresentou até a primeira campanha de 2004 valores inferiores ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05. Na campanha de outubro de 2004, entretanto, os resultados foram muito elevados, ultrapassando o padrão estabelecido. Em 2005, as concentrações obtidas foram baixas, semelhantes às das campanhas de 2003, onde, apenas na superfície do ponto 2 e 6 houve variação de seus valores (0,03 e 0,02 mg/L, respectivamente).

Cabe ressaltar que o nitrogênio Kjeldahl foi a espécie química que sofreu maior variação em sua concentração, entre menor que 0,1 a 0,46 mg/L, sendo seus maiores valores também obtidos na superfície dos pontos monitorados. Apesar desses valores serem inferiores aos encontrados no ano anterior, apontam a presença de nitrogênio orgânico e, conseqüentemente, influência de esgotos na qualidade das águas.

Indicadores microbiológicos

Em relação aos parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes e enterococos), não foram encontradas em nenhuma análise concentrações acima do permitido pela legislação. Tais valores seguem uma tendência já observada nas campanhas de setembro de 2003, março e outubro de 2004, onde não se registraram valores acima dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 274/00.

Clorofila-a e feofitina

Os resultados de clorofila-a e feofitina encontram-se representados na Figura 33. As concentrações de clorofila-a e feofitina foram baixas, sendo as maiores concentrações de clorofila-a observadas de 1,33 µg/L, em 2004 e 0,8 µg/L, em 2005. Esses resultados refletem as concentrações de nutrientes obtidas na água, estando aparentemente mais fortemente relacionados às concentrações de fósforo (como observado nas águas da baía de Santos).

Em síntese, os resultados obtidos não demonstraram alteração na qualidade das águas no entorno do emissário submarino do Araçá. Isso também foi observado nos anos anteriores, com exceção das campanhas de dezembro de 2002 e março de 2003 nas quais foram observados valores de enterococos acima dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 274/00.

A avaliação da eficiência de um emissário submarino por atividade de monitoramento não é uma tarefa simples, especialmente no que tange ao acompanhamento da pluma de dispersão do seu efluente e a influência dos parâmetros oceanográficos, tais como correntes marinhas, ventos, amplitude das marés, dentre outros, na qualidade das águas. Por isso, muitas vezes, o fato de encontrar-se a maioria (ou a totalidade) dos indicadores de qualidade em acordo com os valores da legislação não significa, necessariamente, a eficiência do emissário, sendo, portanto, necessário realizar uma análise integrada, inclusive com a qualidade dos sedimentos e as características (atendimento) do efluente.

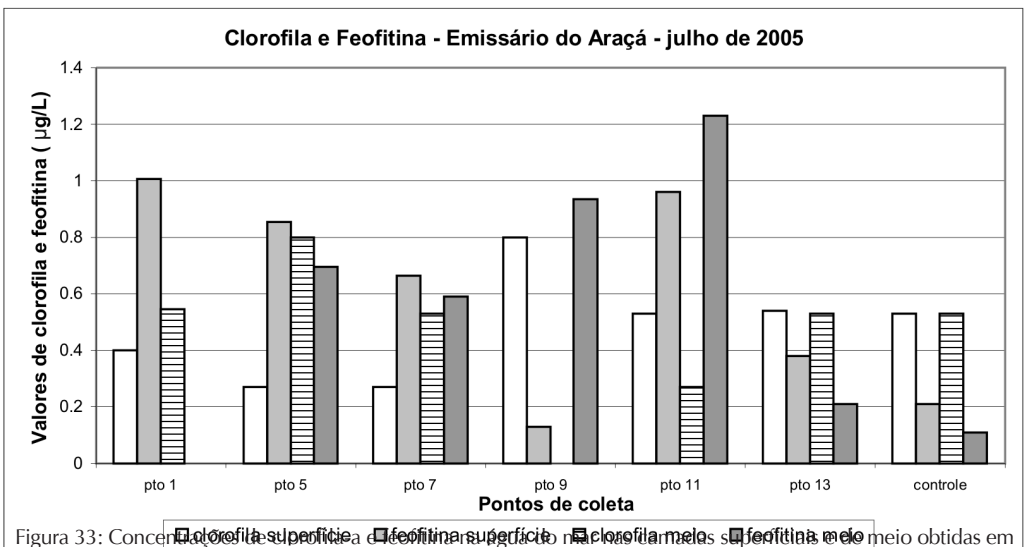
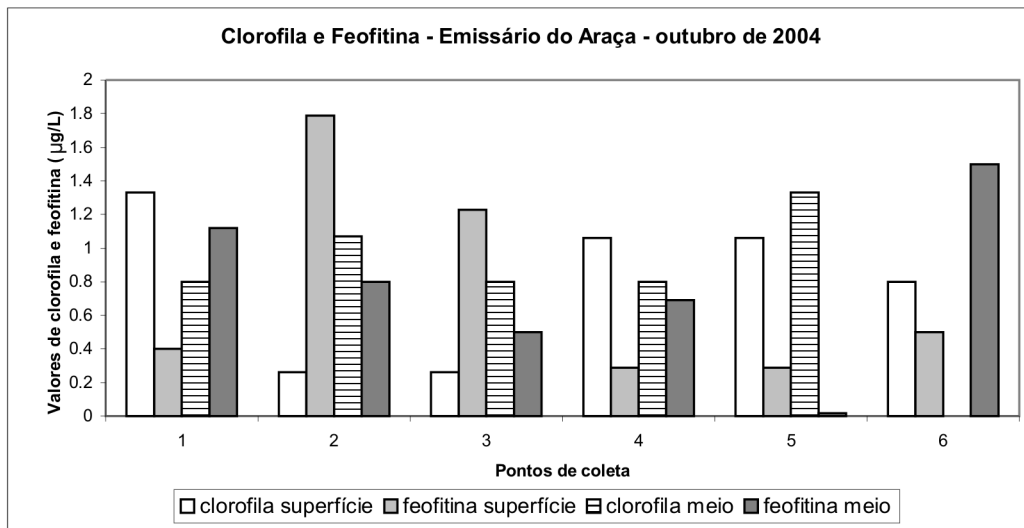
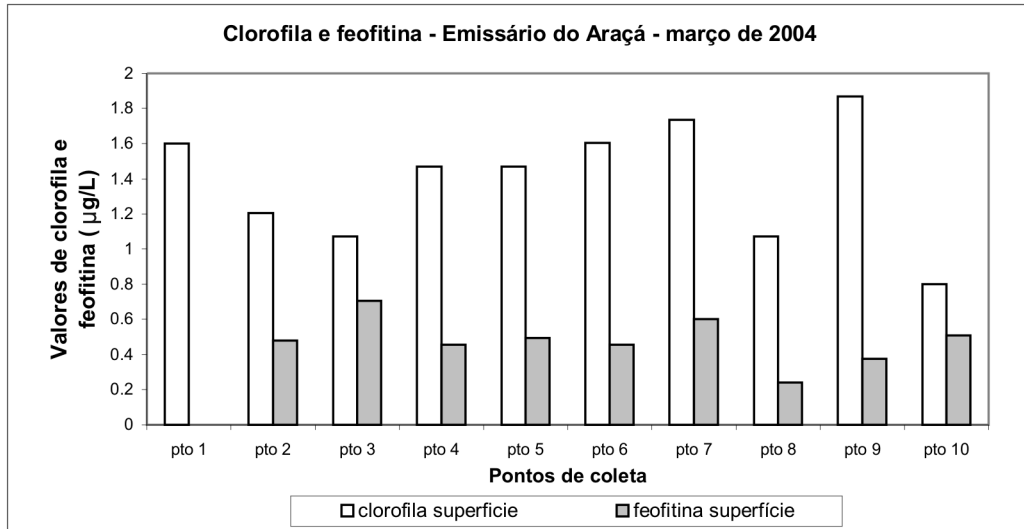


Figura 33: Concentrações de clorofila e feofitina superficial e na coluna d'água obtidas em 2004 e 2005.

5 | 3. Emissário das Cigarras

Os resultados de qualidade da água do mar na área de influência do emissário das Cigarras, obtidos na campanha de julho de 2005, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de julho de 2005 – área de influência do emissário de Cigarras).

Parâmetros	Padrões Conama 357/05	Valor Máximo	Valor Mínimo	Médio	Desvio Padrão	Nº conforme (%)	Nº de amostras
Medidas de campo							
Condutividade (mS/cm)		8,2	8,1	8,17	0,01		95
pH	6,5 a 8,5	8,19	8,14	8,17	0,01	0	95
OD	6	7,57	6,74	7,12	0,23	0	95
Salinidade		34,1	33,8	33,99	0,06		95
Temperatura da água (°C)		23	21,8	22,11	0,32		95
Parâmetros físico-químicos							
Fosfato orto-solúvel (mg/L)		<0,01	<0,01	<0,01			36
Fósforo Total (mg/L)	0,062	<0,01	<0,01	<0,01		0	36
N Amoniacal (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		0	36
N Kjeldahl Total (mg/L)		<0,1	<0,1	<0,1			36
N Nitrato (mg/L)	0,4	-	-	-	-	-	-
N Nitrito (mg/L)	0,07	<0,001	<0,001	<0,001		0	36
Turbidez (UNT)		6,2	2,2	3,66	1,19		36
Fenol (Totais) (mg/L)		<0,001	<0,001	<0,001			36
Sulfeto (mg/L)	0,002	8,42	<1*	1,45	0,13	0	36
Sólido Total (mg/L)		87.552	40.964	54.371,2	10.071,8		36
Óleos e Graxas	Virt.Ausente	<10	<10	<10			12
Alumínio (mg/L)	1,5	0,47	<0,15	0,24	0,11	0	36
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,005	<0,005	<0,005		0	36
Chumbo (mg/L)	0,01	<0,04*	<0,04*	<0,04			36
Cobre Total (mg/L)		0,06	0,04	0,05	0,006	0	36
Cromo Total (mg/L)	0,05	0,05	0,04	0,04	0,002	0	36
Estanho (mg/L)		<0,81	<0,81	<0,81			36
Ferro Total (mg/L)		0,28	0,06	0,13	0,064	0	36
Níquel (mg/L)	0,025	<0,02	<0,02	<0,02		0	36
Zinco (mg/L)	0,09	<0,02	<0,02	<0,02		0	36
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)*	1.000	38	<1	5,42	9,21	0	36
Enterococos (UFC/100ml)	100	36	<1	3,39	8,25	0	36
Parâmetros hidrobiológicos							
Clorofila -a (µg/L)		2,67	0,01	1,17	0,64		23
Feofitina -a (µg/L)		1,87	<0,01	0,66	0,56		23
Toxicidade CE20, 15min(%)		NT**	NT**	NT			18
Toxicidade CE50, 15min Controle Positivo (mg/L)		3.34(2.47-4.51)					18

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 ou propostos para a sua revisão.

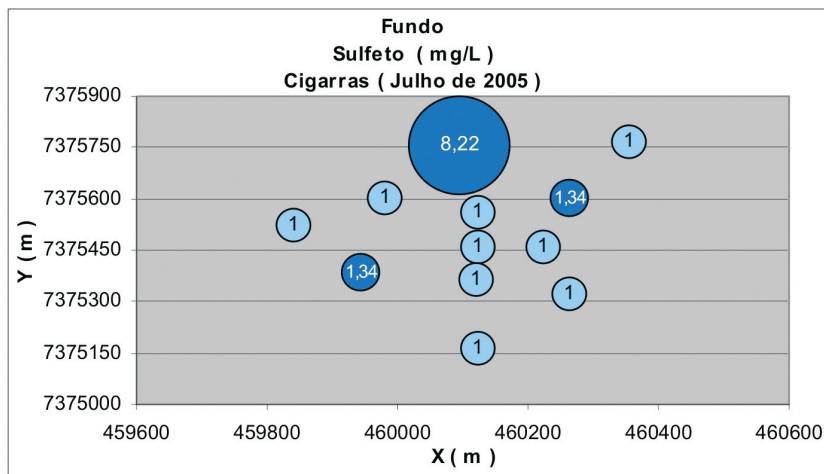
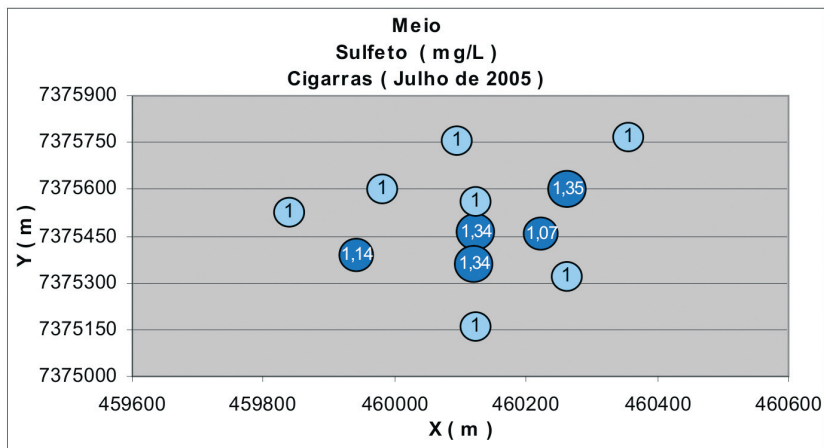
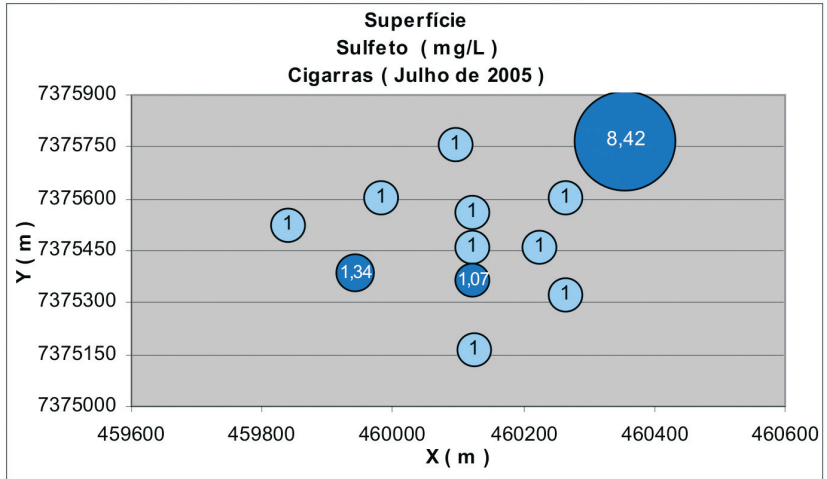
* Limite de detecção do método superior ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05.

- Parâmetro não detectado.

se Desvio Padrão.

NT** Não Tóxica.

Dos resultados obtidos, merece destaque o indicador Sulfeto, pois, 25% das amostras analisadas apresentaram concentrações acima do padrão estabelecido (0,002 mg/L). No fundo do Ponto 11 e superfície do Ponto 12, atingiu valores elevados, de 8,22 e 8,42 mg/L, respectivamente. As demais amostras analisadas obtiveram concentrações inferiores ao limite de detecção do método analítico empregado (menor que 1,0 mg/L). Por ser este limite superior ao padrão, não permite concluir de fato se há concentrações elevadas de sulfeto nas águas marinhas (Figura 34).



- Concentrações acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05
- Concentrações abaixo do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05

Figura 34: Distribuição espacial da concentração de Sulfeto (mg/L), obtidas nas diferentes profundidades: superfície, meio e fundo.

Nutrientes: Fósforo e Nitrogênio

Tanto para o Fósforo, como para o Nitrogênio, as concentrações obtidas foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado (para ambos parâmetros, as concentrações foram menores que 0,01 mg/L). Tais resultados são também inferiores ao proposto pela legislação (0,062 e 0,04 mg/L respectivamente).

Indicadores microbiológicos

Em relação aos parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes e enterococos), não foram encontradas em nenhuma análise concentrações acima do permitido pela legislação.

Clorofila-a e feofitina

As concentrações de clorofila-a e feofitina encontram-se na figura abaixo (Figura 35). Assim como observado nas águas no entorno do emissário do Araçá, as concentrações de clorofila-a e feofitina, obtidas na campanha de 2005, foram muito baixas, indicando que não está ocorrendo a eutrofização das águas do Canal.

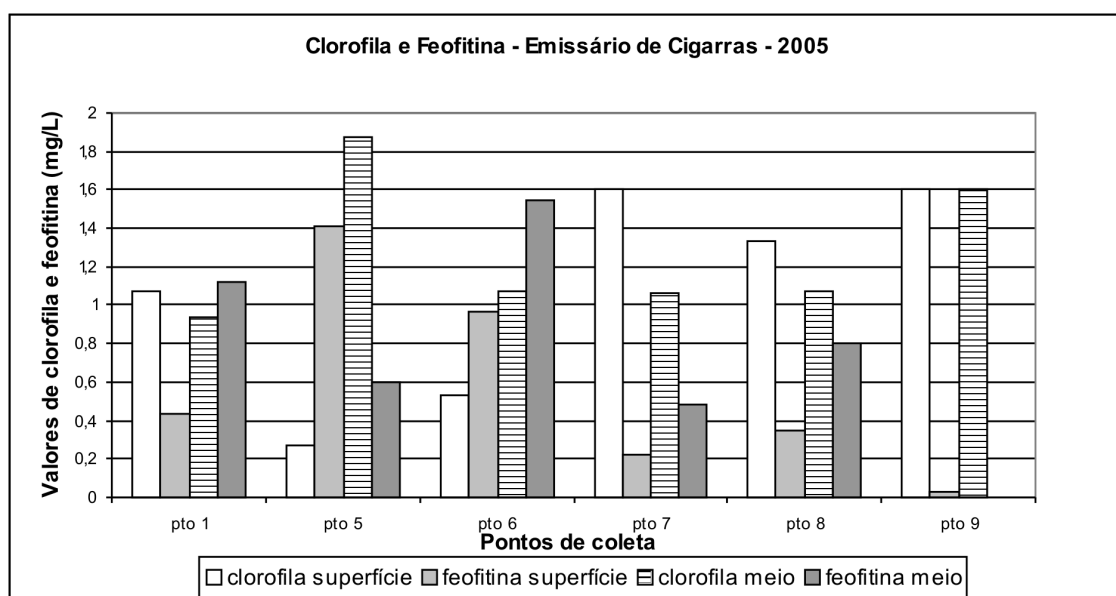


Figura 35: Concentrações de clorofila-a e feofitina na água do mar nas camadas superficiais e de meio obtidas em 2005.

Considerando os resultados obtidos para a avaliação da qualidade das águas do entorno do emissário submarino das Cigarras pode-se dizer que foi observada uma alteração para o parâmetro sulfeto. Embora o limite de detecção do método utilizado tenha sido muito elevado (1,0 mg/L), 25% das amostras apresentaram valores muito superiores ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05. Essa alteração pode estar associada ao funcionamento do emissário submarino e poderá ser posteriormente confirmada com a análise dos sedimentos, cujos resultados não se encontram ainda disponíveis.

5 | 4. Emissário do Tebar

A seguir são apresentados os resultados de qualidade da água do mar na área de influência do emissário Tebar, obtidos na campanha de agosto de 2005 (Tabela 17).

Tabela 17: Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de agosto 2005 – área de influência do Emissário Tebar).

Parâmetros	Padrões Conama 357/05	Valor Máximo	Valor Mínimo	Médio	Desvio Padrão	Nº de amostras	Não conforme (%)
Medidas de campo							
Condutividade (mS/cm)		54,4	52,9	53,64	0,42	258	
pH	6,5 a 8,5	8,19	8,14	8,17	0,01	258	0
OD	6	7,43	6,34	6,77	0,26	258	0
Salinidade		35,7	34,8	35,22	0,27	258	
Temperatura da água (°C)		24,4	21,1	22,22	0,70	258	
Parâmetros físico-químicos							
Fosfato orto-solúvel (mg/L)		<0,01	<0,01	<0,01		39	
Fósforo Total (mg/L)	0,062	<0,01	<0,01	<0,01		39	0
N Amoniacal (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		39	0
N Kjeldahl Total (mg/L)		<0,1	<0,1	<0,1		39	
N Nitrato (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		39	0
N Nitrito (mg/L)	0,07	0,008	0,001	0,001	0,001	39	0
Turbidez (UNT)		5,3	1,2	2,35	0,83	39	
Fenol (Totais) (mg/L)		<0,001	<0,001	<0,001		39	
Sulfeto (mg/L)	0,002	<0,3*	<0,3*	<0,3*		39	0
Sólido Total (mg/L)		81.598	44.324	51602,51	8161.95	39	0
Óleos e Graxas	Virt.Ausente	<10	<10	<10		12	
Alumínio (mg/L)	1,5	0,35	<0,15	0,17	0,04	39	0
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,005	<0,005	<0,005		39	0
Chumbo (mg/L)	0,01	<0,04*	<0,04*	<0,04*		39	0
Cobre Total (mg/L)		0,06	0,05	0,06	0,003	39	100
Cromo Total (mg/L)	0,05	0,04	0,04	0,04	0	39	0
Estanho (mg/L)		<0,81	<0,81	<0,81		39	
Ferro Total (mg/L)		0,20	<0,07	0,09	0,03	39	0
Níquel (mg/L)	0,025	<0,02	<0,02	<0,02		39	0
Zinco (mg/L)	0,09	<0,02	<0,02	0,02		39	0
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)*	1.000	12	<1	10,2	3,74	39	0
Enterococos (UFC/100ml)	100	5	<1	2,1	1,66	39	0
Parâmetros hidrobiológicos							
Clorofila -a (µg/L)		1,19	<0,01	0,3	0,32	28	
Feofitina -a (µg/L)		1,8	<0,01	0,5	0,42	28	
Toxicidade CE20, 15min(%)		NT**	NT**	NT		21	
Toxicidade CE50, 15min 46 Controle Positivo (mg/L)		3.46(2.12-5.64)				21	

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 ou propostos para a sua revisão.

* Limite de detecção do método superior ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05.

- Parâmetro não detectado.

se Desvio Padrão.

NT** Não Tóxica.

Nutrientes: Fósforo e Nitrogênio Amoniacal

Os resultados obtidos para o Fósforo e Nitrogênio Amoniacal mostraram-se abaixo dos padrões da Conama 357/05 (0,062 mg/L e 0,4 mg/L respectivamente. Ambos foram inferiores ao limite de detecção dos métodos analíticos utilizados (menor que 0,01 mg/L).

Apenas o nitrato sofreu uma pequena variação de sua concentração, entre menor que 0,001 a 0,008 mg/L, sendo os maiores valores encontrados na superfície de cada ponto.

Já para o sulfeto, o limite de detecção do método utilizado, que foi de <0,3, é muito superior ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05 (0,002 mg/L), não permitindo avaliar a presença ou não dessa substância no meio marinho.

Indicadores microbiológicos

Em relação aos parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes e enterococos), não foram encontradas em nenhuma análise concentrações acima do permitido pela legislação. Tais valores, para este caso já eram previstos, pois o efluente dos emissários submarinos do Tebar e de característica industrial, diferente dos demais analisados neste relatório, que são de característica doméstica.

Clorofila-a e feofitina

Os resultados de clorofila-a e feofitina estão representados nos gráficos da figura abaixo (Figura 36). As concentrações de clorofila-a e feofitina foram baixas, assim como os teores de nutrientes na água. Pode-se observar, entretanto, que na maioria dos pontos os teores de feofitina foram superiores aos de clorofila, indicando uma comunidade fitoplanctônica com muitas células mortas.

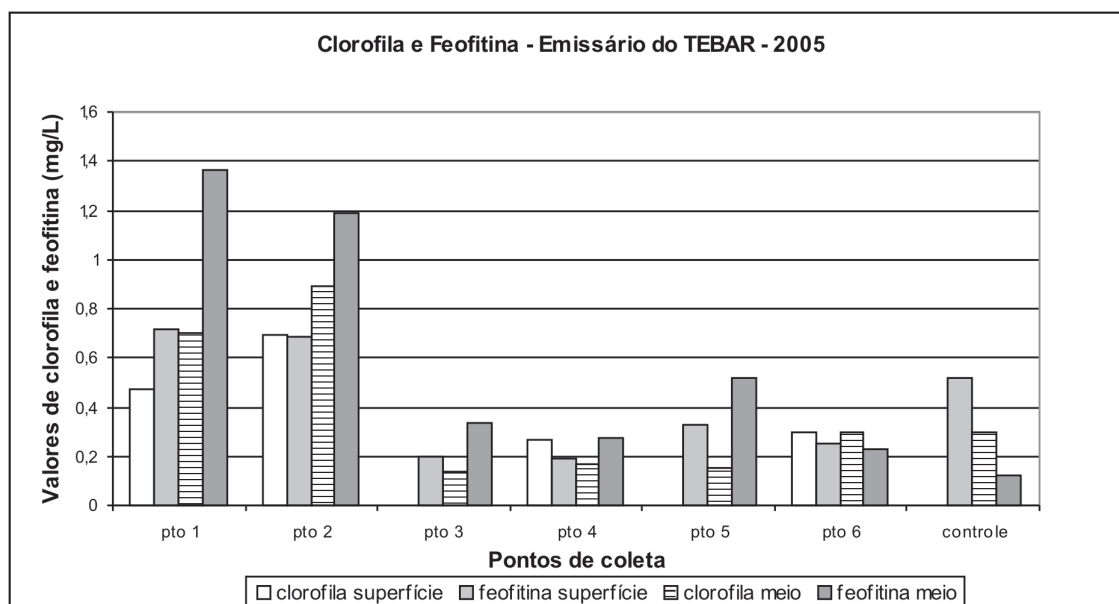


Figura 36: Concentrações de clorofila-a e feofitina na água do mar nas camadas superficiais e de meio obtidas em 2005.

Os resultados dos parâmetros avaliados no compartimento água no entorno do emissário do Tebar não apresentaram quaisquer alterações. Cabe ressaltar que a amostragem foi efetuada uma única vez, não se podendo afirmar que o emissário do Tebar não esteja causando alterações na qualidade das águas do Canal. Deve-se considerar que as condições oceanográficas no dia da coleta também interferem nos resultados. Dessa forma, os resultados não são conclusivos e a qualidade dos sedimentos também contribuirá para a avaliação dos possíveis efeitos do emissário na qualidade ambiental da região.

5 | 5. Emissário Saco da Capela

Os resultados de qualidade da água do mar na área de influência do emissário submarino do Saco da Capela, obtidos na campanha de setembro de 2005 estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados de qualidade da água do mar (campanha de Setembro de 2005 - área de influência do emissário Saco da Capela).

Parâmetros	Padrões Conama 357/05	Valor Máximo	Valor Mínimo	Médio	Desvio Padrão	Nº de amostras	Não conforme (%)
Medidas de campo							
Condutividade (mS/cm)		8,1	7,8	8	0,09	257	
pH	6,5 a 8,5	8,12	7,76	8,08	0,09	257	0
OD	6	9,01	8,45	8,74	0,10	257	0
Salinidade		31,9	31,3	31,74	0,08	257	
Temperatura da água (°C)		20,8	20,5	20,63	0,10	257	
Parâmetros físico-químicos							
Fosfato orto-solúvel (mg/L)		<0,01	<0,01	<0,01		36	
Fósforo Total (mg/L)	0,062	<0,01	<0,01	<0,01		36	0
N Amoniacal (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		36	0
N Kjeldahl Total (mg/L)		0,18	<0,1	0,11	0,03	36	
N Nitrato (mg/L)	0,4	<0,01	<0,01	<0,01		36	0
N Nitrito (mg/L)	0,07	0,008	<0,001	0,002	0,002	36	0
Turbidez (UNT)		11	2	3,79	1,84	36	
Fenol (Totais) (mg/L)		<0,001	<0,001	<0,001		36	
Sulfeto (mg/L)	0,002	<0,3*	<0,3*	<0,3		36	0
Sólido Total (mg/L)		84.150	39.552	63953,86	13.749,8	36	
Óleos e Graxas	Virt.Ausente	<10	<10	<10		12	
Alumínio (mg/L)	1,5	0,69	<0,15	0,21	0,11	36	0
Cádmio (mg/L)	0,005	<0,005	<0,005	<0,005		36	0
Chumbo (mg/L)	0,01	<0,04*	<0,04*	<0,04		36	0
Cobre Total (mg/L)		0,06	0,04	0,06	0,007	36	100
Cromo Total (mg/L)	0,05	0,04	0,03	0,04	0,002	36	0
Estanho (mg/L)		<0,81	<0,81	<0,81		36	
Ferro Total (mg/L)		0,52	<0,07	0,14	0,10	36	11,11
Níquel (mg/L)	0,025	<0,02	<0,02	<0,02		36	0
Zinco (mg/L)	0,09	<0,02	<0,02	<0,02		36	0
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,0	6,82	3,42	5,24	1,16	14	100
Parâmetros microbiológicos							
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)*	1.000	680	4	152,79	146,68	36	0
Enterococos (UFC/100ml)	100	230	0	68,83	49,64	36	28,57
Parâmetros hidrobiológicos							
Clorofila -a (µg/L)		1,07	<0,01	0,33		24	
Feofitina -a (µg/L)		2,81	0,69	1,53		24	
Toxicidade CE20, 15min(%)		NT**	NT**	NT		16	
Toxicidade CE50, 15min 46 Controle Positivo (mg/L)		3.21(2.14-4.82)				16	

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 ou propostos para a sua revisão.

* Limite de detecção do método superior ao padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05.

- Parâmetro não detectado.

se Desvio Padrão.

NT** Não Tóxica.

Parâmetros Físicos

Para a Salinidade houve uma pequena variação, entre 31,3 e 31,9, valores um pouco abaixo do esperado, visto que a água do mar apresenta salinidade em torno de 35. Tal fator, pode ser talvez explicado devido à localização do sistema difusor (e conseqüentemente da grade amostral), estar a cerca de 220 m da margem da praia, sofrendo uma maior influência das águas doces do Rio Nossa Senhora da Ajuda e da drenagem de águas pluviais que aportam à praia.

Nutrientes: Fósforo e Nitrogênio

Para todos os pontos de monitoramento e suas profundidades, as concentrações obtidas tanto para o Fósforo quanto para o Nitrogênio, foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado (menor que 0,01 mg/L)

Apenas o Nitrito e o N. Kjeldahl sofreram uma pequena variação de sua concentração na superfície dos pontos monitorados. O Nitrito variou entre menor que 0,001 a 0,008 mg/L, e o N. Kjeldahl, entre menor que 0,1 a 0,18 mg/L.

Algumas considerações devem ser avaliadas em relação aos demais parâmetros, como o Carbono Orgânico, que apresentou concentrações muito elevadas, atingindo até mais que o dobro do permitido pela Resolução Conama 357/05 (3,0 mg/L). Das amostras analisadas, 100% foram superiores ao padrão, variando entre 3,42 a 6,82 mg/L.

Em função de problemas relacionados à infra-estrutura dos laboratórios, só foi possível a realização da análise de carbono orgânico total nas águas do entorno do Saco da Capela. Entretanto, esse parâmetro mostrou-se muito útil para a avaliação do aporte de matéria orgânica na água, devendo ser incluído nas próximas campanhas para todos os emissários.

Já para o Sulfeto, devido ao limite de detecção do método analítico adotado ser maior do que o padrão estabelecido, não foi possível constatar ou não presença de S²⁻ nas águas marinhas.

Indicadores microbiológicos

Em relação ao parâmetro coliformes termotolerantes, não foram encontradas em nenhuma análise concentrações acima do permitido pela legislação, apesar de terem sido obtidos valores mais elevados do que nos emissários do Araçá e Cigarras.

Para o parâmetro enterococos, aproximadamente 30% dos resultados foram superiores aos valores obtidos pela legislação (100 UFC/100 mL), alcançando o máximo de 230 UFC/100 mL. Mesmo sendo a vazão máxima operacional do sistema de disposição oceânica do Saco da Capela menor que o do Araçá, tal fator pode ser explicado devido ao ponto de lançamento no Saco da Capela estar mais próximo à margem da praia, sendo um local em que a movimentação das massas de água é menos intensa, além de receber influência dos rios e córregos que chegar às praias.

Clorofila-a e feofitina

Os resultados de clorofila-a e feofitina encontram-se na figura abaixo (Figura 37). As concentrações de clorofila-a foram baixas. Entretanto, pode-se notar, para as águas do entorno do emissário do Saco da Capela, que todos os resultados de clorofila-a foram inferiores aos de feofitina, tanto para superfície como para o meio da coluna d'água, mostrando a presença elevada de células mortas no fitoplâncton.

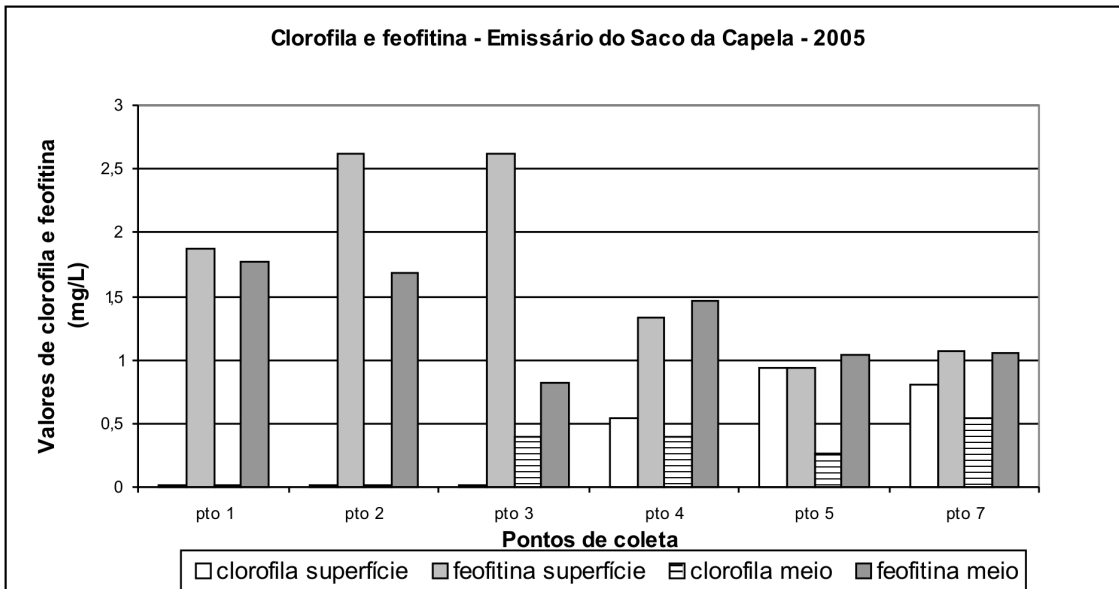


Figura 37: Concentrações de clorofila-a e feofitina na água do mar nas camadas superficiais e de meio obtidas em 2005.

Em síntese, os resultados dos parâmetros analisados nas águas do entorno do emissário do Saco da Capela demonstraram que estão ocorrendo alterações na qualidade das águas da região. Todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de carbono orgânico total acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 357/05, para águas de Classe 1, indicando haver significativo aporte de matéria orgânica para a região, provavelmente através do emissário submarino. Além disso, os resultados microbiológicos, acima do padrão estabelecido pela Resolução Conama 274/00, corroboram essa hipótese.

6. Qualidade dos Sedimentos

O sedimento constitui um compartimento ambiental que desempenha importante papel na qualidade dos corpos d'água, pois acumula contaminantes e outras espécies químicas em sua constituição. A associação desses contaminantes, ou sua redistribuição depende, por sua vez, das condições biogeoquímicas encontradas, tais como potencial redox, teor de matéria orgânica, pH, e outras variáveis ambientais (KERSTEN e FÖSTNER, 1990).

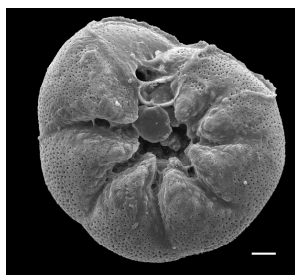
Em sua composição básica, os sedimentos são constituídos de representativa fração mineral (carbonatos, silicatos, aluminossilicatos tais como argilas, sílica, óxidos de ferro e manganês) e matéria orgânica natural (ácido húmico, humina, aminoácidos, entre outros)¹. No entanto, com o aporte das cargas domésticas e industriais, há notáveis alterações nessa composição, como por exemplo, por enriquecimento de matéria orgânica e nutrientes dos esgotos e traços de espécies químicas, tais como metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos.

Efeitos decorrentes da operação de emissários submarinos na qualidade dos sedimentos vêm sendo estudados por pesquisadores na costa do Estado de São Paulo e os resultados apontam para significativas alterações em sua composição natural, notadamente em áreas de influência desses sistemas (FUKUMOTO, 2003, SIQUEIRA, et al., 2003, TEODORO, 2006).

No estudo sobre impactos de emissários submarinos no ambiente, a avaliação da qualidade dos sedimentos é muito importante, não só no que se refere à sua qualidade como também com relação ao aspecto da sua fauna bentônica. Para a obtenção desses resultados realizou-se um trabalho conjunto com o Instituto de Geociências (IGc) da USP sob a responsabilidade da Prof. Dra. Wânia Duleba, com financiamento da Fapesp. Nessa cooperação técnica a Cetesb fornece as amostras de sedimentos das áreas de influência dos emissários estudados para serem processadas no Laboratório de Sedimentologia do IGc. Nesse laboratório são determinadas a composição granulométrica e as concentrações de nutrientes do sedimento. Também é realizada a determinação qualitativa e quantitativa dos foraminíferos presentes no sedimento, possibilitando a utilização desses organismos da microfauna bentônica como bioindicadores de possíveis impactos. A avaliação integrada dos resultados geoquímicos com os dados biológicos fornece um diagnóstico mais completo do ambiente marinho.

Microfauna dos sedimentos: Foraminíferos bentônicos como bioindicadores ambientais¹

Os foraminíferos são organismos microscópicos dotados de carapaças calcárias ou aglutinadas de grãos presentes no sedimento. Essa carapaça de formato variável que pode ter uma ou mais câmaras, todas interconectadas por um orifício (forâmen), que permite ao protoplasma ocupar todo interior da carapaça. Esta pode ser de matéria orgânica (proteoglicanas-polissacarídeos), de minerais secretados (calcita, aragonita ou sílica) ou de partículas aglutinadas (grãos de areia, mica e espículas de esponja).



Ammonia tepida (umbilical), 20 µm



Cribroelphidium discoidale, 10 µm



Brizalina striatula, 30 µm

¹ WÂNIA DULEBA, ANDRÉIA CRISTIANE TEODORO (Laboratório de Micropaleontologia, Instituto de Geociências, USP).

Os foraminíferos podem ser bentônicos (que vivem no fundo) ou planctônicos (na água).

Os bentônicos, presentes há cerca de 550 milhões de anos na Terra, sofreram radiação adaptativa em todas as zonas climáticas, dos pólos às poças hipersalinas do Saara e em todos os ambientes estuarinos, lagunares e marinhos, da região entre-marés à abissal. Os foraminíferos planctônicos são mais recentes e surgiram há 190 milhões de anos. Os foraminíferos planctônicos são exclusivamente marinhos, necessitando viver em águas oceânicas, limpas, sem material em suspensão. Esses organismos evitam águas costeiras e rasas, pois a profundidade da plataforma interna, na maioria das vezes, é pequena demais para que realizem suas migrações verticais.

Os foraminíferos constituem o grupo de organismos mais abundante do oceano. São conhecidas mais de 5 mil espécies recentes das quais os foraminíferos bentônicos são 30 vezes mais numerosos que os planctônicos. Habitam todos os ambientes marinhos o que demonstra a alta eficácia e adaptabilidade ecológica desses protozoários em diferentes substratos. Devido à sua biologia os foraminíferos são especialmente sensíveis às mudanças que ocorrem nos sedimentos marinhos e na coluna d'água.

Os foraminíferos bentônicos por serem muito abundantes, de tamanho reduzido, com carapaças de vários formatos, fossilizáveis e com ampla distribuição na escala geológica temporal e espacial, além da movimentação restrita e alta sensibilidade às variações ambientais, são considerados bons indicadores ambientais, sendo utilizados para detectar padrões de circulação oceânica e estuarina atuais e propriedades físico-químicas das massas de água, permitindo diagnosticar as condições físico-químicas do ambiente.

Da mesma forma, podem também ser utilizados como bioindicadores de impactos ambientais, causados pela aqüicultura, construção de portos, hidrovias e canais artificiais, destruição da camada de ozônio e o conseqüente aumento da radiação ultravioleta em regiões de recifes de corais, eutrofização causada por esgotos domésticos, industriais e dejetos portuários ou poluição química industrial.

Além dos foraminíferos, existe outro grupo de protozoários que secretam carapaças simples proteínicas, silicosas ou, mais raramente, calcárias, que são as tecamebas. As tecamebas originaram-se em mares do Pré-Cambriano, mas, atualmente, restringem-se a ambientes aquáticos de água doce, com salinidades menores que 5‰.

Resultados de granulometria, características biogeoquímicas e fauna de foraminíferos²

Os resultados referentes à qualidade dos sedimentos das áreas de influência dos emissários submarinos monitorados abrangem vários aspectos como sua composição granulométrica, características biogeoquímicas e a fauna de foraminíferos presente, além das concentrações microbiológicas de indicadores de poluição fecal. Esses resultados serão apresentados da seguinte forma: para os emissários de Santos e Araçá serão apresentados os resultados das amostragens de 2004 e 2005 e para os outros emissários apenas 2005. Ressalta-se que por problemas durante a amostragem não serão apresentados resultados do emissário das Cigarras. Na apresentação dos resultados serão utilizadas as seguintes abreviaturas: Carbono orgânico total – C; Nitrogênio total-N; Fósforo total-PT; Fósforo orgânico-PO; Enxofre total-S; Matéria Orgânica-MO.

6 | 1. Emissário de Santos

Granulometria

Em abril de 2004, a área estudada era constituída somente por sedimentos arenosos, que variavam de finos a muito finos (Figura 38). Em outubro de 2004 a área passa a ser constituída somente por sedimentos lamosos, que variam de silte médio a grosso (6 a 4) (Figura 39). Os siltes finos ocorrem preferencialmente nas regiões leste e oeste, e os grossos ocorrem mais próximos à região dos difusores, ou seja, nas porções centro-norte e sul.

² WÂNIA DULEBA, ANDRÉIA CRISTIANE TEODORO e SILAS GUBITOSO (Laboratório de Micropaleontologia, Instituto de Geociências, USP) - SÍLVIO M. PRADA – (Centro de Estudos Químicos - UNIFIEO)

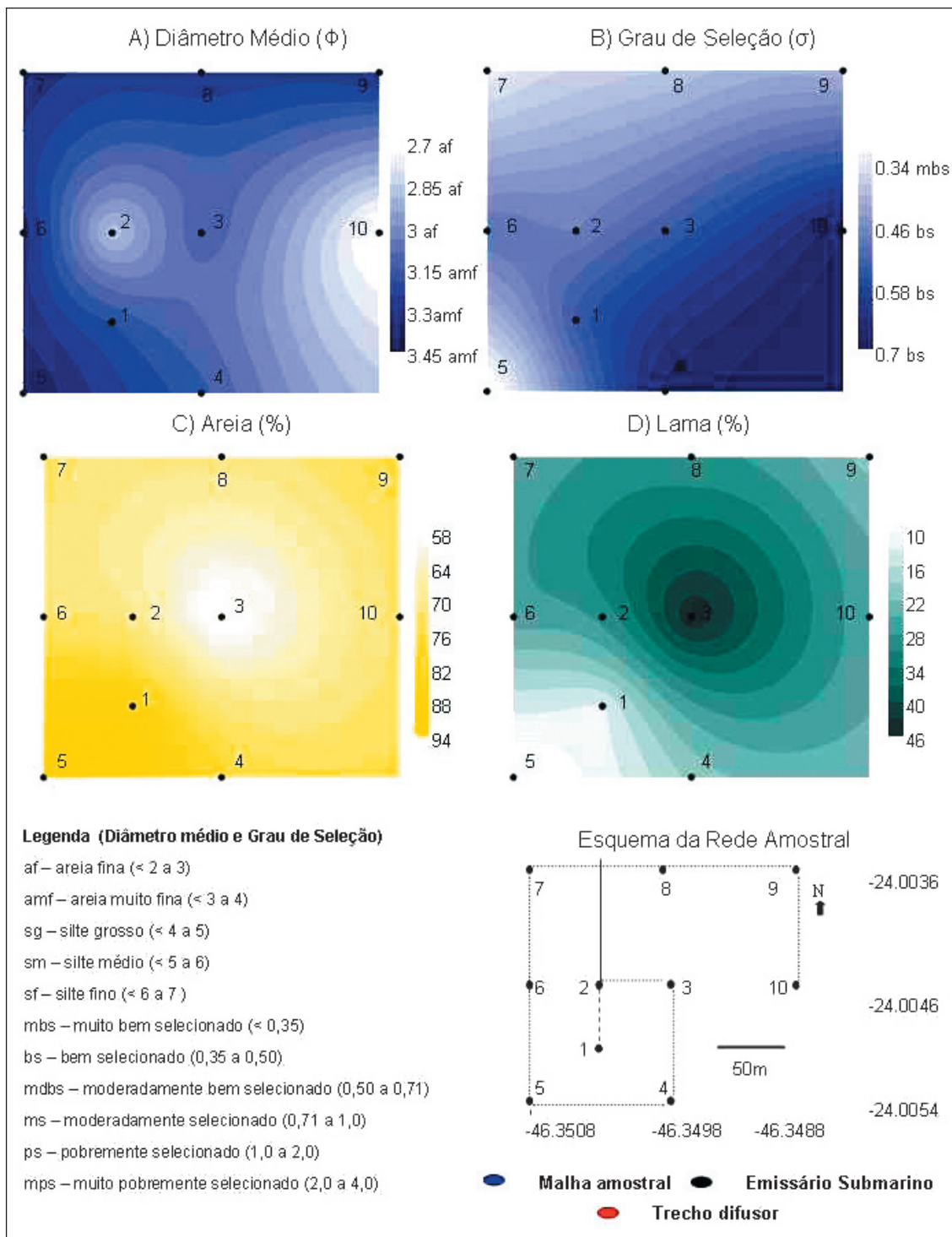


Figura 38: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (abril/2004): A) Diâmetro médio*, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

* $(\phi) = -\log_2(\text{mm})$, sendo:

CLASSIFICAÇÃO	Phi (ϕ)	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

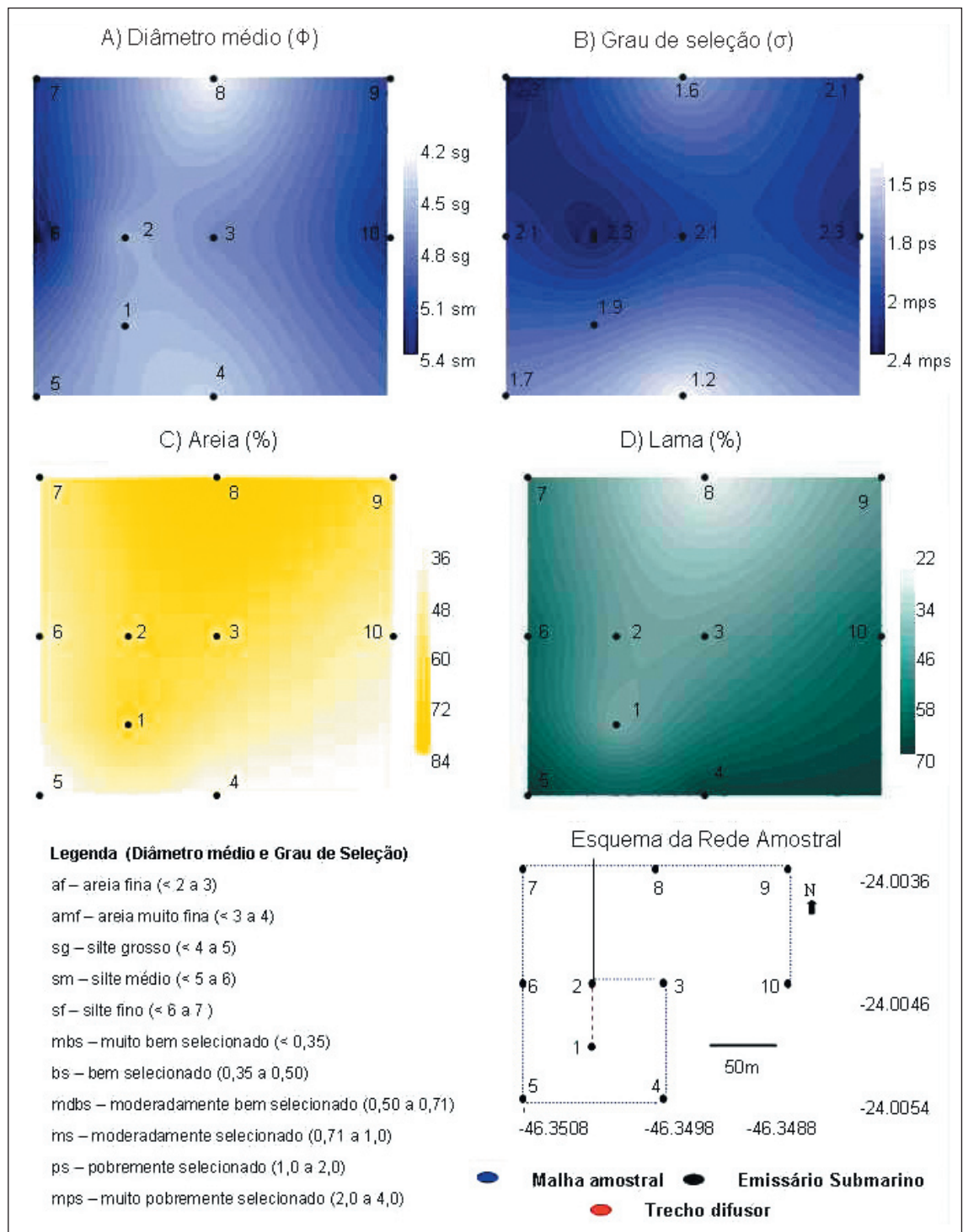


Figura 39: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjante ao emissário submarino de Santos (outubro/2004): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Em junho de 2005, a área continuava sendo dominada por sedimentos lamosos (diâmetro médio de 7 a 4). Contudo, constata-se aumento na quantidade de argila nos pontos amostrais 1 e 2. Este resultado indica diminuição da energia de fundo na região dos difusores (Figura 40). A Tabela 19 apresenta a granulometria de sedimentos da área de influência do emissário de Santos.

Tabela 19: Granulometria dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos.

Santos	GRANULOMETRIA					
	Abril/2004		Outubro/2004		Junho/2005	
	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}
Concentração máx.	92,94	46,03	84,22	69,67	59	99
Concentração min.	53,93	7,06	30,33	15,78	0,87	41
Concentração média	75,79	24,2	53,04	46,96	16,9	83

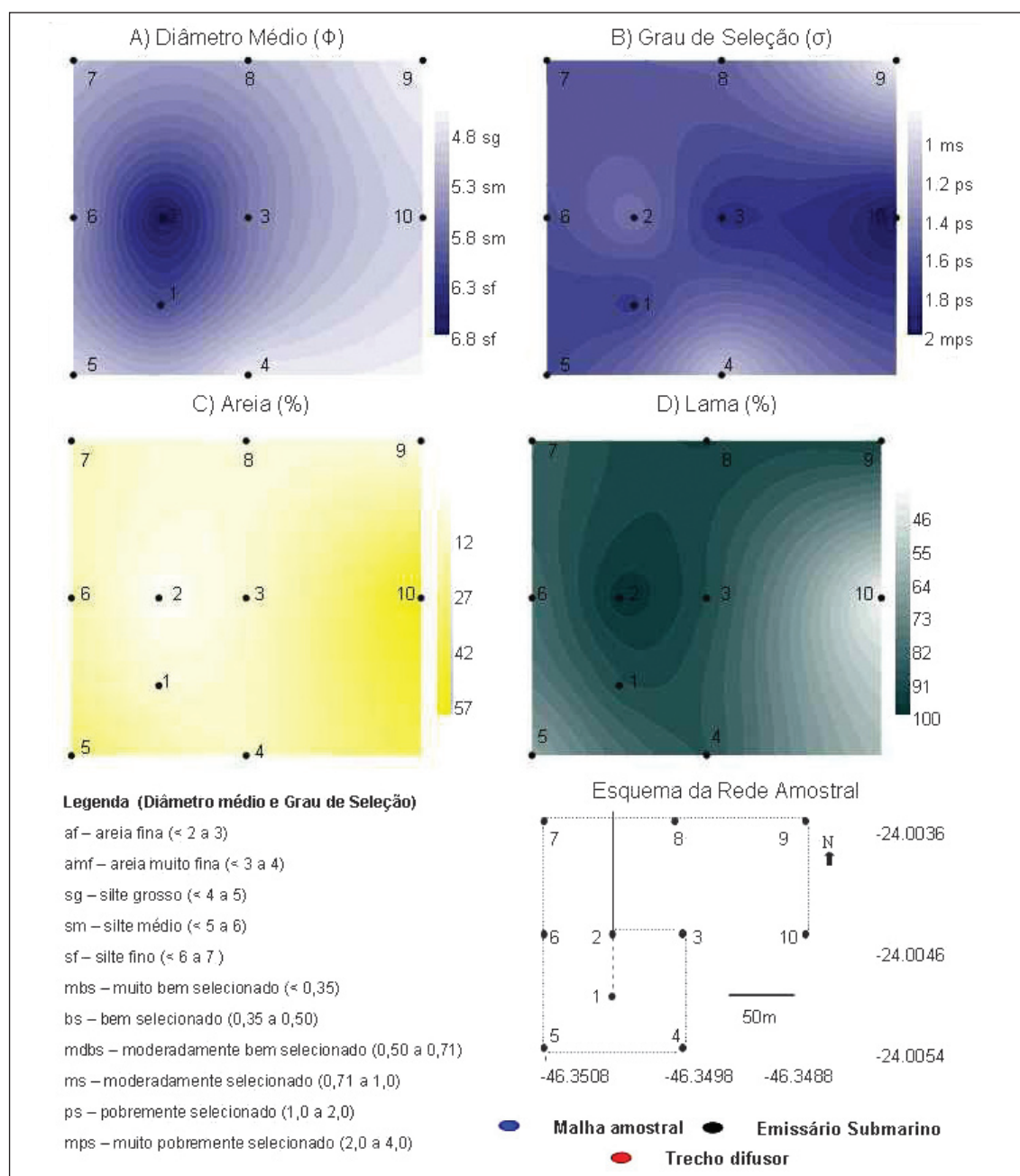


Figura 40: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (junho/2005): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Nutrientes

Abril de 2004

As concentrações de C variaram de 0,13 a 2%, as de N de 0,016 a 0,17%, as de PO de 0,003 a 0,014% e as de S de 0,047 a 0,69% (Figura 41). As maiores concentrações de C, N e PO ocorreram nos pontos 7 e 3 (C 2,00 e 1,96%; N 0,16 e 0,14%; P 0,014 e 0,0138%) e as menores concentrações de C e N na estação 1 e 5 (C - 0,13%; N < 0,016%) (Figura 41). As menores concentrações de PO ocorreram nos pontos 1 e 4 (0,0031 e 0,0032%). As maiores concentrações de S foram registradas nas estações 2 (0,50%), 3 (0,69%) e 7 (0,42%) e as menores nas estações 1 (0,014%) e 5 (0,04%) (Figura 41).

O padrão de distribuição dos nutrientes é semelhante ao padrão das porcentagens de lama, ou seja, maior deposição de MO nos locais de menor energia de fundo (Figura 38).

Os resultados das razões C/N variaram de 6 a 19 e indicam que a MO encontrada na área estudada tem origem mista, ou seja, a MO é constituída por fragmentos vegetais vasculares, provenientes da região estuarina e/ou do emissário, bem como por restos de plâncton marinho (Figura 42A). Observa-se MO de origem continental somente na estação 4 (C/N=19). Os resultados das razões C/P indicam MO de origem bacteriana para os pontos 1, 5 e 10 (valores entre 37 a 104) de origem marinha para os pontos 2, 3, 6, 7, 8 (valores entre 115 a 146) e mista para o ponto 4 (valor 255) (RUTTENBERG & GOÑI, 1997) (Figura 42B).

Já os valores encontrados para a razão C/S variam entre 1,9 a 4,8 (Figura 42C). Valores iguais e/ou inferiores a 2,9 (i.e., que indicam a presença de ambiente sub-óxico) foram observados nas estações 1, 3 e 4 (Figura 42B). O menor valor de C/S (1,9) é encontrado na estação 1, localizada na saída do emissário submarino. Este valor é muito baixo, sugerindo a presença de ambiente euxínico (TEODORO, 2006). Os demais locais estudados apresentaram baixos valores de C/S, indicando que o ambiente, em geral, tende a redutor. A Tabela 20 apresenta as concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos (abril/04).

Tabela 20: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos.

Santos	NUTRIENTES							
	Abril/2004							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	2	0,165	0,058	0,014	0,687	15	255	4,77
Concentração mín.	0,13	0,016	0,026	0,003	0,047	8	90	1,93
Concentração média	1,03	0,084	0,041	0,008	0,302	12	128	3,374

Outubro de 2004

De modo geral, as concentrações dos nutrientes obtidos em outubro são superiores às encontradas em abril. As concentrações de C variam entre 0,43 a 2,6 %, de N de 0,04 a 0,21%, de PO entre 0,004 a 0,15% e de S de 0,070 a 0,49% (Figura 43).

As maiores porcentagens de C, N e PO são observadas nos pontos 2 e 4 (C 2,6% e 2,00; N 0,18% e 0,21; P 0,014 e 0,015%) e as menores ocorrem nos pontos 8 e 10 (C 0,45 e 0,43%; N 0,05 e 0,04%; P 0,005 e 0,004%) (Figura 43). Já as maiores porcentagens de enxofre ocorreram nos pontos 5 e 7 (0,44% e 0,49%) e as menores nos pontos 9 e 10 (0,13% e 0,07%) (Figura 43).

Os valores das razões C/N indicam MO de origem mista em todos os pontos analisados (Figura 44A). As razões C/P indicam MO de origem bacteriana nos pontos 1, 3, 6, 8, 9 e 10 (razões entre 56 a 104) e marinha nos pontos 2, 4, 5 e 7 (razões entre 107 a 124) (Figura 44B). Tal diferença na origem da MO pode estar relacionada à maior variabilidade de razões C/P das plantas aquáticas e bactérias em relação às razões C/N, devido ao maior consumo de fósforo por estes organismos (RUTTENBERG & GOÑI, 1997).

Os valores das razões C/S variam entre 1,76 a 8,7. Valores inferiores a 2,99 foram observados nos pontos 1, 3, 5, 7 e 8, indicando presença de sedimentos sub-óxicos (Figura 44C).

A Tabela 21 apresenta a concentração de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos (outubro/04).

Tabela 21: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do Emissário de Santos.

Santos	NUTRIENTES							
	Outubro/2004							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	2,61	0,216	0,065	0,015	0,491	14	175	8,7
Concentração mín.	0,43	0,044	0,026	0,005	0,074	6	56	1,8
Concentração média	1,05	0,108	0,043	0,010	0,259	9	103	4,5

Junho de 2005

As concentrações de C variaram de 0,12 a 3,2%, as de N de 0,02 a 0,30%, as de PO de 0,0004 a 0,036% e as de S de 0,021 a 0,58% (Figura 45). As maiores concentrações de C (3,2%), N (0,3%) e S (0,58%) tendem a se concentrar no ponto 2, onde foi constatada a maior porcentagem de lama (99%). As maiores concentrações de PO foram observadas nos pontos 1 (0,031%) e ponto 7 (0,036%), os quais também apresentaram elevadas porcentagens de lama (90–94%). Já as menores concentrações de C (0,12%) e S (0,017%) ocorrem no ponto 8, de N (0,062%) no ponto 9 e de P no ponto 4 (0,0004%) (Figura 45).

Os resultados das razões C/N indicam que a MO encontrada na área estudada é predominantemente mista, excetuando os pontos 7 (origem marinha) e 4 (origem continental), (Figura 46A). Com relação aos resultados obtidos nas razões C/P, observa-se MO de origem marinha no ponto 2, continental no ponto 4 e bacteriana nos demais pontos (Figura 46B).

A razão C/S indica diminuição no potencial de oxi-redução dos sedimentos analisados, em relação aos períodos anteriores. Somente no ponto 7 é que foi detectada a presença de sedimento anóxicos, i.e., razão de 1,7 (Figura 46C). A Tabela 22, apresenta as concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos (junho/05).

Tabela 22: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos.

Santos	NUTRIENTES							
	Junho/2005							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	3,24	0,300	0,179	0,0358	0,580	15	1392	6,58
Concentração mín.	0,12	0,020	0,037	0,0005	0,020	4	17	1,68
Concentração média	1,07	0,102	0,098	0,0192	0,221	11	190	5,1

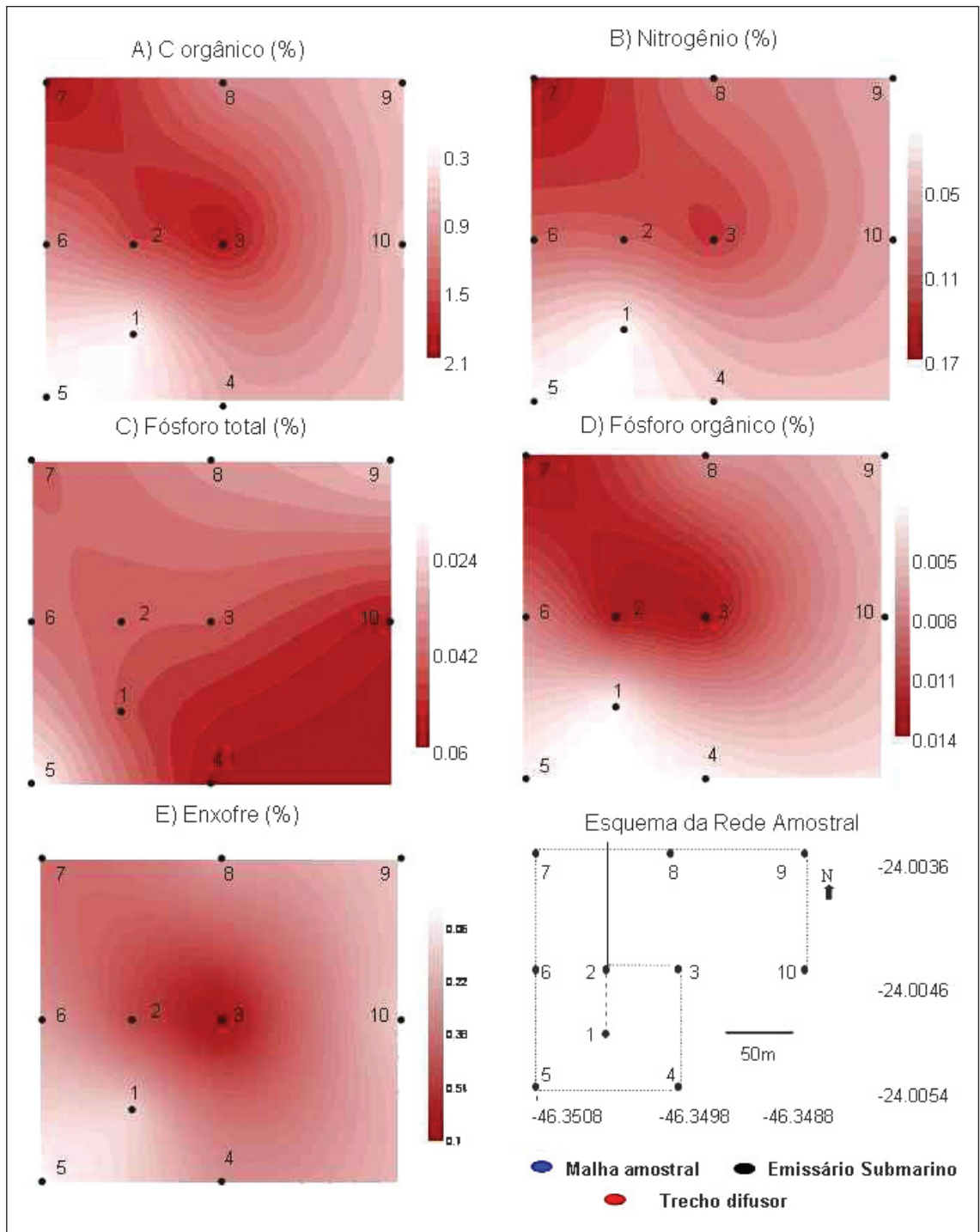


Figura 41: Mapas horizontais dos resultados geoquímicos obtidos em região circunjante ao emissário submarino de Santos (abril/2004): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de P total, D) % de P orgânico, E) % de S.

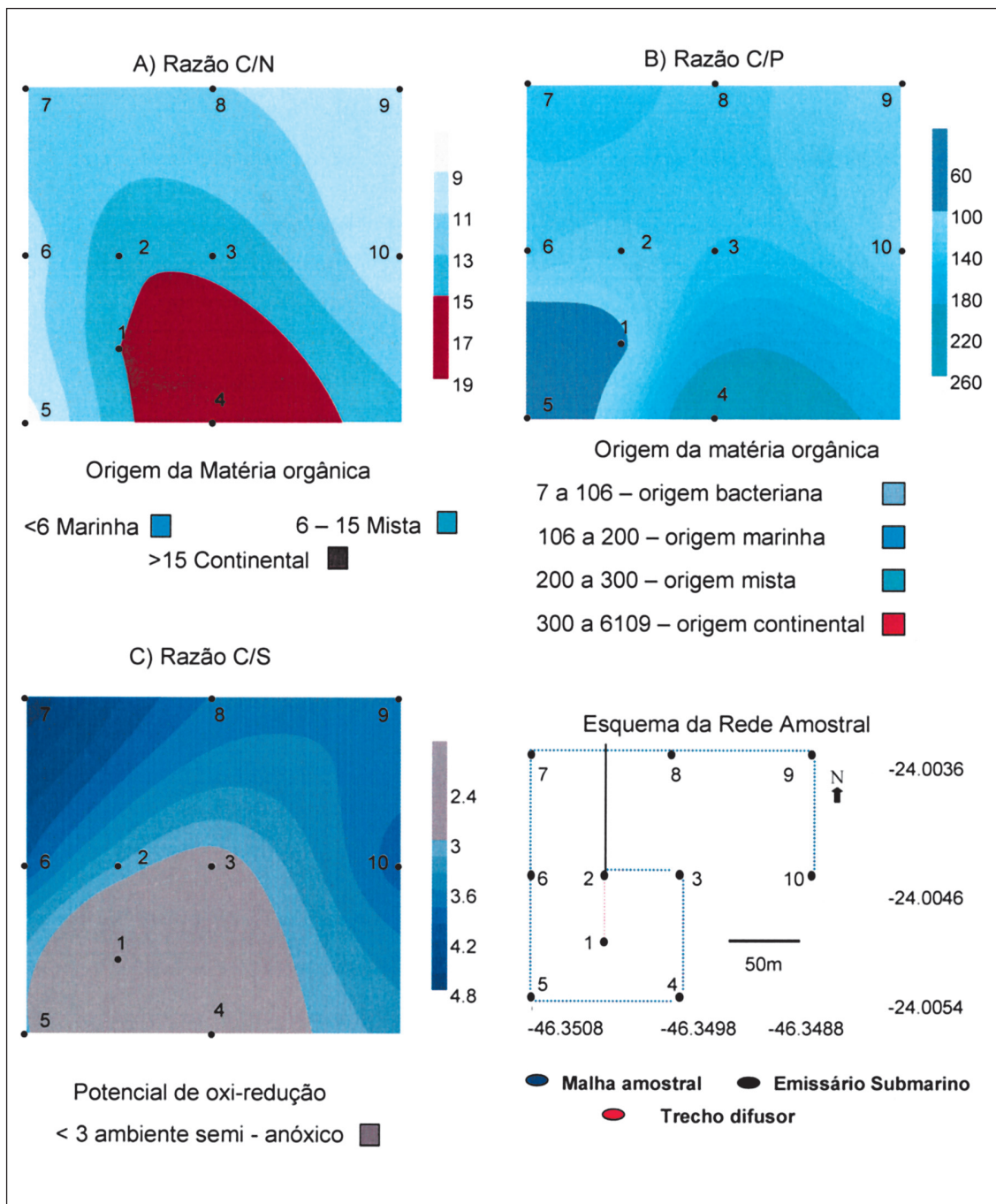


Figura 42: Mapas horizontais das razões: A) C/N, B) C/P e C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (abril/2004).

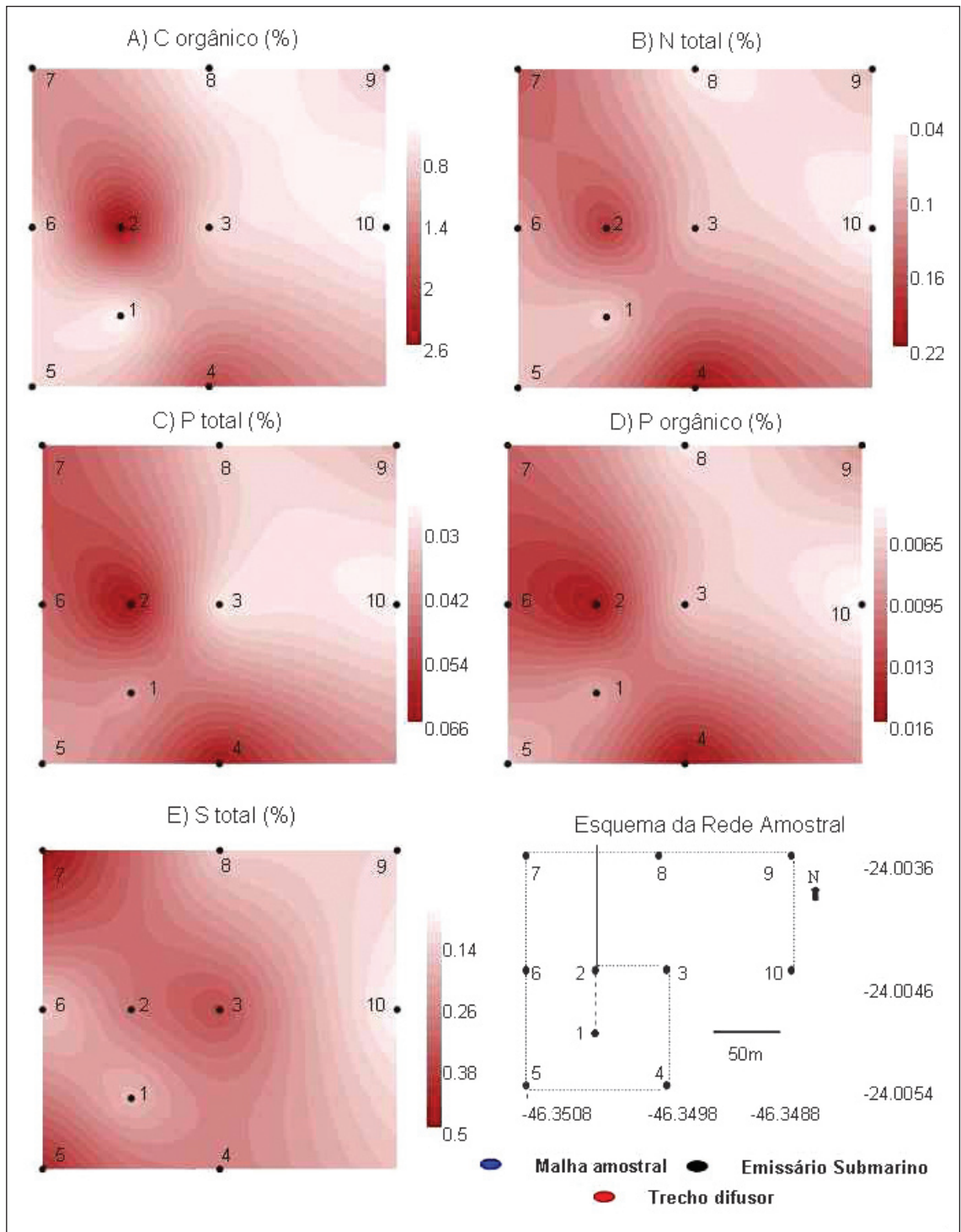


Figura 43: Mapas horizontais dos resultados geoquímicos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (outubro/2004): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de P total, D) % de P orgânico, E) % de S.

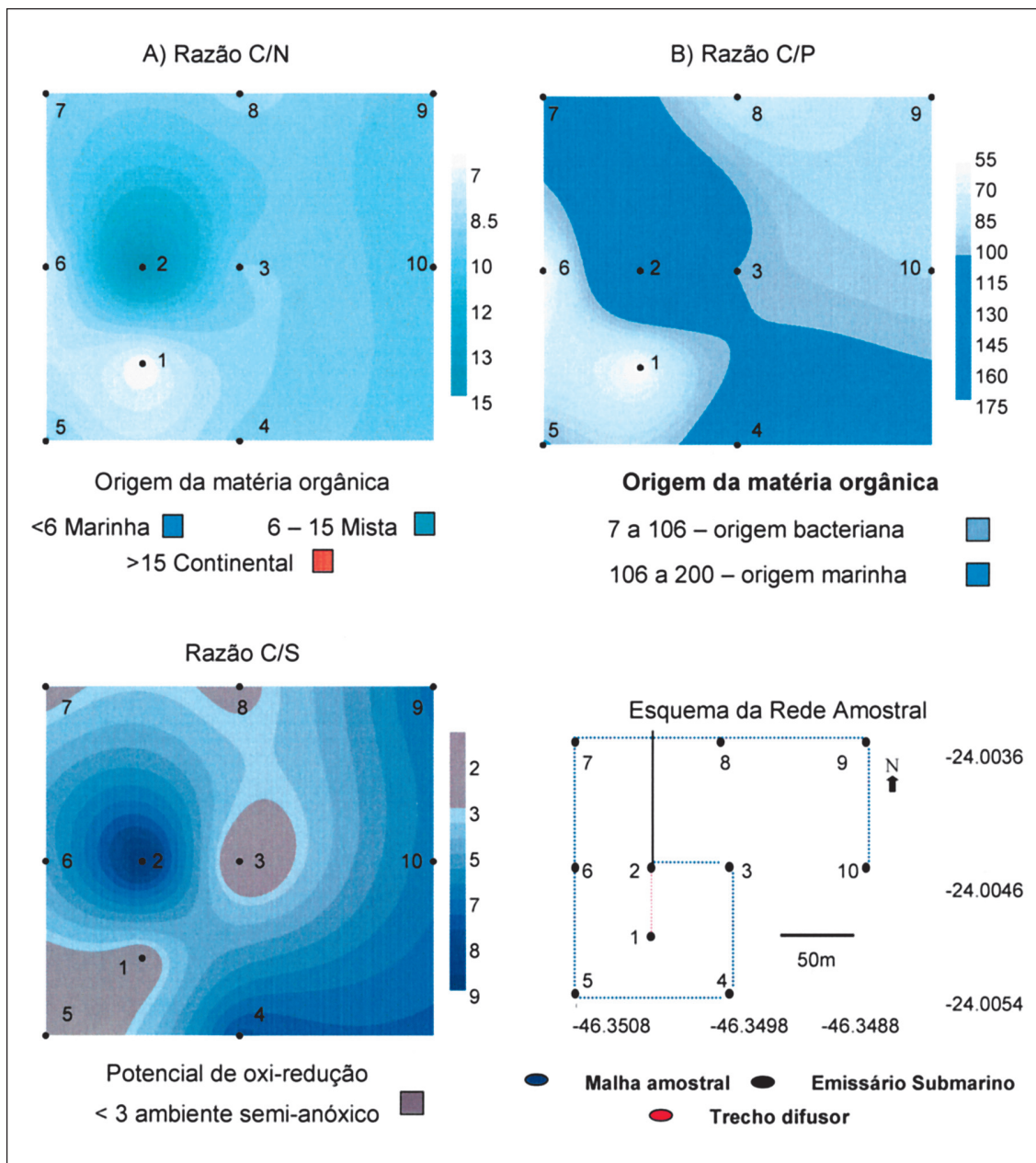


Figura 44: Mapas horizontais das razões: A) C/N, B) C/P e C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (outubro/2004).

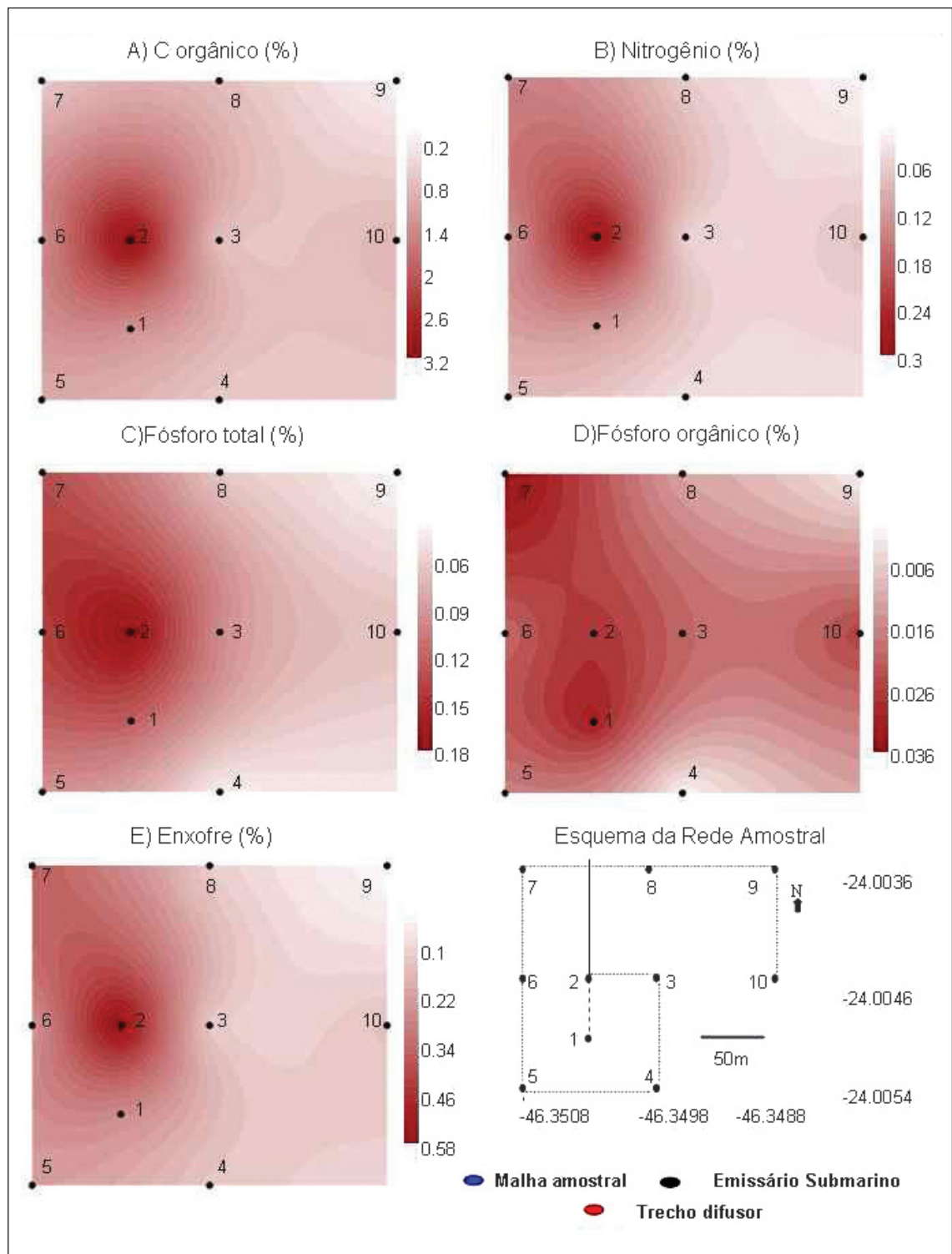


Figura 45: Mapas horizontais dos constituintes orgânicos e suas razões obtidas em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (junho/2005): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de P total, D) % de P orgânico, E) % de S.

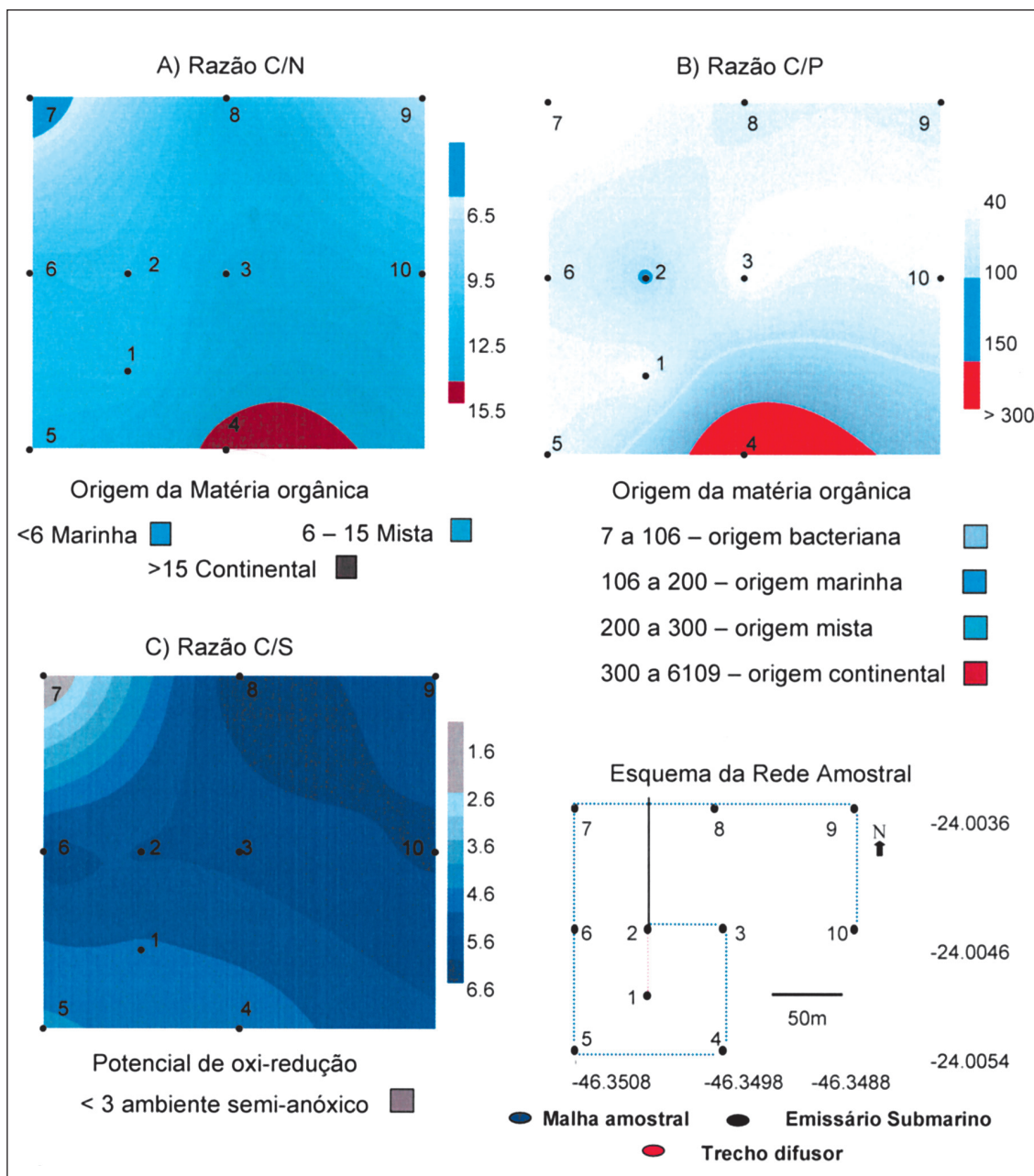


Figura 46: Mapas das razões: A) C/N, B) C/P e C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino de Santos (junho/2005).

Potencial REDOX

Os resultados de E_H determinados em 2005 variaram entre -376 a $+80$; 77% dos pontos amostrados apresentaram valores negativos (Figura 47). A faixa observada para a maioria das amostras é a de redução dos íons SO_4^{2-} , caracterizando assim ambiente entre sub-óxico e anóxico.

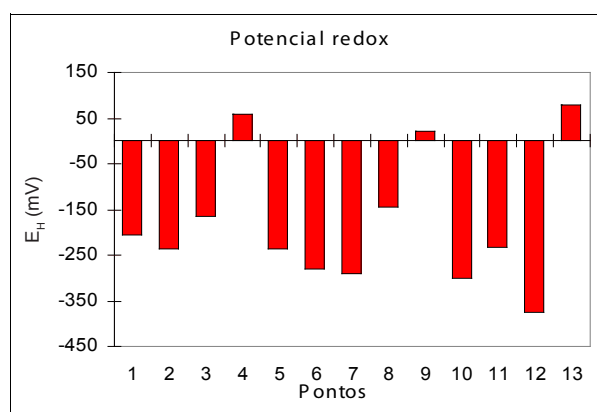


Figura 47: Valores de E_H dos sedimentos da área de influência do emissário de Santos.

Foraminíferos

Abril de 2004

Foram identificadas 25 espécies, seis gêneros, e dois tipos de formas juvenis de foraminíferos (Tabela 38). Algumas destas espécies estão representadas na Figura 48 e na Tabela 38. Foram também observadas algumas tecamebas vivas, o que indica aporte de água doce no local estudado. O número de espécies por ponto amostral (i.e., riqueza) varia de 11 a 25. O local com menor quantidade de espécies é o ponto 1 e o maior é o ponto 6 (Tabela 23) Com relação aos dados de densidade, foram retiradas alíquotas de 20 a 110 (cm^3) de sedimento corado (Tabela 23).

Tabela 23: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos coletados em Santos (abril/04).

Pontos amostrais Santos abril 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	11	16	15	17	17	25	16	14	16	16
Número de indivíduos vivos	102	106	104	102	66	123	101	104	112	135
Alíquotas de sedimento corado (cm^3)	80	50	110	100	110	80	50	100	90	20

O Ponto amostral 10, localizado a leste dos difusores, apresenta a maior densidade de foraminíferos vivos, ou seja, utilizou-se somente $20 cm^3$ de sedimento para obter 135 indivíduos. Já no ponto 5 foi necessário utilizar $110 cm^3$ de sedimento para conseguir apenas 66 indivíduos vivos. A quantidade padrão utilizada em sedimentos marinhos não impactados, geralmente, é de $10 cm^3$. Esse aumento do volume necessário permite inferir que a taxa de sedimentação e/ou o efluente lançado pelo emissário esteja prejudicando os foraminíferos.

As espécies dominantes no primeiro semestre de 2004 foram: *Ammonia tepida* e *Pararotalia cananeaensis*. Um grupo de espécies indicadoras de ambiente rico em matéria orgânica, constituído por *Buliminella elegantissima*, *Bolivina sp.*, *Pseudononion spp.*, encontra-se distribuído por toda a área estudada, com porcentagens de 10 a 35% do total da amostra. Este resultado indica que a região está enriquecida por matéria orgânica, provavelmente proveniente do emissário, além da contribuição do estuário.

Outubro de 2004

Foram identificadas 22 espécies, cinco gêneros e dois tipos de formas juvenis de foraminíferos (Figura 48). Também foram observadas algumas tecamebas. Os valores de riqueza aumentaram em relação

aos obtidos no primeiro semestre, principalmente na saída do emissário, onde foram registradas 20 espécies (Tabela 24).

A quantidade de sedimento analisado por amostra foi menor do que a utilizada no primeiro semestre de 2004, ou seja, os valores de densidade de foraminíferos vivos por cm^3 aumentaram consideravelmente, assim como o número de espécies.

Tabela 24: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos de Santos (outubro/04).

Pontos amostrais Santos - outubro 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	20	19	17	18	15	18	16	16	16	19
Número de indivíduos vivos	177	284	93	168	114	123	99	92	100	124
Alíquotas de sedimento corado (cm^3)	30	30	60	30	60	40	60	40	40	30

A espécie dominante no segundo semestre continua sendo *Ammonia tepida* e, secundariamente, *Pararotalia cananeiaensis*. Foi observado também aumento nas formas juvenis, indicando diminuição da energia de fundo. Estas formas jovens são muito pequenas ($<62 \mu\text{m}$) e só se depositam em ambientes com baixa energia. Os dados granulométricos corroboram os resultados microfaunísticos.

Junho de 2005

Foram identificadas 24 espécies, 6 gêneros, e duas formas de juvenis de foraminíferos (Tabela 25). Os valores de riqueza obtidos em 2005 foram menores do que os verificados no ano de 2004. O ponto 1, localizado na saída do emissário apresenta a maior riqueza e densidade, ou seja, 15 espécies e 188 indivíduos, respectivamente. Em contrapartida, o ponto 5, localizado a sudoeste do emissário, apresenta a menor riqueza, bem como densidade. Ressalta-se que este ponto possui sedimentos predominantemente arenosos.

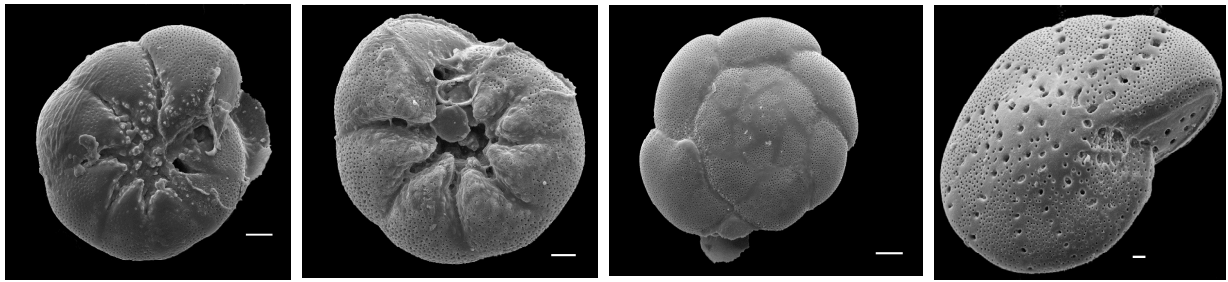
Tabela 25: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos de Santos (junho/05).

Pontos amostrais Santos - junho 2005	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	15	13	12	12	08	11	09	11	10	11
Número de indivíduos vivos	188	89	82	86	55	98	88	87	63	97
Alíquotas de sedimento corado (cm^3)	30	30	30	30	30	20	20	30	30	20

Assim como o verificado em 2004, as espécies dominantes e subdominantes continuam sendo *Pararotalia cananeiaensis* e *Ammonia tepida*.

O grupo formado por espécies indicadoras de MO apresentou significativo aumento em relação aos demais períodos. As porcentagens variaram entre 9,1 (ponto 5) a 30,7 (ponto 7). Tal resultado pode estar relacionado com o aumento de nutrientes (C, N) observado no ano de 2005.

Ao contrário do grupo acima, o número de espécies indicadoras de ambiente rico em oxigênio foi pouco significativo, sendo ausentes nos pontos 5, 6, 8 e 9.

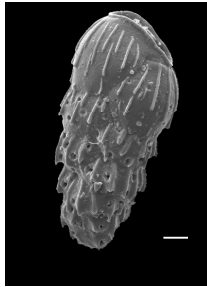


Ammonia tepida (umbilical), 20 µm

Ammonia tepida (umbilical), 20 µm

Ammonia tepida (spiral), 30 µm

Cribroelphidium discoidale, 10 µm



Bolivina pulchella, 30 µm



Brizalina striatula, 100 µm;



Brizalina striatula, 30 µm



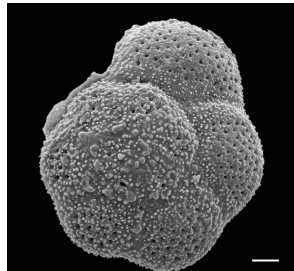
Bulimina marginata, 20 µm



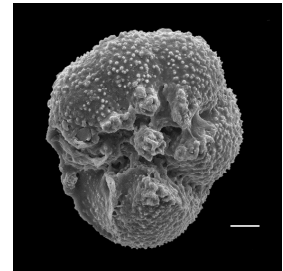
Buliminella elegantissima, 10 µm;



Buliminella elegantissima, 10 µm;



Pararotalia cananeaensis (spiral), 20 µm;



Pararotalia cananeaensis (umbilical), 20 µm

Figura 48: Fotos de algumas espécies de foraminíferos observadas nas amostras de sedimento no entorno do emissário de Santos.

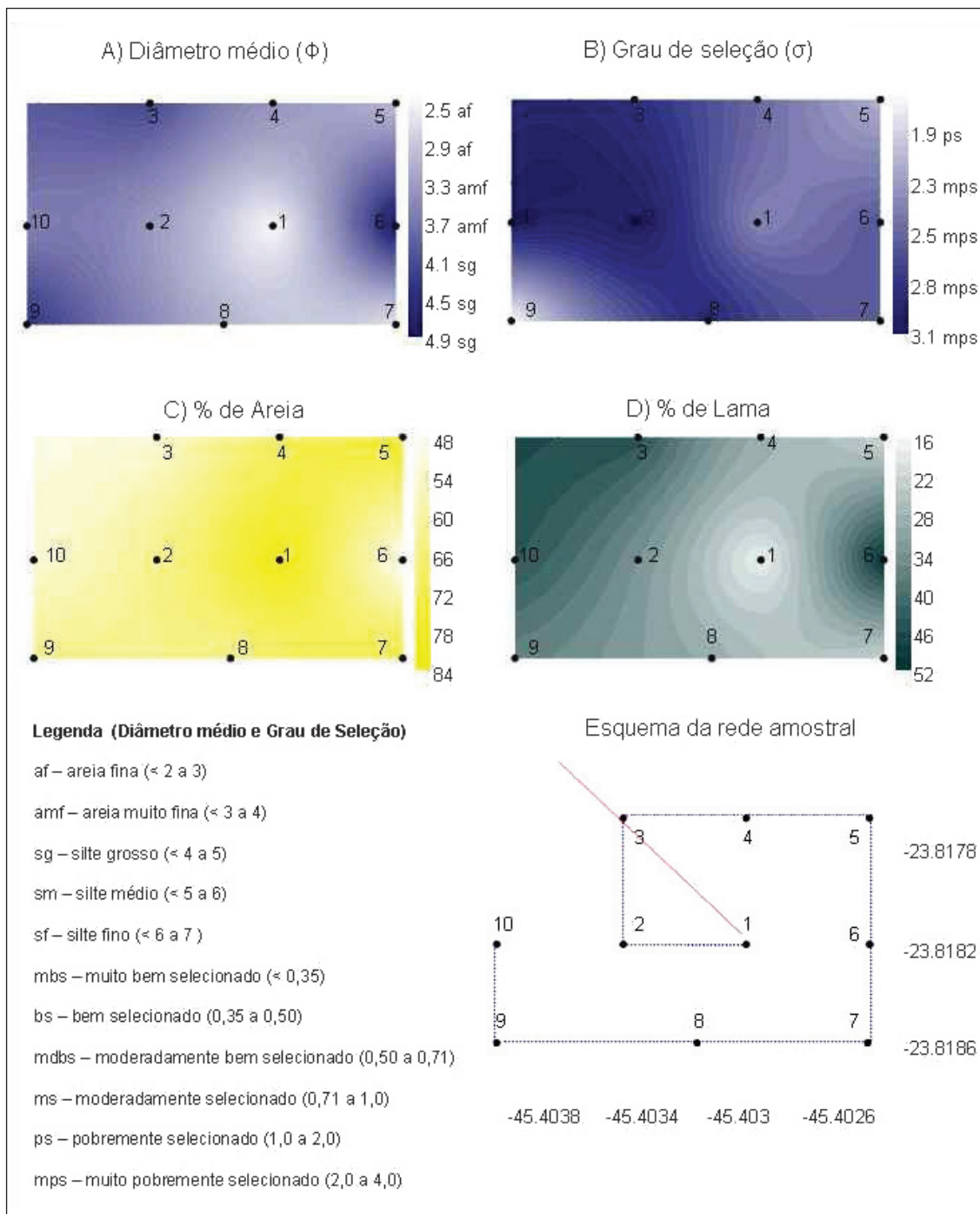


Figura 49: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Araçá (outubro/2004): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Integração dos dados sedimentológicos e microfaunísticos do emissário de Santos

Os sedimentos estudados apresentam concentrações significativas de C, N, S e P, indicando grande acúmulo de MO nas áreas circunjacentes ao emissário, principalmente no primeiro semestre de 2004 e junho/2005.

Em 2004, particularmente, os elevados valores de S e, por conseguinte, as baixas razões C/S indicam a presença de ambiente com características fortemente redutoras, com MO em avançado estágio de decomposição anaeróbia. Em 2005 observou-se aumento dos valores das razões C/S, o que pode estar relacionado com a granulometria dos sedimentos, predominantemente arenosos.

Essas características ambientais estão influenciando diretamente as associações de foraminíferos. Nota-se por exemplo, que os valores de densidade são extremamente baixos, principalmente no 1º semestre de 2004. Em várias amostras foi necessário utilizar 110 cm³ de sedimento, para conseguir encontrar alguns espécimes vivos. Já no 2º semestre, a quantidade de foraminíferos foi maior.

Em 2005, apesar de terem sido utilizados somente de 20 a 30 cm³ de sedimento para a obtenção dos foraminíferos vivos, verificou-se diminuição na riqueza, sendo a densidade formada por espécies euribiontes, adaptadas a grandes variações ambientais.

6 | 2. Emissário de Araçá

Granulometria

Outubro de 2004

A área estudada é constituída predominantemente por areia muito fina, secundariamente por areia fina e silte grosso (Figura 49A). As maiores porcentagens de areia ocorrem na região dos pontos 4, 5 e 7 (Figura 49C). Na região do ponto 1, onde estão localizados os difusores do emissário, ocorre a mais baixa porcentagem de lama (17.7%) (Figura 49D). Uma explicação para essa baixa quantidade de lama pode ser o fato de que a força do jato de lançamento do efluente dificulta a deposição de finos nas proximidades dos difusores. Esses finos, uma vez em suspensão na coluna d'água, tendem a se depositar na região dos pontos amostrais 6, 3, 9 e 10. Estes três últimos estão situados na porção mais interna da malha amostral, ou seja, estão mais próximos da linha de costa. Particularmente nos pontos 2 e 8 foi encontrada grande quantidade de cascalho biodetrítico (composto por restos de conchas).

Julho de 2005

Na maioria dos pontos amostrais ocorre areia fina ou muito fina. Somente no ponto 8 é que foi encontrada areia média e no ponto 10, silte grosso. As maiores concentrações de areia ocorrem na região dos pontos 1, 6 e 8, situados a oeste (Figura 50). Como explicado anteriormente, na região próxima aos difusores ocorre aumento da turbulência da água, que dificulta a deposição de lama. Com relação aos sedimentos mais finos, estes estão concentrados na porção nordeste da malha amostral. A partir dos resultados granulométricos obtidos nos dois períodos amostrais pode-se inferir que a energia de fundo da região amostrada tende a ser moderada a forte (na região do ponto 8). A Tabela 26 apresenta a granulometria dos sedimentos da área de influência do Emissário do Araçá.

Tabela 26: Granulometria dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá.

Araçá	GRANULOMETRIA			
	Outubro/2004		Junho/2005	
	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}
Concentração máx.	82,27	51,33	85,5	53,2
Concentração min.	48,6	17,69	46,4	11,3
Concentração média	65	33,35	63,4	22,5

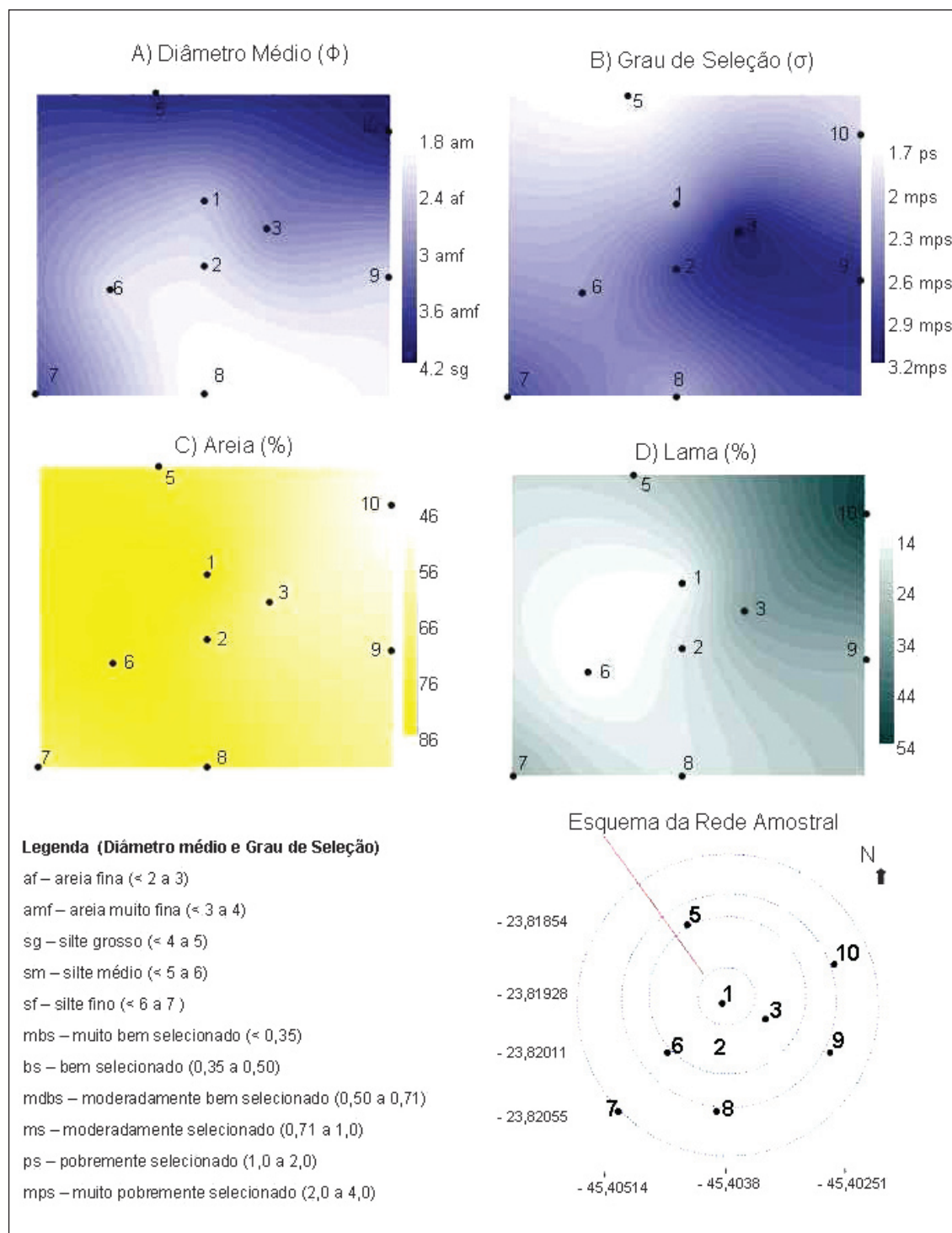


Figura 50: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Araçá (julho/2005): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Nutrientes

Outubro de 2004

As concentrações de C, N e S estão associadas aos sedimentos pelíticos, típicos de ambiente com dinâmica de fundo mais restrita (Figura 51). Por exemplo, as maiores porcentagens destes três nutrientes (C-0,96%; N-0,1%; S-0,25%) ocorrem nos pontos 3 e 6. As menores porcentagens ocorrem nos locais ricos em areia mais grossas (ponto 1). A partir do ponto 2, os valores diminuem rumo a leste e oeste.

Os resultados das razões C/N indicam que a MO de todos os pontos estudados é mista (Figura 51D). Excetuando-se o ponto 8, que apresentou sedimentos sub-óxicos (C/S = 2.3%), os demais pontos apresentaram valores que indicam a presença de sedimentos tendendo a redutor (C/S de 3.2 a 9%) (Figura 51E). As medições de EH confirmaram essas observações, tendo sido registrados sempre valores negativos dentro do intervalo de -102 a -310 mV, com média de -133 (mV). A Tabela 27 apresenta as concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá (outubro/04).

Tabela 27: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá.

Araçá	NUTRIENTES				
	Outubro/2004				
	C orgânico (%)	N total (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/S
Concentração máx.	0,96	0,105	0,253	11	9
Concentração min.	0,21	0,020	0,062	7	2,3
Concentração média	0,58	0,064	0,119	9	5,5

Julho de 2005

As porcentagens de C variaram de 0,1 a 3,4%, sendo os maiores valores encontrados nos pontos 8 e 9, ou seja, na parte externa da malha amostral. As porcentagens de N oscilam entre 0,01 (pontos 3, 6, 9) e 0,1% (ponto 8) e as de PO variam entre 0,002% (ponto 1) a 0,053% (ponto 7) (Figura 52). As concentrações de S variam de 0,085 a 0,46%, onde as maiores concentrações foram encontradas nos pontos com maiores quantidades de finos, ou seja, na porção leste da malha amostral.

Os resultados das razões C/N indicam que a MO dos pontos 2, 3, 5, 8, 9 e 10 é de origem continental; nos pontos 1 e 7 de origem marinha, e do ponto 6 de origem mista (Figura 53A). Já os resultados das razões C/P (4 a 105) indicam que a MO de todos os pontos analisados é de origem bacteriana (RUTTENBERG & GOÑI, 1997) (Figura 53B). Os valores de C/S encontrados nas regiões central e oeste são menores que 3, indicando a presença de sedimentos sub-óxicos (Figura 53C). A Tabela 28 apresenta as concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá (junho/05).

Tabela 28: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá.

Araçá	NUTRIENTES							
	Julho/2005							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	3,37	0,100	0,190	0,0530	0,460	337	105	19,94
Concentração min.	0,10	0,010	0,070	0,0020	0,090	2	4	0,84
Concentração média	0,99	0,031	0,113	0,0196	0,163	49	43	5,2

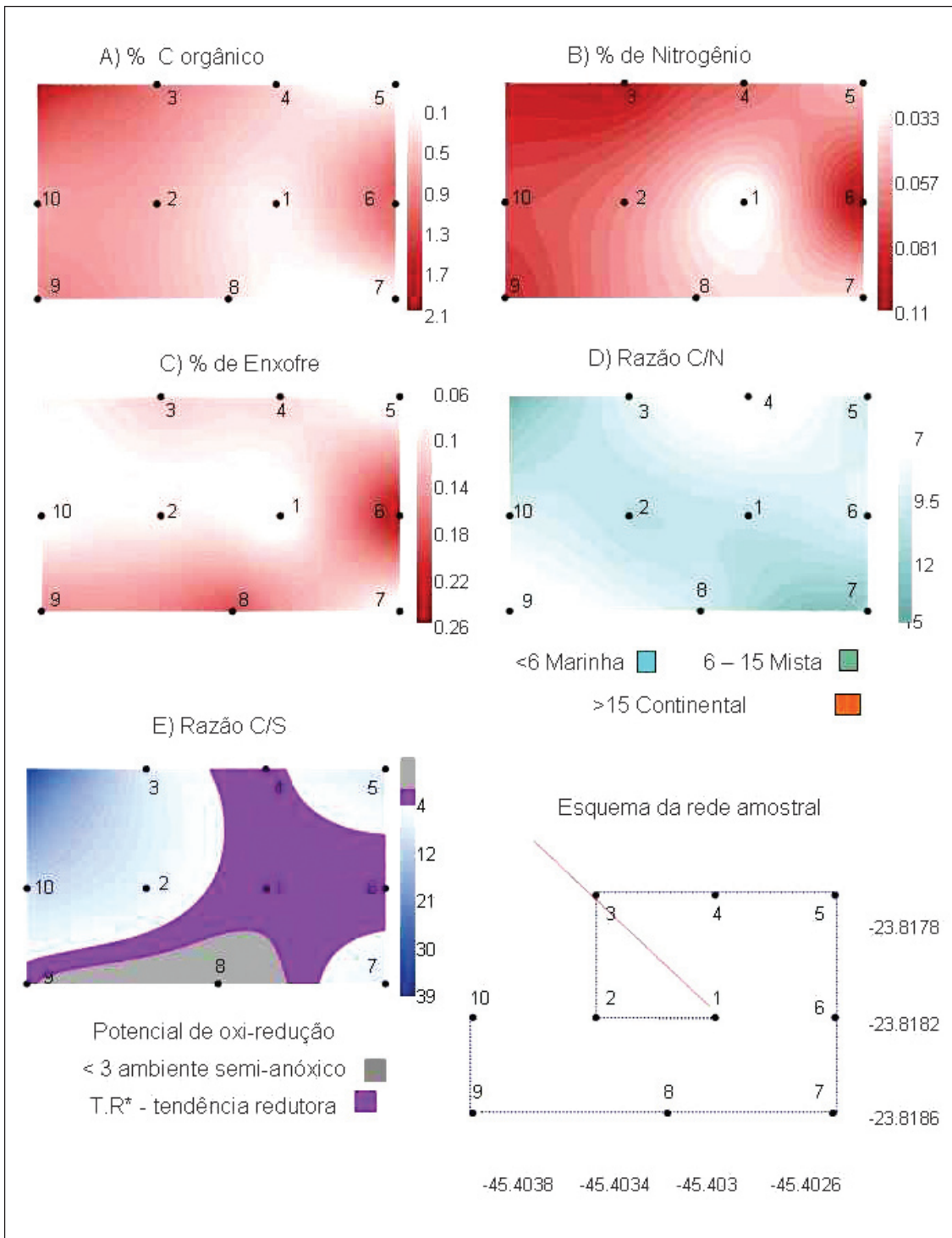


Figura 51: Constituintes orgânicos e suas razões obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Araçá (outubro/2004): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de S, D) Razão C/N, E) Razão C/S.

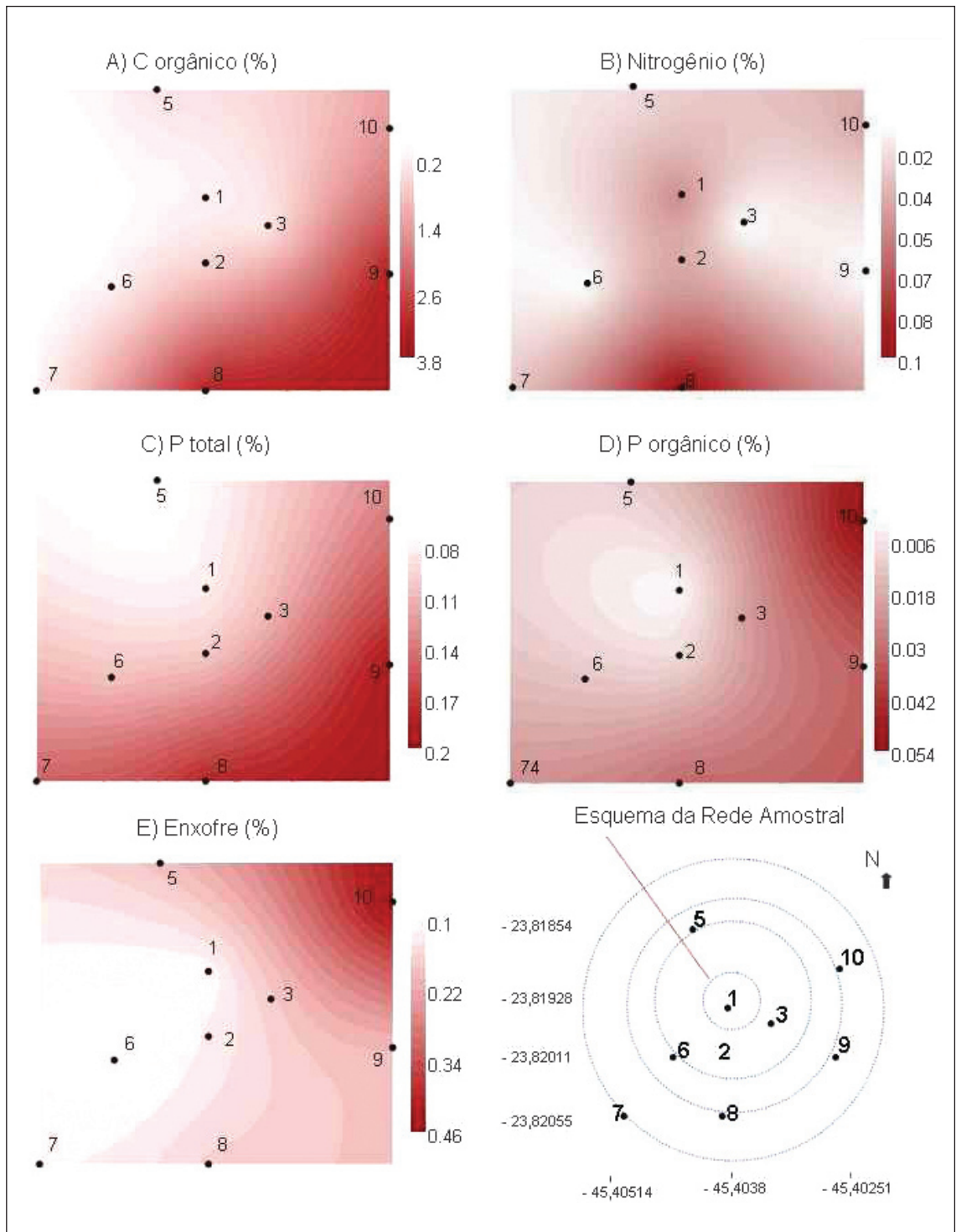


Figura 52: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjante ao emissário submarino do Araçá (julho/2005): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de P total, D) % de Fósforo, E) % de S.

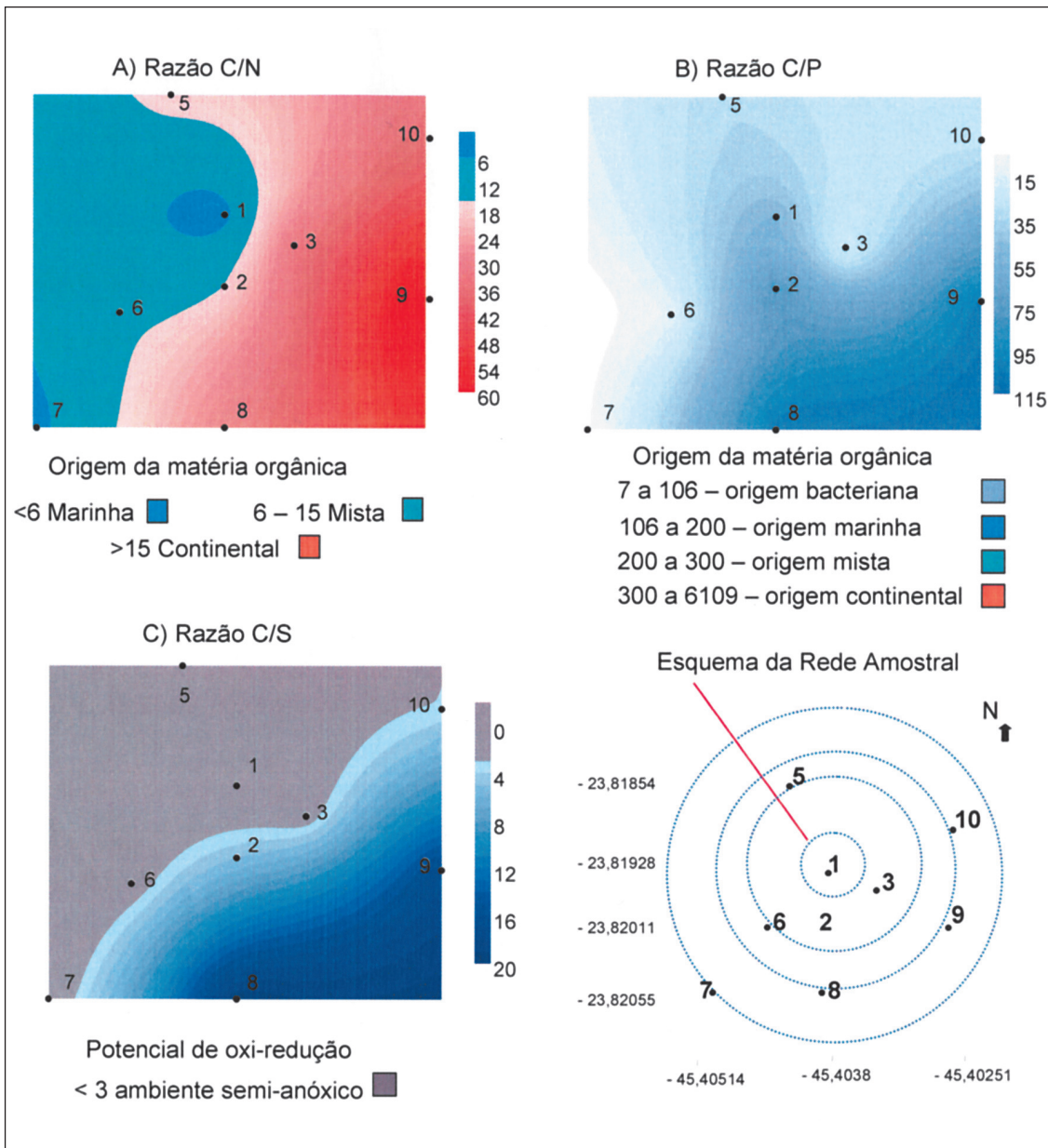


Figura 53: Mapas horizontais das razões: A) C/N, B) C/P e C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino de Araçá (julho/2005).

Potencial Redox – 2004

Os valores do potencial redox na área de influência do lançamento do emissário do Araçá nas duas amostragens de 2004 (março e outubro) foram todos negativos, variando de -17 a -310 mV. Embora não tenha sido possível realizar medições desse parâmetro em 2005, os resultados do ano anterior indicaram ambiente redutor com decomposição anaeróbia de MO (Figura 54).

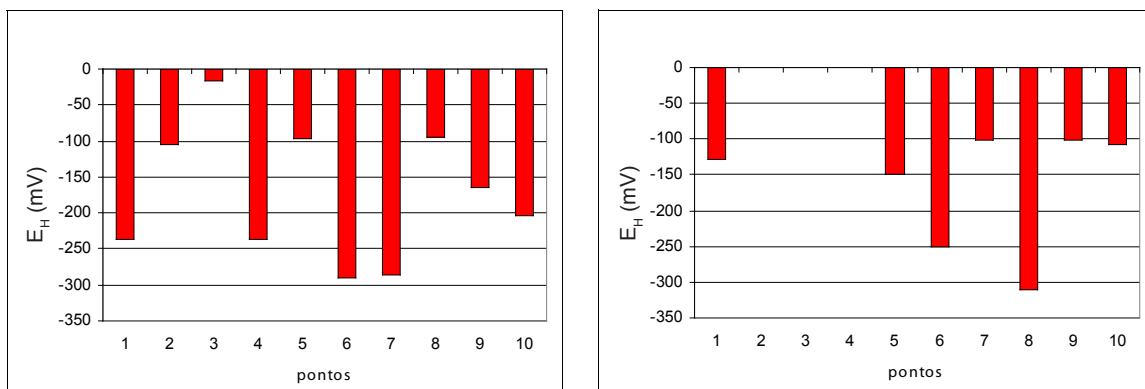


Figura 54: Valores de E_H dos sedimentos da área de influência do emissário do Araçá (mar. e out. 2004).

Foraminíferos

Outubro de 2004

Foram identificadas 24 espécies, 6 gêneros e dois tipos de formas juvenis de foraminíferos (Tabela 38). Os valores de riqueza variam de 8 (ponto 5) a 22 (ponto 2) (Tabela 29). Foram retiradas alíquotas de 20 a 60 cm³ de sedimento para encontrar uma quantidade viável de foraminíferos vivos. Os pontos 1 e 6 apresentam a menor quantidade de foraminíferos (densidade de 77 ind/50 cm³ e 98 ind/60 cm³), em contraposição ao ponto 5, de onde foram utilizados apenas 20 cm³ para obter 110 espécimes (Tabela 29).

Tabela 29: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos / quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos coletados no Araçá (outubro04).

Pontos amostrais Araçá outubro 2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	16	22	12	12	8	13	17	19	16	15
Número de indivíduos vivos	77	106	91	97	110	98	103	106	100	98
Alíquotas de sedimento corado (cm ³)	50	30	40	30	20	60	50	40	30	40

Das 24 espécies identificadas, constata-se que *Ammonia tepida* domina toda a área estudada, ocorrendo secundariamente as espécies indicadoras de ambiente rico em MO (e.g., *Bolivina spp.*, *Buliminella elegantissima*, *Pseudononion spp.*).

Julho de 2005

Foram identificadas 38 espécies, 7 gêneros, duas formas juvenis de foraminíferos (Tabela 38). Os valores de riqueza (13 a 29 espécies) e os volumes de sedimento (10 a 40 cm³, maioria 20 cm³) utilizados foram bem menores que os obtidos em 2004 (Tabela 30). Esta diferença pode estar relacionada ao padrão de distribuição granulométrico e geoquímico obtido, ou seja, em julho os sedimentos arenosos tendem a ser mais grossos, com quantidade menor de nutrientes, provavelmente, devido à circulação de fundo ter sido mais eficiente em remobilizar os sedimentos e a matéria orgânica.

Tabela 30: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos do Araçá (julho/05).

Pontos amostrais Araçá julho 2005	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	24	29	27	26	27	26	27	20	13	14
Número de indivíduos vivos	99	140	110	161	124	185	148	121	112	107
Alíquotas de sedimento corado (cm ³)	10	20	20	20	20	20	20	20	30	40

Dentre as 38 espécies, *Ammonia tepida* continua sendo a espécie dominante em todas as amostras. Secundariamente, constata-se aumento expressivo das formas epifaunais como *Lobatula lobatula* e *Rosalina floridana*. Estas duas espécies ocorrem preferencialmente em ambientes com energia de fundo moderada a forte (DULEBA et al., 2005). Estes dados estão de acordo com resultados granulométricos, que em junho mostraram aumento dos termos arenosos.

Integração dos dados sedimentológicos e microfaunísticos do emissário do Araçá

Apesar da malha amostral ser diferente nos dois períodos estudados, sendo, portanto, difícil de tecer comparações pontuais, pode-se inferir a partir do padrão de distribuição granulométrico dos dois períodos amostrais que a energia de fundo da área circunjacente aos difusores do emissário é moderada. Em 2004, foi constatada a dominância de areia muito fina e silte grosso. Já em 2005, areia fina foi dominante.

Os valores de carbono orgânico e nitrogênio foram maiores em 2004 (excetuando-se os dos pontos amostrais 8 a 10) embora a média os valores máximos tenham sido superiores em 2005. Ao passo que concentrações de enxofre foram maiores em 2005, o que possibilitou o aparecimento de sedimentos sub-óxicos em vários pontos amostrais.

Em 2004, houve uma menor quantidade de foraminíferos vivos e foram identificadas apenas 24 espécies. Em 2005, foi necessário utilizar apenas cerca de 20 cm³ de sedimento para se obter 100 foraminíferos vivos. Além disso, foram encontradas 38 espécies de foraminíferos.

6 | 3. Emissário do Tebar

Granulometria

Agosto de 2005

O mapa de distribuição do diâmetro médio revela uniformidade dos tipos sedimentológicos, predominando siltes grossos e fino, pobre a muito pobremente selecionados (Figura 55). Os siltes mais finos estão localizados nos pontos 2, 6, 7 e 10, ou seja, na parte próxima da linha de costa. A porcentagem de argila é particularmente alta nos pontos 2, 6, 8, atingindo valores superiores a 25%. Nos pontos 4 e 5, foram encontrados 5 e 13% de grânulos, respectivamente. Estes grânulos, provavelmente estão relacionados à concentração de cascalho biodetrítico encontrados nestes dois pontos. Somente no ponto 4 é que foi encontrada porcentagem de areia maior que 27%. A Tabela 31, apresenta a granulometria da área de influência do emissário do Tebar.

Tabela 31: Granulometria dos sedimentos da área de influência do Emissário do Tebar.

Tebar Agosto/2005	GRANULOMETRIA	
	Outubro/2004	
	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}
Concentração máx.	27,5	87,63
Concentração min.	0,74	67,74
Concentração média	16,72	81,45

A presença marcante de silte e argila (lama) por toda área amostral indica que a região é submetida a uma fraca energia de fundo. Esta interpretação está de acordo com vários estudos sedimentológicos realizados no CSS (FURTADO, 1995; BARCELLOS & FURTADO, 1999, 2001). Segundo estes autores, a distribuição dos sedimentos ao longo do canal está relacionada à sua geometria, topografia de fundo e circulação local. A geometria do canal, mais especificamente sua curvatura, assemelha-se a canal fluvial, apresentando margens deposicional (lado continental) e erosiva (lado insular). Portanto, as áreas onde foram construídos os emissários do Araçá e do Tebar tendem, em princípio, a acumular maior porcentagem de sedimentos finos. Contudo, a energia de fundo da região do Tebar é muito menor que a do Araçá. Por exemplo, na parte interna, situada entre a costa e a linha de esgoto do Tebar, ocorre a sedimentação de partículas muito finas (por exemplo, argila grossa).

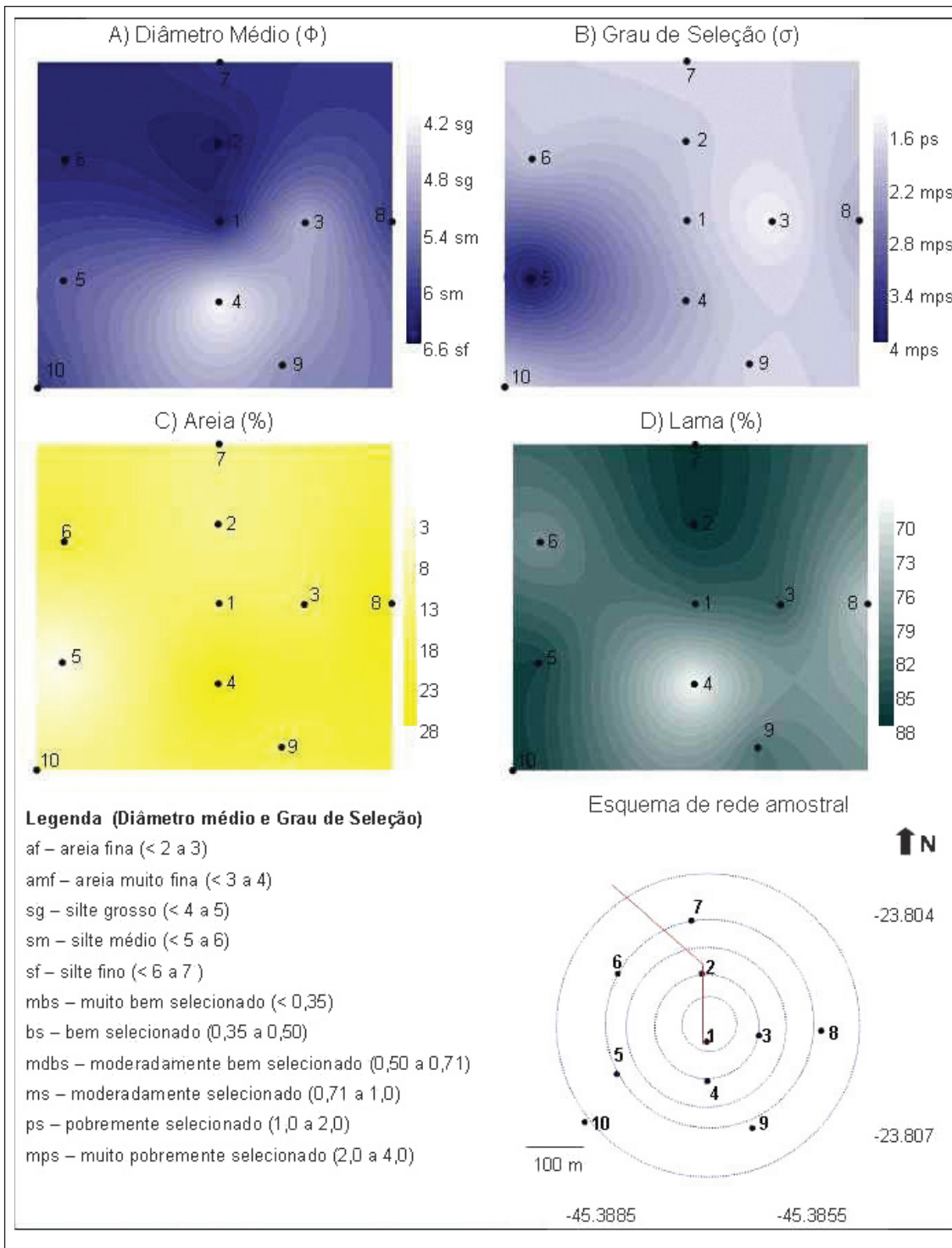


Figura 55: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Tebar (setembro/2005): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Nutrientes

As concentrações de C variam entre 1,3 a 2,3%, N de 0,12 a 0,23%, S de 0,18 a 0,5% e PO de 0,043% a 0,068% (Figura 56). As maiores porcentagens de C, N ocorrem nos pontos 1 e 7, e nos pontos 4 e 10 as maiores porcentagens de PO. Os menores valores de C, N, S são encontrados ponto 5, onde foi constatada a maior porcentagem de grânulos e de MO de origem continental.

Os valores da razão C/N indicam que a MO dos sedimentos de 9 pontos amostrais é de origem mista (i.e., constituída por componentes marinhos e terrestres). Somente no ponto 5 é que a MO é continental (Figura 57A). Os valores da razão C/P, os quais variaram entre 11 a 47, indicam que a MO é de origem bacteriana (Figura 57B).

Os valores de enxofre encontrados nos pontos amostrais 4 e 9 são mais elevados quando comparados aos encontrados nos demais pontos, bem como em sedimentos pelíticos marinhos costeiros normais (LEVENTHAL, 1983). Devido a isto, nestes dois pontos, a razão C/S indica a presença de sedimentos sub-óxicos (Figura 57C). A Tabela 32, apresenta as concentrações de nutrientes da área de influência do emissário do Tebar (agosto/05).

Tabela 32: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Tebar.

Tebar	NUTRIENTES							
	Agosto/2005							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	2,31	0,230	0,180	0,0730	0,470	15	47	7,96
Concentração min.	0,66	0,040	0,120	0,0430	0,120	9	12	3,6
Concentração média	1,76	0,170	0,145	0,0537	0,294	11	34	6,3

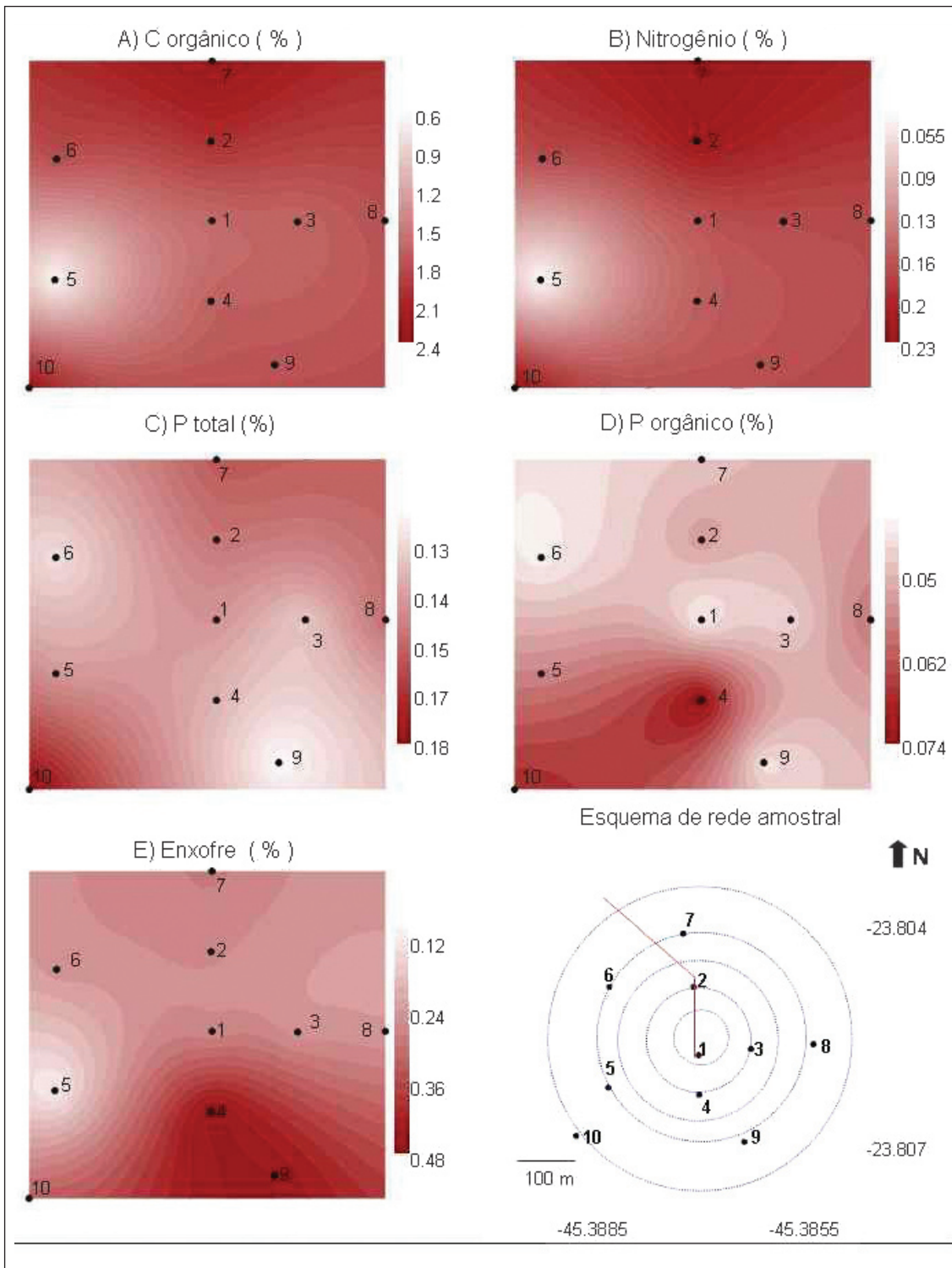


Figura 56: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Tebar (setembro/2005): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % de P total, D) % de P orgânico, E) % de S.

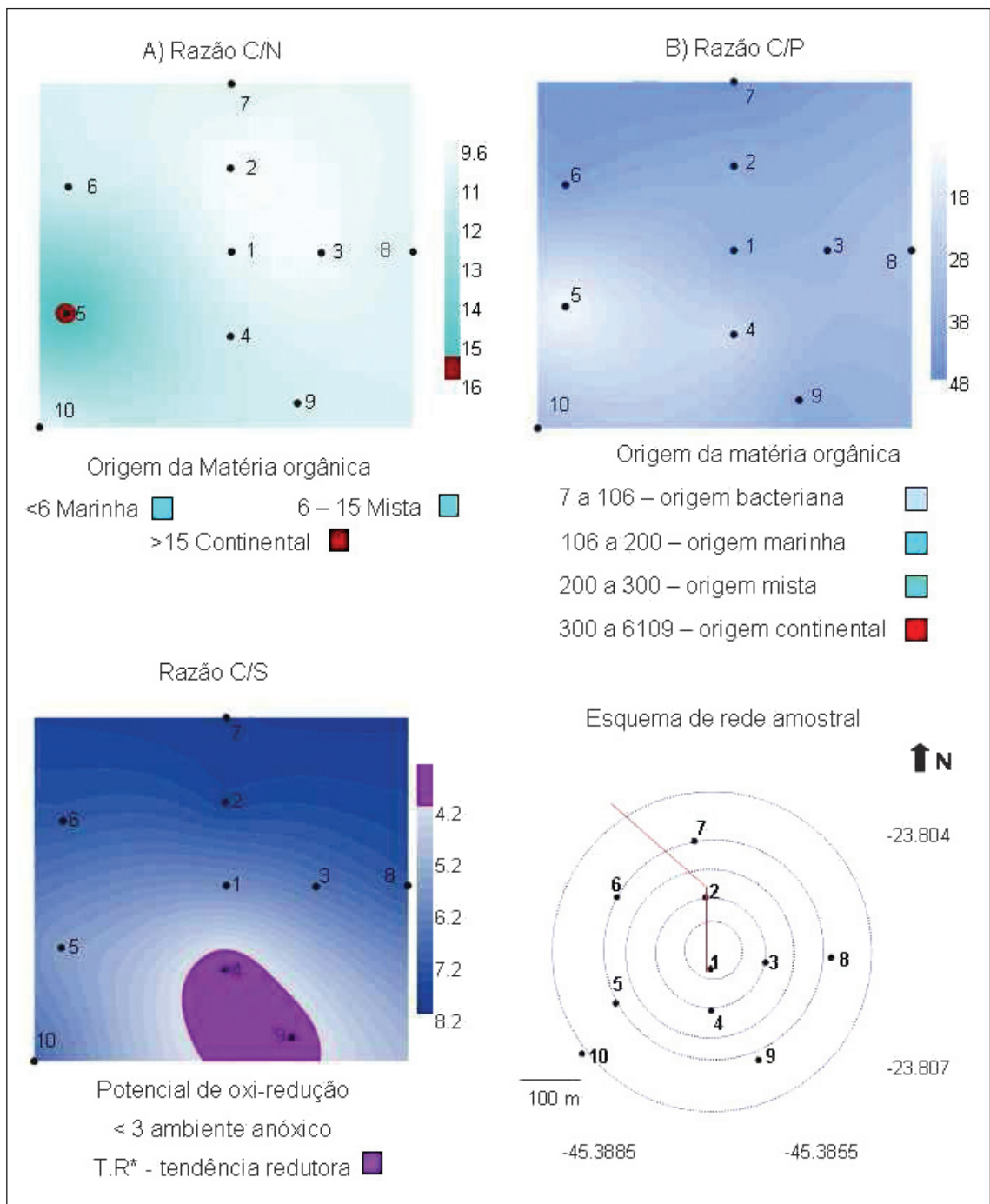


Figura 57: Mapas horizontais das razões: A) C/N, B) C/P e C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino do Tebar (setembro/2005).

Potencial Redox

O potencial redox (E_H) foi negativo em todas as amostras analisadas em 2005, de -81 a -171, valores esses considerados característicos de sedimentos com decomposição anaeróbica e altos teores de MO (Figura 58).

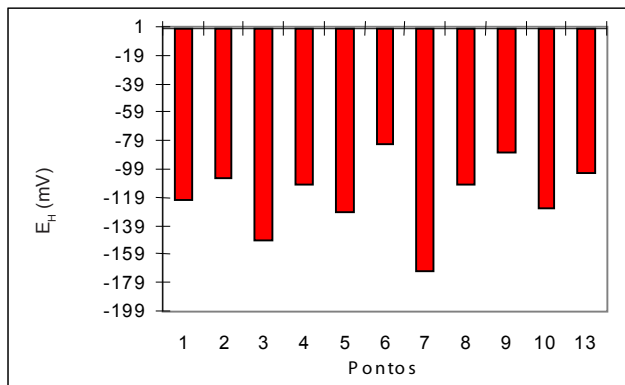


Figura 58: Valores de E_H dos sedimentos da área de influência do emissário do Tebar (2005).

Foraminíferos

Foram encontradas 34 espécies, 6 gêneros, dois tipos de formas juvenis de foraminíferos vivos e três espécimes tecamebas na região do Tebar (Tabelas 33 e 38).

Maiores densidades são encontradas nos pontos 7, 6 e 10, localizados nas regiões mais afastadas da região dos difusores. Nestes locais foram utilizadas alíquotas de apenas 40 a 60 cm³ de sedimentos. Já nos pontos, 4, 5, 3 e 8, 9 foi necessário utilizar mais de 160 cm³ de sedimento para obter a quantidade necessária de foraminíferos vivos. Esta baixa quantidade de vivos pode ser reflexo do tipo de sedimento, bem como da quantidade de poluentes concentrados. Na estação 5, por exemplo, é o ponto onde foi encontrado acúmulo de cascalho biodetrítico, ou seja, nos pontos 4 e 9 foram constatados os maiores valores de enxofre e da razão C/S; e os pontos 3 e 8 estão situados na isóbata de 30 m. O local mais rico em espécies está localizado no ponto 2, onde os valores dos nutrientes não são tão altos.

Tabela 33: Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos coletados no Tebar (agosto/05).

Pontos amostrais - Tebar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	14	18	13	18	16	14	17	18	16	18
Número de indivíduos vivos	101	128	95	102	120	115	110	89	63	146
Volume de sedimento analisado (cm3)	90	80	170	170	170	50	40	170	160	60

Os rotaliíneos são as formas dominantes, variando de 63 a 95% do total das amostras. Os miliolíneos e textulariíneos ocorrem somente no ponto 6. Tecamebas mortas estão distribuídas em quase toda a área estudada, excetuando o ponto 9, indicando transporte de água doce via emissário. Das 39 espécies identificadas, constata-se que o grupo das espécies oportunistas *Ammonia* spp. é dominante, oscilando entre 34,9 a 66,6%. Secundariamente, ocorrem *Buliminnella elegantissima* e *Pararotalia cananeaensis*.

Integração dos dados sedimentológicos e microfaunísticos do Tebar

O predomínio de lama, devido à baixa circulação de fundo na área, propicia o acúmulo não só de MO continental e/ou marinha, mas de quase todo o material poluente lançado na região.

O Tebar gera basicamente dois tipos de efluentes. Os efluentes do primeiro tipo provêm da drenagem do fundo dos tanques do terminal e dos navios, e o segundo das águas pluviais e industriais conta-

minadas com óleo (águas de incêndio, vazamento de válvulas). Cada um desses dois tipos de efluentes é encaminhado separadamente para duas linhas de esgotos: linha 1 e 2 e para ETEs. Os efluentes do tipo 1 (linha 1) recebem tratamento físico-químico, com as etapas de flotação e de adição de peróxido de hidrogênio, de ácido sulfúrico e de soda cáustica. Os efluentes do tipo 2 (linha 2) são tratados por diferença de densidade nos Sistemas de Separação de Águas Oleosas (SAO). Posteriormente, estes dois tipos de efluente são misturados, antes de serem enviados para o emissário.

Como a área amostral apresenta uma baixa energia de fundo, e considerando a alta densidade do efluente em função de sua salinidade elevada, essa pluma tende a se concentrar nos sedimentos lamosos. A partir dos resultados sedimentológicos obtidos, pode-se inferir que a região situada no entorno da linha sul desse emissário apresenta altas concentrações, e que o tratamento realizado pelas ETEs, não está sendo eficiente o suficiente para remover os nutrientes. Esse enriquecimento por C, N, S, P está afetando diretamente a microfauna bentônica, comprometendo densidade e a riqueza das comunidades de foraminíferos.

6 | 4. Emissário Saco da Capela

Granulometria

Setembro de 2005

A região estudada é constituída por sedimentos arenosos muito finos a grossos (Tabela 34). As maiores concentrações de areia ocorrem nos pontos 5 (96%), 6 (91%) e 11 (93%), localizados, respectivamente, a norte, nordeste e leste da saída do emissário submarino. Grânulos também foram observados, porém somente nos pontos 2 (13,82%), 6 (7,21%) e 8 (7,94%). As maiores porcentagens de lama (silte e argila) ocorrem em maior concentração nas regiões oeste (ponto 9 – 47%) e noroeste (ponto 10 – 25%), indicando diminuição do fluxo hidrodinâmico nessas regiões (Figura 59).

Tabela 34: Granulometria dos sedimentos da área de influência do emissário do Saco da Capela.

Saco da Capela Setembro/2005	GRANULOMETRIA	
	Areia (%)	Lama (%) {silte+argila}
Concentração máx.	95,7	46,8
Concentração mín.	53,2	1,37
Concentração média	82,5	14,5

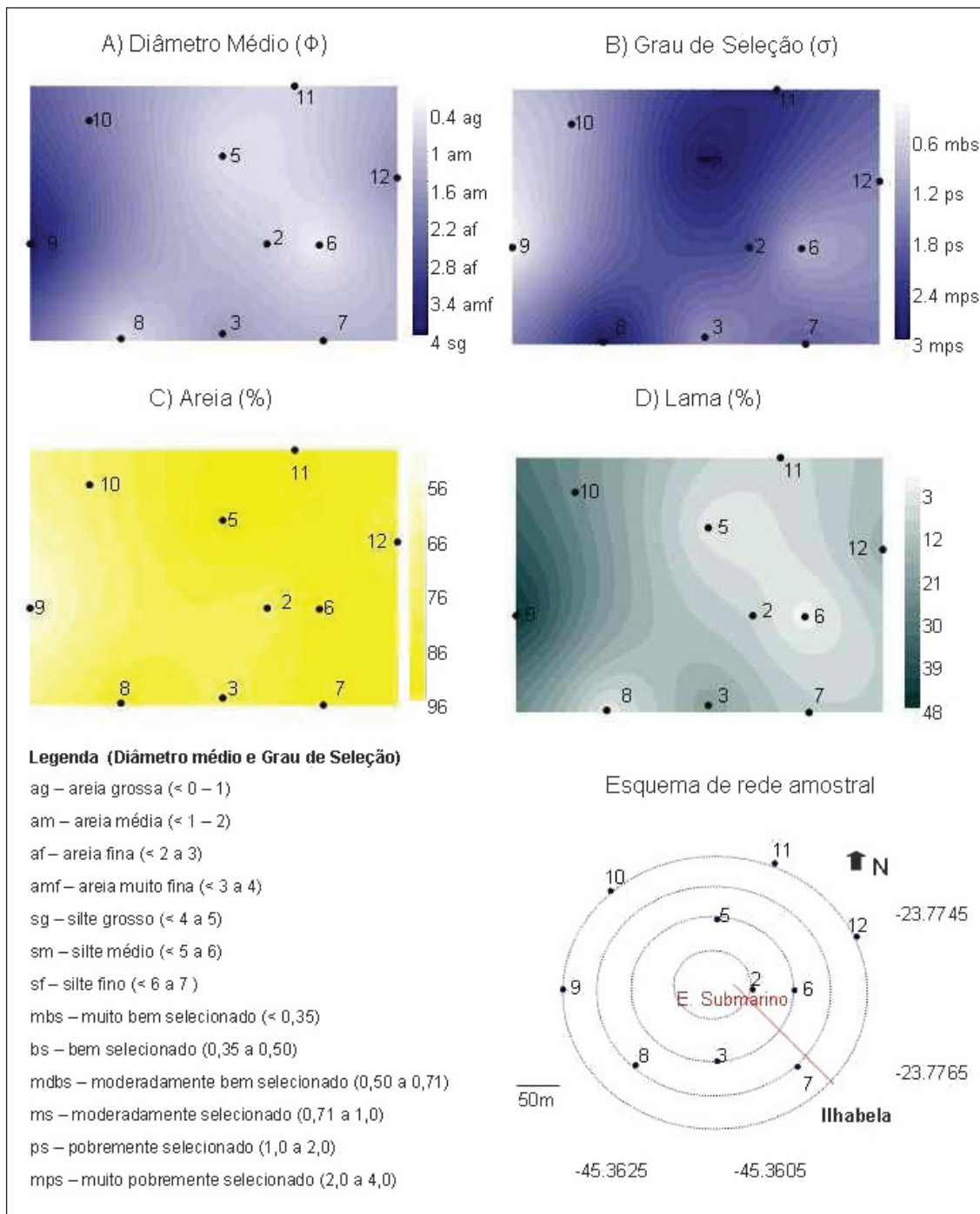


Figura 59: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Saco da Capela (setembro/2005): A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção, C) % de Areia, D) % de Lama.

Nutrientes

Concentrações de C são observadas em todos os pontos amostrais com variação de 0,15 a 2,27%. Os maiores níveis ocorreram nos pontos localizados ao norte (ponto 5: 2,3%) e oeste (ponto 9: 1,7%) do emissário submarino. As menores concentrações ocorrem nos pontos 2 (0,57%) e 6 (0,15%), posicionados a leste, antes da saída do emissário (Figura 60).

As concentrações de N variam de 0,01 a 0,1%. A maior porcentagem ocorreu no ponto 11 (0,1%) e as menores (0,01%), por quase toda a rede amostral (Figura 60). As concentrações de fósforo orgânico variaram entre 0,00034 a 0,01112%. As maiores porcentagens são observadas nos pontos 1 e 2, ambas com 0,01112% e a menor no ponto 9.

Os valores das razões C/N (3–168) indicam a predominância de MO de origem continental, ou seja, presença de restos de vegetais vasculares, o que pode ser decorrente tanto do efluente disposto pelo emissário, como pela proximidade deste com a linha de costa. O emissário do Saco da Capela, apesar de estar posicionado a 24 m de profundidade, encontra-se somente a 220 m da praia. A MO de origem marinha é observada na estação 6, sendo observada na estação 9, de origem mista, ou seja continental e marinha (Figura 61A). Por meio dos resultados das razões C/P, verificou-se MO de origem bacteriana (pontos 2, 6 e 7), marinha (pontos 3 e 8), mista no ponto 10 e continental nos pontos 5, 9, 11 e 12 (Figura 61B).

As concentrações de enxofre variam de 0,003 a 0,16%. Os valores da razão C/S indicam a ocorrência de sedimentos aparentemente livres de impacto, com características não redutoras (Figura 61C). A Tabela 35, apresenta as concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do Emissário Saco da Capela (setembro/05).

Tabela 35: Concentrações de nutrientes dos sedimentos da área de influência do emissário do Saco da Capela.

Saco da Capela	NUTRIENTES							
	Setembro/2005							
	C orgânico (%)	N total (%)	P total (%)	P orgânico (%)	S total (%)	Razão C/N	Razão C/P	Razão C/S
Concentração máx.	2,27	0,100	0,093	0,0111	0,163	168	6676	237
Concentração min.	0,15	0,010	0,033	0,0003	0,003	3	51	4,29
Concentração média	1,11	0,029	0,060	0,0052	0,064	79	1331	42,35

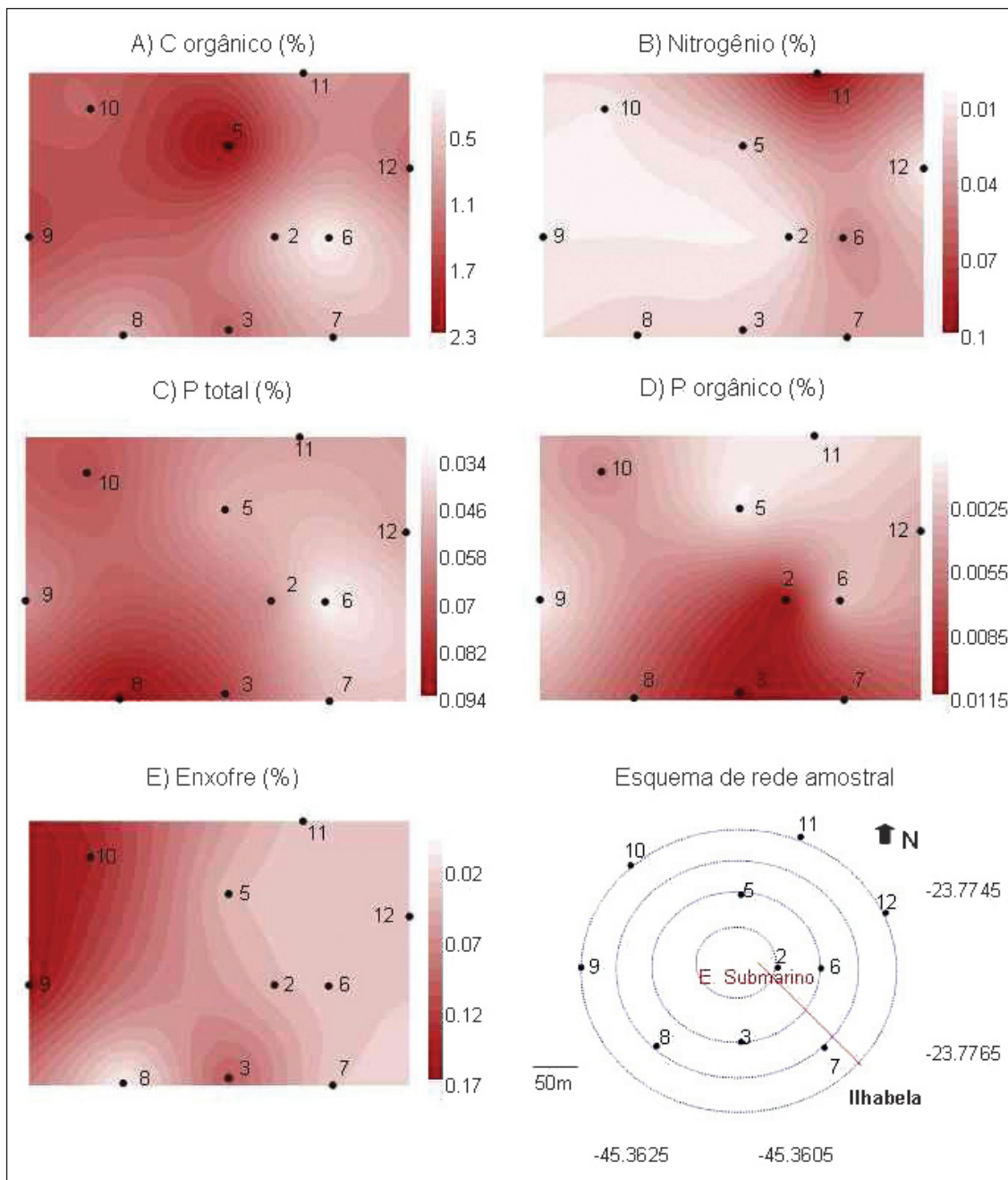


Figura 60: Mapas horizontais dos resultados granulométricos obtidos em região circunjacente ao emissário submarino do Saco da Capela (setembro/2005): A) % de C orgânico, B) % de N, C) % P total, D) % de P orgânico, E) % S.

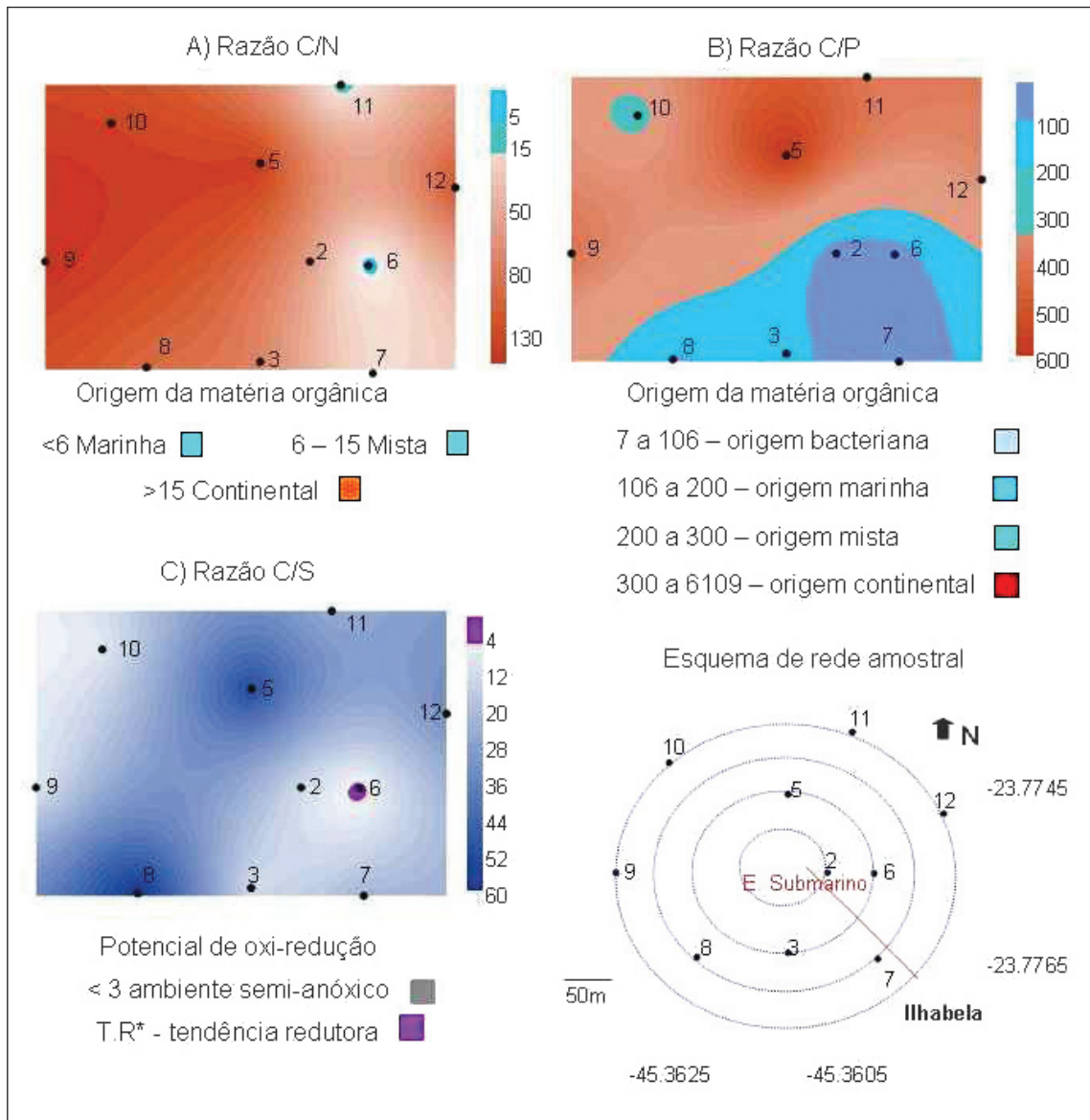


Figura 61: Mapas horizontais das razões: A) C/N, B) C/P e C) C/S obtidas em região circunjacente ao emissário submarino do Saco da Capela (setembro/2005).

Potencial Redox

O potencial redox (E_H) variou entre -115 a $+218$ mV, apresentando apenas 4 pontos com valores negativos – indicadores de ambiente redutor. Analisando esses resultados em conjunto com os de carbono orgânico total (1,11%) e porcentagem de MO (2,0%) pode-se dizer que esse ambiente não se caracteriza como um ambiente redutor e que aparentemente não está havendo acúmulo de MO nessa região (Figura 62).

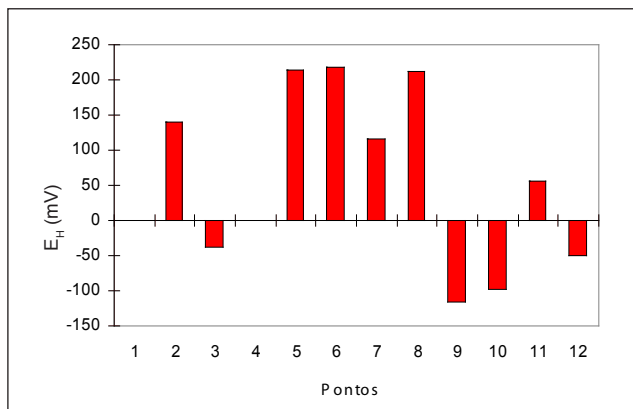


Figura 62: Valores de E_H dos sedimentos da área de influência do emissário de Saco da Capela.

Foraminíferos

Foram encontradas 52 espécies de foraminíferos vivos na região do Saco da Capela. Este valor é muito maior que os obtidos nas regiões do Araçá, Cigarras e Tebar. Maiores valores de riqueza são observados nos pontos 3 e 7, localizados ao sul e sudeste da saída do emissário submarino. O menor valor de riqueza, por sua vez, ocorre no ponto 9, localizado a oeste do emissário (Tabela 36). A maior densidade é observada no ponto 3, onde foram utilizados 60 cm^3 de sedimento para obtenção de 116 indivíduos, ocorrendo o contrário nos pontos 9 e 10, onde foi necessário utilizar 100 cm^3 de sedimento para obtenção de 62 indivíduos (Tabela 36).

Tabela 36. Dados de riqueza (nº de espécies) e de densidade (nº de indivíduos/quantidade de sedimento utilizado) dos foraminíferos do Saco da Capela (setembro/05).

Pontos amostrais – Saco da Capela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de espécies	*	23	28	*	20	21	28	19	16	20
Número de indivíduos vivos	*	103	116	*	103	99	99	86	62	62
Volume de sedimento analisado (cm^3)	*	70	60	*	100	80	70	70	100	100

Obs.: * Não amostrado.

Os grupos das espécies indicadoras de ambiente rico em oxigênio são dominantes em todos os pontos amostrais posicionados próximo à saída do emissário submarino Saco da Capela, ocorrendo o contrário com o grupo das espécies indicadoras de ambiente rico em MO que foi observado em maior número nos pontos 9, 10 e 11, posicionados na parte mais externa da rede amostral. Tal resultado possui distribuição semelhante ao observado nos resultados granulométricos, ou seja, as maiores concentrações do primeiro grupo estão localizadas em regiões com sedimentos predominantemente arenosos e as do segundo grupo, em pontos onde existe maior concentração de lama.

Integração dos dados sedimentológicos e microfaunísticos do Saco da Capela

Diferentemente do padrão sedimentológico encontrado ao redor dos emissários posicionados no lado continental (i.e., emissários do Araçá, Tebar, Cigarras), a região do Saco da Capela é constituída predominantemente de areia média a grossa (excetuando os pontos 9 e 10). Os sedimentos dos pontos 1 e 4, foram 100% cascalhosos, motivo pelo qual não foi possível amostrá-los com pegador tipo Pe-

tersen. Esses resultados granulométricos indicam claramente que a região é submetida a forte energia de fundo. Conforme citado anteriormente, a curvatura do CSS se assemelha a um canal fluvial, com margens deposicional (lado continental) e erosiva (lado insular). O eixo do canal está deslocado para o lado insular, onde ocorrem correntes com velocidades de até 1,0 m.s⁻¹ para o norte e 0,7 m.s⁻¹ para o sul, (FUNDESPA, 1999).

Devido a esse padrão hidrodinâmico, as concentrações dos nutrientes C, N, S são baixas. Somente no ponto 5, as concentrações de C e de S encontradas foram ligeiramente elevadas (2,27 e 0,047, respectivamente), indicando a presença de MO em decomposição, proveniente do emissário. Contudo, em termos comparativos, constata-se que o maior valor de enxofre do Saco da Capela é cerca de dez vezes menor que aqueles encontrados no Tebar e no Araçá.

Todas essas características sedimentológicas estão influenciando diretamente a composição das associações de foraminíferos do Saco da Capela. Por exemplo, as espécies do Saco da Capela são diferentes das encontradas no lado continental do CSS, havendo predominância de espécies da epifauna, de vida livre ou incrustante, ou seja, formas adaptadas a maior energia de fundo (Tabela 38). A baixa quantidade de foraminíferos oportunistas (por exemplo, *Ammonia* spp.) e de espécies típicas de ambientes ricos em MO sugere que o efluente ao ser disposto no mar pelo emissário é rapidamente dispersado devido ao forte hidrodinamismo local.

6 | 5. Qualidade dos sedimentos - Considerações gerais

Emissário de Santos

Como já comentado no “Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas no Estado de São Paulo de 2004”, o sedimento dessa região apresenta características biogeoquímicas que indicam acúmulo de materiais oriundos do emissário, cuja natureza é predominantemente orgânica e em intensa decomposição anaeróbia.

Os resultados obtidos em 2005 confirmaram essa observação. A análise granulométrica dos sedimentos da baía de Santos na região de lançamento do efluente do emissário mostra a presença significativa de finos em sua composição. Os resultados de E_H foram na sua maioria negativos e chegaram a -376 mV, típico de ambientes em avançado estágio de decomposição.

Desse modo, e levando-se em conta que o lançamento é feito em uma baía, deve ser consideradas a implantação de melhorias nesse sistema, visto que sua disposição atual tem-se mostrado inadequada para a garantia da qualidade ambiental da região.

Emissários do Canal de São Sebastião

Emissário do Araçá

Os sedimentos na área de influência do emissário do Araçá são compostos principalmente por areia fina. Nessa região foram encontrados valores elevados de carbono orgânico total, fósforo orgânico e enxofre. Os valores negativos de potencial Redox obtidos em 2004 caracterizam um ambiente com decomposição anaeróbia da matéria orgânica de fundo.

Os resultados obtidos em 2005 não alteraram as conclusões do ano anterior, nas quais constatou-se a má qualidade desse compartimento onde se observa também um acúmulo de matéria orgânica.

Emissário do Saco da Capela

A região do Saco da Capela por apresentar sedimento arenoso e baixa porcentagem de carbonato de cálcio, quando comparado aos demais sedimentos analisados, caracteriza-se como ambiente de baixa deposição. O potencial Redox foi na sua maioria positivo, indicando ambientes não redutores. Analisando esses resultados em conjunto com os de carbono orgânico total (1,11%) e porcentagem de MO (2,0%) é possível concluir que não se trata de um ambiente redutor e que aparentemente não está havendo acúmulo de MO nessa região. Apesar disso, foram obtidas altas razões C/N indicando contribuições de fontes externas de matéria orgânica, porém incapazes de alterar significativamente a qualidade da área avaliada.

Emissário do Tebar

O sedimento na região próxima ao lançamento do emissário do Tebar é fino, predominantemente composto por silte. O potencial Redox apresentou valores negativos em todas as amostras analisadas, com valores considerados característicos de sedimentos com altos teores de matéria orgânica em decomposição anaeróbica. Essa matéria orgânica, calculada a partir dos resultados de carbono orgânico total foi elevada, embora inferior aos valores observados no sedimento do Araçá.

Os resultados das concentrações de carbono orgânico total nos sedimentos ao redor do lançamento do emissário do Tebar foram menores do que os obtidos na região do emissário do Araçá, embora sejam elevados quando comparados ao valor de referência para sedimentos marinhos não impactados (0,3%). Os resultados das concentrações de enxofre no sedimento da região do Tebar foram muito elevados, tanto quanto aqueles observados no sedimento do Araçá (Figura 63).

As concentrações de nitrogênio e fósforo orgânico no sedimento foram elevadas e superiores às obtidas em todos os emissários monitorados no Canal de São Sebastião. No caso do fósforo os valores foram superiores aos encontrados nos sedimentos da baía de Santos (Figura 63).

Pode-se constatar pelos resultados obtidos que o sedimento na região de lançamento do emissário do Tebar apresenta indícios de impactos gerados pelo efluente, em função das elevadas concentrações de enxofre e as maiores concentrações de nitrogênio encontradas nessa região. O fato da pluma manter-se nas camadas de água mais profundas, pela sua alta densidade, aumenta seus efeitos sobre o sedimento (FORTIS, 2005).

Tabela 37: Valores médios de nutrientes dos sedimentos obtidos em 2005.

Emissário	Carbono Org. (%)	Nitrogênio (%)	Fósforo org. (%)	Enxofre (%)
Santos	1,1	0,18	0,02	0,22
Araçá	1,0	0,03	0,02	0,16
Tebar	1,8	0,17	0,05	0,29
Saco da Capela	1,1	0,03	0,005	0,06

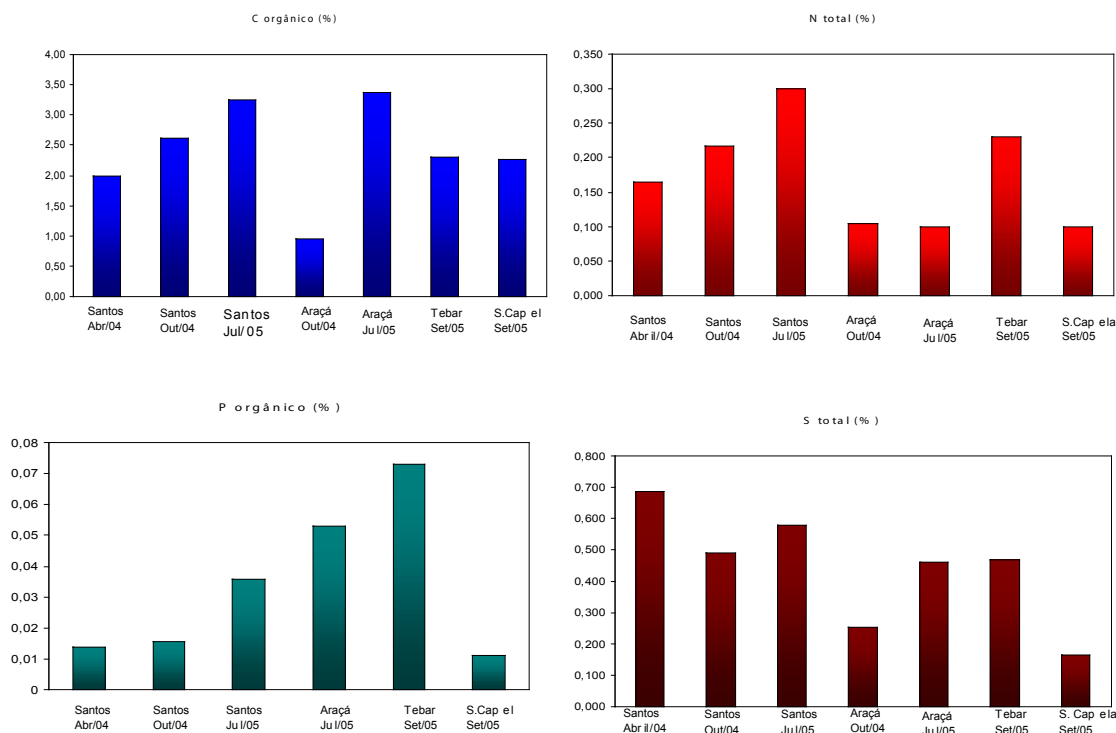


Figura 63: Valores máximos de Carbono orgânico total (C), Nitrogênio total (N), Fósforo orgânico (P) e Enxofre (S) obtidos nos sedimentos das áreas de influência dos emissários monitorados nos anos de 2004 e 2005.

Fauna de foraminíferos

Com relação ao número de espécies de foraminíferos, Santos apresentou os valores mais baixos, entre 22 e 25. No canal de São Sebastião o sedimento próximo ao emissário do Araçá apresentou valores de 24 e 38 espécies, na área do Tebar esse número foi de 34 e o Saco da Capela foi a região com maior diversidade desses organismos, tendo sido identificadas 52 espécies (Tabela 38). Esses resultados confirmam as características biogeoquímicas observadas, uma vez que as regiões com maiores concentrações de nutrientes e matéria orgânica tendendo para um ambiente redutor e pobres em oxigênio são aquelas que apresentam uma fauna menos abundante e menos diversificada.

Tabela 38: Lista de algumas espécies identificadas no sedimento da área de influência dos emissários de Santos, Araçá, Tebar e Saco da Capela, em todas as amostragens.

Amostragens	Santos			Araçá		Tebar	Saco da Capela
	abr/04	out/04	jun/05	out/04	jun/05	set/05	set/05
Tecamebas	○	●	●			○	
Foraminíferos							
<i>Ammobaculites exiguus</i>			○		○	○	
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	■	■	○	●	●	●	○
<i>Ammonia tepida</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ammonia</i> sp.	●	■		○	○	○	○
<i>Ammonia</i> sp. (jovem)	■	■	●	○	●	●	○
<i>Ammotium salsum</i>					○		
<i>Amphycoryna scalaris</i>							○
<i>Angulogerina angulosa</i>					○	○	○
<i>Astrononion</i> sp.							●
<i>Bolivina compacta</i>	○	○	○	●	●	●	○
<i>Bolivina doniezi</i>	●			○	○	○	
<i>Bolivina plicata</i>	○	○					
<i>Bolivina pulchella</i>					○	○	
<i>Bolivina spatulata</i>				●	●	○	■
<i>Bolivina ordinaria</i>	○	○	●	■	■	●	○
<i>Bolivina tortuosa</i>							○
<i>Bolivina</i> sp.	●	■	●	●	○	●	○
<i>Brizalina striatula</i>	■		●	■	■	●	■
<i>Buccella peruviana</i>							○
<i>Bulimina marginata</i>	○		○	●	○	●	○
<i>Bulimina pupoides</i>		○			○	●	○
<i>Bulimina</i> sp.	○		○			○	
<i>Buliminella elegantissima</i>	●	■	■	●	●	■	○
<i>Cancris sagra</i>							●
<i>Cassidulina crassa forma media</i>	○			●	●	○	○
<i>Cibicides variabilis</i>	●	●	○				○
<i>Cibicides</i> sp.	■	■		○	○		●
<i>Criboelphidium articulatum</i>							○
<i>Criboelphidium discoidale</i>							○
<i>Comuspira involvens</i>	○				○	○	●
<i>Criboelphidium excavatum</i>	○			○	○	○	
<i>Criboelphidium poyeanum</i>				○	●	○	○
<i>Criboelphidium</i> sp.	○	○		○	○	○	○
<i>Discorbis williamsoni</i>		○	○	○	●	○	●
<i>Deuterammina</i> sp.							○
<i>Eponides repandus</i>				○		○	○
<i>Fissurina laevigata</i>							○
<i>Fissurina lucida</i>						○	○
<i>Fissurina</i> sp.						○	
<i>Fursenkoina pontoni</i>	○	○				○	○
<i>Galveolinopsis praegeri</i>							■
<i>Gaudryna exilis</i>	○						
<i>Hanzawaia boueana</i>				○			■
<i>Haynesina germanica</i>					○	○	○
<i>Hopkinsina pacifica</i>	○	●			○	●	○
<i>Lenticulina</i> sp.				○	○		○
<i>Lobatula lobatula</i>		●		■	■	●	●
<i>Millammina fusca</i>					○	○	
<i>Miliolinella</i> sp.							○
<i>Neocomobina terquemi</i>			○	○	●	○	■
<i>Neocomobina</i> sp.					○		
<i>Pararotalia cananeaensis</i>	■	■	■	●	■	■	○
<i>Paratrochammina</i> cf. <i>crossi</i>					○		
<i>Patelina corrugata</i>			○				●
<i>Poroeponides lateralis</i>				○			
<i>Pseudononion atlanticum</i>	○	●	●	●	●	●	○
<i>Pseudononion opima</i>			○	●	○	○	
<i>Pseudononion grateloupi</i>	○	●		○			○
<i>Protochista findens</i>		○			○		
<i>Rolshausheni rolshauseri</i>	○	○		○	○		○
<i>Rosalina floridana</i>	○	○		■	■	●	●
<i>Rubratella intermedia</i>							○

Legenda

muito rara	1-5	○
rara	6-10	○
pouco abundante	11-40	●
comum	41-250	■
abundante	250-500	■

7. Considerações Gerais

O trabalho realizado pela CETESB em cooperação com outras entidades demonstrou que o monitoramento da eficiência dos emissários submarinos, por meio da avaliação da qualidade ambiental, constitui ferramenta fundamental ao suporte a decisões técnicas sobre instalação, operação e manutenção desses sistemas.

O uso do modelo computacional de dispersão da pluma dos emissários submarinos também foi de grande valia no estabelecimento de alguns prognósticos sobre o lançamento de esgotos domésticos e seus efeitos no meio marinho, bem como nas praias.

O monitoramento da qualidade das águas e sedimentos mostrou diferenças entre os ambientes monitorados. No caso da baía de Santos observa-se a ocorrência de eutrofização e redução de oxigênio nas águas, efeitos que podem ser decorrentes da operação inadequada do emissário, além dos lançamentos estarem ocorrendo em zona de baía, o que desfavorece a dispersão dos efluentes. Os sedimentos mostram acúmulo de matéria orgânica decorrente, em parte, da atividade do emissário submarino de Santos. Tais alterações também são evidenciadas no monitoramento biológico, durante o qual foi possível observar uma diminuição na riqueza de espécies e na quantidade de foraminíferos, a maior parte deles formada por espécies euribiontes, ou seja, adaptadas a grandes variações ambientais.

Já no canal de São Sebastião, foram evidenciadas, em menor escala, alterações na qualidade das águas, e principalmente nos sedimentos, associadas ao lançamento de efluentes de forma inadequada, como no caso de esgotos domésticos do emissário do Araçá, e a necessidade do aprimoramento do sistema de tratamento, como no caso do emissário do Tebar.

Em conclusão, a avaliação da Cetesb é que o monitoramento desses sistemas é fundamental para a compreensão dos efeitos do lançamento de efluentes no ambiente marinho. Com base no levantamento realizado até o momento, pode-se obter várias informações das alterações resultantes da operação dos emissários na costa paulista. Acredita-se que com o prosseguimento do monitoramento, e uma maior coleção de dados, será possível um melhor diagnóstico da qualidade ambiental das áreas sob influência dos lançamentos e essas informações servirão de subsídio para a regulamentação do planejamento e operação de emissários submarinos no Brasil.

- ARASAKI, E.; MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A. M. A functional analysis of the benthic macrofauna of the São Sebastião channel (southeastern Brazil). **Journal Marine Ecology**, v. 25, n. 4, p. 249-263, 2004.
- BARCELLOS, R.L.; FURTADO, V.V. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e Plataforma Continental adjacente. **Rev. Bras. de Oceanogr.**, v. 47, p. 207-221, 1999.
- BARCELLOS, R.L.; FURTADO, V.V. Caracterização dos componentes da fração arenosa (0,500 mm/ 0,250 mm) no Canal de São Sebastião. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, p. 35-51, 2001.
- CETESB (São Paulo). **Caracterização qualitativa dos despejos líquidos do Terminal Marítimo Almirante Barroso – TEBAR**: relatório técnico n.010/01/EEAL. São Paulo, 2001.
- DULEBA, W. et al. Foraminíferos tecamebas e ostracodes recentes utilizados como bioindicadores em estudos ambientais brasileiros. In: SOUSA, C.R.G. et al. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: ABEQUA, 2005. Cap. 9.
- FORTIS, R.M. **Modelagem computacional da dispersão da pluma do efluente dos emissários submarinos do TEBAR – PETROBRÁS**. 2005. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- FUKUMOTO, M. M. **Caracterização da sedimentação atual e reconstituição da história deposicional recente da Baía de Santos a partir das características composicionais e isotópicas da matéria orgânica**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2003.
- FUNDESPA. **Estudo das condições de dispersão dos efluentes do sistema de emissários submarinos do Terminal Aquaviário de São Sebastião PETROBRÁS – TRANSPETRO**. São Paulo, 2003.
- FUNDESPA. **Monitoramento ambiental do terminal aquaviário de São Sebastião: efluente e corpo receptor**. São Paulo, 2002.
- FURTADO, V.V. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião. **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico - USP**, São Paulo, n. 11, p. 27-35, 1995.
- HEITOR, S.R. **Composição e distribuição da macrofauna bentônica em áreas sob influência da disposição oceânica de esgotos municipais na Baixada Santista e no Canal de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. 2002. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2002.
- JIRKA, G.H.; DONEKER, R.L.; HINTON, S.W. **User's manual for CORMIX**. New York: Cornell University, 1996.
- KERSTEN M.; FÖRSTNER, U. **Speciation of trace elements in sediments em trace element speciation: analytical methods and problems**. Boca Raton: CRC, 1990. 350 p.

- LEVENTHAL, J. S. 1983. **An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicator of environments of deposition.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 47 (1): 133-137.
- MARCELINO, E.B. Sistematização dos projetos de emissários submarinos da **SABESP e avaliação de desempenho através do modelo computacional CORMIX.** 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.
- OCCHIPINTI, A.G. **Estudos preliminares necessários à disposição oceânica de esgotos.** 1970. Tese (Doutoramento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1970.
- RUTEMBERG, K. C.; GOÑI, M.; A. 1997. **Phosphorus distribution, (C:N:P) ratios, and d13 COC in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: Tools for characterizing bulk sedimentary organic matter.** *Marine Geology*, 149: 123-145.
- SILVA, L.S. **Estudo numérico da circulação e da estrutura Termohalina no Canal de São Sebastião.** 2001. 256 f. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2001.
- SIQUEIRA, G. W. et al. Determinação da matéria orgânica em sedimentos de fundo dos Estuários de Santos/São Vicente e Baía de Santos – SP/Brasil. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE, 3., 2003, Santos, BR. 2003.
- TOLEDO JR, A.P. et al. **Aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagoas e reservatórios tropicais.** São Paulo: CETESB, 1983. Trabalho apresentado ao 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Camboriú, 1983.
- TEODORO, A. C. **Estudo hidrogequímico, sedimentológico e de foraminíferos em áreas da Baixada Santista, SP, submetidas à disposição oceânica de esgotos.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2006.