



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA**

PAULO ROBERTO FERREIRA GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA MARINHA DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO
OCEÂNICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS E DAS PRAIAS DO LITORAL OESTE
DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**

**FORTALEZA
2012**

PAULO ROBERTO FERREIRA GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA MARINHA DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO
OCEÂNICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS E DAS PRAIAS DO LITORAL OESTE
DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estudo Sócio Ambiental da Zona Costeira
ORIENTADOR: Prof.Dr.Antônio Jeovah de Andrade Meireles

**FORTALEZA
2012**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

S582a Silva, Paulo Roberto Ferreira Gomes da

Avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará, Brasil / Paulo Roberto Ferreira Gomes da Silva. – 2012.

173 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2012.

Área de Concentração: Estudo Sócio Ambiental da Zona Costeira

Orientação: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles.

1. Águas residuais - Estações de eliminação. 2. Zona costeira. 3. Poluentes. I. Título.

CDD 363.72


PAULO ROBERTO FERREIRA GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA MARINHA DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO
OCEÂNICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS E DAS PRAIAS DO LITORAL OESTE
DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de
Doutor em Geografia. Área de concentração: Estudo Sócio Ambiental da Zona Costeira.

Aprovada em: 09/07/2012.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles
Orientador
Universidade Federal do Ceará - UFC



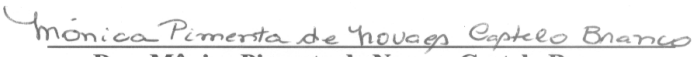
Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho
Universidade Federal do Ceará - UFC



Dra. Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco
Universidade Federal do Ceará - UFC

**Aos meus pais, Nildon Ferreira da Silva e Maria Zélia Ferreira Gomes da Silva, pela
educação, carinho e valores que alicerçam e fortalecem minha vida,**

minha gratidão e admiração.

**A minha esposa Maria do Socorro,
as minhas filhas Cecília e Camila
pelo amor, confiança e estímulo.**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, o criador de tudo, por ter permitido a minha existência e a realização desse trabalho.

Aos meus pais, familiares e amigos, pelo apoio e incentivo ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa.

A minha esposa Maria do Socorro e as minhas filhas Cecília e Camila pela compreensão, ajuda e incentivo em todo transcorrer desse trabalho.

Ao professor e orientador Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles, pela orientação, dedicação e incentivo no desenvolvimento dessa pesquisa.

A Profa. Dra. Maria Elisa Zanella, coordenadora da Pós-Graduação em Geografia pelo incentivo e apoio.

Aos professores do curso de Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Ceará que contribuíram com informações técnicas e científicas e pelo incentivo.

A todos os órgãos e instituições que contribuíram cedendo material e informações valiosas para realização dessa pesquisa:

A Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), na pessoa do Prof. Dr. Luis Parente Maia pela oportunidade a mim concedida para realização desse curso, bem como a disponibilização de equipamentos, viaturas e embarcação da Instituição.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), na pessoa do Dr. André Facó, pela autorização concedida para utilização dos dados técnicos nessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana da Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, pelas informações cedidas.

A Profa. Dra. Regine Helena Silva dos Fernandes Vieira e a bióloga Gisele Cristina Silva, pelo apoio nas análises bacteriológicas das amostras de água.

Ao Prof. Dr. Antônio Adauto Fonteles Filho pelo apoio e pelo incentivo no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Técnico Francisco Feitosa Rodrigues pela solidariedade e pelo apoio nas atividades de campo.

Ao geógrafo Rodrigo Bianchi pela cooperação e incentivo no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos colegas José Gonzaga da Silva, Maria Cidrônea da Conceição Silva, Pedro Saraiva de Moraes, Francisco Gleidson da Costa Gastão, Miguel Sávio de Carvalho Braga, técnicos do LABOMAR, pela solidariedade e incentivo no decorrer dessa jornada.

A todos os colegas do curso de Doutorado em Geografia da Universidade Federal do Ceará pelo companheirismo, pela solidariedade e pelo incentivo.

As minhas cunhadas Ângela, Maria das Dores, meus cunhados Ernandi, Eriberto, Heitor, Humberto, Osterninho, Valdemir, meu sogro José Mendes e minha sogra Mirian Mendes pela ajuda incondicional e incentivo constante no decorrer dessa jornada.

A minha irmã Maria de Fátima pelas palavras de solidariedade e incentivo no desenvolvimento dessa Tese.

RESUMO

O presente estudo trata-se de uma avaliação ambiental da área marinha que envolve o sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e as praias adjacentes do litoral oeste de Fortaleza. Foi possível identificar e analisar os parâmetros ambientais dos principais pontos de poluição, os agentes poluidores, bem como determinar o nível de impacto nas águas oceânicas e ambiente praial. Aliados ao entendimento da dinâmica costeira na área de estudo (caracterização do regime de correntes) e determinação da pluma de dispersão dos poluentes, foram efetivados os objetivos propostos. Além disso, foi realizada uma avaliação das condições de balneabilidade das praias adjacentes ao emissário submarino, visando determinar o grau de contaminação dessas águas, investigando as fontes poluidoras e uma possível relação com a descarga do emissário. As simulações realizadas considerando as características do emissário submarino de efluentes líquidos operado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e do meio receptor, mostram uma capacidade de diluição bastante elevada. A análise dos sedimentos indicou a presença predominante de um substrato biodetrítico, caracterizado por sedimentos de granulometria muito fina a grossa. A atividade biológica intensa na área de estudo, decorrente da presença de nutrientes resultantes da contínua descarga de esgotos domésticos, justificou esse tipo de substrato. Os valores dos parâmetros físico-químicos da água, em geral, comportaram-se dentro da faixa de variação esperada para a zona costeira - temperatura relativamente elevada, pH alcalino, salinidade de água marinha influenciada por chuvas e pequeno aporte fluvial, consumo de oxigênio de média intensidade com elevado grau de saturação e uma intensa atividade biológica, o que evidenciou a qualidade dos resultados obtidos. De acordo com as análises bacteriológicas das amostras de água nos doze pontos de coleta na área marinha (P1 a P12), no decorrer das quatro campanhas, foi possível constatar dois pontos, localizados no borbotão do emissário, com maiores valores de contaminação, apresentando quantidades de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* elevadas (acima de 1000/100 mL) na maioria dos níveis de profundidade da coluna d'água, valores bem superiores aos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os resultados obtidos nas análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes nas águas das praias estudadas (P 13 a P18), indicaram valores bastante elevados, tanto no período chuvoso, quanto no período de estiagem, excedendo os limites preconizados pelo CONAMA. A sistematização das informações foi de grande importância para se avaliar as alterações sobre o

meio marinho no entorno do emissário e praias adjacentes e propor medidas que minimizem os possíveis impactos adversos, as quais foram relacionadas com a gestão integrada da zona costeira, saneamento básico e continuidade do monitoramento dos sistemas marinho e costeiro.

Palavras-chave: emissário, avaliação ambiental, esgotos, praias.

ABSTRACT

This research work deals with the environmental appraisal of the marine section that involves the System for Sewerage Disposal of Fortaleza and the western-side beaches adjacent. It was possible to identify and analyze the environmental parameters, the main zones and agents of pollution, as well as the level of impact on the oceanic waters and the nearby beach environment. Allied to the pattern of coastal dynamics in the study area (characterization of the system of currents and determination of plume dispersion of pollutants), the proposed objectives were achieved. Besides, the conditions for bathing usage of the beaches adjacent to the system for sewerage disposal were evaluated so as to determine the extent to which the water is contaminated and to find out its polluting sources and a likely relationship with the sewerage discharge. The simulations of the basic factors underlying the functioning of the sewerage disposal and its surrounding environment underscore a very high diluting capacity. The sediment analysis evinces the predominant presence of a biodegradable substrate from a fine to coarse granulometry. The intense biological activity in the study area, as an outcome of the nutrient inflow related to the continuous discharge of domestic sewage, accounts for that type of substrate. The physico-chemical values of the water parameters, by and large, behaved in the expected variation range for a coastal zone: high temperature, alkaline pH, water salinity influenced by storm water and small river drainage, medium-sized oxygen consumption and high level of saturation, and intensive biological processes, this shows the quality of the results. The bacteriological results on the marine water in sampling stations P1-P12, over the four surveying campaigns, was possible to see two points, placed at the sewerage disposal system's, with higher levels of contamination, which stood out as a most contaminated one by large numbers of total and thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* (in excess of 1,000 per 100 mL) in the majority of the water column's depth strata, taken as rather above the limit-values established by the CONAMA's Resolution 357/2005. Likewise, the coliform estimates in water of the studied beaches in stations P13 to P18 also surpassed the official limit-values, both in the rainy and dry seasons. The systematization of information proved to be invaluable for appraising the changes in the neighborhood of the sewerage disposal and the adjacent beaches, and putting forward measures meant to minimize the likely adverse impacts, which were related to integrated coastal zone management, sanitation and continued monitoring of marine and coastal systems.

Keywords: sewerage disposal system, environmental evaluation, sewer drains, beaches.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 - Aspecto de galeria pluvial utilizada para descarga de esgotos domésticos lançados no mar provenientes de casebres, Praia das Goiabeiras, Fortaleza, Ceará.....	44
Figura 2 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando-se o emissário submarino, as praias monitoradas e os principais pontos de poluição.....	45
Figura 3 - Emissário submarino de Fortaleza (3a) e galerias pluviais usadas para o escoamento de esgotos domésticos (3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g e 3h) no litoral oeste de Fortaleza.....	46
Figura 4 - Circulação global das correntes oceânicas, destacando-se a atuação da corrente sul-equatorial.....	60
Figura 5 - Atuação da corrente de deriva litorânea ao longo do litoral de Fortaleza.....	61
Figura 6 - Aspecto das diversas etapas de coleta e acondicionamento das amostras de sedimento na área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.....	65
Figura 7 - Aspecto das diversas etapas de coleta e acondicionamento das amostras de água na área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.....	66
Figura 8 - Sonda multiparamétrica do tipo YSI – 556 utilizada na medição dos parâmetros físico-químicos da água na área marinha do SDOES.....	66
Figura 9 - Ilustração do funcionamento do perfilador de correntes ADCP, que calcula as intensidades e direções por células de medição, ao longo de um perfil.....	73
Figura 10 - Transdutor da ADCP utilizado para medição da direção e velocidade das correntes marinhas.....	74
Figura 11 - Aspecto da intervenção urbana na costa oeste de Fortaleza, destacando-se a implantação de uma rede de coleta de esgotos e a construção do calçadão e via paisagística.....	78
Figura 12 - Vista parcial da Praia da Leste-Oeste, destacando-se as moradias precárias.....	80
Figura 13 - Aspecto da Praia da Leste-Oeste, destacando-se banhistas e usuários.....	80
Figura 14 - Aspecto do lançamento de lixo e resíduos de construção civil na Praia da Leste-Oeste, Fortaleza, Ceará.....	81
Figura 15 - Aspecto de lixo doméstico sendo depositado junto a placas educativas na Praia da Leste-Oeste, Fortaleza. Ceará.....	82

Figura 16 – Fluxograma do tratamento preliminar de esgoto, visando à remoção de sólidos grosseiros e areia.....	86
Figura 17 – Fluxograma do tratamento de esgoto que envolve quatro etapas desde a remoção dos sólidos grosseiros até o processamento do lodo residual.....	87
Figura 18 - Unidades componentes do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.....	88
Figura 19 - Aspecto de sedimento quartzoso (a) e biodetrítico (b) colhidos no substrato marinho da área influência do SDOES.....	89
Figura 20 - Percentual do diâmetro médio das areias coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	94
Figura 21 - Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a primeira campanha, fevereiro de 2007.....	95
Figura 22 - Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a segunda campanha, maio de 2007.....	95
Figura 23 - Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a terceira campanha, agosto de 2007.....	96
Figura 24 - Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a quarta campanha, novembro de 2007.....	96
Figura 25 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 1.....	145
Figura 26 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 2.....	146
Figura 27 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 3.....	146
Figura 28 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 4.....	146
Figura 29 - Rosa das correntes para P1.....	147
Figura 30 - Rosa das correntes para P2.....	147
Figura 31 - Rosa das correntes para P3.....	147
Figura 32 - Rosa das correntes para P4.....	147

Figura 33 - Esboço esquemático para definição do ângulo GAMMA.....	150
Figura 34 - Esboço esquemático para definição do ângulo SIGMA.....	151
Figura 35 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,068.....	152
Figura 36 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,246.....	153
Figura 37 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,510.....	154
Figura 38 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,068.....	155
Figura 39 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,246.....	156
Figura 40 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,510.....	157
Figura 41 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,068.....	158
Figura 42 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,246.....	159
Figura 43 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,510.....	160

LISTA DE GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 1 - Variação das médias mensais de precipitação e temperatura na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.....	54
Gráfico 2 - Variação da precipitação em relação à evaporação e a temperatura do ar em Fortaleza no período de 1966 a 2010.....	54
Gráfico 3 - Variação das médias mensais de insolação na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.....	55
Gráfico 4 - Variação das médias mensais da umidade relativa do ar na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.....	55
Gráfico 5 - Variação da velocidade do vento na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.....	57
Gráfico 6 - Curva de maré segundo a tábua de marés da DHN para o Porto do Mucuripe, Fortaleza, Ceará.....	75
Gráfico 7 - Teores de matéria orgânica (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	98
Gráfico 8 - Teores de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	101
Gráfico 9 - Teores de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	104
Gráfico10 - Teores de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	105
Gráfico 11 - Teores de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	107
Gráfico 12 - Teores de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	109
Gráfico 13 - Teores de óleos e graxas (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	122
Gráfico 14 – Concentração média de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	126

Gráfico 15 – Concentração de coliformes totais (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	138
Gráfico 16 – Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	140
Gráfico 17 – Concentração de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	141

LISTA DE MAPAS

	Pag.
Mapa 1 - Localização da área de estudo.....	42
Mapa 2 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza. destacando-se o emissário submarino e as seis praias monitoradas no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	44
Mapa 3 - Mapa geológico da área de estudo.....	50
Mapa 4 - Mapa geomorfológico da área de estudo.....	50
Mapa 5 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando os dezoito pontos de coleta localizados na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários e nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	63
Mapa 6 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando os dezoito pontos de coleta e suas profundidades (m) na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários e nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	64
Mapa 7 – Mapa batimétrico da área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.....	67
Mapa 8 - Mapa da região costeira de Fortaleza. destacando-se os quatro perfis de <i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> – ADCP na região do emissário submarino.....	72
Mapa 9 - Distribuição da composição do sedimento encontrado no substrato marinho da área de influência do SDOES.....	91
Mapa 10 – Mapa do diâmetro médio do sedimento encontrado no substrato marinho da área de influência do SDOES.....	93
Mapa 11 - Distribuição dos teores médios de matéria orgânica (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	99
Mapa 12 - Distribuição dos teores médios de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	101
Mapa 13 - Distribuição dos teores médios de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	104
Mapa 14 - Distribuição dos teores médios de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	106
Mapa 15 - Distribuição dos teores médios de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	108

Mapa 16 - Distribuição dos teores médios de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	110
Mapa 17 - Distribuição dos teores médios de óleos e graxas (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	123
Mapa 18 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da primeira campanha, fevereiro de 2007.....	126
Mapa 19 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.....	127
Mapa 20 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.....	127
Mapa 21 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.....	128
Mapa 22 - Distribuição de coliformes totais (NMP/100mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	131
Mapa 23 - Distribuição de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	131
Mapa 24 - Distribuição das concentrações de <i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	134
Mapa 25 – Mapa da região costeira de Fortaleza, destacando o emissário submarino e a área de influência direta de contaminação por coliformes na área do SDOES.....	134
Mapa 26 – Distribuição das médias de coliformes totais (NMP/100mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.....	139
Mapa 27 – Distribuição das médias de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.....	140
Mapa 28 – Distribuição das concentrações médias de <i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.....	142
Mapa 29 – Mapa da região costeira de Fortaleza, destacando-se as galerias pluviais responsáveis pela descarga de esgoto nas praias do litoral oeste de Fortaleza.....	142

LISTA DE QUADROS

	Pag.
Quadro 1 - Parâmetros analisados e métodos utilizados nas análises de amostras de água coletadas na área marinha do SDOES.....	71
Quadro 2 - Características texturais e granulométricas dos sedimentos colhidos durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de coleta localizados na área do SDOES.....	90

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1 - Coordenadas dos Pontos (Datum SAD-69)	65
Tabela 2 - Parâmetros instrumentais para o ICP-OES Optima 4300.....	69
Tabela 3 - Momento inicial para as medições dos perfis com a ADCP.....	75
Tabela 4 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da primeira campanha (estação chuvosa), fevereiro de 2007.	91
Tabela 5 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da segunda campanha (estação chuvosa), maio de 2007.....	92
Tabela 6 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da terceira campanha (estação seca), agosto de 2007.....	92
Tabela 7 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da quarta campanha (estação seca), novembro de 2007.....	93
Tabela 8 - Valores de concentração de matéria orgânica (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	98
Tabela 9 - Valores dos teores de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	100
Tabela 10 – Concentração de carbonatos em sedimentos marinhos nas plataformas internas do Nordeste e do Sudeste do Brasil.....	102
Tabela 11 - Valores dos teores de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	103
Tabela 12 - Valores dos teores de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	105
Tabela 13 - Valores dos teores de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	107

Tabela 14 - Valores dos teores de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	109
Tabela 15 - Teores de metais pesados verificados nas amostras de sedimento coletadas na área de influência do SDOES e os padrões para as classes de qualidade do sedimento (Resolução CONAMA 344/2004).....	110
Tabela 16 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes a primeira campanha de monitoramento, fevereiro de 2007.....	112
Tabela 17 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes a segunda campanha de monitoramento, maio de 2007.....	113
Tabela 18 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes a terceira campanha de monitoramento, agosto de 2007.....	114
Tabela 19 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes a quarta campanha de monitoramento, novembro de 2007.....	115
Tabela 20 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da primeira campanha, fevereiro de 2007.....	117
Tabela 21 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.....	118
Tabela 22 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.....	119
Tabela 23 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.....	120
Tabela 24 - Valores dos teores de óleos e graxas na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.....	122
Tabela 25 - Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nas doze estações de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da primeira campanha, fevereiro de 2007.....	124
Tabela 26 - Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nas doze estações de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.....	124

Tabela 27 – Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nas doze estações de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.....	125
Tabela 28 – Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nas doze estações de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.....	125
Tabela 29 - Resultado das análises de água do mar para coliformes totais (NMP/100 mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	130
Tabela 30 - Resultado das análises de água do mar para coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	132
Tabela 31 - Resultado das análises de água do mar para <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.....	133
Tabela 32 - Valores dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos verificados nas amostras de água coletadas na área de influência do SDOES e os padrões para as classes de qualidade da água (Resolução CONAMA 357/2005).....	135
Tabela 33 – Número Mais Provável (NMP/100 mL) de coliformes totais obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	138
Tabela 34 - Número Mais Provável (NMP/100mL) de coliformes termotolerantes obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	139
Tabela 35 - Concentração de <i>Escherichia Coli</i> obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.....	141
Tabela 36 - Valores das médias das concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> encontradas nas amostras de água das praias e os padrões de balneabilidade (Resolução CONAMA 274/2000).....	143
Tabela 37 - Resultados de velocidade e direção média do fluxo obtida para os perfis realizados na área do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.....	145
Tabela 38 - Conjunto de dados de velocidades e respectivas direções utilizadas nas simulações referentes a setembro e dezembro de 2007.....	151
Tabela 39 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,068.....	152

Tabela 40 – Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,246.....	153
Tabela 41 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,510.....	154
Tabela 42 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW - 0,068.....	155
Tabela 43 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,246.....	156
Tabela 44 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW - 0,510.....	157
Tabela 45 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW - 0,068.....	158
Tabela 46 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW - 0,246.....	159
Tabela 47 - Limites e diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW - 0,510.....	160

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
APHA	American Public Health Association
BVB	Verde Brilhante Lactose Bile
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CIT	Convergência Intertropical
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EC	Escherichia coli
EPC	Estação de Pré-condicionamento
ESF	Emissário Submarino de Fortaleza
ETO	Estação de Tratamento de Odores
GIS	Geographic Information System
GPA	Programa Global de Ação para Proteção do Ambiente Marinho de Atividades Baseadas em Terra
GPS	Global Positioning System
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPH	Instituto de Pesquisas Hidroviárias
IPLANCE	Instituto de Planejamento do Ceará
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar

LST	Lauril Triptose Caldo
NMP	Número mais provável
ONU	Organização das Nações Unidas
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLAMEFOR	Plano de Metas de Fortaleza
SAD	South American Datum
SDLR	Secretaria de Desenvolvimento Local e Regional
SDOES	Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
TBD	Tubulação difusora
TEBAR	Terminal Marítimo Almirante Barroso
UCS	Unidades de conservação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UV	Ultravioleta
UNEP	United Nations Environment Programme
UTM	Universal Transversal de Mercator
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

	Pag.
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE GRÁFICOS.....	iv
LISTA DE MAPAS.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
SUMÁRIO.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
3. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA.....	42
3.1. Localização da área de estudo.....	42
3.2. Geologia, geomorfologia e aspectos ambientais.....	43
3.2.1. Ambiente praial.....	43
3.2.2. Ambiente marinho.....	48
3.2.3. Sedimentologia.....	49
3.3. Variáveis climáticas e oceanográficas.....	51
3.3.1. Clima.....	51
3.3.2. Precipitação.....	52
3.3.3. Ventos.....	56
3.3.4. Ondas.....	57
3.3.5. Marés.....	58
3.3.6. Correntes.....	59
3.3.6.1. Corrente de deriva litorânea.....	60

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	62
4.1. Obtenção de base cartográfica e elaboração de mapas.....	62
4.2. Malha amostral e procedimentos de coleta.....	62
4.3. Métodos de análises sedimentológicas, hidroquímicas, bacteriológicas e de correntes.....	68
4.3.1. Parâmetros sedimentológicos.....	68
4.3.2. Parâmetros hidroquímicos.....	70
4.3.3. Parâmetros bacteriológicos.....	70
4.3.4. Correntes (Intensidade e Direção).....	72
4.3.4.1. O princípio de funcionamento do ADP.....	73
4.3.4.2. Medições correntométricas.....	75
5. O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO LITORAL OESTE DE FORTALEZA.....	76
5.1. Ocupação da costa oeste de Fortaleza: histórico e situação atual.....	76
5.2. Perfil dos usuários.....	79
5.3. Infra-estrutura local.....	81
5.3.1. Interferências antrópicas.....	81
5.3.2. A implantação do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza – SDOES.....	82
6. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA E SIMULAÇÃO DA PLUMA DE EFLUENTES.....	89
6.1. Sedimentologia.....	89
6.2. Qualidade da água.....	111
6.2.1. Área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza.....	111
6.2.2. Praias do litoral oeste de Fortaleza.....	136
6.3. Correntometria.....	144
6.4. Simulação do comportamento do efluente lançado pelo emissário submarino de Fortaleza.....	148
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	162
REFERÊNCIAS.....	166

1. INTRODUÇÃO

A descarga de esgoto doméstico não tratado tem sido identificada como uma das maiores fontes de poluição de ambientes marinhos (UNEP/GPA, 2006). De acordo com o relatório do Programa Global de Ação para Proteção do Ambiente Marinho de Atividades Baseadas em Terra (GPA) (UNEP/GPA, 2006) esse problema é típico dos países em desenvolvimento, nos quais, somente uma parcela do esgoto doméstico é coletada, e as estações de tratamento existentes, em sua maioria, não funcionam de forma eficiente.

O emissário submarino consiste em uma tubulação utilizada para lançamento de esgotos sanitários ou industriais no mar, aproveitando-se a elevada capacidade de autodepuração das águas marinhas que promovem a diluição, a dispersão e o decaimento de cargas poluentes a elas lançadas. Atualmente, os emissários submarinos são considerados complementares e integrados aos sistemas de tratamento e disposição de esgotos sanitários das cidades litorâneas.

Os resultados apresentados nesta tese de doutorado foram, em parte, originados através do projeto de pesquisa “Avaliação ambiental da área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza”. O presente estudo tem como objetivo sistematizar e interpretar os dados coletados através do monitoramento da área marinha sob influência dos efluentes provenientes dos esgotos domésticos da cidade. Com isso foram proporcionadas as informações necessárias à análise da qualidade ambiental e ações de gestão para o controle da disposição oceânica e dos impactos negativos sobre a área de influência direta e praias adjacentes ao emissário submarino.

O Sistema de Disposição Oceânica de Esgotos de Fortaleza é responsável pelo tratamento e disposição dos esgotos de parte da cidade de Fortaleza, abrangendo as bacias hidrográficas da Vertente Marítima, do Cocó e do Maranguapinho/Ceará. Após remoção de areia e resíduos sólidos na estação de pré-condicionamento, os esgotos são encaminhados para o emissário submarino de Fortaleza, onde são liberados a uma profundidade de 16 m e a 3,3 Km de distância da costa por um conjunto de 120 difusores.

Emissários oceânicos têm-se mostrado como uma alternativa viável para a disposição de rejeitos urbanos em áreas metropolitanas. Por outro lado, estes sistemas oceânicos

são também fontes de poluentes não degradáveis que, mesmo em baixíssimas concentrações, podem acumular-se em sedimentos de fundo em sua área de influência. Dentre estes poluentes destacam-se os metais pesados, que estão presentes em efluentes domésticos e resíduos urbanos, devido à ampla utilização em diversos produtos e matérias primas (Nriagu; Pacyna, 1988; ABICLOR, 2001). Uma vez depositados no sedimento de fundo, esses elementos são pouco remobilizados, podendo acumular-se ao longo do tempo e atingir concentrações potencialmente danosas para comunidades marinhas aí existentes.

O estudo do comportamento do sistema de correntes, efetuado através de campanhas de medição das correntes marinhas, possibilitou a coleta de dados relativos à área de influência do emissário submarino e, desta forma, proporcionou o entendimento da dinâmica costeira e caracterização do regime de correntes. É importante evidenciar que o monitoramento das águas costeiras complementados pelos estudos de modelagem da pluma dos emissários, são ferramentas importantes para o gerenciamento ambiental desses empreendimentos, mas apresentam desafios relacionados à complexidade das variáveis intervenientes no meio marinho (Secretaria do Meio Ambiente, 2006).

O banco de dados constituído pela pesquisa foi consolidado através do suporte operacional e institucional do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), da Universidade Federal do Ceará (UFC). Em síntese, foi possível avaliar o comportamento dos efluentes lançados pelo emissário submarino de Fortaleza e seu impacto no meio marinho. Os procedimentos metodológicos foram relacionados com o monitoramento de complexos parâmetros ambientais ao longo de doze pontos a jusante do emissário, com o levantamento de dados oceanográficos, análises físico-químicas, sedimentológicas e bacteriológicas do corpo receptor e de seis pontos localizados nas praias situadas nas adjacências do interceptor oceânico. O tratamento dos dados e diagnóstico forneceram informações necessárias para avaliar as alterações sobre o meio marinho no entorno do emissário, identificar as fontes poluentes de origem continental e propor medidas que minimizem os possíveis impactos adversos.

O tratamento e disposição final de esgotos domésticos são um dos aspectos mais importantes da gestão em áreas costeiras, pois constituem ecossistemas frágeis, de densa ocupação urbana e turística motivada pelos atrativos paisagísticos naturais da região.

Os ecossistemas marinhos brasileiros representam potencial ambiental, pesqueiro, biotecnológico, mineral e energético. Estes recursos não devem ser descaracterizados através da degradação ambiental, através da exploração excessiva a ponto de comprometer a sustentabilidade a médio e em longo prazo. Atualmente, várias Unidades de Conservação (UCs) foram estabelecidas no litoral e ajudam na preservação e conservação da biodiversidade marinha, ações necessárias para inclusive evidenciar o comportamento ambiental dos ecossistemas conservados e recuperados de processos continuados de degradação e como ocorreram possíveis melhorias das condições sociais das comunidades litorâneas.

Os efeitos da descarga de esgoto não tratados no mar, ou mesmo em ambientes estuarinos, podem resultar na destruição de habitats, danos a biodiversidade e possível eutrofização. Danos aos sistemas ambientais que podem levar às florações de algas, risco para a saúde humana, incluindo infecção pelo banho de mar e pelo consumo de frutos do mar contaminados, além de impactos negativos em atividades econômicas, como pesca e turismo (CLARK, 2001, UNEP/GPA, 2006).

O crescimento populacional das grandes metrópoles, mais intenso e concentrado nas áreas litorâneas, produziu uma ocupação do litoral não acompanhada por instalações de esgotamento sanitário adequadas a cada região. Nas últimas décadas, a qualidade das águas costeiras tem sofrido um intenso processo de degradação pelo lançamento de esgotos domésticos, que escoam para as praias sem qualquer tratamento, seja em despejos diretos ou através de sistemas de drenagem pluvial, prejudicando o turismo e afastando os visitantes das regiões mais intensamente urbanizadas. Na grande maioria dos casos, a fuga de banhistas das praias poluídas se dá pelo simples aspecto repelente das águas. Em alguns casos, é possível assistir a um enorme número de banhistas em praias com águas aparentemente de boa qualidade, mas poluídas, fora dos padrões aceitáveis de balneabilidade.

O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Este equilíbrio depende em particular, da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam (Organização das Nações Unidas, 1992).

A realidade da cidade de Fortaleza, como muitos municípios costeiros, que despejam volume considerável dos esgotos, muitas vezes sem tratamento, nos rios, córregos e

mar, conduz a uma preocupação no sentido de desenvolver estudos, sistemas de monitoramento, visando avaliar o grau de impacto negativo e ao mesmo tempo propor medidas para minimizar os problemas ambientais advindos desse mecanismo, promovendo a conscientização através da disponibilização de informações para a gestão e desenvolvimento sustentável de áreas marinhas e costeiras.

A grande extensão ocupada pelas águas marinhas faz com que o oceano seja utilizado como depósito de dejetos, alterando os recursos aí existentes e a capacidade do mar para absorver resíduos tem seus limites (Capparelli, 2002). Os esgotos, sem dúvida alguma, constituem o maior problema de poluição marinha a nível global, tanto em volume de material poluente despejado, quanto aos problemas que causam a saúde pública (Weber, 1992).

O lançamento de esgotos sanitários é um dos tipos mais comuns de poluição dos oceanos, seja por meio de contribuições difusas de cursos d'água, seja por meio de emissários submarinos que constituem fontes pontuais desse tipo de poluição. Os possíveis impactos ambientais gerados pelo lançamento desses efluentes são, por exemplo, a contaminação microbiológica, o acréscimo de matéria orgânica no meio marinho, o aumento da turbidez desses ambientes e o enriquecimento por nutrientes, que pode levar a eutrofização. O lançamento descontrolado de esgotos domésticos em rios, lagos e outros corpos de água, representa uma das principais causas da poluição hídrica no Brasil e no mundo (UNEP/GPA, 2006; GONÇALVES; SOUZA, 1997).

A crescente urbanização e o desenvolvimento econômico de Fortaleza nos últimos anos têm implicado em uma alta produção de esgotos, tanto domésticos quanto industriais. O município de Fortaleza apresenta um emissário submarino que é responsável pelo lançamento de cerca de 80% dos esgotos, o qual necessita de estudos ambientais para determinar o nível de impacto nas águas oceânicas e no ambiente praiado adjacente.

Diante da problemática apresentada se constitui de grande importância o desenvolvimento do projeto de pesquisa "Avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará, Brasil".

O desenvolvimento de um estudo que visa estabelecer um diagnóstico ambiental do ambiente praial/marinho sobre influência da descarga de efluentes domésticos da cidade de Fortaleza e, a partir daí, fornecer informações técnico-científicas que possibilitem uma melhor avaliação da eficiência desse sistema, constitui, assim, uma importante ferramenta para uma melhor gestão e conservação da região costeira de Fortaleza.

A presente Tese teve como objetivo principal realizar uma avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste do município de Fortaleza, identificando os principais pontos de poluição, os agentes poluidores, bem como determinar o nível de impacto nas águas oceânicas e ambiente praial adjacente.

Os objetivos específicos deste estudo foram: 1) realizar uma caracterização geológica e faciológica do substrato da área de estudo, determinando-se a distribuição textural, a granulometria, os teores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e metais pesados (cobre, chumbo, cádmio e zinco) nas amostras de sedimento; 2) avaliar os parâmetros físico-químicos (temperatura, salinidade, condutividade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, óleos e graxas, nitrato, nitrito, fósforo total e material em suspensão) e bacteriológicos (coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*) da água, visando detectar e prever alterações temporais e espaciais na qualidade dessas águas, em função da descarga do emissário submarino; 3) avaliar as condições de balneabilidade das praias adjacentes ao emissário submarino, visando determinar o grau de contaminação desses ambientes, investigando as fontes poluidoras e uma possível relação com a descarga do emissário; 4) identificar o sistema de correntes, através de medições em quatro transectos, visando o entendimento da dinâmica costeira na área de estudo e a determinação da pluma de dispersão; 5) realizar simulações com o software CORMIX, considerando as características do emissário submarino de efluentes líquidos e do meio receptor, objetivando a simulação do comportamento do efluente lançado na área marinha e a modelagem do processo de dispersão da pluma de esgoto; 6) Propor medidas e ações mitigadoras para os impactos negativos previstos para o sistema.

A nossa principal hipótese é que as praias do litoral oeste de Fortaleza são contaminadas muito mais pelo lançamento de esgotos através de galerias pluviais, do que pela descarga de efluentes realizada pelo emissário submarino. Para comprovar essa hipótese,

realizamos análises físico-químicas e bacteriológicas da água tanto no ambiente praias como no ambiente marinho, estudos de correntes e a simulação do comportamento do efluente lançado pelo emissário submarino de Fortaleza.

Os estudos acima citados, permitiram uma sistematização de informações necessárias para se avaliar as alterações sobre o ambiente praias e o meio marinho no entorno do emissário e propor medidas que minimizem os possíveis impactos adversos, além da elaboração de um modelo evolutivo através dos parâmetros ambientais e dinâmicos de uma área da plataforma continental diante de uma metrópole costeira.

Além do presente capítulo introdutório, esta Tese está organizada em mais seis partes. O capítulo 2 trata-se de uma revisão bibliográfica e uma abordagem do referencial teórico, em que foi realizado um levantamento bibliográfico dos estudos desenvolvidos sobre emissários e avaliação ambiental de praias que auxiliou no desenvolvimento desta pesquisa. Em seguida, o capítulo 3 apresenta os aspectos geoambientais da área, destacando-se a geologia, a geomorfologia, além das variáveis climáticas, oceanográficas e a caracterização do regime de ondas, marés e correntes atuantes na área de estudo. O capítulo 4 trata dos recursos utilizados para obtenção da base cartográfica, na elaboração dos mapas temáticos e dos procedimentos metodológicos utilizados nas análises sedimentológicas, hidroquímicas, bacteriológicas e no estudo de correntes. No capítulo 5 encontra-se uma análise do processo de ocupação do litoral oeste de Fortaleza, destacando-se o histórico da ocupação, o perfil dos usuários, a infra-estrutura local e as interferências antrópicas, principalmente a implantação do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza. O capítulo 6 traz uma avaliação ambiental da área em estudo e a simulação do comportamento do efluente lançado pelo emissário submarino, bem como os impactos negativos e as alterações na composição do substrato e na qualidade da água. Por fim, o capítulo 7 apresenta as considerações finais, em que é feita uma síntese da natureza dos impactos, identificando-se as principais fontes poluidoras dos ambientes costeiro e marinho estudados, e a partir daí são propostas medidas visando um melhor controle e tratamento dos efluentes lançados, o desenvolvimento de projetos de despoluição da orla, a implantação de planos e programas integrados de gerenciamento que garantam a sustentabilidade destes ambientes e o bem-estar destas comunidades litorâneas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TEÓRICO

Para fundamentar a abordagem sobre a dinâmica ambiental, impactos, aspectos metodológicos desenvolvidos para implantar e monitorar interceptores oceânicos e as conseqüências sócioambientais, foi realizado um estudo bibliográfico que auxiliou no aprimoramento da abordagem científica.

Os estudos desenvolvidos sobre emissários e avaliação ambiental de praias estão relacionados a seguir:

Vasconcelos (1985) desenvolveu estudo sobre os aspectos da poluição nas praias do município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. O objetivo principal foi avaliar o nível de poluição das praias do município de Fortaleza, causada pelo lançamento material putrescível pela rede hídrica da cidade. Os resultados constataram que além da contaminação por esgotos e rios poluídos, as praias de Fortaleza sofrem a ação de outros agentes poluidores, em forma de linhas de piche na Praia do Futuro decorrentes, provavelmente, da lavagem dos tanques dos navios petroleiros nas proximidades da saída do Porto do Mucuripe.

Os primeiros dados mais sistemáticos sobre a influência de interceptores oceânicos, encontrados nessa pesquisa, foram realizados por Figueiredo (1989). Consistiram em estudos da influência do emissário submarino de esgotos de Ipanema e dos canais da lagoa Rodrigo de Freitas na contaminação por chumbo e cobre dissolvidos das águas costeiras adjacentes a zona sul da cidade do Rio de Janeiro. Além de metais pesados, foram determinadas concentrações de micronutrientes e de oxigênio dissolvido, sendo constatada a contribuição das fontes citadas para o decréscimo da qualidade da água local.

O conhecimento sobre a dispersão dos efluentes no oceano é de primordial importância para o desenvolvimento de modelos que proporcionem a previsibilidade espaço/temporal dos poluentes. Estudos nesse sentido foram realizados por Villarroel (1993), os quais ampliaram os conhecimentos dos fenômenos de dispersão no mar e dos sistemas de lançamento dos efluentes em seu seio. Forneceram subsídios ao conhecimento e equacionamento dos fenômenos de transporte de massa ou de poluentes no mar. Evidenciaram a importância da diluição inicial em relação à mistura e indicaram os casos típicos de diluição inicial, incluindo a modelagem matemática e o desenvolvimento da análise dimensional.

Estudos sobre aspectos físico-químicos de sedimentos foram realizados por Carreira (1994). Foram analisados o carbono orgânico e especiação do fósforo em sedimentos na área de influência do emissário submarino de esgotos de Ipanema. Consistiram na avaliação das possíveis transformações nas características químicas dos sedimentos decorrentes de dezenove anos de funcionamento do emissário submarino de esgotos de Ipanema. Os resultados indicam que não há dispersão efetiva do efluente na região, refletindo-se nas altas concentrações de carbono e fósforo orgânicos nos sedimentos. Informações que orientaram na interpretação dos dados obtidos na área de influência do interceptor de Fortaleza e apresentados mais adiante.

Sobre as condições hidrológicas e contaminantes relacionadas com sistemas de interceptores marinhos, os estudos de Melo (1996) envolveram análise hidrológica e bacteriológica dos resíduos lançados pelo sistema de disposição oceânica dos esgotos de Fortaleza. Os resultados foram relacionados com a determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais de água e com a identificação bioquímica dos coliformes e do gênero *Salmonella*. Foram apresentados dados importantes para comparar qualitativamente o nível de poluição bacteriológica da área, seus efeitos e o raio de atuação sobre o ambiente marinho.

Menezes (1996) realiza estudo sobre a diluição inicial e convectiva do emissário submarino de Salvador-Bahia visando estudar os processos biológicos de degradação para redução da classe destes resíduos domésticos, em termos de toxicidade. Dados necessários para comparar com os resultados obtidos neste estudo e assim evidenciar ações integradas tendo em vista a melhoria da qualidade dos sistemas de saneamento.

De acordo com estudos realizados por Rachid (1996), o sistema de disposição final dos efluentes sanitários por emissários submarinos mostrou-se eficiente, e desde que bem projetado, pode contribuir para minimizar os impactos negativos sobre o ecossistema costeiro marinho. Esses resultados foram relacionados com estudo sobre esgotos sanitários urbanos lançados ao mar através de emissários submarinos nos municípios de Praia Grande, Santos/São Vicente, Guarujá e São Sebastião (São Paulo).

A identificação de *Salmonella* em amostras de água das praias do Kartódromo e Farol, em Fortaleza, Ceará, por Melo *et al.* (1997), mostra que a presença de bactérias

patogênicas nas amostras se deve ao fato da ineficiência no tratamento dos esgotos despejados no oceano, comprometendo a qualidade ambiental destas águas.

Lima (1998) realizou estudo sobre os efeitos de efluentes domésticos do emissário submarino de São Sebastião (SP) sobre o fitoplâncton marinho, visando avaliar o potencial eutrofizante do efluente doméstico lançado pelo emissário submarino de São Sebastião nas águas do canal de São Sebastião e baía do Araçá. O estudo concluiu que o esgoto doméstico afeta as características químicas das águas da baía e conseqüentemente a comunidade fitoplânctonica ali existente, levando a instalação de um ambiente eutrófico.

Estudos desenvolvidos por Souza (1999), utilizando a aplicação de traçadores fluorescentes para a avaliação da capacidade de diluição do emissário submarino de esgotos (aliado com dados oceanográficos), apresentaram resultados satisfatórios (utilizado para estudos no emissário de Ipanema). Os resultados foram comparados aos de turbidez, com objetivo de investigar a possibilidade de se empregar como um traçador ambiental.

A caracterização espaço-temporal do ambiente costeiro na área do emissário submarino de Ipanema, foi feita por Guerra (2000), realizando o mapeamento da turbidez das águas e a execução de modelos de hidrodinâmica para diagnosticar e prognosticar a influência de emissários.

Marcellino (2000) desenvolve estudo sobre a sistematização dos projetos de emissários submarinos da Sabesp e avaliação de desempenho através do Modelo Computacional CORMIX. Os resultados verificados demonstraram o funcionamento adequado dos emissários da Praia Grande, Santos, Guarujá e São Sebastião-Cigarras e a necessidade de adequação dos emissários de Ilha Bela e São Sebastião-Araçá. Os estudos foram conduzidos tendo como objetivo a preservação da faixa de proteção de 300 metros das praias, tomando como parâmetro o valor da máxima concentração de coliformes permitida pela Resolução CONAMA nº 20/86.

A partir da análise dos ensaios de campo com traçadores para quatro condições oceanográficas, Peclý (2000) realizou um monitoramento ambiental do emissário submarino de Ipanema usando traçadores e técnicas geoestatísticas, visando estudar o lançamento de efluentes de emissários submarinos e de avaliar riscos ambientais, sob o ponto de vista sanitário para diferentes situações hidrodinâmicas e climatológicas. Pode-se concluir que o Emissário

submarino de Ipanema opera com boas condições de diluição inicial do efluente e a direção de transporte é paralela à costa ou em direção ao mar aberto.

Estudos de avaliação do programa de monitoramento da balneabilidade das praias urbanas da cidade de Maceió foram desenvolvidos por Tenório (2001), cujo objetivo foi fornecer subsídios para ações imediatas e urgentes, no que diz respeito ao lançamento clandestino de esgoto doméstico na rede de água pluvial e córregos, nortear os órgãos quanto à questão de divulgação dos resultados à comunidade e a realização de programas contínuos de preservação da limpeza nas praias.

A avaliação da qualidade de sedimentos do sistema estuarino de Santos, São Paulo foi realizada por Abessa (2002). Foram desenvolvidos estudos utilizando o método da Tríade da Qualidade de sedimentos. Também foi realizada uma avaliação temporal da toxicidade dos sedimentos localizados ao redor da saída do emissário submarino de Santos. As análises integradas das variáveis químicas, ecotoxicológicas e ecológicas mostraram que tanto fatores ambientais como os contaminantes foram responsáveis pela estrutura da comunidade bentônica na região. Os compostos que foram mais relacionados com a toxicidade dos sedimentos naquele setor foram a amônia, o enxofre, o mercúrio e os detergentes.

Castro *et al.* (2002) desenvolveu estudo sobre a balneabilidade e as doenças de veiculação hídrica nas praias de Fortaleza. Foi realizado um histórico de como os estudos ambientais culminaram com o estabelecimento de padrões de balneabilidade de águas marinhas e um retrospecto do problema da poluição das praias da cidade de Fortaleza, bem como a relação da qualidade da água com as doenças veiculadas através do contato direto com águas contaminadas. Sugere-se que a população seja envolvida, alertada, educada e protegida através de ações de medidas de segurança contra atividades provocadoras de poluição nos ecossistemas aquáticos (praial e marinho) reconhecendo-se a necessidade humana básica a saúde e ao lazer.

Uma avaliação ecotoxicológica dos efluentes domésticos lançados pelos sistemas de disposição oceânica da Baixada Santista, São Paulo, foi realizada por Rachid (2002), visando verificar possíveis efeitos ecotoxicológicos dos efluentes após lançamento marinho. Utilizou-se o teste de toxicidade crônica de curta duração de desenvolvimento embriolarval do ouriço do mar da espécie *Lytechinus variegatus*. O lançamento do efluente de Santos/São Vicente parece ser o que mais causa toxicidade; enquanto os efluentes de Praia Grande e Guarujá promovem

pouca toxicidade às amostras da coluna d'água e água intersticial. Dessa forma são indicados como suspeitos por causar toxicidade no efluente a amônia, os sólidos e os compostos orgânicos.

Uma modelagem computacional da dispersão costeira de esgotos sanitários através do emissário do Pecém, utilizando um sistema de simulação computacional denominado CORMIX foi realizada por Santos (2002). Os resultados confirmaram que a prática da disposição oceânica dos esgotos sanitários, se efetuadas a partir de estudos sérios é realmente eficaz, sendo tecnicamente e ambientalmente aceitável. Em todas as situações reais simuladas a partir das medições, conclui-se que a linha de costa foi preservada, não sendo atingida pela zona de mistura, conservando assim as condições de balneabilidade das praias, tão importante para comunidade local.

Feitosa (2003) realizou modelagem da pluma do emissário submarino da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro com T90 variável. Neste trabalho analisou a pluma de contaminação de coliformes do futuro emissário da Barra da Tijuca considerando uma variação horária do T90, que corresponde ao tempo necessário para o decaimento de 90 % da massa bacteriana do grupo coliformes, considerando-se como variáveis determinantes a radiação solar e a salinidade. Através desse sistema de modelos, obteve-se o padrão de correntes responsável pelo transporte da pluma de contaminantes.

A modelagem de pluma de emissários com T90 variável na costa oceânica de Salvador, Bahia foi realizada por Topázio (2003). O autor desenvolveu uma modelagem computacional através da qual se avalia o comportamento das plumas de esgoto do emissário submarino do Rio Vermelho e do futuro emissário do Jaguaribe, identificando-se os possíveis efeitos das plumas destes emissários nas águas da costa oceânica de Salvador e na baía de Todos Santos.

A influência das águas das galerias pluviais como fator da poluição costeira em Fortaleza, Ceará foi estudada por Vieira *et al.* (2003). O objetivo deste trabalho foi avaliar o grau de contaminação fecal das águas de deságüe de duas galerias pluviais da costa fortalezense. A conclusão foi a de que as águas coletadas pelas galerias pluviais se constituem num dos principais veículos de poluição da zona costeira cearense.

Estudos sobre a distribuição e partição geoquímica de metais traço na costa norte de Fortaleza, Ceará, foram desenvolvidos por Maia (2004). Foram analisados os teores de mercúrio, cobre, cádmio, chumbo, zinco, alumínio e ferro nos sedimentos costeiros coletados na plataforma continental da região metropolitana de Fortaleza. Foi verificada a ocorrência de concentrações elevadas de metais na área de influência do porto do Mucuripe e próximo ao interceptor submarino de Fortaleza. O emissário submarino foi fonte significativa de mercúrio, cobre, zinco e cádmio, porém com baixos fatores de enriquecimento.

O monitoramento da poluição da água das galerias pluviais e do mar do litoral de Natal, por meio de avaliações físico-químicas e microbiológicas, foi desenvolvido por Cardonha *et al.* (2005, p.71). As variações do NMP de coliformes fecais e percentual de *Escherichia coli* foram analisadas estatisticamente e estabelecidas às correlações entre as variáveis bióticas e abióticas.

A modelagem computacional da dispersão da pluma do efluente dos emissários submarinos do TEBAR-PETROBRAS, localizado no Canal de São Sebastião, onde lança seus efluentes através de dois emissários submarinos com sistema difusor, ambos de polietileno de alta densidade foi realizada por Fortis (2005). O efluente possui altas concentrações de amônia que ultrapassam o padrão de emissão estabelecido pela Resolução Conama 20/86, além de ser caracterizado como um efluente denso devido à alta concentração de salinidade. Para compreender o processo de dispersão do contaminante amônia e o perfil hidrodinâmico da pluma do efluente dos emissários submarinos do TEBAR. O autor utilizou a modelagem computacional, como uma ferramenta de análise do processo da dispersão de efluentes em corpos d'água e como suporte na decisão das agências ambientais e dos processos industriais frente à exigência de atendimento à legislação.

O estudo sobre o controle de odores no sistema de esgoto sanitário dos municípios de São Vicente com a utilização de peróxido de hidrogênio foi realizado por Neto (2005). O objetivo principal foi demonstrar o resultado técnico e econômico do estudo, realizado experimentalmente em escala real, da aplicabilidade do peróxido de hidrogênio no controle de odor, associado ao gás sulfídrico, proveniente de uma das bacias do sistema de esgoto sanitário do município de Santos. Após este experimento, foi possível sintetizar os resultados no controle do odor, servindo de base para controle e para otimização de todo o restante do sistema de esgotamento sanitário das cidades de Santos e São Vicente.

A influência do emissário submarino de esgoto sobre as associações de foraminíferos, regionalmente e localmente na Enseada do Guarujá e Baía de Santos foi analisada por Teodoro (2006). Em macro escala, a influência da disposição oceânica não foi conclusiva devido à baixa densidade da biocenose. Em micro escala, a análise da composição e distribuição das biocenoses indicou que as características ambientais da Baía de Santos estão influenciando diretamente as associações de foraminíferos, diminuindo os valores de densidade e riqueza. O autor concluiu que o pré-tratamento dos efluentes de Santos é precário, tornando a região dos difusores mais um grande foco de poluição na baía.

Um estudo sobre a composição e variação espaço-temporal da macrofauna bentônica influenciada pelo sistema de esgotos sanitários de Fortaleza foi desenvolvido por Yunda (2007). O estudo não observou correlações entre a descarga de efluentes e as comunidades macrobentônicas. Conforme os resultados obtidos pelo autor, a partir da análise estatística (BioEnv), é provável que as comunidades associadas ao emissário submarino no litoral de Fortaleza, tenham uma distribuição e uma variação espaço-temporal estreitamente ligada às características ambientais físicas da região, com o tipo de sedimento assumindo um papel decisivo na estruturação da macrofauna bentônica.

Mandaji (2008) desenvolveu estudo visando analisar a influência da descarga do emissário submarino de Santos sobre os sedimentos de fundo do seu entorno. Os resultados apontam para uma indicação de que o tratamento dos efluentes na Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto de Santos não é o ideal, visto que alguns elementos considerados poluentes encontram-se depositados nos sedimentos analisados.

A caracterização da comunidade de peixes demersais na área de influência do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza foi realizada por Holanda (2009). O estudo teve por objetivo analisar a estrutura da comunidade de peixes demersais da área, observando possíveis variações espaço-temporal na estrutura íctica residente na área de intensa atividade do emissário submarino.

Uma metodologia para projeto de tratamento de esgoto sanitário através de disposição oceânica com utilização de emissário submarino, para localidades de pequeno porte, foi desenvolvida por Freitas (2010). O autor apresenta uma metodologia simplificada para obtenção de alguns dados oceanográficos necessários a instalação de um emissário submarino,

uma revisão convencional de dimensionamento dos sistemas de disposição oceânica e o uso dos sistemas de modelagem computacional existentes, destacando-se o CORMIX, programa largamente utilizado na análise do campo próximo do lançamento de efluentes por emissários submarinos.

A avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, fundamenta-se nas prescrições teórico-metodológicas de Bertrand (1972); Tricart (1977), que se baseia na Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1975). Desta forma, foi possível evidenciar, através dos parâmetros ambientais analisados, uma abordagem integrada, principalmente entre os componentes geoambientais da praia e de parte da plataforma continental proximal. Os princípios teórico-metodológicos dos autores citados convergem para Teoria Geossistêmica, que assinala que as interrelações são efetivamente definidas e compreendidas através da determinação da interdependência entre as partes. Denota também que as partes se diferenciam entre si, pelas funções que cada uma desempenha no conjunto integrado de unidades ambientais e da maneira como se dá a utilização dos recursos existentes.

A partir da visão sistêmica, concebe-se a paisagem como um sistema integrado, no qual cada componente isolado não possui propriedades integradoras, pois estas propriedades integradoras somente desenvolvem-se quando estuda-se a paisagem como um sistema total (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004). A totalidade não se compõe da soma das ações parciais, mas ocorre com funções próprias surgidas através da forma de interações dos elementos, ou seja, a função do todo determina a propriedade do sistema ambiental. Na análise ambiental, os componentes são conhecidos em sua totalidade e, por isto, pode-se entender a correlação entre as partes e a entidade sob forma geral, o que facilita uma elaboração e interpretação direta da função de cada uma delas (CAVALCANTI, 2006).

A concepção sistêmica consiste em uma abordagem em que qualquer diversidade da realidade estudada (objetos, propriedades, relações, problemas, situações etc...), pode-se considerar como uma unidade (um sistema) regulada em um ou outro grau que se manifesta, mediante algumas categorias sistêmicas, tais como: estrutura, elemento, meio, relações, intensidade etc. (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004).

A classificação de geossistema de Bertrand (1972) resulta da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, designando-o como um sistema natural homogêneo ligado a um território, caracterizando-o quanto a morfologia, o funcionamento e o comportamento.

Segundo Tricart (1977), as Unidades de Paisagem ou Geossistemas tendem a caracterizar-se por uma funcionalidade nos processos de troca de matéria e energia através do equilíbrio dinâmico, constituindo os ambientes estáveis, porém não estáticos. Os impactos resultantes da atividade humana (antrópica) sobre estas unidades provocam a perda do estado de equilíbrio dinâmico, caracterizando-se como ambientes instáveis.

De acordo com Cavalcanti (2006), a metodologia básica para a realização de estudos ambientais costeiros, consiste em uma seqüência lógica de operações, com o intuito de se chegar a uma determinada finalidade, podendo ficar composta da seguinte maneira: definição do problema, coleta de dados gerais da área, pesquisa de campo, elaboração de cartas temáticas e exposição dos resultados finais da interpretação cartográfica. Esta metodologia deverá ser capaz de permitir a caracterização, o diagnóstico e monitoramento dos processos naturais e das atividades humanas, ferramentas estas, fundamentais para um eficiente planejamento e desenvolvimento, possibilitando a elaboração de propostas para a melhoria da qualidade ambiental destas áreas e da qualidade de vida destas comunidades litorâneas. Estes fundamentos teóricos foram aplicados nesta pesquisa, objetivando ter-se uma visão da totalidade do problema, possibilitando uma classificação quantitativa e qualitativa dos impactos e a partir daí estabelecer medidas mitigadoras pertinentes.

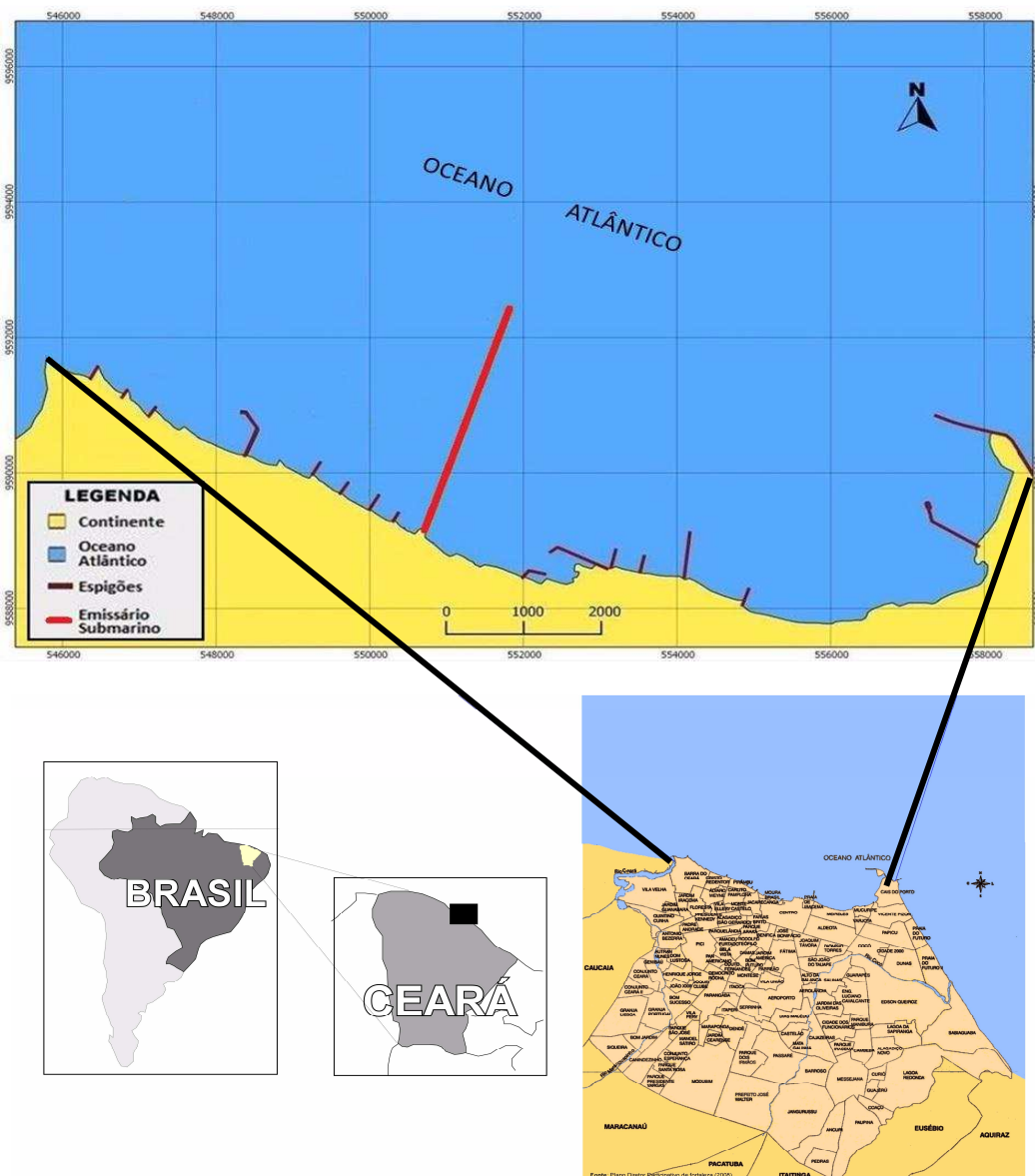
A abordagem que se dará nessa pesquisa, baseia-se na análise de diversos componentes do sistema praial/marinho (geológico, geomorfológico, hidrodinâmico) associado aos aspectos biológico e antrópico. Trata-se de uma abordagem integrada, com base no conjunto de atributos dos componentes geoambientais. Os fundamentos teóricos propostos para abordar a problemática e tratar o banco de dados a ser constituído com a metodologia empregada, foram relacionados com abordagens vinculadas às ciências geológicas, geomorfológicas, biológicas e ecologia marinha. De tal forma que os procedimentos teóricos aqui apresentados favoreçam a caracterização/diagnóstico, a quantificação e a qualificação dos componentes ambientais envolvidos, o zoneamento e a elaboração de modelo evolutivo a partir da abordagem ambiental.

3. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA

3.1. Localização da área de estudo

O emissário submarino de Fortaleza é constituído por um sistema de tubulações, responsável pela emissão no mar dos resíduos orgânicos previamente condicionados pela estação de tratamento de esgotos, que os lançam no meio marinho a uma distância de 3.300 metros da faixa litorânea, encontra-se delimitado pelas coordenadas UTM 9.590.000 m a 9.592.050 m e 551.000 m a 552.000 m respectivamente, e ao norte com o Oceano Atlântico. As coordenadas métricas usadas no presente trabalho referem-se ao sistema UTM, fuso 24 Sul, no datum horizontal SAD 69. O mapa 1 mostra a área de estudo.

Mapa 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

3.2. Geologia, geomorfologia e aspectos ambientais

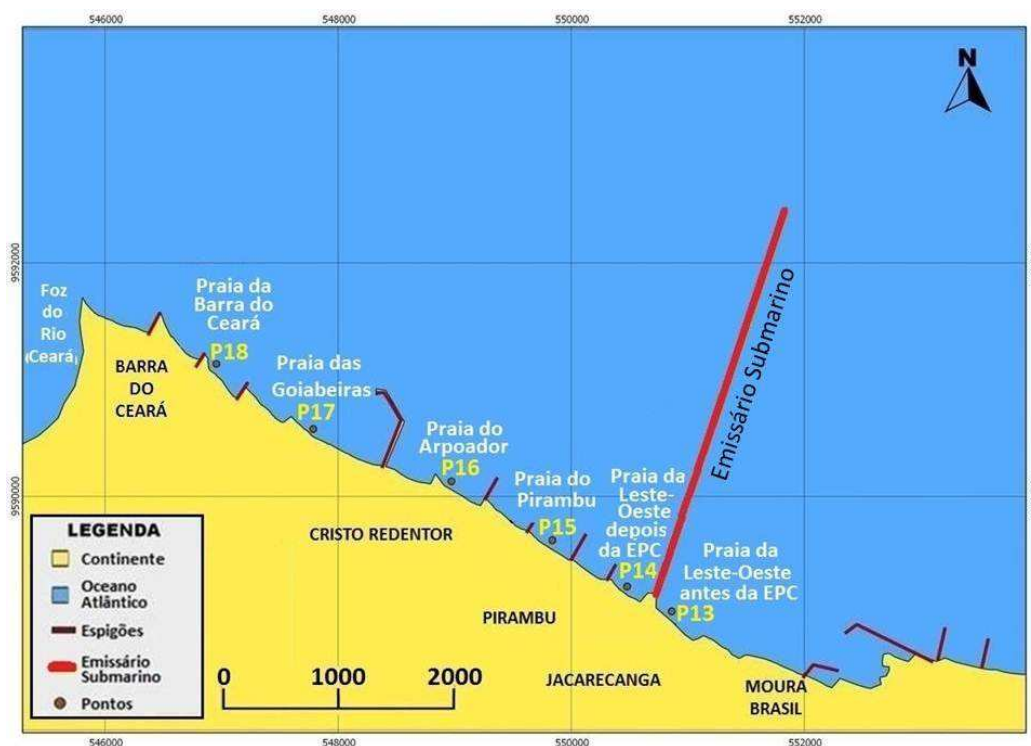
3.2.1. Ambiente praial

A praia corresponde à zona perimetral de um corpo aquoso, composta de material inconsolidado, em geral arenoso ou mais raramente composta de cascalhos, conchas de moluscos, que se estende desde o nível de baixa mar médio até a linha de vegetação permanente ou onde há mudanças na fisiografia, como zona de dunas ou de falésias marinhas (SUGUIO, 1992, p. 99). São áreas formadas por sedimentos arenosos ou rochosos, restos de conchas e cascalhos que foram transportados pelas ondas e correntes marinhas. O ambiente praial é resultante da interação entre ondas e sedimentos que sofrem uma influência de uma gama de parâmetros adicionais, destacando-se ventos, marés e demais oscilações do nível do mar.

Dentre todas as feições morfológicas da planície litorânea, as praias são os ecossistemas mais instáveis e dinâmicos, pois estão em constantes mudanças de seus perfis morfológicos e constituições faciológicas, devido à ação das ondas, das correntes marinhas e sazonalidade dos demais componentes meteorológicos em setores urbanos, sobretudo pela ação humana, através das diversas formas de uso e ocupação desordenada do solo, por isso tratam-se de sistemas ambientais fortemente instáveis, principalmente do ponto de vista morfológico e dos constituintes físico-químicos e bacteriológicos da água, pois são ambientes sujeitos a contaminação, devido ao lançamento de esgotos domésticos e resíduos sólidos provenientes de casebres localizados nas proximidades (Figura 1).

As praias da costa oeste de Fortaleza se distribuem ao longo de um trecho conhecido como Praia da Leste-Oeste, ocupando uma extensão aproximada de 8 km, abrangendo bairros como Moura Brasil, Jacarecanga, Pirambu, Cristo Redentor e Barra do Ceará (Mapa 2). As características mineralógicas, texturais e morfologia do perfil praial da área de estudo são compatíveis com as características gerais apresentadas para o litoral de Fortaleza. Os sedimentos praias no litoral oeste de Fortaleza são compostos predominantemente por grãos de quartzo polidos, raros feldspatos, palhetas de mica e minerais pesados. A fração biodetrítica está constituída por fragmentos de conchas e foraminíferos (Lehuteur *et al.*, 2003, p. 16). O ambiente praial em estudo está inserido na planície litorânea com predomínio de areias quartzozas, que apresentam caráter bimodal e polimodal ao longo da costa.

Mapa 2 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando-se o emissário submarino e as seis praias monitoradas no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Figura 1 - Aspecto de galeria pluvial utilizada para descarga de efluentes domésticos lançados no mar provenientes de casebres, Praia das Goiabeiras, Fortaleza, Ceará.

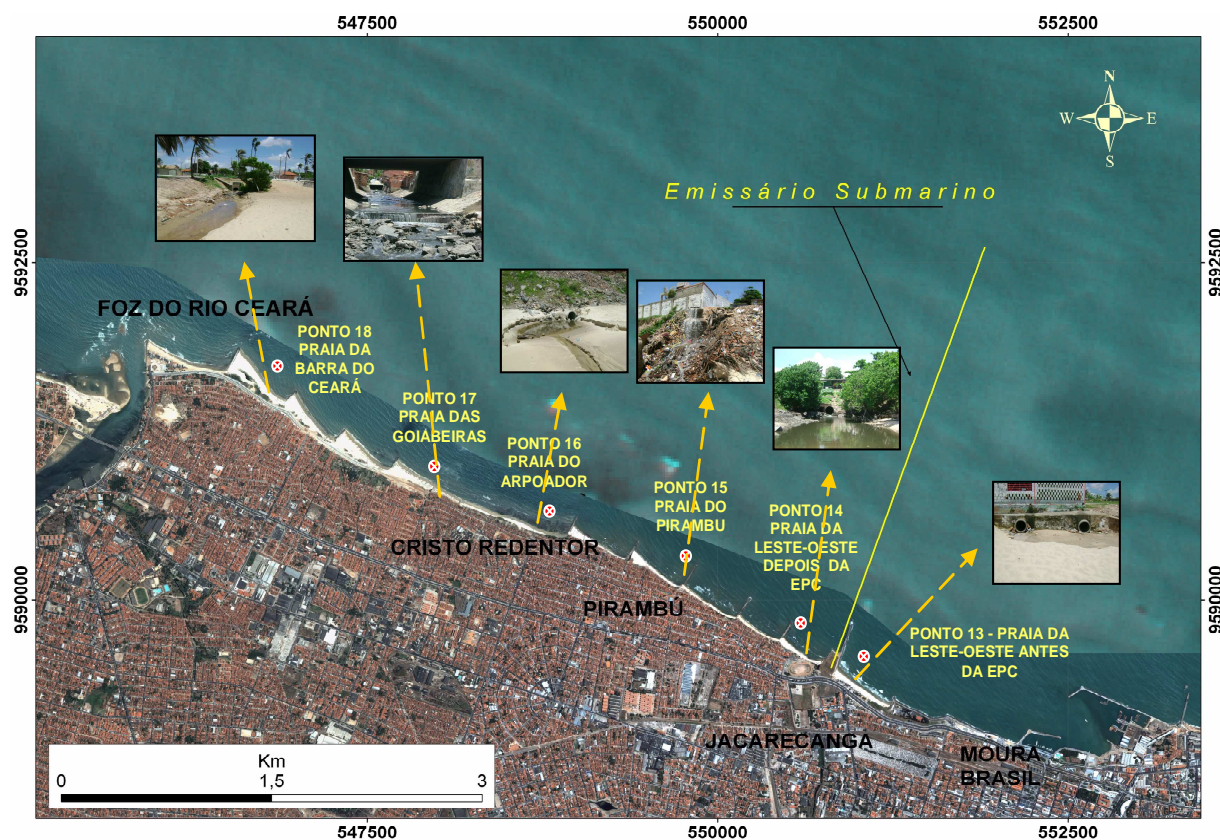


Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

As figuras 2 e 3 mostram imagens das principais fontes de poluição no litoral oeste de Fortaleza, destacando-se galerias pluviais utilizadas para o lançamento de esgotos domésticos, além de rampas de lixo de diversas naturezas, deposição de restos de material utilizados na construção civil e o próprio emissário submarino.

O litoral oeste de Fortaleza é uma área muito vulnerável, sujeita a constantes processos de erosão, gerando impactos ambientais e atingindo as comunidades litorâneas. O conjunto de intervenções realizadas ao longo dos anos no litoral de Fortaleza, principalmente a instalação do Porto do Mucuripe na década de 40, alterou o fluxo de sedimentos, afetando o processo de alimentação destas praias e modificando a dinâmica costeira desta área. O ambiente em estudo, na sua faixa de praia, é composto por uma sequência de onze espigões construídos perpendiculares a linha de costa, visando proteger essa faixa do litoral dos processos erosivos, facilitando o acúmulo de sedimentos nestas áreas (Figura 2).

Figura 2 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando-se o emissário submarino, as praias monitoradas e os principais pontos de poluição.



Fonte: Imagem do satélite Quickbird - Ano 2004. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Figura 3 - Emissário submarino de Fortaleza (3a) e galerias pluviais usadas para o escoamento de esgotos (3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g e 3h) no litoral oeste de Fortaleza.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

As seguidas intervenções nestas áreas (construção da Avenida Leste-Oeste, Marina Parque) e a instalação do emissário submarino transformaram o perfil natural destas praias, provocando déficit no balanço sedimentar e contribuíram para acelerar os processos erosivos nesta área. Desta forma, trata-se de uma faixa de praia com forte influência das ações humanas, interferindo nas características dos componentes ambientais e na deriva litorânea dos sedimentos.

Os processos erosivos provocam impactos negativos significativos, destacando-se a perda do patrimônio paisagístico e urbano, abandono e desvalorização de terrenos próximos ao mar, além do colapso de atividades sócio-econômicas associadas ao lazer e ao turismo. A erosão no litoral oeste de Fortaleza está evoluindo sobretudo porque as medidas adotadas pela gestão pública, como a construção de espigões e paredões, não são apropriadas, pois bloqueiam o fluxo de sedimentos que se acumulam nestas estruturas, interferindo no equilíbrio sedimentar destas áreas.

A dinâmica sedimentar no litoral de Fortaleza, tem sido significativamente alterada pela interferência antrópica, através de obras de engenharia mal planejadas. Na área em estudo, a construção de uma série de molhes e espigões desde o Porto do Mucuripe até a foz do Rio Ceará, tem contribuído para alterar o fluxo de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea, afetando a alimentação natural destas praias.

A problemática ambiental urbana resulta, também, de uma grande diversidade de impactos ambientais negativos e das diferentes medidas através das quais se procura solucionar tais impactos. Entre os impactos ambientais destacam-se aqueles referentes aos problemas de saneamento básico, que refletem diretamente na qualidade de vida das populações urbanas (Souza, 2002, p. 43).

Em termos ambientais, esta porção do litoral de Fortaleza, vem sendo alvo de constantes ações antrópicas, sem qualquer tipo de planejamento e respeito pelo meio ambiente, o que resulta no comprometimento do equilíbrio ecológico, da qualidade ambiental e na ameaça a qualidade de vida das comunidades aí existentes, representando ainda sérios riscos a saúde dos usuários destas praias (Figura 3).

3.2.2. Ambiente marinho

A plataforma continental é a zona marginal dos continentes caracterizada por suave declividade, que se estende da praia até a profundidade máxima de cerca de 200m. O relevo local da plataforma continental é inferior a 18m e sua largura é variável até mais de 300 km.

Os sedimentos da plataforma são formados predominantemente de material arenoso, sendo freqüente a ocorrência de seixos e rochas aflorantes nas suas bordas externas. Os sedimentos terrígenos se estendem da linha de baixa-mar até a profundidade de 10 a 20 metros, em uma faixa bastante estreita. Em seguida, estão as algas calcárias que ocorrem em manchas esparsas na profundidade de 10 a 20 metros e, daí em diante, em bancos contínuos até a borda da plataforma continental (Morais, 1981, p. 20).

A plataforma continental do nordeste oriental do Brasil apresenta pouca declividade e largura variando entre 100 km no extremo oeste a 40 km no extremo leste. Podemos distinguir dois setores reconhecidos por marcadores sedimentares ao longo de sua maior parte. Até a isóbata de 20m, areias quartzosas e sedimentos clásticos são dominantes. Esta faixa é seguida por uma mais larga até cerca de 70m de profundidade na plataforma externa, dominada por algas calcáreas (Summerhayes *et al.*, 1975). Os dois setores podem ser caracterizados por diferentes fácies sedimentares (Organogênica e Terrígena). A fácies organogênica é formada por areias e cascalho constituídos por biodetritos de algas calcárias, dos gêneros *Halimeda* spp. (Clorophyta) e *Lithothamnium* spp. (Rodophyta). A fácies terrígena por sua vez é caracterizada por sedimentos siliclásticos.

A plataforma continental do estado do Ceará é formada por sedimentos carbonáticos constituídos por algas coralíneas ramificadas ou maciças, associadas a marcantes quantidades de halimedas (Coutinho, 1995, Freire & Cavalcante, 1998). É constituída por uma considerável espessura de estratos sedimentares de idade mesozóica e cenozóica, coberta por camadas de sedimentos inconsolidados, de espessura variando de 15 a 20 metros (Smith & Morais, 1984, p. 87), recebe sedimentos retrabalhados da Formação Barreiras e do embasamento cristalino, através de drenagens de pequeno a médio porte (Freire, 1985). As rochas do

embasamento cristalino são predominantemente félsicas e essa estrutura é recoberta por sedimentos neogênicos da Formação Barreiras na faixa litorânea.

As algas calcárias ou depósitos de calcário biogênico/biodetrítico são os componentes principais de formação do fundo da plataforma continental e constituem a base de sustentação dos estoques pesqueiros, característicos dos fundos duros como os da região nordeste do Brasil, sobre a qual cresce uma grande biomassa rica em algas marinhas.

3.2.3. Sedimentologia

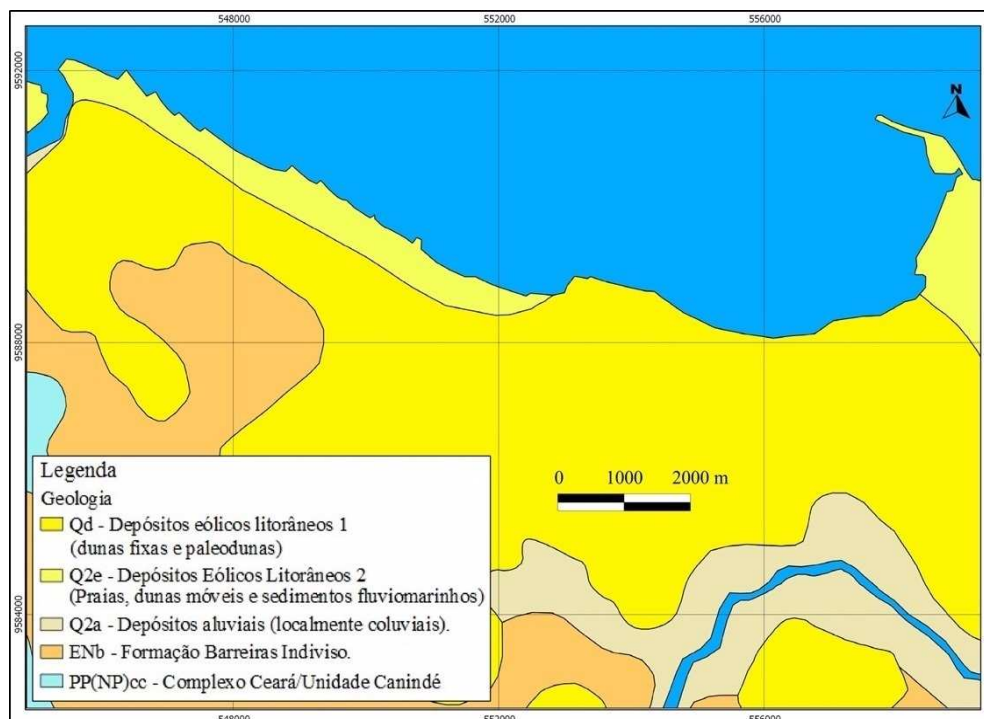
O litoral do município de Fortaleza é constituído de material geológico da idade terciária (Formação Barreiras) e recoberto por material do Quaternário (areias praias, eólicas, flúvio-marinhas e dunas) (Mapa 3). O material arenoso é encontrado em espessuras diferentes, constituído por areia grossa, muito permeável, facilitando a percolação da água, que é detida no perfil ao encontrar a camada impermeável (IPLANCE, 1993, p. 9).

O arcabouço geológico/geomorfológico da área de estudo encontra-se representado por Tabuleiros Pré-Litorâneos sustentados pelos sedimentos da Formação Barreiras, de dunas e da faixa praial (Souza, 1988) (Mapa 4).

No decorrer da extensão da costa norte e nordeste do município de Fortaleza, há predominância de rochas de praia (*beachrocks*) em níveis descontínuos, inseridas nos sedimentos de praia, observadas desde o nível das marés baixas até ligeiramente acima das marés altas. Em menor escala há presença de afloramento de rochas da Formação Barreiras, assentando-se diretamente sobre o embasamento cristalino (pré-cambriano), nas proximidades do setor portuário.

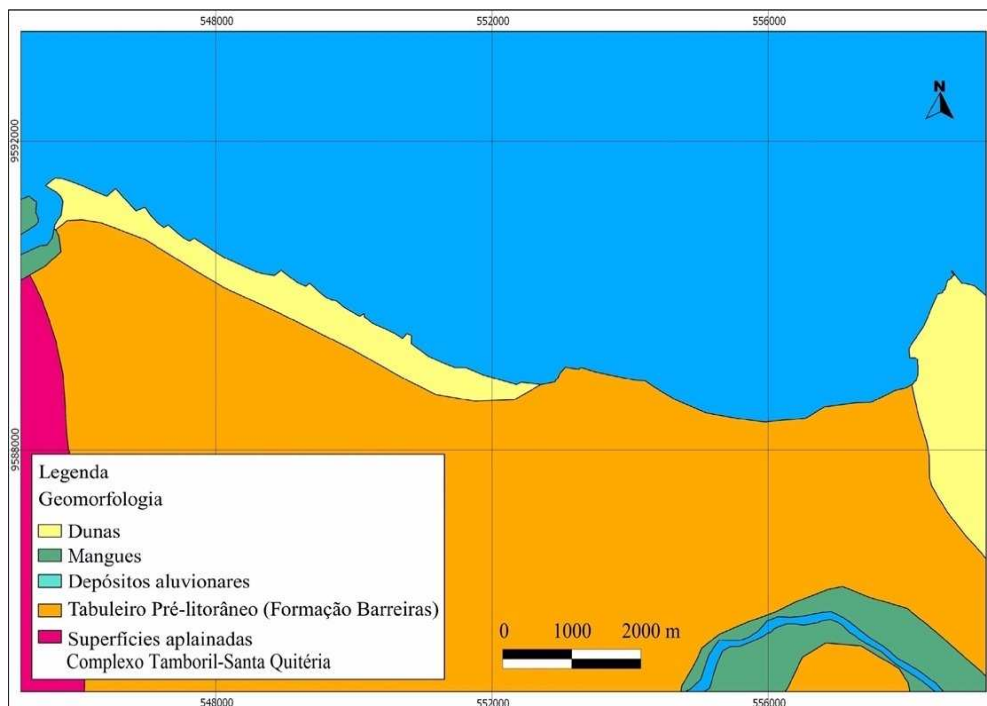
As rochas que afloram na faixa de praia (plataformas de abrasão marinha) compõem-se de arenitos argilosos, de tons avermelhados, creme ou amarelados com granulação variando de fina a média, com grãos mal selecionados e subarredondados. Exibe matriz argilosa caulínica, com cimento argiloso ou silicoso, desenvolvendo os horizontes mosqueados e concrecionários do perfil laterítico e apresentando-se às vezes sob forma de crostas ferruginosas (DNPM, 1998).

Mapa 3 - Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM, 2003.

Mapa 4 - Mapa geomorfológico da área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM, 2011.

A planície litorânea de Fortaleza concentra elevado estoque de sedimentos quaternários, modelados por processos eólicos, marinhos, fluviais e mistos. As faixas de praias estendem-se por toda a extensão da costa, com larguras irregulares, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis (DNPM, 1998).

3.3. Variáveis climáticas e oceanográficas

3.3.1. Clima

O conhecimento das condições climáticas é de fundamental importância para a análise do comportamento dos agentes da dinâmica costeira, participando efetivamente nos processos modificadores da morfologia e fisiografia litorânea. Os dados meteorológicos sistematizados nesta pesquisa foram oriundos da estação meteorológica do Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Fortaleza é do tipo AW', que equivale ao macroclima da faixa costeira de clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas distribuídas no verão e no outono.

As características climáticas da área estudada apresentaram oscilações e caracterizaram regimes sazonais. Constatou-se que a pluviosidade apresenta variabilidade ao longo do ano, caracterizando-se por um período de elevada precipitação e irregular, e um longo período seco.

As condições meteorológicas, principalmente as precipitações, ventos e ondas na região mantêm uma estreita relação com o processo de deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e com as condições meteorológicas no Hemisfério Norte. Nas latitudes tropicais, as maiores variações climáticas estão associadas com as mudanças sazonais da zona de convergência intertropical (ZCIT).

A faixa de movimentação da ZCIT é marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste. Durante os meses de dezembro a abril seu deslocamento ocorre na direção sul. Neste período, verifica-se a presença dos alísios de NE, que também se aproximam da costa. A ocorrência de ondas provenientes de NE da mesma forma é verificada

com maior intensidade neste período. De junho a novembro a ZCIT desloca-se gradativamente para norte, afastando-se do equador. Neste período, as chuvas começam a diminuir até caracterizar-se o período de estiagem. Ao mesmo tempo os alísios de sudeste/este se tornam mais efetivos, aumentando sua predominância em relação aos de nordeste e as ondas de SE/E dominam a faixa costeira.

3.3.2. Precipitação

O regime pluviométrico do município de Fortaleza é muito concentrado, verificando-se um período chuvoso e outro seco. A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema sinótico responsável pelo estabelecimento da quadra chuvosa. A precipitação média é da ordem de 1.600 mm/ano (DNPM, 1998). As chuvas se concentram, principalmente nos meses de fevereiro, março, abril e maio quando o estado fica sob a influência da Zona de Convergência Intertropical. No litoral oeste de Fortaleza, os índices pluviométricos situam-se em torno de 1000 e 1350 mm anuais. De janeiro a julho é notada uma maior densidade pluviométrica em que ocorrem quase 90 % do total anual (1.196 mm). Nesse período, o trimestre que alcança o máximo de precipitação é dado pelos meses de março, abril e maio com média mensal de 21 dias (Gráfico 1). No segundo semestre, a distribuição das chuvas se processa de maneira irregular e escassa, chegando a 257,9 mm. O período de setembro a novembro é considerado mais seco (IPLANCE, 1993, p. 3) (Gráfico 1).

As médias pluviométricas anuais para várias localidades na região sugerem uma discreta tendência de aumento no volume de chuvas no sentido de NW em direção a SE, com maiores totais verificadas na capital do estado (Fortaleza). Neste contexto, também se verifica uma maior concentração de chuvas na porção litorânea em relação ao interior. A avaliação do padrão pluviométrico da região caracteriza-se pela alternância de anos de elevada pluviometria com outros de baixa a muito baixa, além de períodos de precipitações consideradas extremamente baixas. Este processo é mantido pelas características da circulação atmosférica e oceânica, de forma que nos anos chuvosos são associados ao fortalecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte e o simultâneo enfraquecimento do Anticiclone do Atlântico Sul, associados às anomalias positivas de temperatura da superfície marinha (TSM) no Atlântico Norte tropical e negativas no Atlântico Sul tropical. Estas características são responsáveis pelo prolongamento da estação chuvosa, configurando um panorama considerado como um ano chuvoso, enquanto padrões opostos são observados durante anos de seca.

A formação das chuvas no estado do Ceará é influenciada diretamente por dois fenômenos climáticos: o “El Niño” e a “La Niña”. Em termos práticos, para que ocorra um bom período chuvoso no Ceará, a “La Niña” é muito bem vinda; enquanto o “El Niño” dificulta o processo de precipitação.

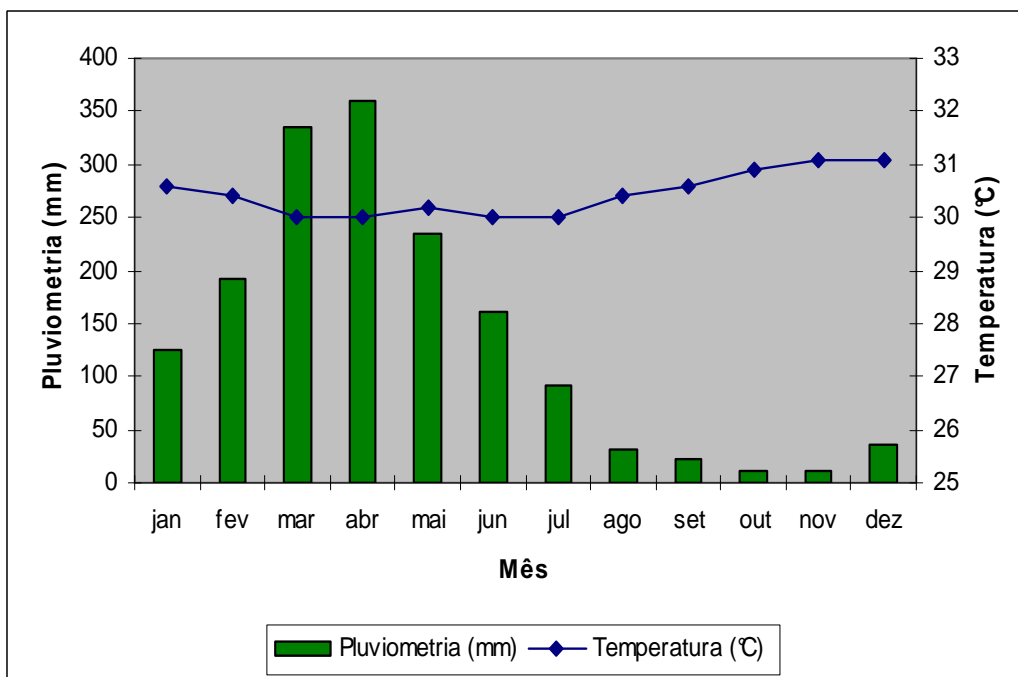
O “El Niño” trata-se de um fenômeno atmosférico-oceânico que se caracteriza pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias (ICESS, 2010). Na região sul, atua de forma a intensificar os jatos de circulação do ar, bloqueando as frentes polares na região mais ao sul do país e provocando precipitações anormalmente fortes (Ledru, 1993), enquanto na região mais a norte do Brasil o efeito deste fenômeno ocorre de forma contrária, pois o aumento na circulação do ar faz com que a ZCIT permaneça por mais tempo na porção norte do país, produzindo um déficit de precipitações e desenvolvendo prolongados períodos de seca.

Por outro lado, destaca-se ainda o fenômeno “La Niña”, que trata-se de um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño e caracterizado pelo esfriamento das águas na faixa equatorial do oceano Pacífico, produzindo índices mais significativos de chuvas entre os meses de novembro e janeiro, nas áreas mais setentrionais do nordeste (centro sul dos estados da Bahia, Maranhão e Piauí) do que na região mais semi-árida (Maia, 1998).

O gráfico 1 mostra que, no tocante às chuvas, Fortaleza tem duas estações bem definidas: o segundo semestre é bastante seco, enquanto o primeiro é mais chuvoso, com maiores totais pluviométricos concentrando-se nos meses de março e abril.

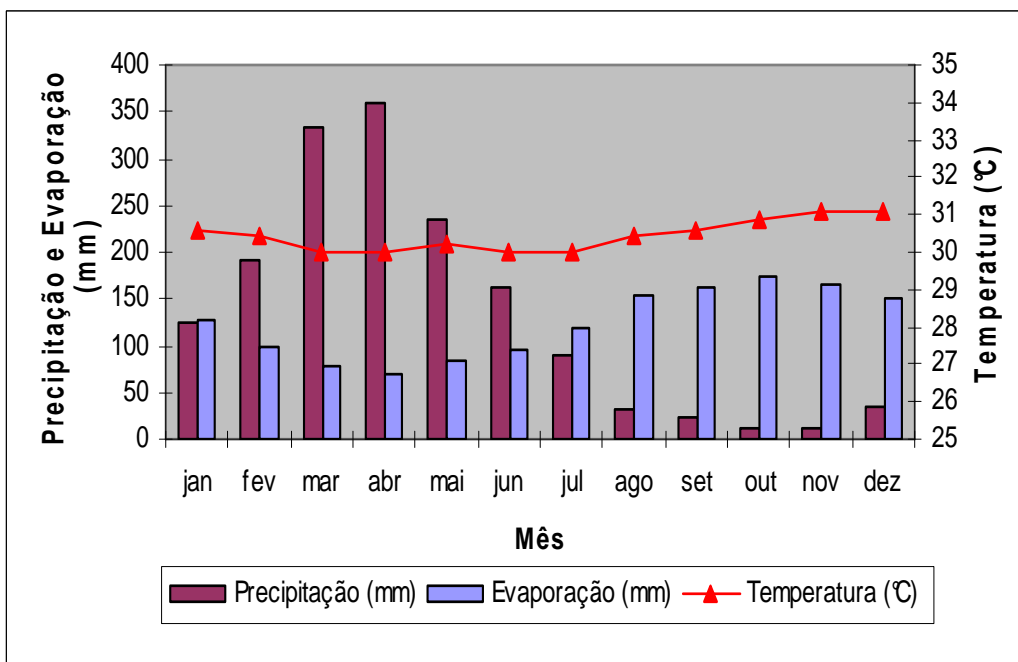
O litoral oeste de Fortaleza é caracterizado pela ocorrência de elevadas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, forte insolação, elevadas taxas de evaporação, baixos valores de nebulosidade e marcante irregularidade das chuvas no tempo e no espaço, principal característica do seu regime pluviométrico (IPLANCE, 1997, p. 22). A variação da precipitação em relação à evaporação e temperatura do ar em Fortaleza no período de 1966 a 2010 está representada no gráfico 2.

Gráfico 1 - Variação das médias mensais de precipitação e temperatura na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, 2011.
Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

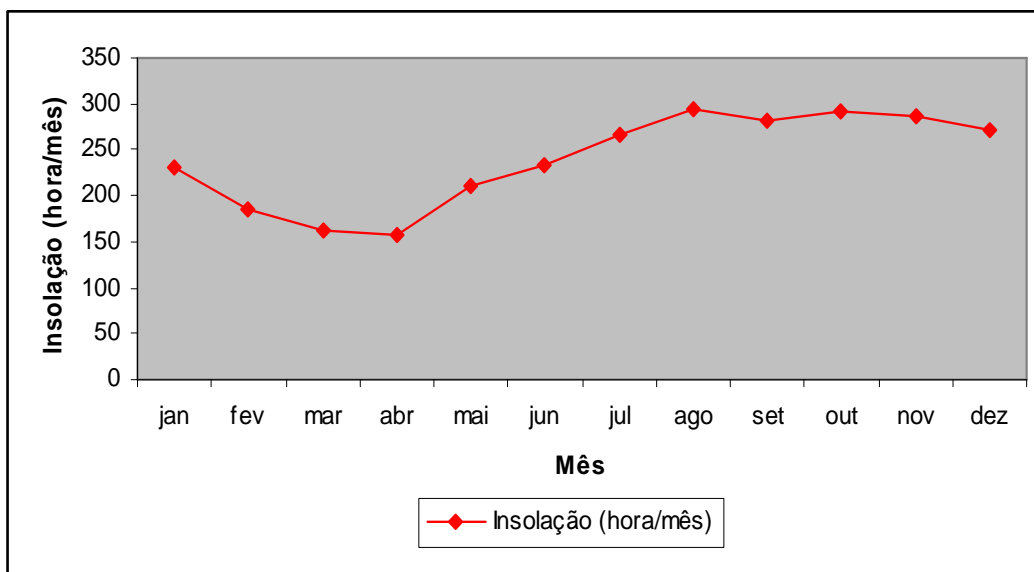
Gráfico 2 - Variação da precipitação em relação à evaporação e temperatura do ar em Fortaleza no período de 1966 a 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, 2011.
Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

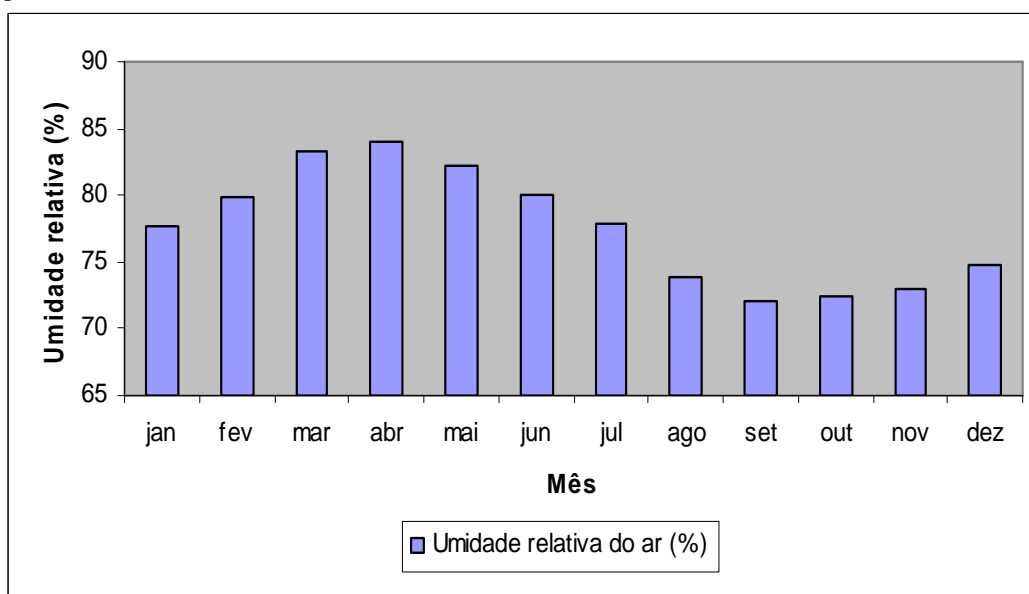
No período mais chuvoso (janeiro a junho), as médias mensais de insolação são mais baixas, influenciando nas médias de temperatura e evaporação que apresentam valores menores (Gráfico 3). A umidade relativa do ar, por sua vez, nesse mesmo período, apresentou os valores mais elevados (Gráfico 4).

Gráfico 3 - Variação das médias mensais de insolação na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, 2011.
Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 4 - Variação das médias mensais da umidade relativa do ar na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, 2011.
Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

3.3.3. Ventos

Os ventos que atingem a costa brasileira são basicamente desenvolvidos pelo sistema de circulação atmosférica, definido pela célula de alta pressão do Atlântico Sul de características semi-estacionárias, que constitui o principal centro de circulação atmosférica do Brasil, bem como pelo avanço da Frente Polar Atlântica, gerando vigoroso vento de sul – sudeste. Dentro do aspecto da geração de ventos, incluem-se ainda os alísios de NE, controlados essencialmente pela movimentação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e que afeta principalmente a porção norte do Brasil.

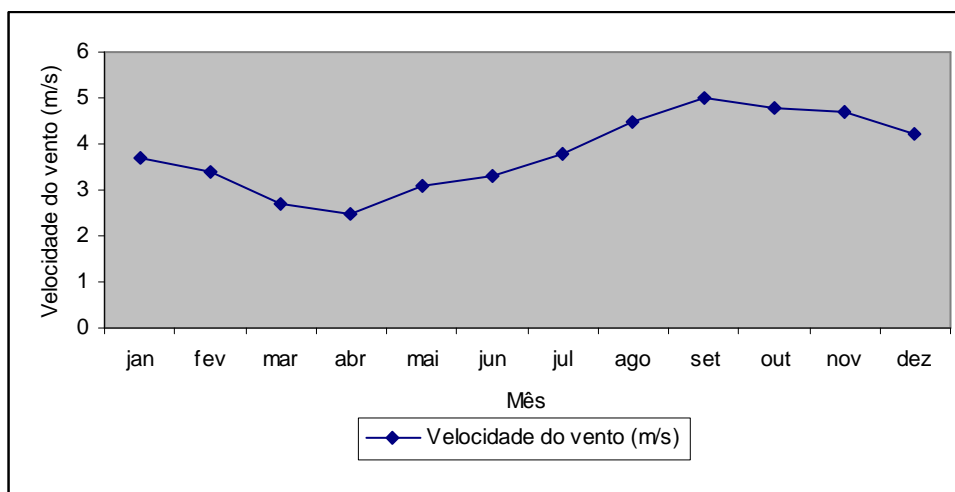
A zona costeira do Estado do Ceará é submetida pela contínua circulação atmosférica subequatorial dos ventos alísios, sendo intensificada pelas brisas marinhas. Os ventos alísios correspondem a regime de ventos, que convergem dos hemisférios terrestres para uma região de baixa latitude no entorno da linha do Equador, denominada de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Lehuguer *et al.*, 2003, p. 9). A direção predominante dos ventos no litoral oeste de Fortaleza situa-se no quadrante SE, tanto para as medidas tomadas na zona de berma quanto na zona de estirâncio.

As velocidades médias dos ventos na faixa costeira apresentam em geral valores sensivelmente superiores àqueles observados em pontos mais distantes da costa, mais propriamente nos centros urbanos. Este aspecto foi abordado por Maia (1998) que atribui esta característica ao fato do meio urbano exercer forte influência sobre o padrão de ventos.

O litoral de Fortaleza forma um ângulo próximo de 45° com o Equador, oferecendo assim condições para penetração direta do fluxo dos ventos alísios em direção preferencial Leste-Oeste e Nordeste-Sudeste, que agem durante quase todo o ano. A velocidade média dos ventos é de 4,2 m/s (Gráfico 5).

Durante o verão-outono, a interferência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) proporciona o início da estação chuvosa, resultando em uma modificação brusca na direção dos ventos que convergem para sudeste (IPLANCE, 1993, p. 3). Os ventos e brisas marítimas que se intensificam consideravelmente durante o verão constituem importantes fatores moderadores das condições climáticas.

Gráfico 5 - Variação da velocidade do vento na cidade de Fortaleza no período de 1966 a 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici, Dep. de Engenharia Agrícola da UFC, 2011.

Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

3.3.4. Ondas

A análise da dinâmica costeira requer, necessariamente, a caracterização do clima de ondas como etapa imprescindível para compreensão dos processos de modelamento costeiro e para a determinação da intensidade, direção da deriva litorânea e seu potencial de transporte de sedimentos.

As ondas correspondem a perturbações que se propagam através da água, sendo produzidas pelos ventos que transferem energia para a superfície da água. O desenvolvimento de ondas em águas profundas é causado principalmente pela velocidade e duração do vento e pela área na qual este sopra. A base da onda é definida como a profundidade máxima na qual a onda pode mover partículas e erodir os sedimentos finos do assoalho marinho. As ondas constituem-se em agentes fonte de energia, que se diferenciam por atuarem em diferentes tipos de praias (feições morfológicas) apresentando intensidades variadas.

As ondas são classificadas de acordo com seu comprimento em seas (vagas) e swell (ondulação) (Morais,1996). As ondas “*seas*” caracterizam-se pela irregularidade, apresentam cristas pontudas e dependem da direção, duração e velocidade dos ventos e incluem as ondas formadas por ventos locais; enquanto que as ondas “*swell*” são mais suaves, apresentam forma sinusoidal e são geradas em campos de ventos distantes. Maia (1998) estudou

uma seqüência de quatro anos de medições de ondas realizadas no Porto do Mucuripe (Fortaleza), pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), com a utilização de uma bóia do tipo Waverider (Datawell), instalada a uma profundidade média de 16 m a leste do espigão da Praia do Futuro em Fortaleza. Com os dados obtidos, determinou uma média de altura de onda de 1,15 m e moda de 1,14 m, apresentando período médio de onda mais freqüente de 5,70 segundos, associado à altura significativa, e média de 5,89 segundos. Identificou ainda um predomínio de ondas do tipo *sea*, representando 94,2%, em relação às de *swell*, as quais correspondem a 0,28%, e o restante (5,52%), não pôde ser definido por estarem situados entre os dois limites. Verificou também a existência de um forte controle das características das ondas pela velocidade e direção do vento, determinando um domínio das ondas de E, octantes ESE e ENE e, secundariamente de NE. Estas observações confirmam as conclusões de Moraes (1981) que verificou um predomínio das ondas do quadrante E-SE e uma ocorrência secundária de ondas de NE para a mesma região.

3.3.5. Marés

A ação das marés desempenha um papel relevante nos processos morfogênicos desenvolvidos sobre a face litorânea, principalmente no sentido de ampliar a área de ataque das ondas, gerando correntes em estuários, canais lagunares e em águas rasas próximo à costa, além de apresentar importância para o transporte de sedimentos e poluentes. Os principais ciclos de marés, caracterizados por elevações e abaixamento do mar, são de origem astronômica, sendo que a lua desempenha o principal papel (Turekian, 1996, p. 107).

Maia (1998) avaliou que as amplitudes de marés apresentam um período de oscilação de um semestre para os valores extremos, indicando uma influência temporal (de longo prazo) das forças astronômicas sobre a maré. Observou ainda que durante os meses de junho e dezembro a amplitude das marés aumenta tanto de quadratura quanto de sizígia, ocorrendo o inverso durante os meses de setembro e março, quando verificou diferenças temporais de amplitude de marés de sizígia de 0,30-0,40 m e de 0,40-0,50 m nas de quadratura.

No litoral oeste de Fortaleza a maré é do tipo semi-diurno, caracterizada por duas preamares e duas baixa-mares no período de um dia lunar (24h 50min). A amplitude das marés em torno de 2,3 m coloca essa zona litorânea no regime de mesomaré de acordo com a classificação de Davis (1978).

3.3.6. Correntes

As correntes marinhas têm origem, na maioria das vezes, pela diferença de densidade da água que é maior quanto mais fria e/ou salgada. Esta água mais densa tende a ir para regiões mais profundas do oceano, possibilitando a subida de águas mais quentes. Este movimento provoca a formação das correntes marinhas. O calor do sol é o responsável pela circulação dos oceanos. Os oceanos circulam respondendo as duas diferentes expressões da interação da energia solar com a superfície da Terra: (1) os ventos, gerados na atmosfera por aquecimento diferencial, combinam-se com as superfícies dos oceanos para produzir um sistema de circulação dirigido. (2) a evaporação e refrigeração produzem variações na densidade, causando reajustamentos no campo gravitacional da Terra pelo movimento das massas de água, este movimento dirige a circulação oceânica de profundidade e é chamado sistema de circulação. A rotação da Terra também tem influência direta sobre os oceanos, mas o efeito indireto causado pelos ventos é o maior responsável na caracterização dos padrões de correntes superficiais (Turekian, 1996, p. 102).

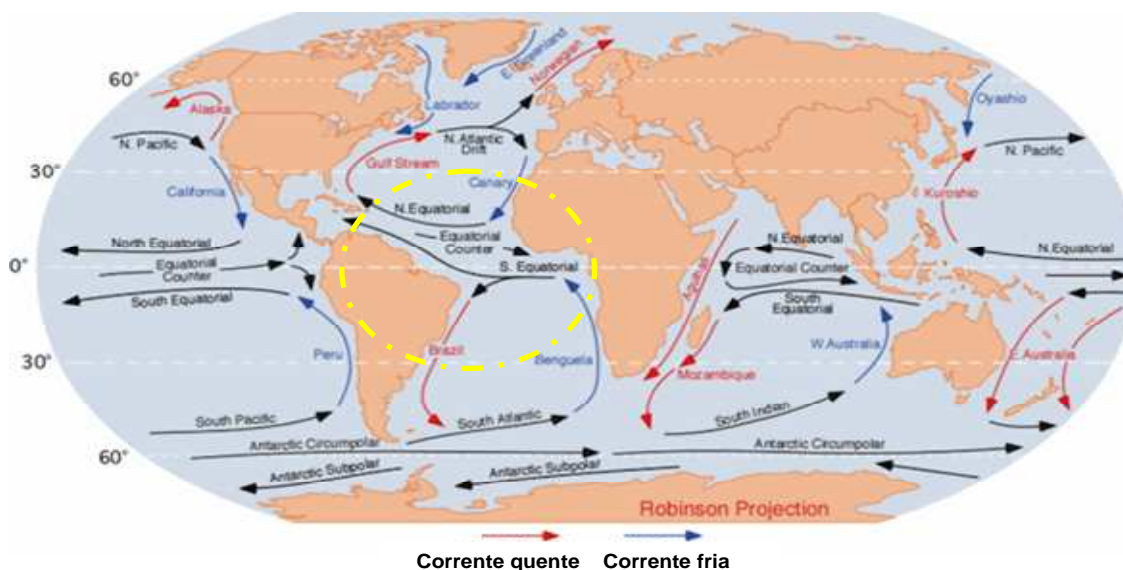
As correntes costeiras para regiões com profundidades inferiores a 100m são o produto da interação entre a ação do vento e as flutuações da maré. A ação do vento pode gerar dois sistemas de correntes: (a) uma corrente sazonal principal paralela à costa, que segue o padrão de variação dos ventos regionais, e (b) uma corrente secundária perpendicular a costa, gerada pelos sistemas de brisas locais. O importante é ressaltar que o sistema costeiro pode apresentar uma componente adicional, gerada por variações no gradiente de densidade devido ao influxo de águas continentais (rios).

O litoral nordestino sofre influência marcante da Corrente Sul-Equatorial, que vem da costa da África, paralelamente ao Equador, numa velocidade média de 15 milhas por dia. Nas proximidades do Cabo de São Roque, na Paraíba, esta se bifurca, e um dos ramos segue no sentido norte, formando a Corrente das Guianas, enquanto o outro segue em direção sul constituindo a Corrente do Brasil, cuja velocidade atinge 20 milhas por dia (Figura 4). Essas correntes, geralmente, apresentam temperatura e salinidade alta e são pobres em sais nutrientes (Penteado, 1968; Dias-Neto & Dorneles, 1996).

A corrente do Brasil, principal corrente superficial brasileira, traz água tropical pouco densa e caminha sobre a plataforma ou próxima sobre a região da borda, fluindo para o

sul ao longo da costa leste do continente sul-americano. As correntes aqui retratadas são responsáveis pelo transporte de grandes massas de água e de detritos, influenciando no clima e exercendo papel importante na modelação e configuração dos contornos dos litorais e no transporte dos sedimentos (Figura 4).

Figura 4 – Circulação global das correntes oceânicas, destacando-se a atuação da corrente sul-equatorial.



Fonte: Paull, G.J., 2011.

3.3.6.1. Corrente de deriva litorânea

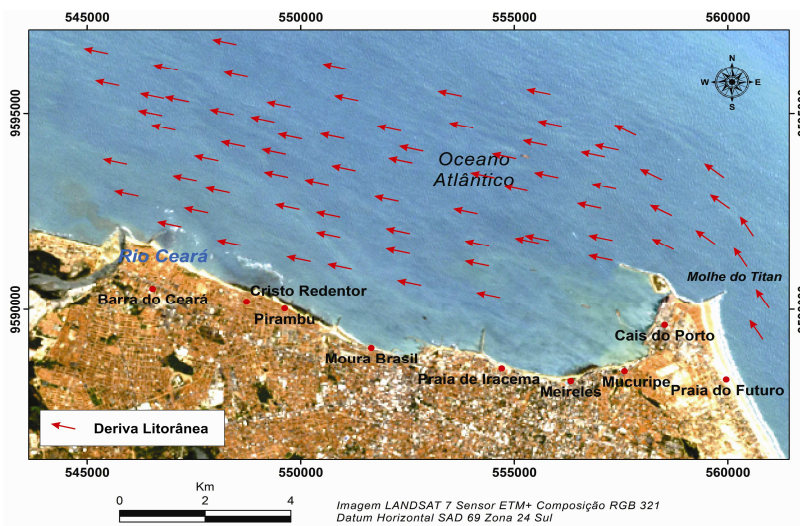
A deriva litorânea corresponde à movimentação de areias, cascalhos e outros materiais componentes das barras e praias ao longo da costa, material movimentado na zona litorânea, principalmente por ação de ondas e correntes (Suguio, 1992, p. 43). São correntes induzidas por ondas que se aproximam obliquamente do litoral. A dinâmica sedimentar costeira é controlada, fundamentalmente, pela deriva litorânea. Este trânsito de sedimentos é criado quando as ondas incidem obliquamente à linha de costa, provocando uma corrente que flui longitudinalmente à face de praia, que corresponde à parte mais inclinada da praia, estando normalmente exposta a atuação da rebentação e do espraio das ondas, com atuação restrita a zona de surfe, que corresponde à área situada entre o limite externo de arrebatção e o limite de espraio das ondas (Dominguez *et al.*, 1983). Quando a frente de onda é paralela à costa, as correntes induzidas são mínimas e os sedimentos praias fazem somente um movimento de vai e volta, fluxo e refluxo, não sofrendo transporte lateral. Quando as ondas se aproximam

obliquamente, os sedimentos tem uma trajetória em zig zag, isto é, no fluxo eles são transportados para cima e para o lado e no refluxo da onda eles são transportados direto para baixo sem movimento lateral. O acúmulo de pequenos transportes laterais provoca uma grande movimentação de material, constituindo o principal agente responsável pela deriva litorânea de sedimentos ao longo da costa.

As correntes litorâneas ao transportarem os sedimentos, exercem um movimento designado de deriva litorânea localizando-se entre a zona de surf e a linha de costa. Estas correntes movimentam enorme quantidade de sedimento que são transportados ao longo do litoral, sendo responsável pela modelagem da costa e determinando o tipo de perfil de cada praia.

No litoral de Fortaleza, a Ponta do Mucuripe trata-se de uma ponta rochosa formada por rochas cristalinas pré-cambrianas, que se projeta em direção ao mar e define uma inflexão na linha de costa, de SE-NW (setor leste) para E-W (setor norte), segmentando a costa de Fortaleza. Levando-se em conta o sentido e a intensidade da deriva litorânea potencial efetiva, considerando-se todas as direções de ondas, identificou-se, desta forma, o sentido de este (E) para oeste (W), como a direção predominante ou efetiva da deriva litorânea. Para a região a noroeste do Porto do Mucuripe (área do emissário submarino de Fortaleza) se observa que a trajetória da corrente superficial é, em geral, paralela à costa, podendo apresentar uma certa divergência ou convergência, dependendo da direção do vento ou do percurso da maré (Figura 5).

Figura 5 - Atuação da corrente de deriva litorânea ao longo do litoral de Fortaleza.



Fonte: Imagem LANDSAT 7 ETM+, 2002.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. Obtenção da base cartográfica e elaboração de mapas

A base cartográfica foi obtida a partir de uma imagem de satélite gerada pelo *software* Google Earth, que apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas (fotografadas de aeronaves) e GIS 3D. A partir do mapa base foram elaborados os mapas georeferenciados de localização de pontos e os demais mapas temáticos, utilizando-se o *software* Quantum Gis, versão 1.4.0 – Enceladus. O datum utilizado foi o SAD 69 – Zona 24S. A utilização deste sistema de informações geográficas foi uma ferramenta imprescindível para definição da área de estudo, permitindo a elaboração de mapas interpretativos, temáticos e sintéticos, auxiliando no entendimento dos processos aí existentes, na compreensão da evolução espacial e temporal das variáveis envolvidas e dos impactos relacionados à ação antrópica. A área alvo do estudo de correntes na zona marinha do emissário submarino da cidade de Fortaleza foi definida pelas coordenadas 5516679E e 95925241N, da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 24 Sul, referenciada ao datum Córrego Alegre.

O levantamento e determinação das coordenadas dos pontos de coleta de sedimentos e água, ao longo da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, foram efetuados através de medições de coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator), utilizando-se um equipamento GPS (Global Positioning System).

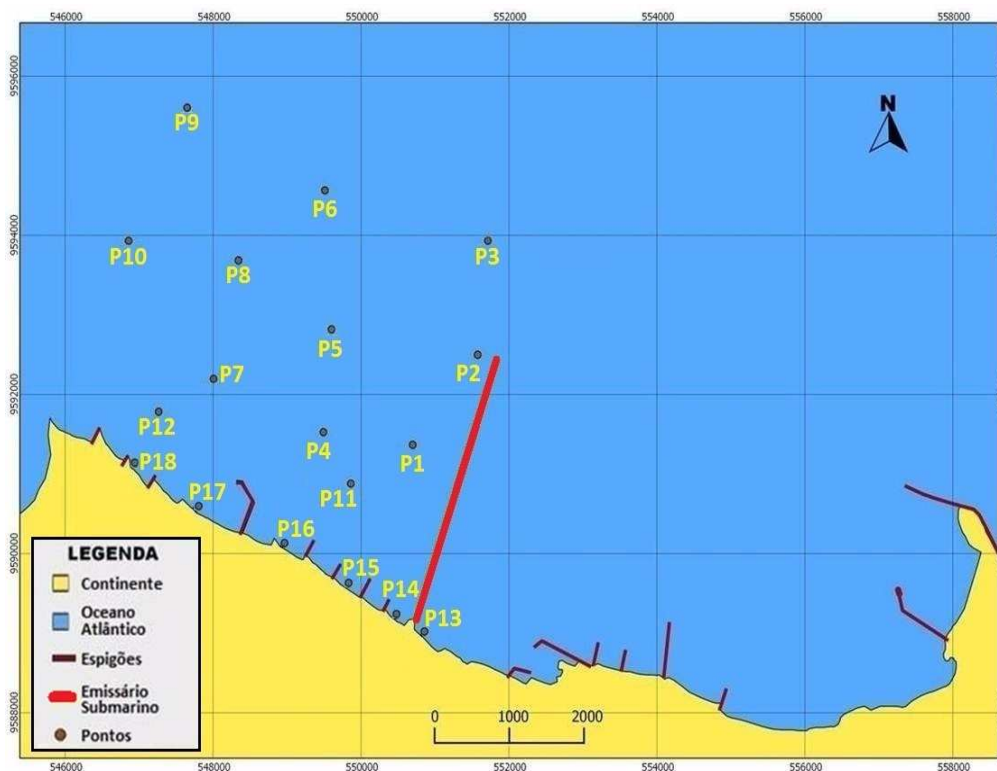
4.2. Malha amostral e procedimentos de coleta

A área de estudo envolve o emissário submarino de Fortaleza e as praias adjacentes localizadas no litoral oeste da cidade. Ao todo são dezoito pontos de amostragem (doze localizados no ambiente marinho e seis localizados no ambiente praial). As coordenadas dos pontos estudados estão representadas na Tabela 1.

O mapa 5 mostra uma imagem parcial do litoral de Fortaleza, destacando-se o emissário submarino, os doze pontos localizados na área marinha, a jusante do emissário submarino e os seis pontos monitorados na costa oeste da cidade, sendo respectivamente, o ponto 13, localizado na praia da leste-oeste (antes da EPC da CAGECE), o ponto 14, situado

também na praia da leste-oeste (depois da EPC da CAGECE), o ponto 15, na praia do Pirambu, o ponto 16, localizado na praia do Arpoador, o ponto 17 na praia das Goiabeiras e o ponto 18 localizado na praia da Barra do Ceará. Os pontos selecionados para coleta de amostras de água foram os mais críticos, representando fontes de poluição pontuais, sofrendo influência direta da descarga de efluentes domésticos através de galerias pluviais e provenientes na maioria das vezes de casebres, ocupados pela população de baixa renda, residente nas imediações dessas praias. As profundidades dos pontos de coleta estão representadas no mapa 6.

Mapa 5 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza destacando os dezoito pontos de coleta localizados na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários e nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.

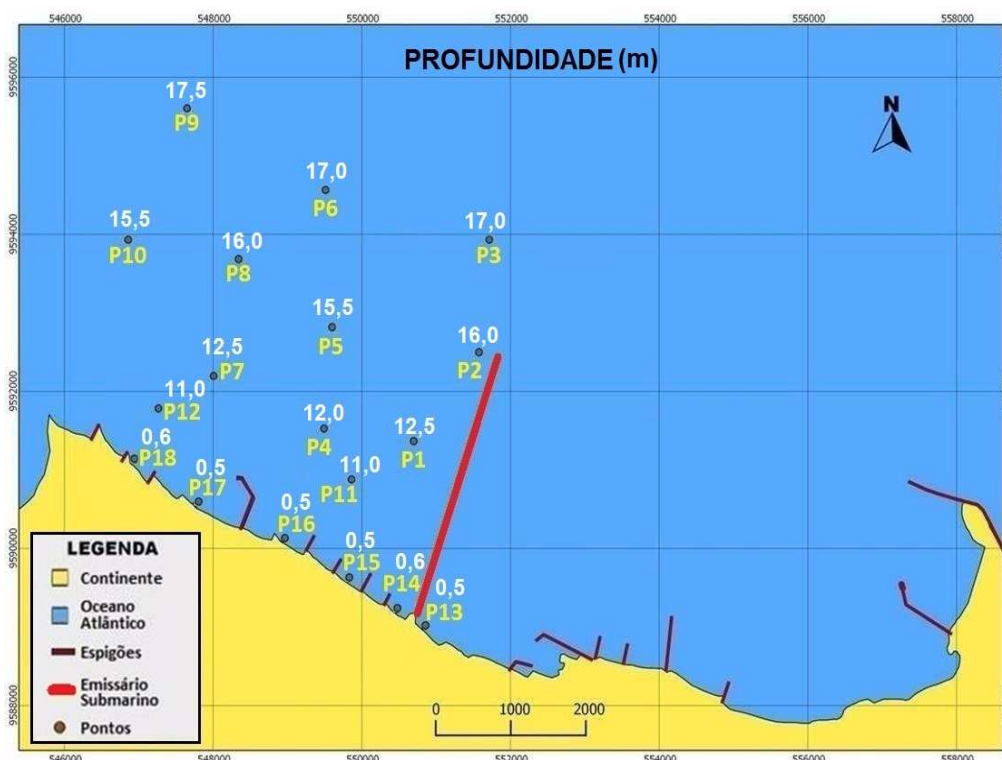


Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

As amostragens de sedimento foram pontuais e realizadas em doze pontos localizados a jusante do emissário submarino, utilizando-se um amostrador busca-fundo *Van Veen* (Figura 6), em coletas com duração média de 5 min e profundidades que variaram de 11 a 17,5 m (Mapa 6). Na coleta de água utilizou-se uma garrafa de Niskin, capacidade de 2,5 litros, sendo as amostragens efetuadas em três níveis da água (Superfície, Meio e Fundo) (Figura 7). Este procedimento de coleta permite observar o comportamento vertical dos diversos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos na coluna d'água. O mapa 6 mostra as profundidades de coleta de água na área de estudo.

A medição dos parâmetros físico-químicos da água (temperatura, salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, condutividade), foi feita *in loco* utilizando-se uma sonda multiparamétrica do tipo YSI – 556 MPS, capaz de determinar em tempo real as variáveis de qualidade da água (Figura 8). O sensor da sonda foi introduzido na água realizando a leitura dos parâmetros nos diversos níveis de profundidade.

Mapa 6 - Imagem parcial do litoral de Fortaleza destacando os dezoito pontos de coleta e suas profundidades (m) na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários e nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

A avaliação das variáveis físico-químicas de qualidade da água dos doze pontos de coleta, localizados na área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza, foi realizada com base nos limites impostos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. O enquadramento desses corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade.

Tabela 1 - Coordenadas dos Pontos (Datum SAD-69).

Ponto de coleta	E	N
1	550865.4	9591756.9
2	551667.9	9592524.1
3	551823.2	9594581.2
4	549600.8	9591911.0
5	550095.0	9593231.1
6	550651.2	9594981.0
7	548398.1	9592556.4
8	548830.8	9594183.6
9	549201.8	9596056.4
10	547134.1	9594153.7
11	550126.6	9590708.6
12	546672.2	9591846.6
13	550827.0	9589458.0
14	550769.0	9589598.0
15	549197.0	9590400.0
16	548687.0	9590540.0
17	547222.0	9591172.0
18	546471.0	9591672.0

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Figura 6 - Aspecto das diversas etapas de coleta e acondicionamento das amostras de sedimento na área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

Figura 7 - Aspecto das diversas etapas de coleta e acondicionamento das amostras de água na área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

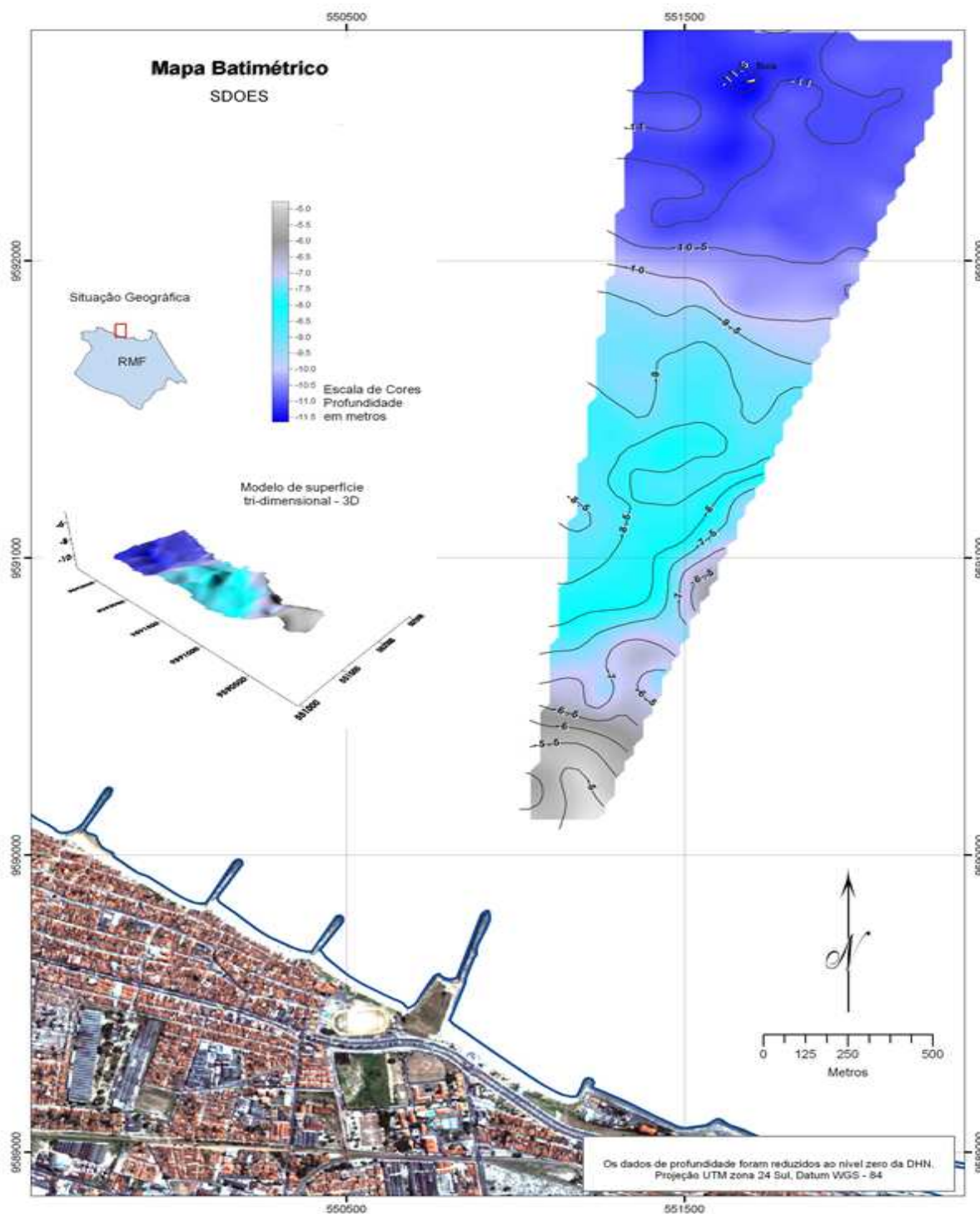
Figura 8 - Sonda multiparamétrica do tipo YSI – 556 utilizada na medição dos parâmetros físico-químicos da água na área marinha do SDOES.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

O mapa 7 representa a batimetria da área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza.

Mapa 7 – Mapa batimétrico da área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.



Fonte: LABOMAR, 2004.

4.3. Métodos de análises sedimentológicas, hidroquímicas, bacteriológicas e de correntes

4.3.1. Parâmetros sedimentológicos

As análises dos sedimentos dizem respeito à granulometria, textura, teor de sólidos constituídos de silte, argila, determinação das concentrações de matéria orgânica e carbonato de cálcio e foram realizadas no Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR); enquanto que a determinação dos teores de metais pesados (cobre, cádmio, chumbo e zinco) no sedimento ocorreu no Laboratório de Estudos em Química Aplicada (LEQA) da Universidade Federal do Ceará.

O trabalho de análise granulométrica envolveu as seguintes etapas: (a) secagem das amostras em estufa a uma temperatura de 60⁰C por 24 h; (b) quarteamento e lavagem das amostras; (c) pesagem e peneiramento dos sedimentos. Após o preenchimento das fichas de análise granulométrica, foram calculados os parâmetros estatísticos de cada amostra e feita à classificação geral da amostra pelo diâmetro médio do sedimento. Os valores de diâmetro médio foram classificados segundo Wentworth (1922) e o grau de seleção segundo Folk & Ward (1957).

Os dados obtidos a partir da análise granulométrica (valores de “phi” para frações fina, média e grossa de cada amostra) foram interpretados utilizando-se o programa ANASED 4.3i (Lima, 2000).

O teor de matéria orgânica total foi obtido pelo método gravimétrico, com a combustão de duas gramas de sedimento previamente seco em forno mufla (em duplicata) à 450°C por 24 horas (Loring & Rantala, 1992). Esta técnica é bastante utilizada no estudo de sedimentos costeiros devido a sua facilidade e alta reprodutibilidade (Carvalho *et al.*, 1999; Molisani *et al.*, 1999). O teor de matéria orgânica [MO] analisada foi obtido pela seguinte expressão:

$$[MO] = (mc \times 100) / ms$$

onde:

mc = massa perdida após a calcinação

ms = massa do sedimento

Os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram determinados pelo método do *Calcímetro de Bernard* modificado, em que as amostras de sedimentos são atacadas com ácido clorídrico (HCL) diluído em 10% em um sistema de vasos comunicantes. O sedimento é inicialmente seco a 60°C em estufa, fracionado 5,0g e acondicionado num *erlenmeyer* adaptado a um tubo de ensaio que será ligado a um sistema de provetas onde existe certa porção de água. O gás CO_2 desprendido pela reação $\text{HCL} + (\text{amostra} + \text{CaCO}_3)$ faz com que a coluna d'água dentro das provetas se desloque. É admitido um valor máximo de deslocamento para uma amostra de 99% de CaCO_3 .

A técnica empregada para a determinação de metais foi a de emissão atômica. O procedimento de preparo da amostra consistiu em submeter á amostra de sedimento á uma secagem em estufa por 36h, sob uma temperatura de 80°C . Após a secagem a amostra foi submetida a um peneiramento com peneira de 2 mesh. O procedimento de decomposição consistiu em submeter á amostra de sedimento a um aquecimento de 120°C por 4 h em uma mistura de HF (4 mL) com 3mL da mistura de HCl e HNO_3 , na proporção 3:1, respectivamente, posteriormente o digerido foi diluído para um volume de 25 mL. Os teores das concentrações dos elementos cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foram determinados empregando espectrometria de emissão atômica. Para a detecção foi utilizado um espectrômetro de emissão atômica, modelo Optima 4500, Perkin Elmer, sendo que a quantificação utilizou o método da curva de calibração.

Todo o procedimento foi realizado em triplicata para cada amostra. As condições instrumentais utilizadas na detecção da concentração dos metais analisados (cádmio, cobre, chumbo e zinco) estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros instrumentais para o ICP-OES Optima 4300.

Parâmetro	Valor
Potência da fonte de radiofrequência	1350 W
Fluxo do nebulizador	$0,8 \text{ L min}^{-1}$
Fluxo do gás auxiliar	15 L min^{-1}
Fluxo do gás do plasma	$1,8 \text{ L min}^{-1}$
Fluxo do gás da amostra	$0,8 \text{ L min}^{-1}$
Posição do detector	Axial
Número de replicata	3

4.3.2. Parâmetros hidroquímicos

Os parâmetros físico-químicos na água (temperatura, salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido e condutividade) foram determinados *in loco*, utilizando-se uma sonda multiparamétrica do tipo YSI – 556.

A determinação da concentração de nitrato (NO_3^-) na água ocorreu através do método do Salicilato de Sódio, através do procedimento de Rodier, com leitura posterior em espectrofotômetro da Hach a 415 nm. As concentrações de nitrito (NO_2^-), foram realizadas através do método colorimétrico com leitura em espectrofotômetro da Hach a 543 nm. Os teores de fósforo total, por sua vez, foram obtidos pelo método da digestão com persulfato e reação com ácido ascórbico, com leitura posterior em espectrofotômetro de Hach a 880 nm. A concentração de amônia nas amostras de água foi obtida utilizando-se o método de Nessler.

Para obtenção dos teores de óleos e graxas na água foi utilizado o método gravimétrico, baseado na extração em aparelho de Soxhlet com hexano.

A determinação de sólidos em suspensão foi realizada pelo método gravimétrico, através da pesagem do material retido no filtro de fibra de vidro AP20, 47 mm de diâmetro, marca MILLIPORE.

4.3.3. Parâmetros bacteriológicos

A avaliação da poluição fecal é de considerável importância para a saúde pública, a estética e razões ecológicas, sendo determinada pela presença de coliformes fecais (termotolerantes) ou *Escherichia coli* (Barlett, 1987). A especificidade dessas bactérias no esgoto e o grande número em que se encontram facilitam a sua quantificação.

As amostras de água para determinação das concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram trazidas ao Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), em vidros âmbar, estéreis, em quantidades de 700 mL, onde foram imediatamente processadas.

A avaliação microbiológica da água foi realizada através da técnica de fermentação em tubos múltiplos para estimar o Número Mais Provável (NMP) de coliformes

totais, termotolerantes e *Escherichia coli* em amostras de água. Essa técnica consistiu de: prova presuntiva em caldo LST, prova confirmatória para coliformes totais em caldo BVB, coliformes termotolerantes em caldo EC e a confirmação das cepas de *Escherichia coli* segundo Hitchins et. al. (2001).

Para as amostras de água foram utilizadas 3 a 5 séries (inóculos) de 5 tubos por diluição. As amostras provenientes de pontos ou níveis de profundidade onde a densidade bacteriana esperada era mais alta foram submetidas a diluições decimais seriais em solução salina estéril a 0,85%. As amostras de água foram coletadas em frascos estéreis.

Os parâmetros analisados e os métodos utilizados nas análises das amostras de água encontram-se listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros analisados e métodos utilizados nas análises de amostras de água coletadas na área marinha do SDOES.

Parâmetro analisado	Método empregado
Temperatura	Medição direta (sonda)
Salinidade	Medição direta (sonda)
Potencial Hidrogeniônico - pH	Medição direta (sonda)
Oxigênio Dissolvido	Medição direta (sonda)
Condutividade	Medição direta (sonda)
Nitrato	Espectrofotométrico UV
Nitrito	Espectrofotométrico/Alfa-naftilamina
Fósforo Total	Espectrofotométrico
Amônia Total	Nesslerização direta
Óleos e graxas	Extração de Soxhlet
Sólidos em suspensão	Método Gravimétrico
Coliformes Totais e Termotolerantes	Tubos Múltiplos

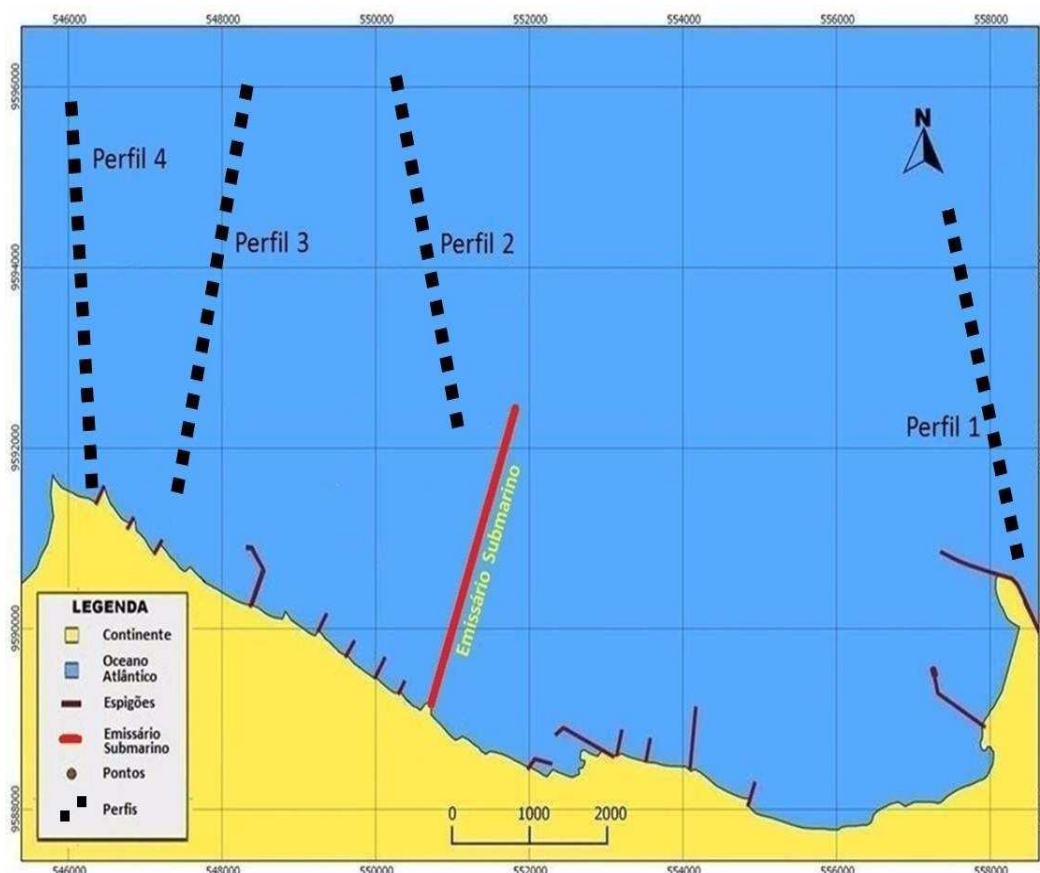
Fonte: Standard Methods for examination of water and wastewater (1992).

4.3.4. Correntes (Intensidade e Direção)

A área alvo do estudo de correntes situa-se na região final do emissário submarino da cidade de Fortaleza, definido pelas coordenadas 5516679E e 95925241N, da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 24 Sul, referenciada ao datum Córrego Alegre (Mapa 8).

Ao todo foram realizados quatro perfis de Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP perpendiculares à linha de costa, desde a área marinha do Porto do Mucuripe até a região do emissário submarino de Fortaleza (Mapa 8). O traçado destes perfis permitiu uma caracterização do regime de correntes atuantes na área de estudo.

Mapa 8 - Mapa da região costeira de Fortaleza, destacando-se os quatro perfis de *Acoustic Doppler Current Profiler* – ADCP na região do emissário submarino.

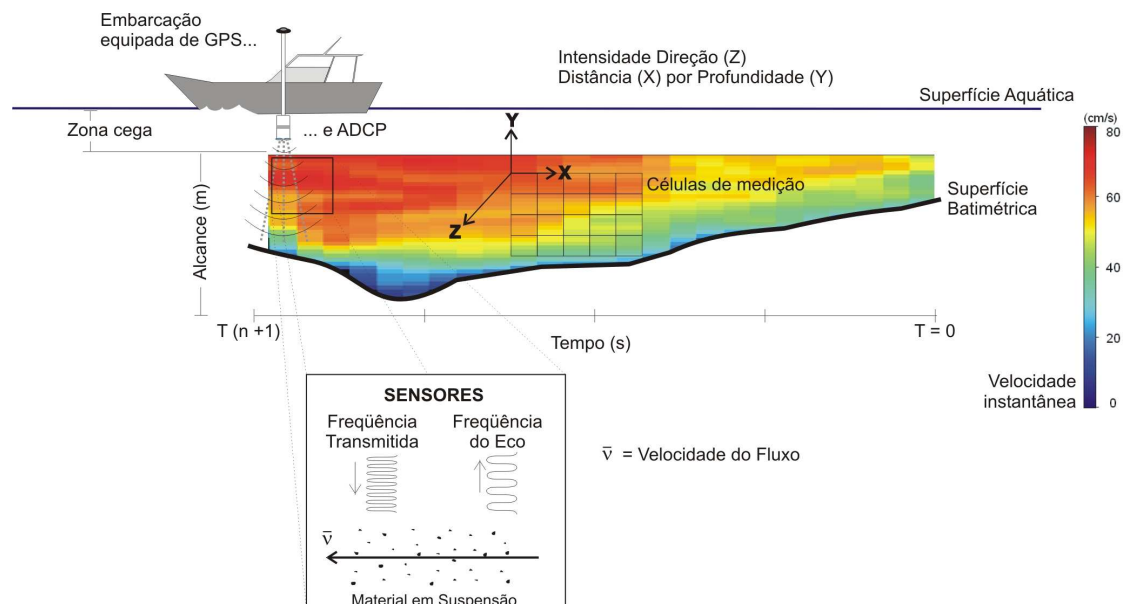


Fonte: Google Earth, 2011.

4.3.4.1. O princípio de funcionamento do ADP

O princípio de funcionamento da ADP é o do efeito Doppler. O instrumento induz um som em uma determinada frequência, que se propaga através da água e consegue captar material particulado em suspensão, ao longo da coluna d'água, os quais refletem o som ecoando de volta ao sensor. O efeito Doppler refere-se à mudança de frequência do sinal transmitido pelo sensor, causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o material em suspensão da água sob a ação do feixe das ondas sonoras. Como o material em suspensão se desloca na mesma velocidade da corrente de água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional a essa velocidade. Medindo-se a frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando-a com a frequência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente da água e esta medida pode ser relativa a posicionamento diferencial por GPS, ou em relação ao fundo (Figura 9).

Figura 9 - Ilustração do funcionamento do perfilador de correntes ADCP, que calcula as intensidades e direções por célula de medição, ao longo de um perfil.



Fonte: Sontek/YSI, 2005.

O equipamento utilizado, para medir as correntes, é um correntometro modelo ADP 3D (acoustic doppler profiler) com sensor acústico de frequência 1,5 MHz, produzido pela

SONTEK/YSI, capaz de medir perfis contínuos de correntes marinhas ao longo da coluna de água. O ADP é equipado com três sensores (*beams*) direcionados com um ângulo de 25 graus em relação à vertical. Os três sensores medem a direção (graus com relação ao norte magnético) e a intensidade da corrente (metros por segundo) ao longo dos eixos X, Y e Z. O valor resultante da direção e da intensidade da corrente é calculado pela média dos três valores obtidos ao longo dos três eixos.

Para melhor obtenção de qualidade dos dados, foi necessária a calibração ao norte magnético e o nivelamento da sonda no costado da embarcação, evitando desvios, já que os eixos X, Y e Z devem formar planos o mais próximo dos ângulos Zênite e Nadir (0° na horizontal e vertical). A navegação é feita à velocidade mínima de governo, ou seja, velocidade pouco maior que a das correntes para que a embarcação não seja dominada pelas forças dos fluxos estuarinos e nem pelo vento e não desvie a direção da embarcação sobre o perfil e nem interfira nas medidas de velocidade.

A sonda ADCP foi instalada no costado (a boreste) da embarcação a uma profundidade de 0.40m. Depois de ligada, foi definido um sistema de captura de dados a cada 10 segundos, os quais foram transmitidos a um laptop e armazenados em forma de perfis de correntes (Figura 10).

Figura 10 - Transdutor da ADCP utilizado para medição da direção e velocidade das correntes marinhas.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

4.3.4.2. Medições correntométricas

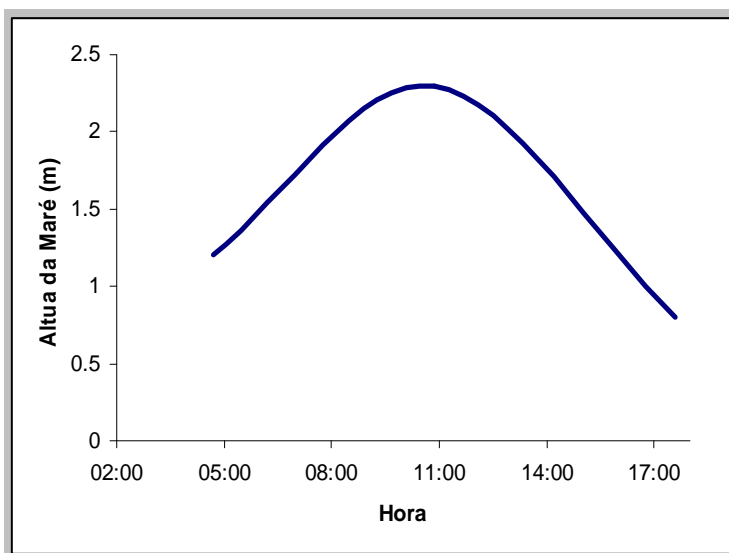
As variáveis meteorológicas estimadas, apresentaram condições favoráveis ao levantamento, com ventos brandos e pouca nebulosidade, evitando uma má condição à navegação. Visando o melhor entendimento da hidrodinâmica da região em estudo, foram definidos quatro perfis realizados a bordo do Barco de Pesquisa Prof. Martins Filho, navegando a uma velocidade média de 2,5 nós, o que atendeu as condições necessárias para a realização do trabalho (Tabela 3).

Tabela 3 - Momento inicial para as medições dos perfis com a ADCP.

Instante	Horário	Maré
1	10:12 h	Enchente
2	11:07 h	Estofa
3	12:04 h	Vazante
4	13:10 h	Vazante

Fonte: DHN.

Gráfico 6 - Curva de maré segundo a tábua de marés da DHN para o Porto do Mucuripe, Fortaleza, Ceará.



Fonte: DHN.

O regime de marés era de quadratura, com amplitude de 1,1 m pela manhã e 1,5 m à tarde, nas seguintes condições: baixa-mar às 04h41min com altura de até 1,2 m, preamar de 2,3 m às 10h51min e baixa-mar às 17h36min com 0,8 m (Gráfico 6).

5. O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO LITORAL OESTE DE FORTALEZA

5.1. Ocupação da costa oeste de Fortaleza: histórico e situação atual

O processo de ocupação do litoral de Fortaleza se deu de maneira diferenciada e segregacionista, levando-se em conta o tipo de ocupação, as atividades desenvolvidas e as políticas públicas adotadas em cada setor, destacando-se uma supervalorização da costa leste, com a implementação de habitações para acolher a população de alta renda, instalação de hotéis e áreas de lazer voltadas principalmente para o turismo, tornado-se, portanto, rota turística; em detrimento, o litoral oeste cresceu de maneira desordenada, sem um plano de valorização, acolhendo a população de baixa renda e apresentando um quadro que reflete bem a segregação espacial e social em Fortaleza, que também é marcada pela distribuição desigual dos equipamentos de lazer. Na zona leste, ocupada pelos mais afortunados, estes são mais abundantes e sofisticados, enquanto que na zona oeste são escassos e de inferior qualidade.

O litoral nem sempre foi um elemento valorizado em nossa capital. Segundo Dantas (2002), a cidade de Fortaleza se desenvolveu de costas para o mar e as áreas litorâneas eram caracterizadas como áreas que habitavam as classes pobres da cidade. Os primeiros tipos de ocupação, ligados à pesca, encontram-se na totalidade do território cearense; enquanto que as favelas representam o fenômeno típico de Fortaleza, cujo forte fluxo migratório impediu a integração de todos os retirantes às comunidades de pescadores, favorecendo a formação de favelas no litoral. Dantas (2002) expõe ainda que, a ocupação das zonas de praia pelos pobres corresponde, essencialmente, a demanda por habitação, reprimida, dos retirantes que não conseguem se estabelecer na cidade, vendo-se forçados por política higienista de ordenamento e controle social a se fixar nos terrenos de marinha.

As zonas de praia do litoral oeste não foram ocupadas pelas classes mais abastadas por serem, de um lado, delimitadas por uma antiga zona portuária e pelas favelas, por outro lado, marcadas pela poluição e ocupação popular (Araújo, 2010). As praias do litoral oeste de Fortaleza não apresentam interesses a classe abastada da cidade, visto que são afetadas pelas águas poluídas do esgotamento sanitário de Fortaleza. Este setor do litoral é intensamente ocupado pela classe pobre da cidade, agravando os processos de favelização, degradação ambiental e segregação espacial. A partir daí construiu-se uma imagem negativa da costa oeste

de Fortaleza, refugio da camada mais pobre da população e local de despejo dos dejetos produzidos na cidade.

Nas últimas décadas, a qualidade das águas costeiras tem sofrido um intenso processo de degradação, pelo lançamento de esgotos domésticos que escoam para as praias sem qualquer tratamento, seja em despejos diretos ou através de sistemas de drenagem pluvial, prejudicando o turismo e afastando os visitantes das regiões mais intensamente urbanizadas. Na grande maioria dos casos, a fuga de banhistas das praias poluídas se dá pelo simples aspecto repelente das águas. Em alguns casos, é possível assistir a um enorme número de banhistas em praias com águas aparentemente de boa qualidade, mas poluídas, fora dos padrões aceitáveis de balneabilidade.

A mais significativa proposta de requalificação urbana e ambiental do litoral Oeste de Fortaleza, o Projeto Costa Oeste, concebido ainda no Governo Lúcio Alcântara, na SDLR/ Secretaria de Desenvolvimento Local e Regional, sucedida pela Secretaria das Cidades e, rebatizado pela Prefeitura de Fortaleza, como Projeto Vila do Mar vem tentando reestruturar, qualificar e reordenar essa importante faixa de praia do litoral de Fortaleza, tornando-a saudável.

A proposta inicial tinha por objetivo principal o resgate da população do Grande Pirambu, de uma extensão de beira mar de 5,5 km, entre a Escola de Aprendizes de Marinheiro e Barra do Ceará e incluía a consolidação de melhorias urbanísticas e dotação de equipamentos públicos nesta seção da orla marítima, tais como: implantação de calçadão e via paisagística, além de nove outras vias de acesso a praia; dotação de iluminação pública, intensificação de arborização urbana que incluía o replantio de coqueirais nativos; consolidação de rede de coleta de esgoto e implantação de ramal coletor do interceptor oceânico, além da realocação da população em situação de risco em novas moradias e implementação de melhorias habitacionais e ainda a construção de equipamentos sociais (Figura 11).

O Projeto Vila do Mar tem como alvos principais o saneamento, a habitação e a urbanização de áreas degradadas, bem como a assistência social aos moradores destas áreas. Uma das grandes preocupações é promover a requalificação urbana da orla, evitando a especulação imobiliária destas áreas. Trata-se de uma intervenção urbana, enfatizando-se a questão habitacional, mantendo os moradores no local, e que pretende ainda promover a

regularização fundiária de bairros como Pirambu, Cristo Redentor e Barra do Ceará, criando condições urbanas e ambientais favoráveis e espaços voltados para o turismo, sem contar a implementação de um centro de artes e ofícios respeitando as características locais.

Figura 11 - Aspecto da intervenção urbana na costa oeste de Fortaleza, destacando-se a implantação de uma rede de coleta de esgoto e a construção do calçadão e via paisagística.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

A idéia é a de que a comunidade local participe das decisões e que os pescadores continuem no seu ambiente. A previsão do governo municipal é de que serão construídas 1.434 habitações, distribuídas em quatro conjuntos, efetuada a regularização fundiária de seis mil famílias e a melhoria habitacional de outras quatro mil, além da construção de 5,5 km de via estruturante e paisagística, com iluminação, calçadões e ciclovias e a reforma e melhoria dos espigões para garantir a preservação da área, criando um ancoradouro para as pequenas embarcações. A obra deverá beneficiar diretamente cerca de 13 mil pessoas. O projeto deverá beneficiar cerca de 10 mil famílias com obras de habitação e requalificação urbana e ambiental.

O Projeto Vila do Mar, que faz parte do Plano de Metas de Fortaleza (Plamefor), divide-se em dois eixos: habitação e urbanização. A habitação compreende os estágios de reassentamento, melhorias habitacionais e regularização fundiária. Ou seja, além de garantir

uma moradia digna à população dos bairros Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu, o projeto viabiliza aos moradores a posse regularizada das casas. Já a urbanização trata de inúmeras ações que visam à adequada estruturação do local, incluindo, dentre outros, a construção de áreas de esporte, de espaços de geração de renda e de praças, recuperação de espigões e recomposição da faixa de praia através da contenção marítima.

O processo de desapropriação e a especulação imobiliária previstos com a implantação do Projeto Vila do Mar poderão destruir a identidade destas comunidades litorâneas, descaracterizando-as e afetando todo sistema de subsistência estabelecido entre elas e o ambiente local.

5.2. Perfil dos usuários

A Praia da Leste-Oeste e os bairros adjacentes são marcados por uma elevada concentração demográfica, baixos índices de desenvolvimento humano, presença de moradias precárias e intensos conflitos envolvendo o uso e ocupação destes espaços, pondo em evidência a luta constante pelo direito a moradia (Figura 12). A poluição destas águas parece não ter influenciado na frequência dos banhistas e sim no tipo de usuário, prevalecendo os residentes locais que vêm nestes ambientes importantes opções de lazer (Figura 13). A área de estudo caracteriza-se pela heterogeneidade de realidades urbanísticas encontradas. A margem da Av. Presidente Castelo Branco os espaços possuem melhor oferta dos equipamentos urbanos, alto nível de acessibilidade e maior qualidade das construções. Em trecho intermediário, prevalecem situações de deficiência de instrumentos urbanos básicos (escolas, postos de saúde, hospitais e creches) que venham a atender a demanda e as necessidades destas comunidades e a marca constante é o grande adensamento. A condição mais precária é a situação das famílias ocupantes das faixas de praia, que habitam em casebres em zonas consideradas de áreas de risco na região, e que são caracterizadas por não apresentarem as mínimas condições de habitação (Figura 12).

O lançamento de lixo e esgotos domésticos nestas áreas (Figuras 14 e 15), próximo à área de banhistas, aliada a falta de um sistema de saneamento básico adequado, representam elementos comprometedores a manutenção do equilíbrio ecológico desses ecossistemas, bem como vetores de propagação de doenças, que afetam a qualidade de vida da comunidade e de usuários destes ambientes.

Figura 12 - Vista parcial da Praia da Leste-Oeste destacando-se as moradias precárias.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

De acordo com as observações de campo e entrevistas informais, foi possível definir que os usuários da Praia da Leste-Oeste são os habitantes dos casebres existentes nas imediações, os freqüentadores dos clubes (Clube da Marinha, Clube de Regatas), pescadores, residentes mais antigos, trabalhadores das barracas e transeuntes (Figura 13).

Figura 13 - Aspecto da Praia da Leste-Oeste destacando-se banhistas e usuários.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

5.3. Infra-estrutura local

5.3.1. Interferências antrópicas

No litoral de Fortaleza, em particular na porção oeste, o que se observa é um intenso processo de ocupação desordenado, caracterizado pela má apropriação e utilização do solo, destacando-se as áreas de praias, que são ocupadas por casas da população de baixa renda, o que demonstra um acentuado processo de favelização destas zonas. A expansão urbana intensa e desenfreada nestas áreas gera impactos ambientais e sociais significantes, comprometendo a qualidade ambiental (solo, água) e a qualidade de vida das comunidades aí residentes.

As praias que compõem o litoral oeste de Fortaleza são consideradas poluídas, devido à alta concentração populacional, a inexistência de uma rede de saneamento e de esgoto adequada, a utilização de galerias pluviais para o escoamento de efluentes domésticos e a presença de lixo nas vias públicas próximas ao mar (Figura 14). Um reflexo da influência da ocupação urbana desordenada é evidenciado por um considerável índice de contaminação fecal em todas as praias analisadas, que pode ser devido a fatores relacionados à falta de uma interligação de muitos domicílios à rede de esgotos da cidade e, principalmente, devido à necessidade urgente de desenvolvimento de programas voltados para educação ambiental dessas comunidades, orientando-as no sentido de que haja uma adequada disposição destes resíduos sólidos e uma melhor preservação dos recursos hídricos aí existentes.

Figura 14 - Aspecto do lançamento de lixo e resíduos de construção civil na Praia da Leste-Oeste, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

A moradia é um dos itens considerados mais deficitários no litoral oeste de Fortaleza. A coleta de lixo é realizada rotineiramente pela Prefeitura (três vezes por semana), no entanto, há a necessidade de implementação de programas que visem uma melhor educação da população local, no sentido de criar uma consciência ecológica, evitando que estes resíduos sejam lançados diretamente nos ambientes praias e marinho (Figuras 14 e 15).

Figura 15 - Aspecto de lixo doméstico sendo depositado junto a placas educativas na Praia da Leste-Oeste, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

5.3.2. A implantação do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza – SDOES

Segundo (Gonçalves e Souza, 1997), entende-se por sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários, aquele destinado a promover o tratamento desses efluentes utilizando a capacidade potencial de autodepuração das águas marinhas para promoção de redução das concentrações poluentes a níveis admissíveis, antes que o campo de mistura esgotos/águas marinhas possa, nas condições mais adversas de deslocamento, atingir áreas de usos benéficos, especialmente aquelas relacionadas ao banho e esportes aquáticos ou às atividades de aqüicultura.

Em um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários se pode reconhecer três principais subsistemas: (1) as instalações de condicionamento prévio (ECP); (2) as instalações de transporte dos efluentes pré-condicionados (EMT), emissário terrestre e emissário submarino (SEM) e (3) as instalações de lançamento submarino (TBD) tubulação difusora. As instalações de condicionamento prévio destinam-se a reduzir as concentrações dos poluentes e contaminantes presentes nos esgotos brutos a serem dispostos, até os níveis de emissão permitidos pela legislação ambiental e/ou até os níveis para os quais o corpo receptor se mostre capaz de reduzir as concentrações lançadas, observando os padrões de qualidade de água estabelecidos pela legislação ambiental, a serem mantidos para cada zona de utilização do corpo receptor, a saber: zona de lançamento, zona de transição e zona de utilização. Torna-se importante observar que as águas oceânicas costeiras são classificadas pela legislação ambiental de acordo com seus usos preponderantes, tendo sido estabelecidos padrões de qualidade de água para cada classe. Assim, as estações de condicionamento prévio podem ser implantadas, geralmente, em nível de tratamento preliminar, primário, secundário ou mesmo reduzir-se a apenas um condicionamento hidráulico (estação elevatória dotada de grades de barras), dependendo de uma análise técnico-econômica-ambiental, que leve em consideração concentrações dos poluentes e contaminantes a serem lançados, os padrões de qualidade da água do corpo receptor a serem obedecidos, as características oceanográficas do corpo receptor e a distância e a profundidade de lançamento.

As instalações de transporte de efluentes tratados, emissários terrestres e emissários submarinos, são destinadas a conduzir os efluentes de forma hidraulicamente adequada, desde a estação de condicionamento prévio, até as instalações de lançamento submarino, as tubulações difusoras, mantendo condições estas a serem regidas pela instalação de condicionamento hidráulico (elevatória), parte componente da estação de condicionamento prévio. As instalações de lançamento submarino são destinadas a promover o adequado entranhamento dos efluentes a serem lançados no meio oceânico e a formação de um campo de mistura inicial (diluição) otimizado, de modo a aproveitar ao máximo a capacidade potencial que o corpo receptor apresenta para promover a difusão, diluição e posterior dispersão e decaimento bacteriano das cargas poluentes e contaminantes nele lançados, de maneira a conservar os padrões de qualidade da água estabelecidos para as diversas zonas do corpo receptor. Simultaneamente a esses dois fenômenos (difusão e diluição), um terceiro passa a ocorrer, por submissão dos poluentes não conservativos, organismos contaminantes presentes nos esgotos sanitários (bactérias e vírus), às condições físicas, químicas e biológicas

apresentadas pelas águas marinhas, que são adversas à conservação de suas vidas. Esse fenômeno é denominado, genericamente, como decaimento bacteriano. O decaimento total das concentrações poluentes lançadas em águas marinhas engloba ainda outros fenômenos que, de modo geral, não são considerados nos projetos desses sistemas, tais como floculação, e sedimentação de sólidos presentes nos esgotos sanitários, desde que não se têm apresentado, na prática, como ponto importante a ser considerado, no caso de disposição de esgotos sanitários. Entretanto, a consideração de todos esses fenômenos envolvidos em um sistema de disposição de esgotos sanitários com as unidades que compõem uma estação de tratamento, mostra que esta em muito vem a copiar os métodos que a natureza emprega para tratar cargas poluentes que sejam lançadas em seu meio.

O termo condicionamento prévio não deve ser entendido no sentido comum de baixa eficiência, mas sim no sentido mais abrangente de tratamento prévio, ou seja, de adequação dos efluentes a serem dispostos às potenciais condições de autodepuração do corpo receptor a ser utilizado.

Na verdade, os esgotos sanitários não são a única fonte, e, em certos casos, a principal fonte de poluição das águas costeiras. Águas de limpeza, esgotos domiciliares e industriais e resíduos sólidos das imensas áreas urbanas, pavimentadas normalmente, vão ter ao sistema de esgotamento pluvial, natural ou construído, alcançado, finalmente, as águas das praias de banho.

É preciso lembrar ainda que para essas áreas litorâneas, além dos sistemas de esgotamento sanitário, devem ser construídos sistemas de coleta de águas de tempo seco das galerias pluviais, ligando para tanto essas galerias pluviais urbanas aos sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários, nos casos em que isso for possível e recomendável, pois os lançamentos de cargas poluidoras através de galerias pluviais representam enorme fonte de poluição para as praias, que supera, na maioria dos casos, em ano hidrológico qualquer, as cargas poluidoras carregadas pelos sistemas de esgotamento sanitário. Essas instalações e equipamentos de interligação do sistema pluvial com o sistema de esgotos sanitários são praticamente inexistentes no Brasil.

Os lançamentos de esgotos no mar, através de emissários, guarnecidos com difusores atuam para proteção das praias, por diluição e afastamento dos efluentes, de modo a se

ter um tempo razoável de contato desses efluentes com o mar, do instante do lançamento até um eventual retorno às praias. Esse contato com o mar muitas vezes produz uma redução por morte dos organismos patogênicos contidos nos esgotos. Uma vez descarregados no mar através dos bocais dos difusores, os efluentes sofrem uma diluição que é em função da profundidade, da natureza do difusor e das correntes prevaletentes no local. Esta diluição inicial, podendo atingir valores da ordem de 100 a 200 vezes ou mais em situações normais e superiores a 500 ou 1000 em situações muito favoráveis, forma uma mancha denominada campo inicial, ou campo próximo, até uma distância onde cessam todos os efeitos do difusor.

As referências ao esgotamento sanitário em Fortaleza são raras e esparsas até o século XIX, mesmo porque os avanços no atendimento público à população foram lentos e deficientes até a segunda metade do Século XX. Até então, os dejetos provenientes da cidade, eram lançados diretamente no mar, à altura da praia Formosa, sem nenhum tratamento, sendo utilizada uma tubulação de ferro fundido, com cerca de 600 metros de extensão mar adentro (CAGECE, 2011).

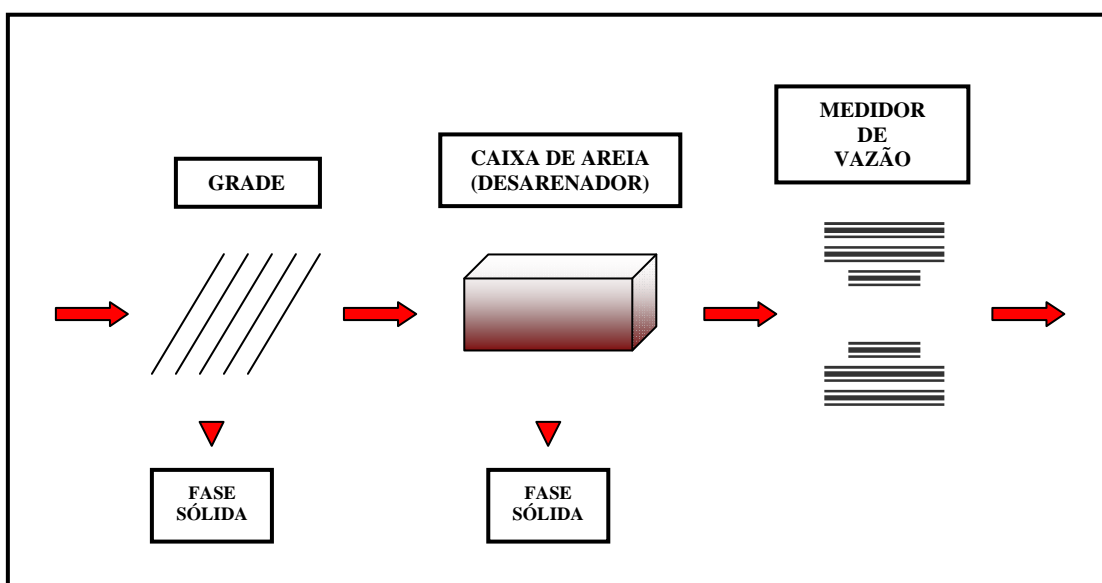
No ano de 1976, foram iniciadas pela CAGECE, as obras previstas no projeto de construção do interceptor oceânico, com extensão de 6.864 metros (diâmetros de 1.500 a 1.750 mm) do emissário submarino, com 3.207 metros e emissários terrestres, com 716 metros. O Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza (SDOES) entrou em funcionamento em 1978 e está localizado entre as praias do Kartódromo e Leste-Oeste, apresentando uma tubulação distante 3,3 km da costa de Fortaleza (CAGECE, 2011). O emissário submarino de Fortaleza foi executado em aço revestido com concreto, diâmetro de 1.500mm e 3.205 metros de comprimento, apresentando as seguintes características técnicas: Tubulação em aço API-5Lx, chapa X-42; Diâmetro nominal externo “De” = 1.524 mm; Diâmetro nominal interno “Di” = 1.487 mm; Espessura da chapa CA = 18,26 mm. Os esgotos são lançados ao mar através de 120 orifícios, chamados difusores, localizados na extremidade do emissário com uma vazão de 2,5 m³/s e profundidade aproximada de 16,0 m. Nas simulações foi utilizado para a densidade do meio (mar) o valor de 1.023 kg/m³ e para o efluente 999,5 kg/m³.

O sistema de disposição oceânica é constituído por: várias bacias coletoras de esgoto; dois interceptores oceânicos, leste e oeste; estação de pré-condicionamento – EPC; estação de tratamento de odores – ETO; um emissário submarino. As águas residuárias são lançadas na estação de pré-condicionamento, onde passam por tratamento preliminar,

quando são removidos materiais grosseiros, finos e outros sedimentáveis. O tratamento preliminar é constituído de gradeamento, desarenação e medição de vazão (Figura 16). A remoção de sólidos grosseiros é feita por meio de grades, que podem ser grossas, médias e finas, dependendo do espaçamento entre as barras. A remoção da areia contida nos esgotos é feita através de desarenadores (caixas de areia). O mecanismo de remoção da areia é o de sedimentação, onde a areia, devido as suas maiores dimensões e densidades, vai para o fundo do tanque (Figura 16). A matéria orgânica em suspensão não é removida. Nesta estação de pré-condicionamento, está também instalada a estação de tratamento de odores, para minimizar a exalação dos gases agressivos para a atmosfera. Concluído o processo de pré-condicionamento, o esgoto é lançado ao mar através do emissário submarino, a cerca de 3.330 metros da costa e a uma profundidade de 16 metros por um conjunto de 120 difusores (Figura 18).

As correntes marítimas fazem a dispersão dos esgotos pré-condicionados. Depois do tratamento, os esgotos são encaminhados para o emissário submarino, que lança os dejetos no mar, onde são diluídos e afastados do litoral de Fortaleza pelas correntes marítimas. A capacidade real média atualmente utilizada do sistema é de 2200 l/s e a capacidade total do sistema é de 4.800 l/s (CAGECE, 2011).

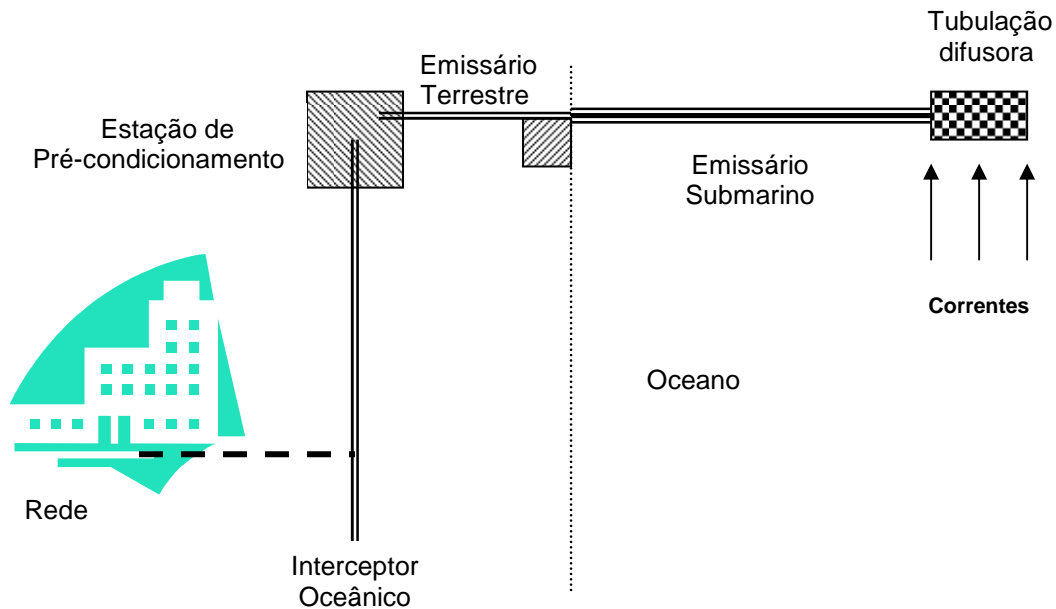
Figura 16 – Fluxograma do tratamento preliminar de esgoto, visando a remoção de sólidos grosseiros e areia.



Fonte: Von Sperling , 2005.

As principais finalidades da remoção dos sólidos grosseiros são: a proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações) evitando a abrasão, a proteção das

Figura 18 - Unidades componentes do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2010.

De acordo com Von Sperling (2005), os aspectos mais importantes a serem considerados na seleção de sistemas de tratamento de esgotos são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade. Os sistemas de tratamento devem ser analisados individualmente, adotando-se a melhor alternativa técnica e econômica.

O sistema de tratamento dos efluentes lançados através do emissário submarino de Fortaleza é muito rudimentar, pois há apenas a remoção de materiais grosseiros, finos, gorduras e outros sedimentáveis, o que não neutraliza ou minimiza o potencial poluidor dos efluentes lançados no ambiente marinho. Nesse sistema não se realiza nenhum tratamento mais complexo e conta-se com a capacidade de diluição e autodepuração do mar para realizar a degradação do material lançado no meio marinho. O tratamento mais adequado e eficaz para estes efluentes domésticos envolveria a retenção da matéria orgânica, a separação dos sólidos em suspensão, o condicionamento químico, a desidratação e a secagem térmica do lodo residual, o que diminuiria o potencial poluidor e consequentemente os impactos ambientais na área marinha em estudo.

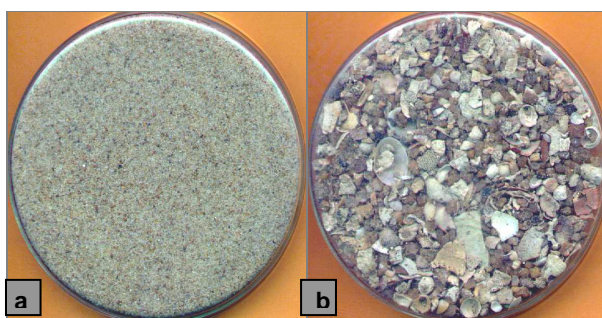
6. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA E SIMULAÇÃO DA PLUMA DE EFLUENTES

6.1. Sedimentologia

Os sedimentos marinhos são compostos de material detrítico proveniente dos continentes e de substâncias extraídas da água dos mares por processos químicos ou biológicos. Pode-se aplicar duas grandes classificações aos sedimentos marinhos: Uma é baseada na granulação dos sedimentos e a outra em sua composição (Turekian, 1996).

O substrato da área de estudo se caracteriza pela presença de sedimentos formados por areia quartzosa e biodetrítica (Figura 19), com frações variando entre muito fina, fina, média, grossa e muito grossa e ocorrência de matéria orgânica, fragmentos de conchas, cascalho e placas de *Halimeda*. Os pontos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10 e 12 apresentaram substrato biodetrítico, observando-se traços de matéria orgânica e presença de fragmentos de conchas; enquanto que os pontos 3, 4, 9 e 11 têm substrato quartzoso, apresentando fragmentos de conchas e seixos rolados.

Figura 19 - Aspecto de sedimento quartzoso (a) e biodetrítico (b) colhidos no substrato marinho da área de influência do SDOES.



Fonte: Paulo Roberto F. G. da Silva, 2011.

Os resultados obtidos indicam a presença predominante de um substrato biodetrítico, caracterizado por sedimentos de granulometria muito fina a grossa (Quadro 2). A atividade biológica intensa na área de estudo, decorrente da presença de nutrientes resultantes da intensa descarga de esgotos domésticos, justifica esse tipo de substrato, ou seja, a presença do emissário submarino é um fato responsável diretamente pelas transformações das características

dos sedimentos que compõem o assoalho oceânico, configurando-se a existência de dois setores morfossedimentares diferenciados: um nas proximidades da zona de descarga do emissário e outro localizado fora da área de influência do SDOES. Os pontos de coleta posicionados próximos ao emissário submarino de Fortaleza apresentam porcentagens de lama bastante elevadas, com grau de seleção de muito mal a bem selecionado (Tabelas 4 a 7); enquanto que os pontos mais afastados apresentam sedimentos quartzosos e pobres em matéria orgânica. A distribuição da composição do sedimento, encontrado no substrato marinho da área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, encontra-se representada no mapa 9.

Quadro 2 - Características texturais e granulométricas dos sedimentos colhidos durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de coleta localizados na área do SDOES.

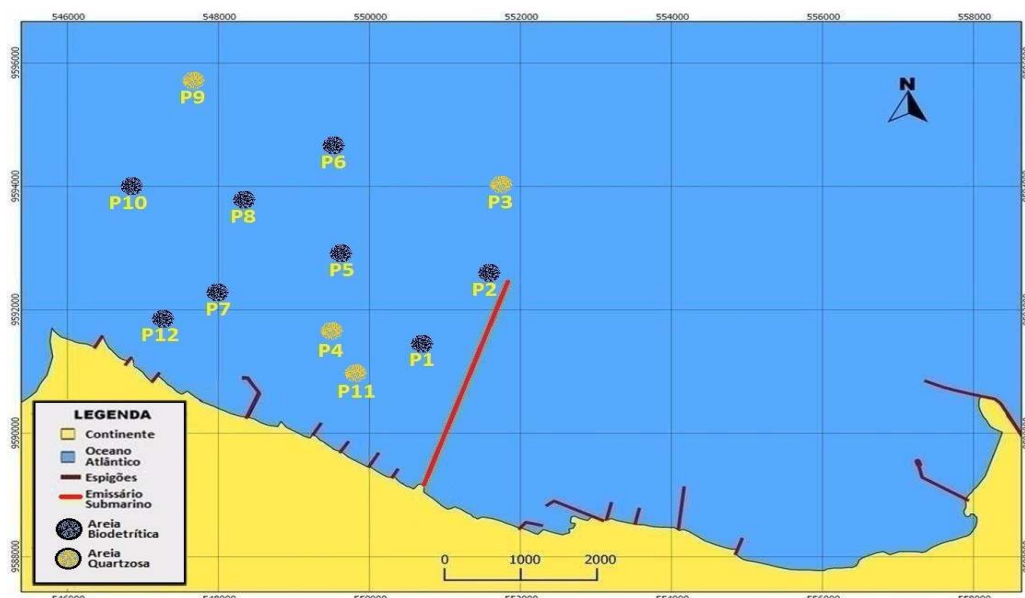
Ponto de coleta	Características dos sedimentos
1	Areia biodetrítica muito fina de cor cinza claro, apresentando traços de matéria orgânica.
2	Areia biodetrítica fina de cor cinza claro, apresentando fragmentos de conchas e traços de matéria orgânica.
3	Areia quartzosa grossa de cor amarelo creme, apresentando fragmentos de conchas e placas de <i>Halimeda</i> .
4	Areia quartzosa média de cor amarelo creme, apresentando fragmentos de conchas e placas de <i>Halimeda</i> .
5	Areia biodetrítica muito fina de cor cinza claro, apresentando traços de matéria orgânica.
6	Areia biodetrítica média de cor cinza escuro, apresentando fragmentos de conchas e traços de matéria orgânica.
7	Areia biodetrítica média de cor cinza claro, apresentando fragmentos de conchas e traços de matéria orgânica.
8	Areia biodetrítica fina de cor cinza claro, apresentando traços de matéria orgânica.
9	Areia quartzosa média de cor amarelo creme, apresentando fragmentos de conchas.
10	Areia biodetrítica fina de cor cinza claro, apresentando traços de matéria orgânica e fragmentos de conchas.
11	Areia quartzosa muito grossa de cor amarelo creme, apresentando fragmentos de conchas e cascalho.
12	Areia biodetrítica grossa de cor cinza claro, apresentando traços de matéria orgânica e fragmento de conchas.

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

O mapa 10 mostra a distribuição do sedimento de acordo com o diâmetro médio, destacando-se a presença de frações finas a muito finas nas proximidades do borbotão do emissário e a predominância de frações médias nos doze pontos estudados. Em termos de grau

de seleção, predominam os sedimentos moderadamente bem a mal selecionados, caracterizados pela presença de partículas com tamanhos variados de ordem de grandeza (Tabelas 4 a 7).

Mapa 9 - Distribuição da composição do sedimento encontrado no substrato marinho da área de influência do SDOES.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 4 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da primeira campanha (estação chuvosa), fevereiro de 2007.

Ponto de coleta	Diâmetro Médio ϕ	Classificação Wentworth (1922)	Grau de Seleção	Classificação Folk e Ward (1957)
1	3,38	Areia muito fina	0,44	Bem selecionado
2	2,97	Areia fina	0,70	Moderadamente bem selecionado
3	0,99	Areia grossa	0,74	Moderadamente selecionado
4	1,76	Areia média	1,08	Mal selecionado
5	3,92	Areia muito fina	0,77	Moderadamente selecionado
6	1,14	Areia média	0,47	Bem selecionado
7	1,14	Areia média	2,02	Muito mal selecionado
8	2,06	Areia fina	0,54	Moderadamente bem selecionado
9	1,06	Areia média	0,55	Moderadamente bem selecionado
10	2,20	Areia fina	1,06	Mal selecionado
11	-0,20	Areia muito grossa	1,18	Mal selecionado
12	0,26	Areia grossa	1,87	Mal selecionado

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 5 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da segunda campanha (estação chuvosa), maio de 2007.

Ponto de coleta	Diâmetro Médio ϕ	Classificação Wentworth (1922)	Grau de Seleção	Classificação Folk e Ward (1957)
1	3,83	Areia muito fina	0,68	Moderadamente bem selecionado
2	2,40	Areia fina	1,32	Mal selecionado
3	0,47	Areia grossa	0,96	Moderadamente selecionado
4	1,39	Areia média	1,28	Mal selecionado
5	3,33	Areia muito fina	0,40	Bem selecionado
6	1,21	Areia média	1,78	Mal selecionado
7	1,04	Areia média	0,43	Bem selecionado
8	2,16	Areia fina	0,78	Moderadamente selecionado
9	1,03	Areia média	0,64	Moderadamente bem selecionado
10	2,64	Areia fina	0,74	Moderadamente selecionado
11	-0,45	Areia muito grossa	1,08	Mal selecionado
12	0,99	Areia grossa	1,67	Mal selecionado

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 6 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da terceira campanha (estação seca), agosto de 2007.

Ponto de coleta	Diâmetro Médio ϕ	Classificação Wentworth (1922)	Grau de Seleção	Classificação Folk e Ward (1957)
1	3,14	Areia muito fina	1,11	Mal selecionado
2	2,90	Areia fina	0,87	Moderadamente selecionado
3	0,07	Areia grossa	0,97	Moderadamente selecionado
4	1,29	Areia média	1,03	Mal selecionado
5	3,23	Areia muito fina	0,59	Moderadamente bem selecionado
6	1,16	Areia média	0,47	Bem selecionado
7	1,32	Areia média	1,86	Mal selecionado
8	2,45	Areia fina	0,82	Moderadamente selecionado
9	1,05	Areia média	0,58	Moderadamente bem selecionado
10	2,17	Areia fina	1,21	Mal selecionado
11	-0,47	Areia muito grossa	1,71	Mal selecionado
12	0,27	Areia grossa	1,69	Mal selecionado

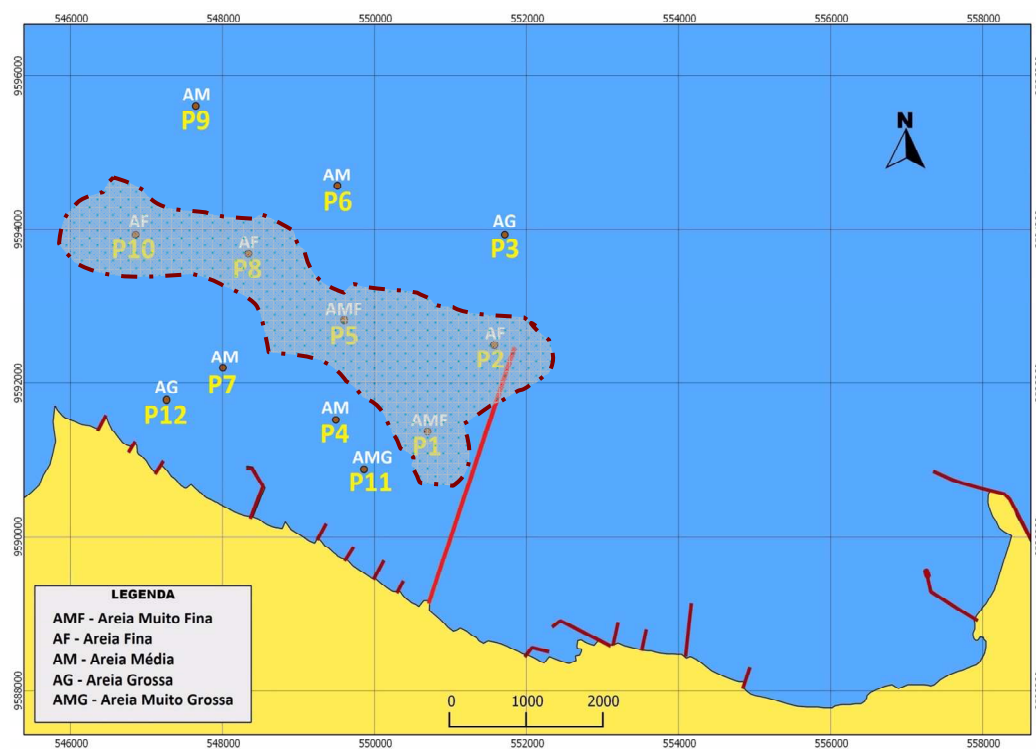
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 7 - Parâmetros granulométricos e classificação dos sedimentos obtidos na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento da quarta campanha (estação seca), novembro de 2007.

Ponto de coleta	Diâmetro Médio ϕ	Classificação Wentworth (1922)	Grau de Seleção	Classificação Folk e Ward (1957)
1	3,17	Areia muito fina	0,52	Moderadamente bem selecionado
2	2,55	Areia fina	1,20	Mal selecionado
3	0,92	Areia grossa	0,92	Moderadamente selecionado
4	1,30	Areia média	0,83	Moderadamente selecionado
5	3,20	Areia muito fina	0,43	Bem selecionado
6	1,12	Areia média	0,49	Bem selecionado
7	1,88	Areia média	1,44	Mal selecionado
8	2,10	Areia fina	0,64	Moderadamente bem selecionado
9	1,03	Areia média	0,66	Moderadamente bem selecionado
10	2,17	Areia fina	1,47	Mal selecionado
11	-0,52	Areia muito grossa	1,51	Mal selecionado
12	0,33	Areia grossa	2,10	Muito mal selecionado

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

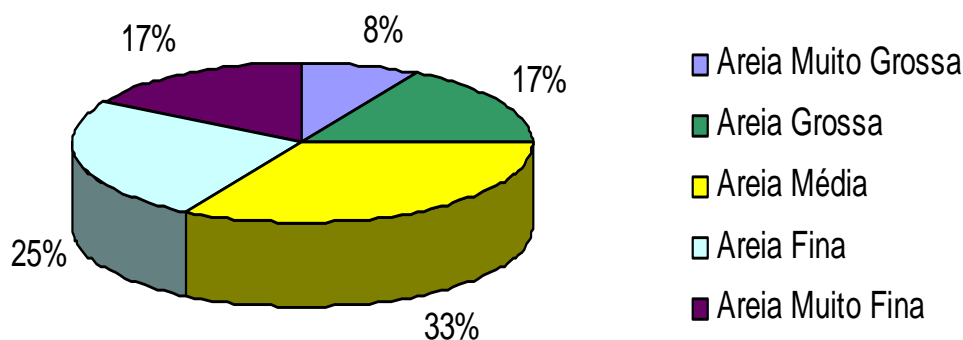
Mapa 10 – Mapa do diâmetro médio do sedimento encontrado no substrato marinho da área de influência do SDOES.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

O percentual do diâmetro médio nas amostras coletadas, apontou a existência de cinco populações distintas na área, com a dominância da fração de areia média com aproximadamente 33 %, contra 8 % de areia muito grossa, seguido de areia grossa com 17 %, areia fina com 25 % e areia muito fina com cerca de 17 % do total (Figura 20).

Figura 20 – Percentual do diâmetro médio das areias coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Os dados obtidos nas análises granulométricas foram tratados estatisticamente com o uso do software SysGran 3.0 (Camargo, 2006), o que possibilitou a geração dos quatro diagramas triangulares de Shepard (1954), referentes as quatro campanhas de coleta realizadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza. Nos diagramas as doze amostras são apresentadas de forma conjunta e os resultados indicam a presença predominante da fração areia (Figuras 21 a 24).

Figura 21 – Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a primeira campanha, fevereiro de 2007.

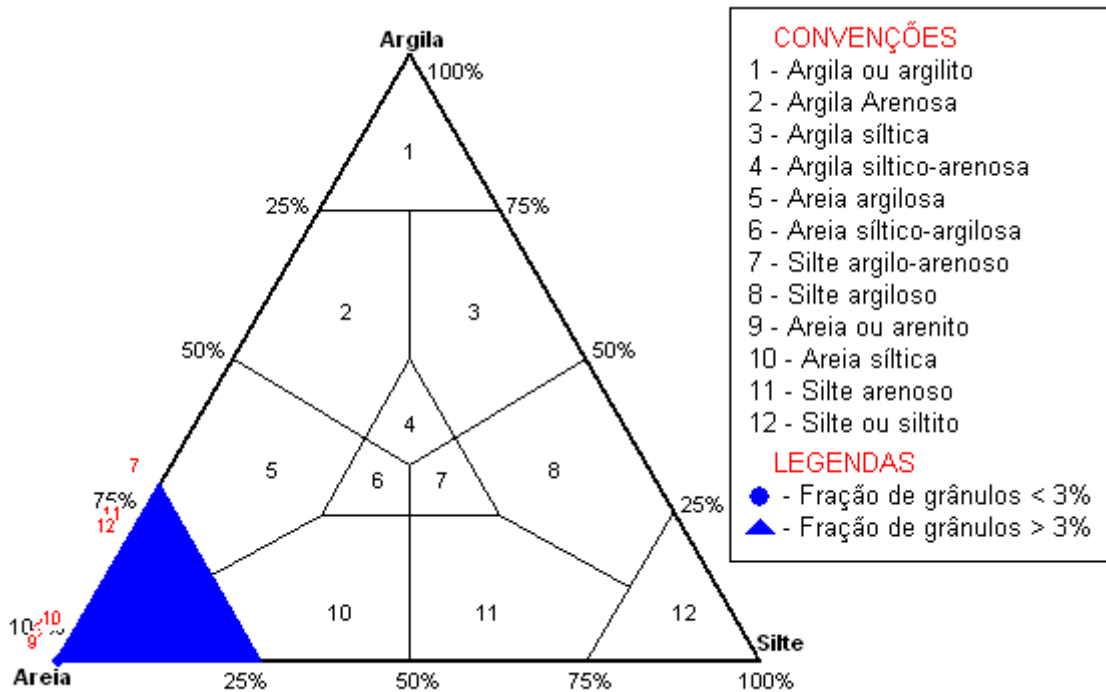


Figura 22 – Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a segunda campanha, maio de 2007.

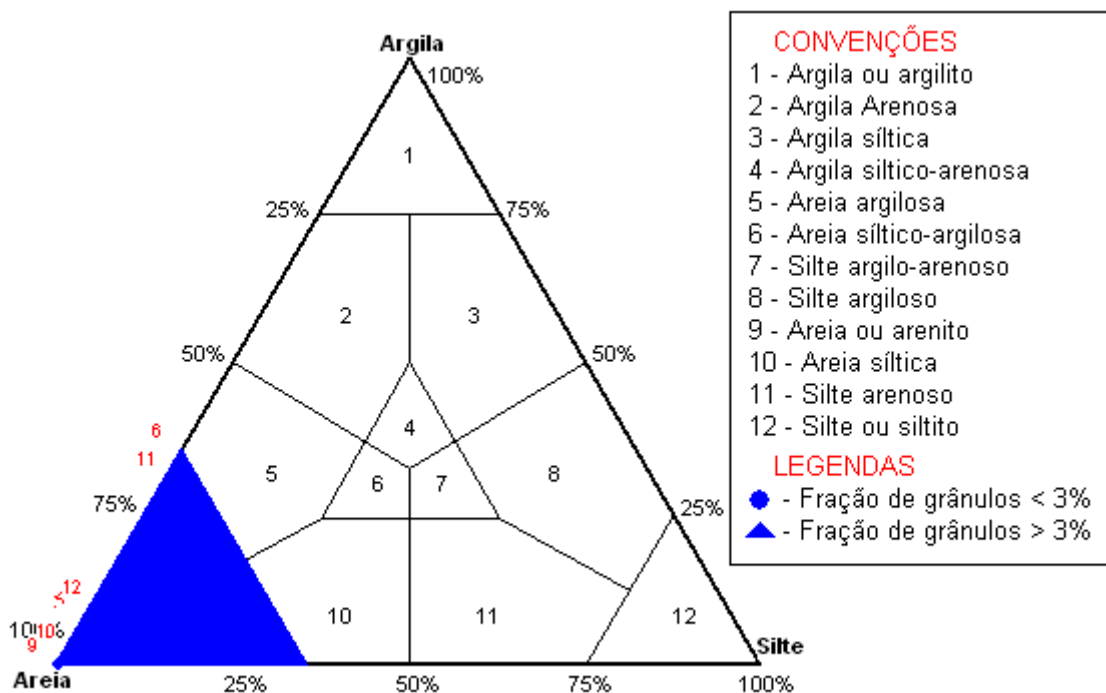


Figura 23 – Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a terceira campanha, agosto de 2007.

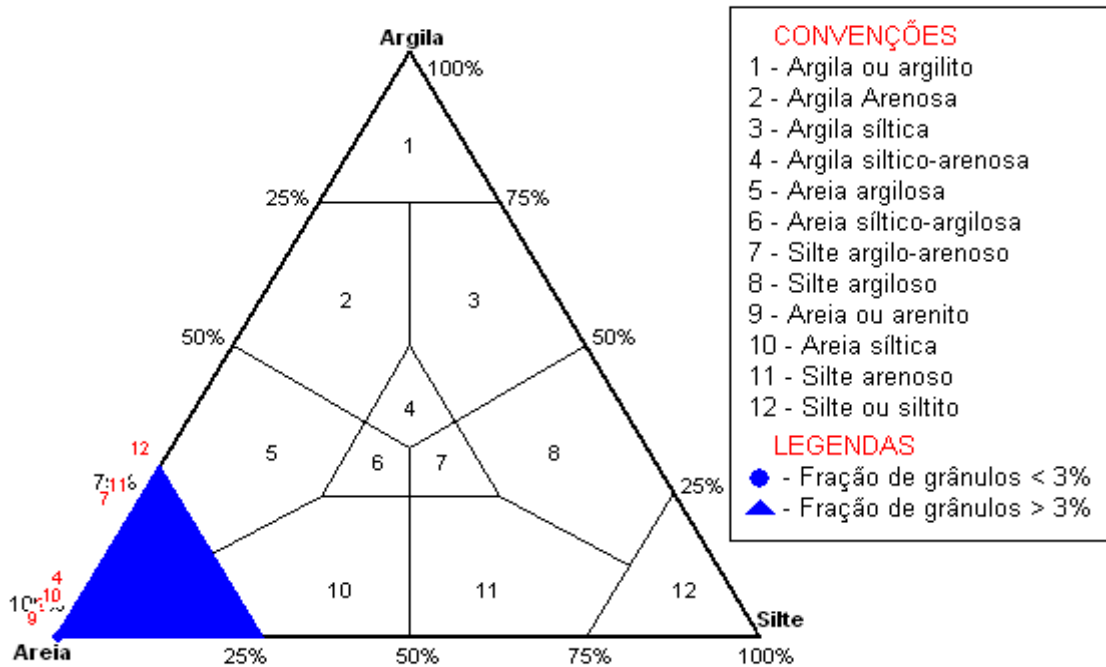
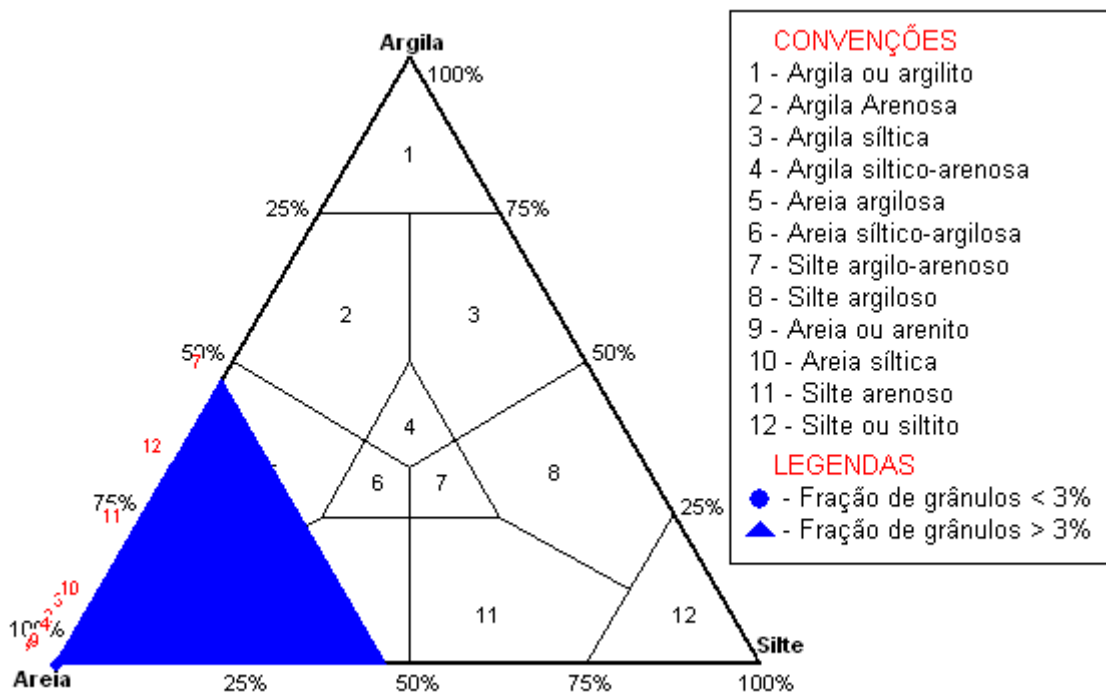


Figura 24 – Diagrama triangular de Shepard com a representação das amostras de sedimento coletadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante a quarta campanha, novembro de 2007.



De acordo com Soetaert *et al.*, 1996, a matéria orgânica presente no sedimento é composta por uma mistura de diferentes classes de materiais (carbono, nutrientes sob a forma de hidratos de carbono, proteínas, gorduras e ácidos nucléicos) que possuem uma vida média no sedimento, que pode variar de segundos a milhares de anos. Portanto, o tempo de residência destas diferentes frações que compõem a matéria orgânica no sedimento é dependente da qualidade de matéria que se deposita no substrato.

A matéria orgânica sedimentar é derivada de detritos vegetais e animais, bactérias ou plâncton formados *in situ*, ou derivada de fontes naturais e antropogênicas. Esgoto e efluentes de processamento de alimentos, plantas, fábricas de celulose e papel são exemplos de compostos orgânicos ricos em resíduos de origem de atividade humana. A quantidade de matéria orgânica encontrada em sedimentos, é uma função de várias fontes que atingem a superfície do sedimento e as taxas em que diferentes tipos de matéria orgânica são degradados por processos microbianos durante o enterro.

A decomposição da matéria orgânica provoca modificações nas características físico-químicas do ambiente, especialmente no sedimento, influenciando o ciclo biogeoquímico de vários elementos e determinando a forma na qual eles estão presentes (BERNER, E.; BERNER, R, 1996).

As características da matéria orgânica depositada em sedimentos superficiais de áreas marinhas têm sido largamente utilizadas na correlação com vários processos oceanográficos, tais como a produtividade de águas superficiais, o aporte de materiais continentais para os oceanos, a dinâmica de massas d'água, o potencial de oxi-redução e taxas de sedimentação (Stein, 1991).

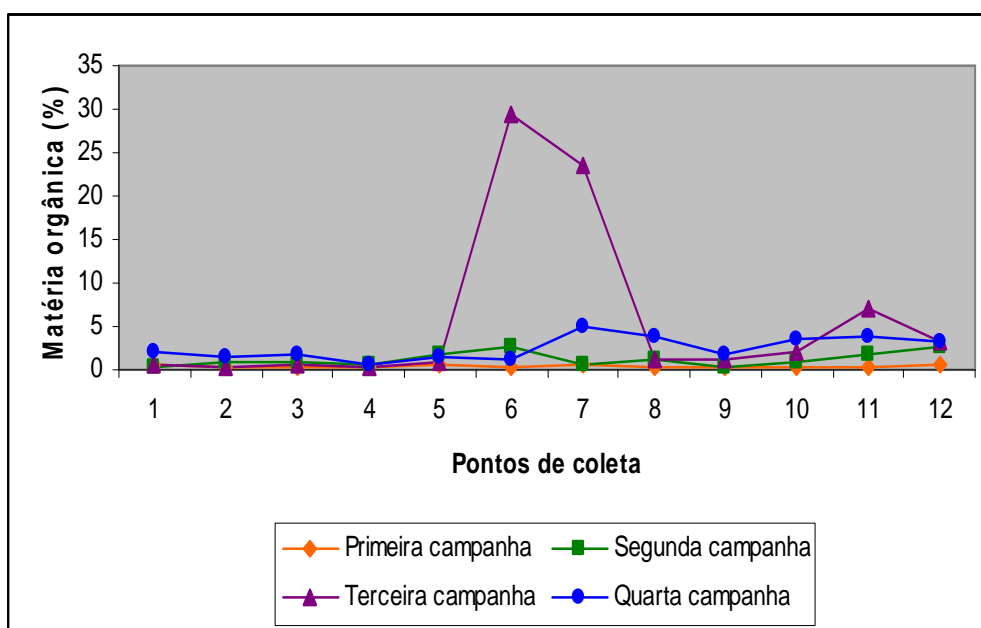
No decorrer das quatro campanhas as concentrações de matéria orgânica nas amostras de sedimento variaram de 0,19 a 29,35 %. A média geral de matéria orgânica nos doze pontos nos períodos estudados foi de 2,48 %. Os pontos 6 e 7 apresentaram os maiores valores médios de matéria orgânica (Tabela 8; Gráfico 7 e mapa 11). A dinâmica das correntes na área de estudo pode ter contribuído para deposição de efluentes nestes pontos, pois a grande carga de esgotos lançados nesta área leva a altas concentrações de matéria orgânica nos sedimentos, alterando a composição do substrato.

Tabela 8 - Valores de concentração de matéria orgânica (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	0,50	0,42	0,47	1,94	0,83
2	0,19	0,85	0,32	1,51	0,71
3	0,31	0,88	0,62	1,65	0,86
4	0,28	0,48	0,44	0,65	0,46
5	0,55	1,72	0,98	1,52	1,19
6	0,40	2,74	29,35	1,23	8,43
7	0,54	0,60	23,45	4,92	7,37
8	0,29	1,06	1,11	3,81	1,56
9	0,39	0,40	1,18	1,88	0,96
10	0,36	0,97	2,17	3,49	1,74
11	0,35	1,70	6,98	3,97	3,25
12	0,70	2,62	3,25	3,14	2,42
Média	0,40	1,20	5,86	2,47	2,48

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 7 - Teores de matéria orgânica (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

(1985), a fixação de carbonato de cálcio (CaCO_3) pelos organismos vivos, vegetais e animais, é um fenômeno natural e a maioria dos calcários de origem orgânica é na realidade o produto indireto da atividade de microorganismos. Principalmente as plantas, pelo jogo de assimilação clorofiliana, absorvem o gás carbônico dissolvido na água que conseqüentemente produz a precipitação de calcário.

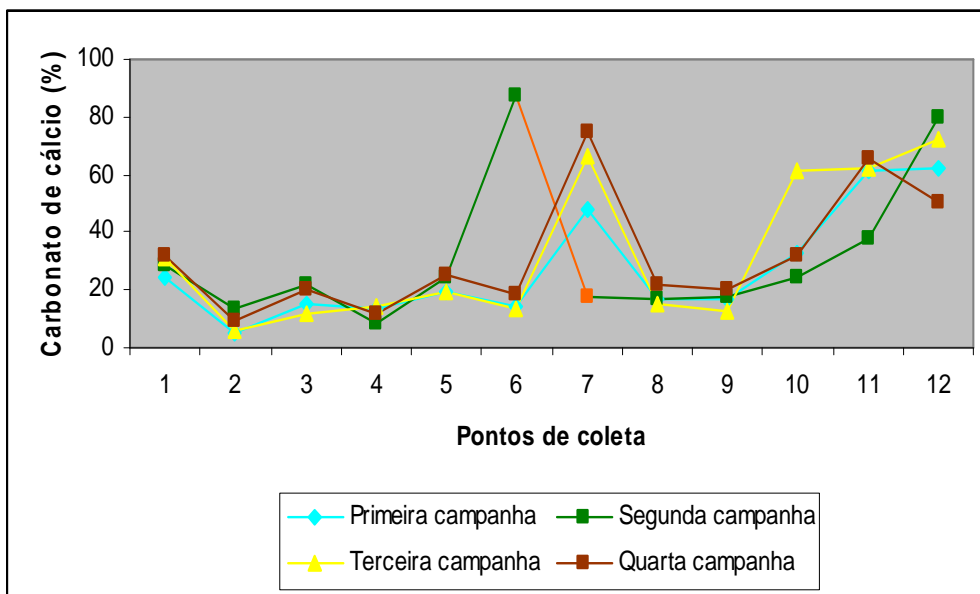
Os teores de carbonato de cálcio nas amostras de sedimentos coletadas nas quatro campanhas, realizadas na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, oscilaram entre 4,80 % e 87,70 %. O valor médio de carbonato de cálcio obtido nas quatro campanhas foi de 30,69 % (Tabela 9; Gráfico 8 e mapa 12). A presença destes elevados teores de carbonato de cálcio está relacionada a presença de conchas e algas calcárias que ocorrem ao longo da plataforma continental.

Tabela 9 - Valores dos teores de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	24,70	28,80	31,08	32,10	29,17
2	4,80	13,30	5,75	9,63	8,37
3	15,00	21,90	12,08	19,80	17,19
4	13,40	8,50	14,38	11,77	12,01
5	19,30	24,50	18,99	25,15	21,98
6	13,90	87,70	13,23	18,19	33,25
7	48,30	17,60	66,76	74,91	51,89
8	16,60	16,50	15,54	21,94	17,64
9	16,60	17,60	12,66	20,33	16,79
10	32,70	24,50	61,01	31,57	37,44
11	61,20	37,40	62,16	65,82	56,64
12	61,80	79,60	71,94	50,30	65,91
Média	27,35	31,49	32,13	31,79	30,69

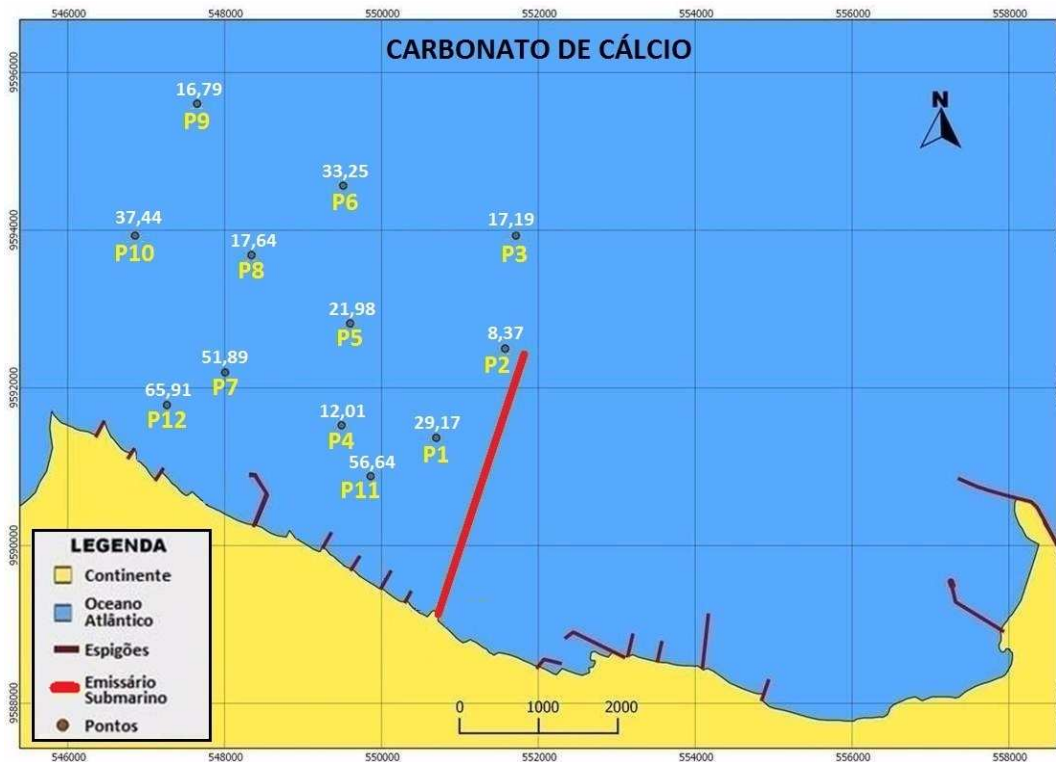
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 8 - Teores de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 12 - Distribuição dos teores médios de carbonato de cálcio (%) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

A tabela 10 mostra as diferenças entre as variáveis maiores das concentrações de carbonato de cálcio nos sedimentos marinhos entre as plataformas internas do Nordeste (NE) e Sudeste (SE) do Brasil. A dominância de sedimentos ricos em carbonato de cálcio na plataforma interna do nordeste brasileiro é visível em relação à plataforma interna do sudeste brasileiro.

Tabela 10 - Concentração de carbonatos em sedimentos marinhos nas plataformas internas do Nordeste e do Sudeste do Brasil.

Parâmetro sedimentológico	Plataforma Interna NE	Plataforma Interna SE
Carbonato (%)	0,2 – 95	0,01 – 2,66

Fonte: França *et al.*,1976.

Segundo França *et al.* (1976), a fração carbonática da plataforma interna do nordeste brasileiro consiste de carbonato biogênico com mais de 75 % de CaCO_3 , chegando a 95 % (Tabela 10) e é composta principalmente por *Lithothamnium*, *Halimeda*, foraminíferos bentônicos, planctônicos e moluscos. A fração terrígena é composta predominantemente por quartzo, feldspato, minerais pesados e argilas.

Os metais pesados ou metais-traço podem ocorrer naturalmente no meio ambiente através do intemperismo e da desagregação das rochas (origem litogênica) ou ainda, ter origem antrópica, destacando as fontes industriais e urbanas como a causa primária da poluição por metais tóxicos (Clark, 2001).

A liberação de esgoto doméstico constitui-se em uma fonte significativa de contaminação por metais dos sedimentos da plataforma continental. O sistema de esgotamento sanitário da cidade de Fortaleza, juntamente com os efluentes domésticos lançados através da rede de drenagem pluvial, representam importantes fontes de metais para as praias do litoral oeste de Fortaleza e a área marinha no entorno do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza.

Os metais representam fontes importantes de poluição ambiental, pois apresentam ao mesmo tempo toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar (Marcovecchio, 2000). Segundo (Ackermann *et al.*, 1983), os metais podem ficar solubilizados na água do mar, serem absorvidos pelos organismos marinhos e pelas plantas aquáticas, como também podem

ficar aprisionados no sedimento, já que este compartimento tem sido considerado como um acumulador de metais, devido a sua alta capacidade de sorção.

Os teores de cobre nas amostras de sedimento variaram entre 0,05 e 6,97 µg/g, com média geral nas quatro campanhas de 0,37 µg/g (Tabela 11; Gráfico 9 e mapa 13). De acordo com a Resolução 344/2004 do CONAMA, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, o teor máximo de cobre permitido nas amostras de sedimento é de 34 µg/g, estando os valores encontrados para este elemento dentro dos padrões exigidos pela legislação (Tabela 15). Para os peixes, muito mais que para o homem, as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas.

Tabela 11 – Valores dos teores de cobre (µg/g) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

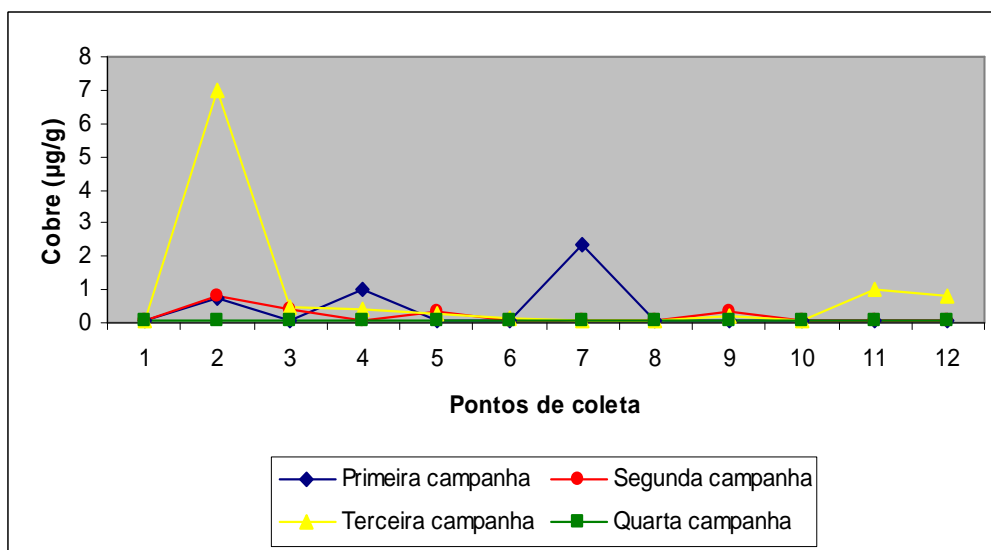
Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
2	0,71 ± 0,42	0,83 ± 0,14	6,97 ± 0,10	< 0,05	2,14
3	< 0,05	0,42 ± 0,28	0,49 ± 0,08	< 0,05	0,25
4	1,03 ± 0,14	< 0,05	0,37 ± 0,08	< 0,05	0,37
5	< 0,05	0,33 ± 0,05	0,25 ± 0,04	< 0,05	0,17
6	< 0,05	< 0,05	0,16 ± 0,07	< 0,05	0,07
7	2,35 ± 0,21	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,62
8	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
9	< 0,05	0,33 ± 0,03	0,17 ± 0,07	< 0,05	0,15
10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
11	< 0,05	< 0,05	1,04 ± 0,56	< 0,05	0,29
12	< 0,05	< 0,05	0,83 ± 0,26	< 0,05	0,24
Média	0,37	0,19	0,87	0,05	0,37

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

O cádmio é um metal que produz efeito tóxico bastante representativo e se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar. Dentre os metais de maior preocupação ambiental, o cádmio destaca-se pela sua alta toxidez e uso tecnológico crescente (Yost, 1984). É liberado ao ambiente por efluentes industriais, produção de pigmentos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local.

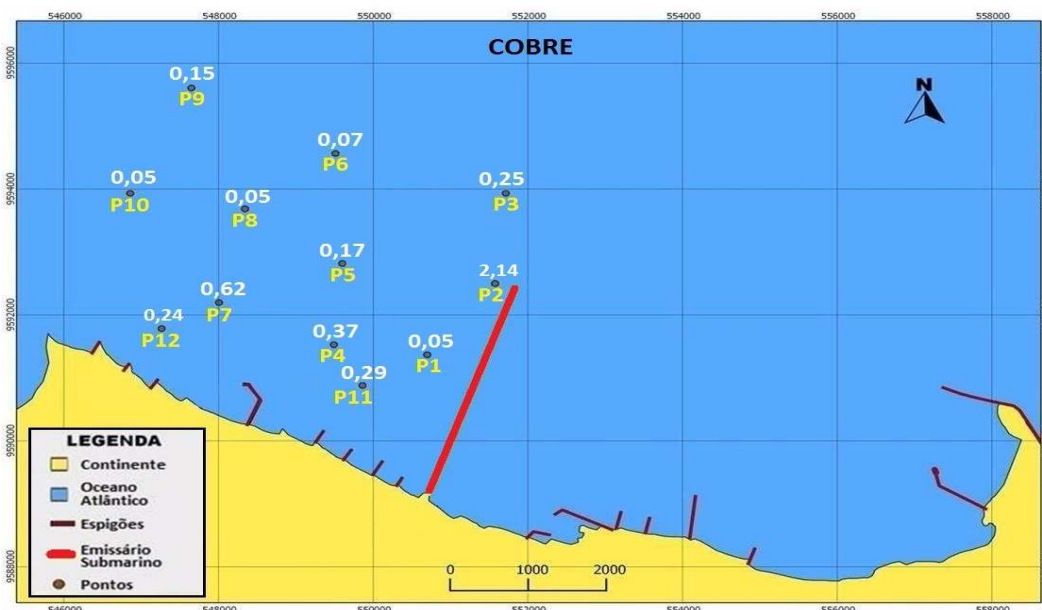
As concentrações de cádmio nas águas marinhas do SDOES oscilaram entre 0,05 e 6,63 $\mu\text{g/g}$, sendo que a média envolvendo as quatro campanhas foi de 1,14 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 12; Gráfico 10 e mapa 14). A legislação estabelece que estes valores não ultrapassem 1,2 $\mu\text{g/g}$. No decorrer da segunda campanha, em todos os pontos de coleta, os teores de cádmio obtidos nas amostras de sedimentos foram superiores ao estabelecido pela Resolução 344/2004 do CONAMA (Tabela 15).

Gráfico 9 - Teores de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 13 - Distribuição dos teores médios de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

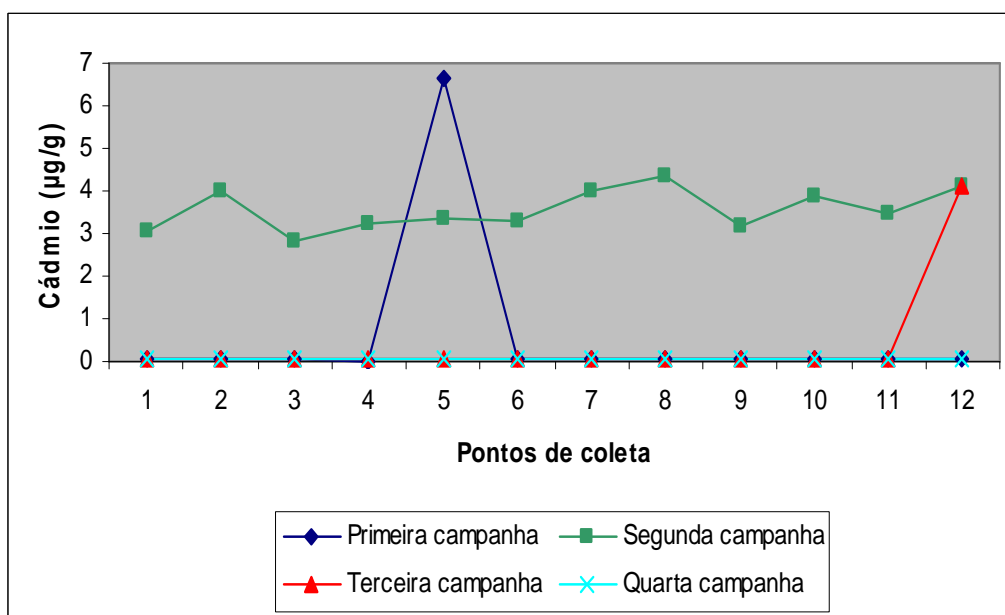


Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 12 - Valores dos teores de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

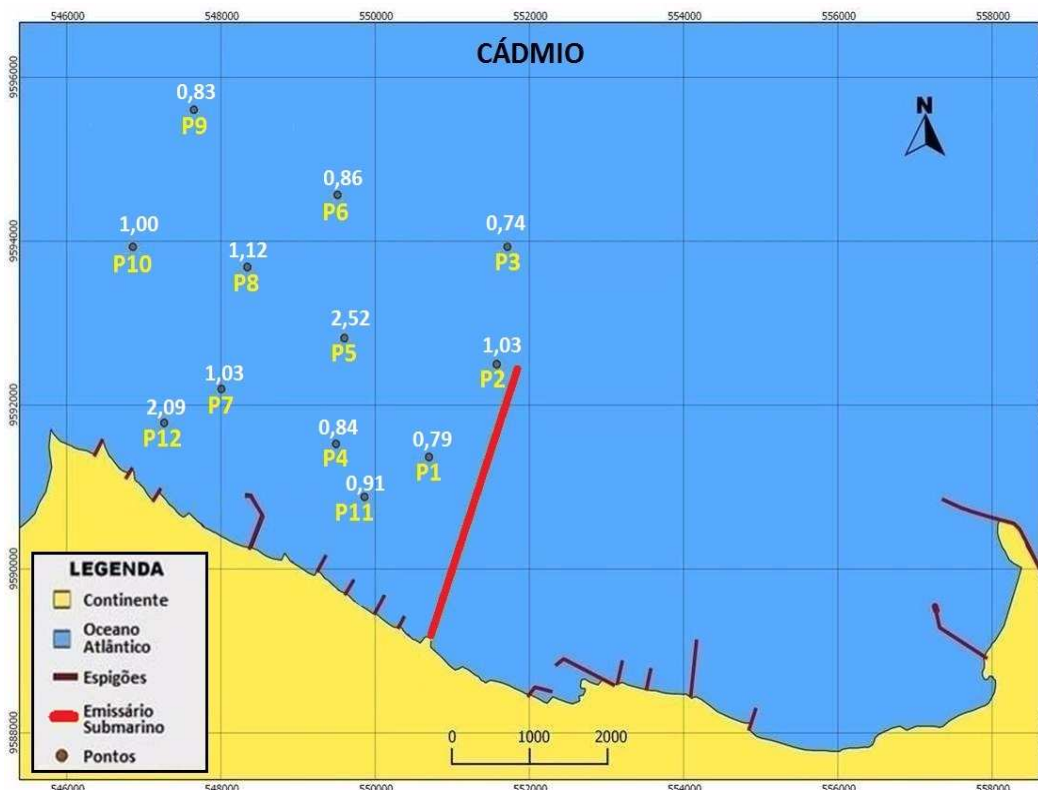
Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	< 0,05	3,03 \pm 0,25	< 0,05	< 0,05	0,79
2	< 0,05	3,98 \pm 0,12	< 0,05	< 0,05	1,03
3	< 0,05	2,82 \pm 0,28	< 0,05	< 0,05	0,74
4	< 0,05	3,23 \pm 0,27	< 0,05	< 0,05	0,84
5	6,63 \pm 0,08	3,36 \pm 0,44	< 0,05	< 0,05	2,52
6	< 0,05	3,32 \pm 0,07	< 0,05	< 0,05	0,86
7	< 0,05	3,99 \pm 0,72	< 0,05	< 0,05	1,03
8	< 0,05	4,36 \pm 0,32	< 0,05	< 0,05	1,12
9	< 0,05	3,20 \pm 0,23	< 0,05	< 0,05	0,83
10	< 0,05	3,87 \pm 0,13	< 0,05	< 0,05	1,00
11	< 0,05	3,49 \pm 0,12	< 0,05	< 0,05	0,91
12	< 0,05	4,13 \pm 0,28	4,13 \pm 0,28	< 0,05	2,09
Média	0,59	3,56	0,39	0,05	1,14

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 10 - Teores de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 14 - Distribuição dos teores médios de cádmio ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

As concentrações elevadas de chumbo em ecossistemas podem representar risco à vida marinha (e.g. produtores primários, peixes e organismos filtradores), bem como aos consumidores desses organismos, incluindo humanos (Bryan & Langston, 1992). A presença deste metal ocorre por deposição atmosférica ou lixiviação do solo. As doses letais para os peixes variam de 0,1 a 0,4 mg/L, embora alguns resistam até 10 mg/L em condições experimentais.

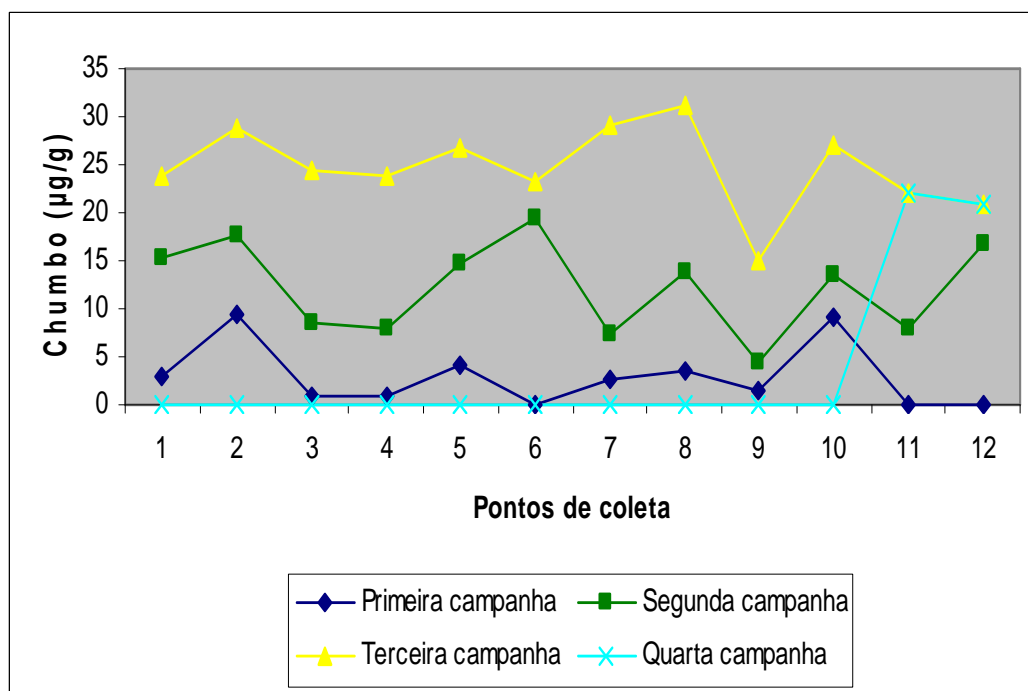
Os valores obtidos para chumbo oscilaram entre 0,05 e 31,06 $\mu\text{g/g}$, com teor médio de 10,87 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 13; Gráfico 11 e mapa 15). A legislação estabelece que os valores de chumbo nas amostras de sedimento não ultrapassem 46,7 $\mu\text{g/g}$. No decorrer das quatro campanhas, em todos os pontos de coleta, os teores de chumbo obtidos nas amostras de sedimentos foram inferiores ao estabelecido pela Resolução 344/2004 do CONAMA, estando portanto dentro dos limites aceitáveis (Tabela 15).

Tabela 13 - Valores dos teores de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	3,03 \pm 0,23	15,27 \pm 1,3	23,96 \pm 1,3	< 0,05	10,57
2	9,27 \pm 1,17	17,77 \pm 0,94	28,71 \pm 2,23	< 0,05	13,95
3	0,91 \pm 0,21	8,55 \pm 0,61	24,48 \pm 0,69	< 0,05	8,49
4	0,75 \pm 0,15	7,85 \pm 0,65	23,74 \pm 0,08	< 0,05	8,09
5	3,98 \pm 1,12	14,61 \pm 0,72	26,73 \pm 0,99	< 0,05	11,34
6	< 0,05	19,37 \pm 1,75	23,37 \pm 0,55	< 0,05	10,71
7	2,61 \pm 0,41	7,40 \pm 2,10	29,19 \pm 2,69	< 0,05	9,81
8	3,53 \pm 0,41	13,89 \pm 2,11	31,06 \pm 0,80	< 0,05	12,13
9	1,55 \pm 0,31	4,49 \pm 0,39	14,97 \pm 1,29	< 0,05	5,26
10	9,11 \pm 0,24	13,53 \pm 0,53	27,15 \pm 1,96	< 0,05	12,46
11	< 0,05	7,99 \pm 0,14	21,97 \pm 0,96	21,97 \pm 0,96	12,99
12	< 0,05	16,77 \pm 1,16	20,95 \pm 1,94	20,95 \pm 1,94	14,68
Média	2,90	12,29	24,69	3,61	10,87

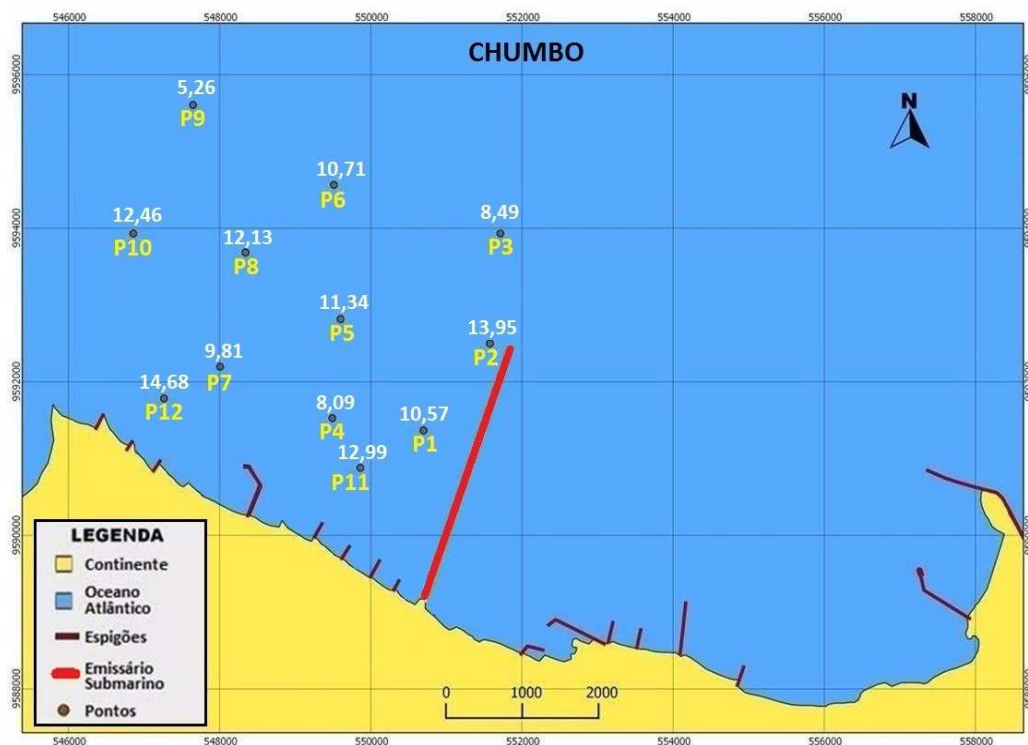
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 11 - Teores de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 15 – Distribuição dos teores médios de chumbo ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

O zinco é amplamente utilizado em detergentes e outros insumos domésticos, sendo um poluente comumente verificado em esgoto doméstico. No entanto, o tratamento destes resíduos por métodos convencionais pode retirar a maior parte dos metais presentes em águas de esgotos.

As concentrações de zinco nas amostras de sedimento variaram entre 0,05 e 18,27 $\mu\text{g/g}$, com média geral de 2,95 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 14; Gráfico 12 e mapa 16). A legislação estabelece que estes valores não ultrapassem 150 $\mu\text{g/g}$. No decorrer das quatro campanhas, em todos os pontos de coleta, as concentrações de zinco obtidas nas amostras de sedimentos foram inferiores ao estabelecido pela Resolução 344/2004 do CONAMA (Tabela 15).

As concentrações mais elevadas de metais (cobre, chumbo e zinco) no ponto de coleta 2 (borbotão do emissário), podem estar relacionadas à presença direta da tubulação do emissário neste local.

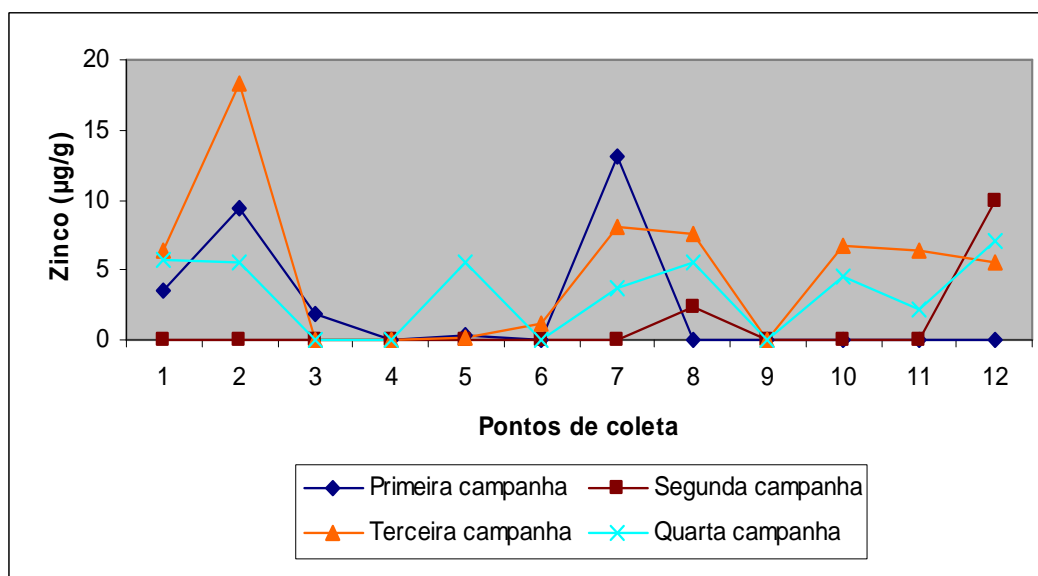
Os teores de metais pesados verificados nas amostras de sedimento coletadas na área de influência do SDOES e os padrões para as classes de qualidade do sedimento (Resolução CONAMA 344/2004) estão representados na tabela 15.

Tabela 14 - Valores dos teores de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	3,53 \pm 0,57	< 0,05	6,39 \pm 0,72	5,64 \pm 0,25	3,90
2	9,44 \pm 1,66	< 0,05	18,27 \pm 0,12	5,52 \pm 0,32	8,32
3	1,78 \pm 0,23	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,48
4	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
5	0,29 \pm 0,50	< 0,05	0,24 \pm 0,04	5,56 \pm 0,32	1,53
6	< 0,05	< 0,05	1,22 \pm 0,21	< 0,05	0,34
7	13,05 \pm 0,80	< 0,05	8,09 \pm 0,62	3,65 \pm 0,12	6,21
8	< 0,05	2,37 \pm 0,03	7,56 \pm 0,24	5,48 \pm 0,56	3,86
9	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
10	< 0,05	< 0,05	6,70 \pm 0,26	4,61 \pm 0,36	2,85
11	< 0,05	< 0,05	6,32 \pm 1,88	2,17 \pm 0,24	2,14
12	< 0,05	9,96 \pm 2,29	5,57 \pm 0,58	7,14 \pm 0,31	5,68
Média	2,37	1,06	5,04	3,33	2,95

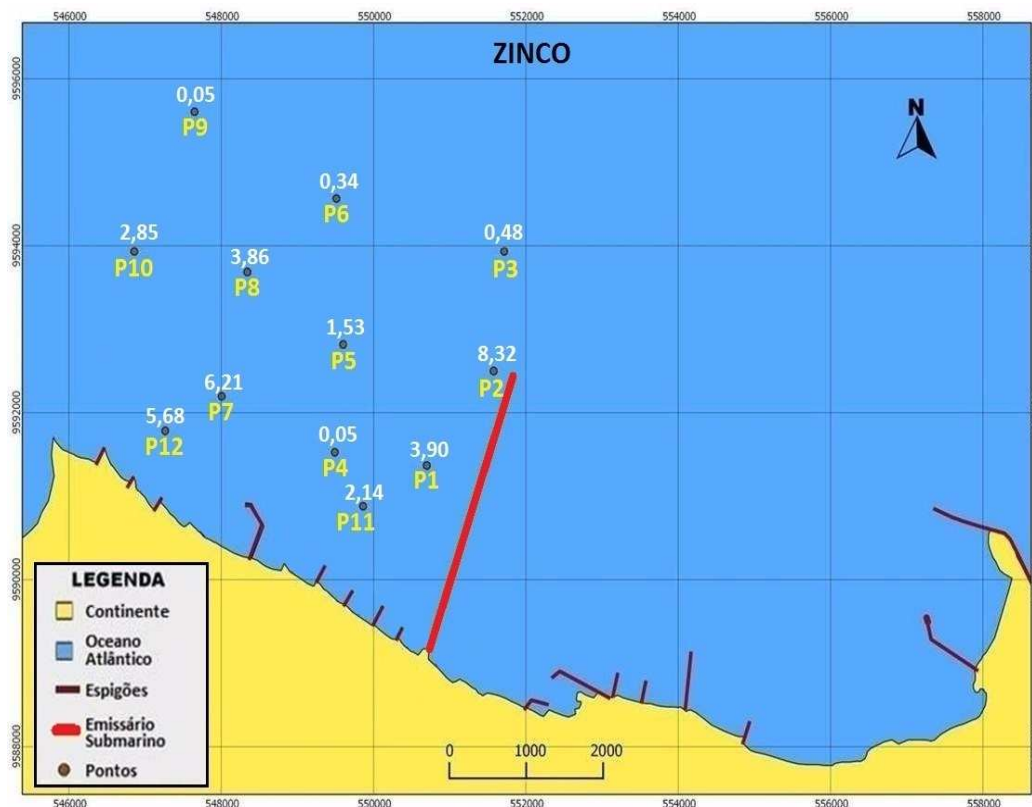
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 12 - Teores de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 16 - Distribuição dos teores médios de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas amostras de sedimento colhidas durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 15 – Teores de metais pesados verificados nas amostras de sedimento coletadas na área de influência do SDOES e os padrões para as classes de qualidade do sedimento (Resolução CONAMA 344/2004).

Metais pesados	Teores ($\mu\text{g/g}$)	Recomendações da Resolução CONAMA 344/2004 (mg/kg)
Cobre	0,05 - 6,97	34
Cádmio	0,05 - 6,63	1,2
Chumbo	0,05 - 31,06	46,7
Zinco	0,05 - 18,27	150

Obs: ($\mu\text{g/g}$) = (mg/kg)

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

6.2. Qualidade da água

6.2.1. Área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza

Para avaliar a qualidade da água foram definidos os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: temperatura, salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, condutividade, nitrato, nitrito, fósforo total, amônia total, óleos e graxas, sólidos em suspensão, coliformes totais, coliformes termotolerantes e concentração de *Escherichia coli*.

A Resolução CONAMA n^o 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e propõe diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Conforme esta resolução, as águas marinhas da área de estudo encontram-se enquadradas nas classes 1 e 3, sendo classificadas como salinas, sendo destinadas a recreação de contato primário, a aqüicultura e a atividade de pesca, além de servirem a navegação e a harmonia paisagística.

Os valores dos parâmetros físico-químicos da água, em geral, estão dentro da faixa de variação esperada para a zona costeira, que se caracteriza por temperatura relativamente elevada, pH alcalino, salinidade de água marinha influenciada por chuvas e pequeno aporte fluvial, consumo de oxigênio de média intensidade com elevado grau de saturação e uma intensa atividade biológica.

O pH da água é determinado pela quantidade de hidretos (H^+) ou hidróxidos (OH^-). Em geral, o pH da água do mar varia de 7,4 a 8,5. O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro muito importante a ser considerado no estudo de comunidades aquáticas, já que possui um profundo efeito sobre o metabolismo e processos fisiológicos de peixes e organismos aquáticos de uma maneira geral e resulta da precipitação do carbonato, determinado por intemperismo, evaporação e temperatura elevada, enquanto a condutividade mede a concentração de íons na água do mar, tendo uma variação diretamente proporcional com o pH. Tem sido constatado que os pontos letais de acidez e alcalinidade são de pH 4 e pH 11, respectivamente. As águas com valores que compreendem a faixa de 6,5 a 9,0, são as mais adequadas para reprodução de peixes. Já valores de pH inferiores a 6,5 diminuem os processos reprodutivos (Boyd, 1990). Os valores de pH da água obtidos nos doze pontos de amostragem,

no decorrer das quatro campanhas, oscilou entre 7,02 a 7,94 (Tabelas 16 a 19), apresentando uma alcalinidade relativamente baixa, favorecendo o processo de reprodução e desenvolvimento das espécies marinhas.

A temperatura da água do mar varia tanto verticalmente quanto horizontalmente na coluna d'água e exerce influência tanto nos seres marinhos como nas massas de água. Nas regiões tropicais e equatoriais, a temperatura na coluna d'água decresce em função da profundidade. A temperatura da água na área de influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante as quatro campanhas, apresentou uma variação entre 28,0^o C e 30,1^o C (Tabelas 16 a 19).

Tabela 16 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes à primeira campanha de monitoramento, fevereiro de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Temp. (°C)	O ₂ % de saturação	O ₂ (mg/L)	Conduct. (mS/cm)	Salin (%)	pH
1	Superfície	28,5	116,3	7,29	59,20	37,1	7,47
	Meio	28,2	111,6	7,27	59,32	37,1	7,34
	Fundo	28,2	105,5	6,69	59,25	37,1	7,23
2	Superfície	28,9	105,7	6,80	58,90	37,2	7,56
	Meio	28,4	105,8	6,70	58,89	37,3	7,41
	Fundo	28,4	103,9	6,82	58,87	37,2	7,32
3	Superfície	28,8	102,7	6,80	58,82	37,1	7,75
	Meio	28,3	101,6	6,55	58,80	37,1	7,51
	Fundo	28,3	104,0	6,30	58,83	37,1	7,37
4	Superfície	28,3	102,3	6,04	59,76	37,2	7,94
	Meio	28,2	104,4	6,58	59,27	37,3	7,57
	Fundo	28,4	101,3	6,44	59,34	37,2	7,42
5	Superfície	28,8	104,2	6,17	58,67	37,1	7,88
	Meio	28,3	107,2	6,89	58,76	37,8	7,65
	Fundo	28,3	104,8	6,35	58,64	37,7	7,49
6	Superfície	28,7	102,6	6,02	58,86	37,1	7,75
	Meio	28,3	106,2	6,40	58,74	37,3	7,53
	Fundo	28,3	105,1	6,09	58,56	37,3	7,39
7	Superfície	28,7	107,6	6,74	59,73	37,2	7,47
	Meio	28,3	115,5	6,93	59,87	36,9	7,43
	Fundo	28,3	117,1	6,39	59,34	37,1	7,26
8	Superfície	28,6	110,4	6,76	58,76	37,1	7,02
	Meio	28,3	104,4	6,66	58,43	37,5	7,72
	Fundo	28,3	102,6	6,54	58,52	37,7	7,55
9	Superfície	28,7	103,7	6,10	54,63	37,1	7,65
	Meio	28,3	101,8	6,43	58,76	37,2	7,43
	Fundo	28,3	100,5	6,36	58,58	37,7	7,32
10	Superfície	28,9	108,6	6,16	59,23	37,1	7,55
	Meio	28,3	101,4	6,45	59,45	37,3	7,44
	Fundo	28,3	100,1	6,26	59,26	37,1	7,38
11	Superfície	28,6	106,2	6,17	59,29	37,2	7,58
	Meio	28,4	102,0	6,42	59,30	37,0	7,44
	Fundo	28,4	101,1	6,12	59,28	37,0	7,30
12	Superfície	28,9	107,7	6,70	59,12	37,2	7,92
	Meio	28,3	101,4	6,45	59,15	37,0	7,64
	Fundo	28,3	105,4	6,62	59,13	37,0	7,47
Média	Superfície	28,7	106,5	6,47	58,74	37,1	7,62
	Meio	28,3	105,2	6,64	59,06	37,2	7,50
	Fundo	28,3	104,2	6,41	59,00	37,2	7,37

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

A salinidade refere-se a quantidade de sais dissolvidos na água do mar, sendo definida pelo peso total de sais inorgânicos dissolvidos em 1 kg de água. A mensuração da salinidade é feita pela determinação da condutividade elétrica, que tende a aumentar com elevação da quantidade de sais dissolvidos. A água dos oceanos é salgada porque contém sais dissolvidos (com concentrações entre 33 e 38 gramas de sais por cada quilograma de água do mar). Nas áreas que apresentam climas mais quentes, nível baixo de pluviosidade e ventos constantes, a salinidade da água do mar é maior, características peculiares ao litoral de Fortaleza. Na área estudada, no decorrer das quatro campanhas, a salinidade da água variou entre 37,0 ‰ e 37,9 ‰ (Tabelas 16 a 19), estando de acordo com os padrões de salinidade para águas tropicais.

Tabela 17 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes à segunda campanha de monitoramento, maio de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Temp. (°C)	O ₂ % de saturação	O ₂ mg/L	Condut. (mS/cm)	Salin (‰)	pH
1	Superfície	28,8	93,2	6,34	59,2	37,8	7,52
	Meio	28,3	94,5	6,37	59,8	37,6	7,57
	Fundo	28,2	92,1	6,42	59,7	37,3	7,47
2	Superfície	28,8	99,6	6,72	57,6	37,6	7,32
	Meio	28,7	83,4	6,54	58,2	37,6	7,23
	Fundo	28,5	84,4	6,57	56,7	37,7	7,31
3	Superfície	28,9	96,3	6,58	63,4	37,3	7,32
	Meio	28,6	96,4	6,54	62,1	37,1	7,31
	Fundo	28,2	96,8	6,53	62,3	37,2	7,34
4	Superfície	28,9	95,6	6,54	62,9	37,5	7,34
	Meio	28,7	79,8	6,39	63,4	37,6	7,33
	Fundo	28,2	72,9	6,38	63,3	37,3	7,25
5	Superfície	28,8	96,8	6,62	63,2	37,4	7,57
	Meio	28,6	97,4	6,63	64,5	37,2	7,47
	Fundo	28,2	96,8	6,54	65,3	37,9	7,28
6	Superfície	28,9	92,3	6,48	62,3	37,6	7,21
	Meio	28,7	93,1	6,49	59,8	37,4	7,32
	Fundo	28,7	93,1	6,48	59,9	37,2	7,24
7	Superfície	28,7	91,2	6,49	60,1	37,7	7,24
	Meio	28,6	93,4	6,47	59,6	37,5	7,21
	Fundo	28,3	93,7	6,44	59,2	37,2	7,42
8	Superfície	28,9	93,6	6,37	51,2	37,3	7,36
	Meio	28,6	93,1	6,42	52,2	37,5	7,30
	Fundo	28,2	92,8	6,43	51,3	37,6	7,29
9	Superfície	28,9	98,2	6,42	58,2	37,6	7,38
	Meio	28,9	96,7	6,39	59,1	37,8	7,31
	Fundo	28,8	98,1	6,43	58,3	37,6	7,32
10	Superfície	28,9	96,7	6,39	60,0	37,5	7,48
	Meio	28,7	98,7	6,38	59,8	37,6	7,36
	Fundo	28,5	99,1	6,35	59,7	37,5	7,32
11	Superfície	28,8	94,1	6,38	60,1	37,6	7,24
	Meio	28,5	71,8	6,36	59,5	37,4	7,21
	Fundo	28,3	69,8	6,34	59,8	37,6	7,20
12	Superfície	28,9	92,4	6,26	60,2	37,2	7,31
	Meio	28,7	92,8	6,29	59,8	37,3	7,27
	Fundo	28,5	92,9	6,17	60,2	37,3	7,58
Média	Superfície	28,8	95,0	6,46	59,8	37,5	7,35
	Meio	28,6	90,9	6,43	59,8	37,4	7,32
	Fundo	28,3	90,2	6,42	59,6	37,3	7,33

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

A condutividade elétrica é um parâmetro do fluxo de corrente elétrica na água. Os sais dissolvidos na água são soluções eletrolíticas que permitem o fluxo de corrente, causado pelo movimento dos íons na solução. A condutividade elevada pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes, pois é dependente das concentrações iônicas e é um indicador da quantidade de sais existentes na coluna d'água. A medida de condutividade da água, na área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, no decorrer das quatro campanhas, apresentou uma variação entre 32,7 a 65,3 mS/cm (Tabelas 16 a 19). A maior condutividade foi registrada no ponto 5, na zona mais profunda, na segunda campanha, que registrou também a maior salinidade. Por outro lado, o ponto 4, na profundidade de *secchi* (meia água) na terceira campanha, foi o que apresentou condutividade mais baixa.

Tabela 18 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes à terceira campanha de monitoramento, agosto de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Temp. (°C)	O ₂ % de saturação	O ₂ mg/L	Condut. (mS/cm)	Salin. (‰)	pH
1	Superfície	28,7	93,1	6,32	59,3	37,6	7,51
	Meio	28,2	94,1	6,36	59,6	37,5	7,54
	Fundo	28,1	94,0	6,35	53,7	37,3	7,56
2	Superfície	28,6	83,1	6,56	57,7	37,6	7,36
	Meio	28,5	83,4	6,54	57,6	37,6	7,34
	Fundo	28,3	83,2	6,57	57,5	37,7	7,35
3	Superfície	28,8	96,5	6,58	63,5	37,5	7,31
	Meio	28,7	96,3	6,55	62,6	37,3	7,32
	Fundo	28,2	96,2	6,52	62,3	37,2	7,30
4	Superfície	28,8	95,7	6,52	62,8	37,4	7,33
	Meio	28,6	95,6	6,51	32,7	37,0	7,36
	Fundo	28,2	95,5	6,49	62,2	37,5	7,34
5	Superfície	28,5	94,2	6,51	58,4	37,8	7,41
	Meio	28,3	94,5	6,57	58,8	37,6	7,38
	Fundo	28,0	94,1	6,56	58,7	37,7	7,40
6	Superfície	28,3	95,2	6,47	61,4	37,8	7,40
	Meio	28,4	95,6	6,50	62,5	37,6	7,37
	Fundo	28,1	95,4	6,43	63,1	37,4	7,32
7	Superfície	28,9	95,6	6,36	64,7	37,5	7,52
	Meio	28,4	95,2	6,40	63,5	37,6	7,56
	Fundo	28,3	95,3	6,38	64,1	37,8	7,31
8	Superfície	28,9	93,8	6,34	59,8	37,4	7,47
	Meio	28,3	93,2	6,32	59,4	37,6	7,43
	Fundo	28,7	93,7	6,37	59,2	37,5	7,45
9	Superfície	28,3	93,4	6,34	57,3	37,7	7,32
	Meio	28,2	93,2	6,35	57,6	37,4	7,58
	Fundo	28,7	93,6	6,42	57,7	37,6	7,49
10	Superfície	28,9	83,2	6,43	59,8	37,6	7,62
	Meio	28,7	82,7	6,38	59,1	37,9	7,59
	Fundo	28,4	83,7	6,45	58,8	37,8	7,58
11	Superfície	28,9	82,2	6,58	59,3	37,9	7,59
	Meio	28,3	82,4	6,54	57,3	37,7	7,53
	Fundo	28,8	82,5	6,55	56,5	37,3	7,51
12	Superfície	30,1	83,4	6,61	59,4	37,8	7,41
	Meio	29,7	83,2	6,72	59,9	37,1	7,38
	Fundo	29,2	83,7	6,77	59,1	37,9	7,40
Média	Superfície	28,8	90,7	6,46	60,2	37,6	7,43
	Meio	28,5	90,7	6,47	57,5	37,5	7,44
	Fundo	28,4	90,9	6,48	59,4	37,5	7,41

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 19 - Dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água nos níveis de profundidade superfície (S), meia-água (M) e fundo (F) na área marinha do SDOES, referentes à quarta campanha de monitoramento, novembro de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Temp. (°C)	O ₂ % de saturação	O ₂ mg/L	Condut. (mS/cm)	Salin (‰)	pH
1	Superfície	28,8	93,2	6,37	59,8	37,7	7,53
	Meio	28,6	93,1	6,35	59,7	37,6	7,52
	Fundo	28,5	93,0	6,35	59,6	37,4	7,51
2	Superfície	28,7	83,9	6,58	57,9	37,7	7,38
	Meio	28,6	83,7	6,56	57,6	37,6	7,35
	Fundo	28,4	83,2	6,57	57,5	37,5	7,34
3	Superfície	28,8	96,7	6,57	63,7	37,5	7,30
	Meio	28,6	96,5	6,55	62,9	37,3	7,31
	Fundo	28,1	96,2	6,53	62,8	37,3	7,32
4	Superfície	28,6	95,6	6,53	63,4	37,4	7,36
	Meio	28,6	95,4	6,52	62,8	37,3	7,36
	Fundo	28,5	95,4	6,50	62,7	37,5	7,35
5	Superfície	28,6	94,1	6,57	58,8	37,6	7,39
	Meio	28,4	94,2	6,56	58,7	37,7	7,38
	Fundo	28,3	94,2	6,54	58,6	37,8	7,40
6	Superfície	28,6	95,2	6,48	61,7	37,8	7,41
	Meio	28,4	95,4	6,50	61,6	37,5	7,38
	Fundo	28,3	95,3	6,49	61,5	37,6	7,36
7	Superfície	28,7	95,7	6,34	65,7	37,6	7,51
	Meio	28,5	95,6	6,38	64,7	37,5	7,57
	Fundo	28,4	95,4	6,42	64,3	37,6	7,56
8	Superfície	28,8	93,7	6,35	59,7	37,5	7,74
	Meio	28,3	93,7	6,34	59,4	37,4	7,71
	Fundo	28,2	93,6	6,32	59,1	37,6	7,72
9	Superfície	28,4	93,4	6,35	57,6	37,7	7,62
	Meio	28,2	93,2	6,34	57,5	37,6	7,60
	Fundo	28,1	93,0	6,32	57,7	37,5	7,49
10	Superfície	28,9	82,4	6,41	60,1	37,4	7,60
	Meio	28,8	82,7	6,42	59,2	37,0	7,60
	Fundo	28,7	82,7	6,41	59,2	37,0	7,58
11	Superfície	28,8	82,4	6,54	57,3	37,7	7,58
	Meio	28,7	82,3	6,58	57,9	37,4	7,57
	Fundo	28,5	82,6	6,55	57,5	37,5	7,54
12	Superfície	29,3	83,1	6,60	59,8	37,2	7,38
	Meio	29,8	83,1	6,59	59,7	37,1	7,39
	Fundo	29,6	83,2	6,61	59,3	37,0	7,40
Média	Superfície	28,8	90,7	6,47	60,4	37,5	7,48
	Meio	28,6	90,7	6,47	60,1	37,4	7,47
	Fundo	28,5	90,6	6,46	59,9	37,4	7,46

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Observa-se que os parâmetros físico-químicos da água obtidos nos doze pontos de estudo do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza – SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas, são compatíveis com o meio ambiente da província nerítica tropical, evidenciando-se uma boa homogeneização da coluna d'água como consequência dos movimentos superficiais por ação dos ventos e ondas.

Os valores obtidos para os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido) estão de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação (Resolução 357/2005 do CONAMA) (Tabela 32).

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, revogou a Resolução CONAMA 20/86, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e representa um avanço no que se refere ao estabelecimento de uma zona de mistura, quando se trata da descarga de efluentes em corpos d'água.

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos e está presente nestes ambientes sob várias formas, destacando-se: nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio orgânico dissolvido e nitrogênio orgânico particulado (Esteves, 1998).

O nitrito e o nitrato são importantes indicadores de poluição ambiental e o fosfato é um dos responsáveis pelo processo de enriquecimento de nutrientes e a eutrofização de águas naturais. De acordo com a Resolução 357 do CONAMA, para essas classes de água (1 e 3), os limites máximos aceitáveis para nutrientes são: nitrato (0,40 mg/L), nitrito (0,07 mg/L), fósforo total (0,062 mg/L) e amônia total (0,40 mg/L).

No período chuvoso (primeira e segunda campanhas) as concentrações de nitrito, em geral, apresentaram pequena variação e valores considerados acima dos aceitáveis pela legislação (Tabelas 20, 21 e 32); enquanto que no período de estiagem (terceira e quarta campanhas) a maioria dos valores obtidos estão dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA (Tabelas 22, 23 e 32).

Os valores de nitrato obtidos na maioria dos doze pontos estudados na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas, demonstram que as concentrações desse elemento na água não estão de acordo com o estabelecido na legislação, ou seja, estão superiores aos valores de referência ou acima dos valores aceitáveis (Tabelas 20, 21, 22, 23 e 32). O aumento dos teores de nitrato nestas águas está relacionado diretamente à elevada descarga de esgotos domésticos pelo emissário submarino, fator que tem contribuído para contaminação desta área.

As concentrações de amônia total e fósforo total na maioria das amostras de água coletadas na área marinha do SDOES ultrapassaram os limites máximos aceitáveis pela legislação, o que reflete o grau de contaminação dessas águas (Tabelas 20, 21, 22, 23 e 32).

O grande volume de esgoto lançado neste ambiente proporciona uma grande concentração de amônia e fósforo nestas águas, podendo provocar o sufocamento dos peixes, causando um desequilíbrio ecológico e comprometendo a qualidade destas águas.

Tabela 20 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinhado SDOES, no desenvolvimento da primeira campanha , fevereiro de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Nitrito (mgN/L)	Nitrato (mgN/L)	Amônia Total (mgNH ₃ /L)	Fósforo Total (mgP/L)
1	Superfície	0,347	1,504	0,168	1,361
	Meio	0,386	1,578	0,609	0,375
	Fundo	0,279	1,888	0,176	0,450
2	Superfície	0,462	1,802	0,165	0,623
	Meio	0,424	1,166	0,190	0,375
	Fundo	0,298	2,230	0,178	0,375
3	Superfície	0,472	1,994	0,712	0,819
	Meio	0,327	2,214	0,197	0,646
	Fundo	0,270	1,311	0,414	0,698
4	Superfície	0,385	1,662	0,153	0,369
	Meio	0,318	2,442	2,395	0,548
	Fundo	0,279	2,438	0,187	N.Det
5	Superfície	0,270	3,270	0,220	0,946
	Meio	0,318	2,128	0,345	0,496
	Fundo	0,308	2,505	1,825	0,969
6	Superfície	0,462	2,179	0,211	0,358
	Meio	0,308	0,730	0,297	0,329
	Fundo	0,481	1,480	0,368	0,461
7	Superfície	0,481	1,480	0,197	0,998
	Meio	0,270	0,977	0,206	0,813
	Fundo	0,260	1,975	0,223	0,987
8	Superfície	0,337	1,029	0,173	0,479
	Meio	0,424	0,895	0,225	0,733
	Fundo	0,327	1,347	0,193	0,415
9	Superfície	0,308	1,025	0,414	0,750
	Meio	0,385	2,061	0,270	0,508
	Fundo	0,433	0,086	0,208	0,433
10	Superfície	0,472	0,334	0,245	0,381
	Meio	0,356	0,695	0,186	0,779
	Fundo	0,260	0,828	0,700	0,386
11	Superfície	0,472	0,338	0,445	0,340
	Meio	0,481	0,663	0,153	0,375
	Fundo	0,404	0,341	0,551	0,906
12	Superfície	0,260	0,569	0,575	0,473
	Meio	0,337	0,636	0,250	0,352
	Fundo	0,501	1,146	0,293	0,386

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Os valores obtidos para nitrato, nitrito, fósforo total e amônia total nas amostras de água colhidas na área do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, durante o desenvolvimento das quatro campanhas, estão representados nas tabelas 20 a 23.

Tabela 21 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Nitrito (mgN/L)	Nitrato (mgN/L)	Amônia Total (mgNH ₃ /L)	Fósforo Total (mgP/L)
1	Superfície	ñ detectado	2,168	0,110	0,715
	Meio	0,352	1,543	0,859	0,326
	Fundo	ñ detectado	1,899	0,333	0,370
2	Superfície	ñ detectado	1,240	1,095	0,324
	Meio	ñ detectado	1,236	1,533	0,462
	Fundo	0,369	1,081	0,999	0,566
3	Superfície	ñ detectado	1,092	0,190	0,802
	Meio	0,200	1,395	0,254	0,675
	Fundo	ñ detectado	1,804	0,621	0,739
4	Superfície	0,402	1,395	0,094	0,341
	Meio	ñ detectado	2,103	0,844	0,491
	Fundo	ñ detectado	1,672	0,774	1,397
5	Superfície	ñ detectado	1,384	1,044	1,443
	Meio	0,436	1,278	0,849	1,299
	Fundo	0,318	1,495	0,140	4,125
6	Superfície	0,301	0,600	0,717	1,068
	Meio	0,722	1,482	1,105	ñ detectado
	Fundo	0,284	0,914	0,953	0,375
7	Superfície	0,318	1,664	0,670	1,933
	Meio	0,924	0,611	0,875	ñ detectado
	Fundo	0,503	0,687	0,311	0,381
8	Superfície	0,345	0,020	0,901	0,572
	Meio	0,436	1,088	0,559	0,439
	Fundo	0,621	1,395	0,937	0,456
9	Superfície	0,537	1,353	1,271	0,624
	Meio	0,284	1,202	0,946	0,808
	Fundo	0,284	1,573	1,346	0,704
10	Superfície	ñ detectado	0,808	1,124	0,370
	Meio	0,200	1,456	0,222	0,370
	Fundo	0,301	1,308	1,308	0,404
11	Superfície	0,587	1,467	1,050	1,212
	Meio	0,755	0,873	0,649	0,774
	Fundo	0,318	1,418	0,616	0,699
12	Superfície	0,335	1,785	0,610	0,802
	Meio	ñ detectado	0,501	0,127	0,525
	Fundo	0,217	1,452	0,662	0,410

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 22 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Nitrito (mgN/L)	Nitrato (mgN/L)	Amônia Total (mgNH ₃ /L)	Fósforo Total (mgP/L)
1	Superfície	≤ 0,009	0,294	1,907	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	0,231	0,686	0,069
	Fundo	≤ 0,009	1,087	2,140	0,054
2	Superfície	≤ 0,009	0,360	0,622	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,549	0,842	0,037
	Fundo	≤ 0,009	0,343	1,055	≤ 0,025
3	Superfície	≤ 0,009	0,044	0,588	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,191	1,258	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	1,137	0,565	≤ 0,025
4	Superfície	≤ 0,009	1,374	1,008	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,033	0,855	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	0,788	0,969	≤ 0,025
5	Superfície	≤ 0,009	0,314	0,557	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	0,231	1,350	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	0,132	0,798	≤ 0,025
6	Superfície	≤ 0,009	1,145	1,661	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	0,921	1,394	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	1,033	1,339	≤ 0,025
7	Superfície	≤ 0,009	1,170	1,223	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,037	0,137	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	0,306	0,935	0,028
8	Superfície	≤ 0,009	0,830	1,596	0,175
	Meio	≤ 0,009	1,399	1,984	0,065
	Fundo	≤ 0,009	≤ 0,114	1,964	≤ 0,025
9	Superfície	≤ 0,009	0,132	4,417	≤ 0,025
	Meio	0,012	0,015	3,485	0,056
	Fundo	0,012	0,506	3,446	0,050
10	Superfície	≤ 0,009	0,044	1,899	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	≤ 0,114	0,772	0,115
	Fundo	≤ 0,009	0,086	0,710	0,052
11	Superfície	≤ 0,009	0,152	2,008	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	0,123	0,671	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	0,148	0,935	≤ 0,025
12	Superfície	≤ 0,009	0,165	0,842	0,046
	Meio	≤ 0,009	≤ 0,114	1,953	0,028
	Fundo	≤ 0,009	0,327	1,350	0,025

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 23 - Dados referentes aos valores obtidos para nitrito, nitrato, amônia total e fósforo total nas amostras de água colhidas na área marinha do SDOES, no desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.

Ponto de coleta	Nível	Nitrito (mgN/L)	Nitrato (mgN/L)	Amônia Total (mgNH ₃ /L)	Fósforo Total (mgP/L)
1	Superfície	≤ 0,009	1,540	1,932	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,025	1,656	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	1,212	1,192	3,338
2	Superfície	≤ 0,009	2,234	2,087	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,150	2,244	0,100
	Fundo	≤ 0,009	1,299	1,578	≤ 0,025
3	Superfície	≤ 0,009	2,068	1,217	0,050
	Meio	≤ 0,009	1,806	1,711	0,059
	Fundo	≤ 0,009	1,652	1,199	0,033
4	Superfície	≤ 0,009	1,644	1,224	0,070
	Meio	≤ 0,009	1,744	1,615	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	2,359	2,068	≤ 0,025
5	Superfície	≤ 0,009	3,140	1,984	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	2,101	1,594	0,033
	Fundo	≤ 0,009	1,769	1,315	0,028
6	Superfície	≤ 0,009	1,590	2,268	0,067
	Meio	≤ 0,009	1,386	2,015	0,031
	Fundo	≤ 0,009	1,640	2,031	0,102
7	Superfície	0,013	1,428	2,079	2,183
	Meio	≤ 0,009	1,769	1,421	0,243
	Fundo	≤ 0,009	1,091	1,858	0,335
8	Superfície	≤ 0,009	1,403	1,508	0,097
	Meio	≤ 0,009	1,972	2,487	0,059
	Fundo	≤ 0,009	1,785	0,357	0,362
9	Superfície	≤ 0,009	1,457	1,214	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,299	2,216	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	2,380	1,897	0,100
10	Superfície	≤ 0,009	1,557	1,634	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,524	2,146	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	2,147	1,877	0,074
11	Superfície	≤ 0,009	1,490	1,727	0,128
	Meio	≤ 0,009	1,769	2,094	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	1,341	1,233	0,076
12	Superfície	≤ 0,009	1,270	1,274	≤ 0,025
	Meio	≤ 0,009	1,632	1,730	≤ 0,025
	Fundo	≤ 0,009	1,590	1,566	≤ 0,025

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros e são

raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere a sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento de água. Em processo de decomposição a presença dessas substâncias reduz o oxigênio dissolvido, causando alteração no ecossistema aquático.

Para o controle da qualidade da água, a determinação das concentrações de óleos e graxas é importante, já que óleos e graxas obstruem a rede de esgoto e impedem processos de degradação natural (anaeróbios) de alguns poluentes.

Os esgotos sanitários apresentam concentrações de óleos e graxas geralmente na faixa de 50 a 100 mg/L. Os óleos e graxas provocam obstrução em redes coletoras de esgotos e inibição em processos biológicos de tratamento. Nas águas naturais, os óleos e graxas acumulam-se nas superfícies, causando dano estético ao meio ambiente e podendo trazer sérios problemas ecológicos por dificultar as trocas gasosas que ocorrem entre a massa líquida e a atmosfera, especialmente a de oxigênio, o que pode ocasionar a mortandade de peixes por asfixia, bem como alterações no ecossistema aquático.

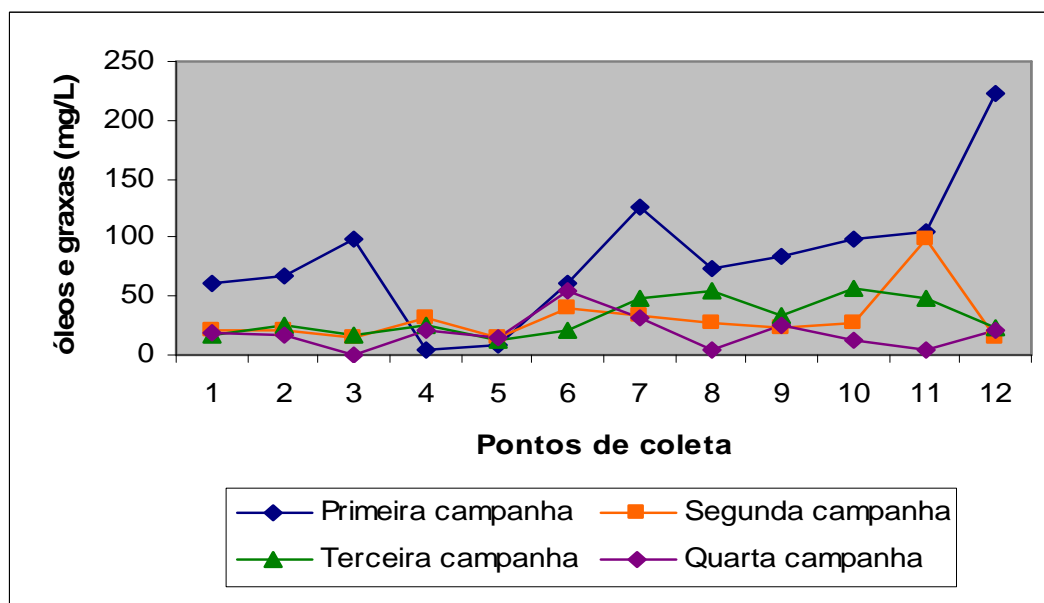
As concentrações de óleos e graxas nas águas da área marinha do SDOES foram elevadas e variaram de 1,0 mg/L a 223 mg/L. A menor concentração (1,0 mg/L) ocorreu no ponto 3 no decorrer da quarta campanha; enquanto que a maior concentração (223 mg/L) foi verificada no ponto 12 no decorrer da primeira campanha (Tabela 24; Gráfico 13 e mapa 17). O teor médio de óleos e graxas verificado nas amostras de água foi de 41,4 mg/L (Tabela 24).

De acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, os teores de óleos e graxas nessas águas devem ser “virtualmente ausentes”, portanto, os teores determinados nos doze pontos de estudo estão fora do permitido pela legislação (Tabela 32). A presença dos elevados teores de óleos e graxas nessa área pode estar relacionada à própria descarga do emissário submarino e/ou a liberação destes elementos pelas embarcações que navegam nessa região, o que pode comprometer a qualidade da água e o equilíbrio ecológico, principalmente no que se refere à produção e a absorção de oxigênio por parte das espécies que compõem a flora e a fauna desta área.

Tabela 24 – Valores dos teores de óleos e graxas (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.

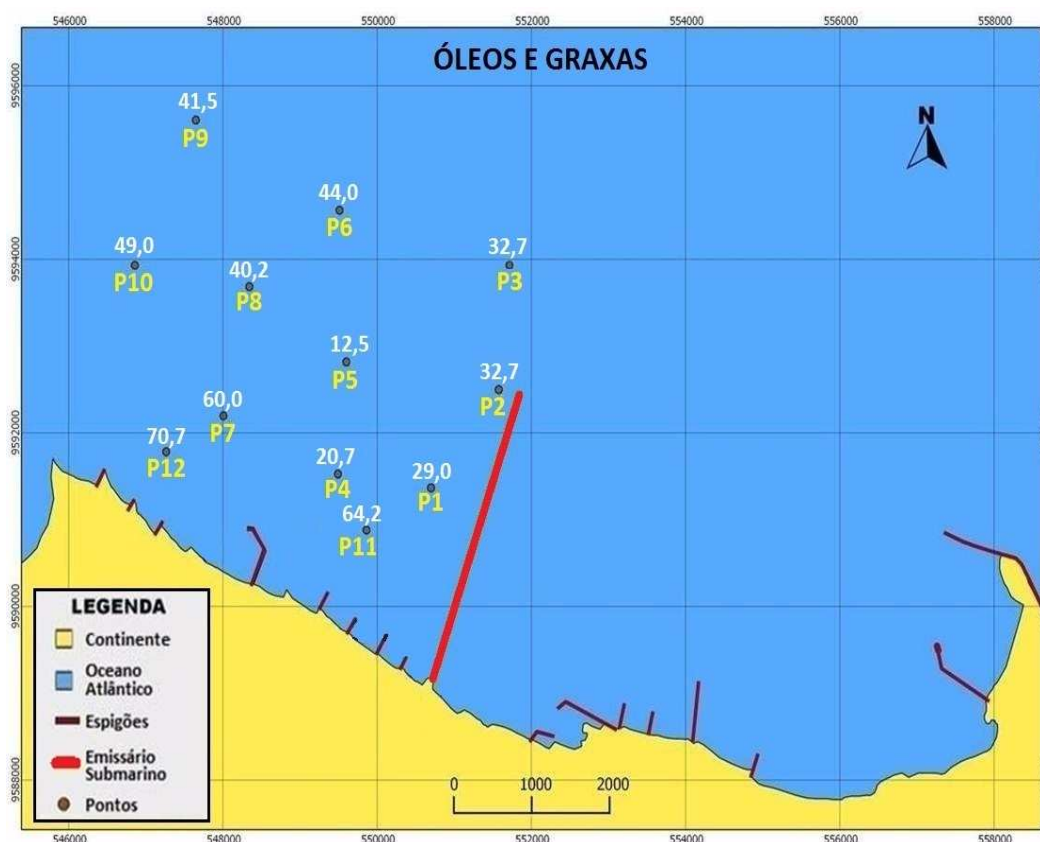
Ponto de coleta	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha	Média
1	61,0	20,0	16,0	19,0	29,0
2	68,0	21,0	26,0	16,0	32,7
3	99,0	14,0	17,0	1,0	32,7
4	5,0	31,0	26,0	21,0	20,7
5	9,0	14,0	13,0	14,0	12,5
6	60,0	39,0	22,0	55,0	44,0
7	127,0	34,0	48,0	31,0	60,0
8	74,0	27,0	55,0	5,0	40,2
9	84,0	24,0	33,0	25,0	41,5
10	99,0	28,0	56,0	13,0	49,0
11	104,0	99,0	49,0	5,0	64,2
12	223,0	14,0	24,0	22,0	70,7
Média	84,4	30,4	32,0	18,9	41,4

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 13 - Teores de óleos e graxas (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 17 - Distribuição dos teores médios de óleos e graxas (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

Os sólidos em suspensão referem-se a pequenas partículas sólidas que se mantêm em suspensão na água e são utilizados como um importante indicador da qualidade da água, podendo ter origem natural ou origem antropogênica (despejos domésticos, industriais). São partículas que alteram as propriedades físicas e químicas da água, provocando a sua turbidez, gerando problemas estéticos e prejudicando a atividade fotossintética.

Na área marinha do SDOES os sólidos em suspensão compõem-se de material orgânico e, em menor quantidade, de silte e argila, cujos valores estão representados nas tabelas 33 a 36. Os valores totais obtidos nas quatro campanhas variaram na faixa de 14,0 a 355,6 mg/L (Tabelas 25 a 28), apresentando algumas diferenças em função do estrato vertical na coluna d'água. Na zona superficial, o ponto 10 apresentou a maior concentração de sólidos em suspensão (301,6 mg/L) (Tabela 28), enquanto que na profundidade de *Secchi* (meio) o ponto 4 apresentou o valor mais elevado (352 mg/L) (Tabela 28). Na zona bentônica (fundo) a maior concentração foi verificada no ponto 6 (355,6 mg/L) (Tabela 28). Os elevados teores de sólidos

em suspensão nessas águas refletem a intensa descarga de esgotos provenientes do emissário submarino de Fortaleza, contribuindo para tornar estas águas mais turvas e poluídas. Os valores obtidos estão em desacordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, que preconiza que estes elementos devem ser virtualmente ausentes (Tabela 32).

Tabela 25 – Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nos doze pontos de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da primeira campanha, fevereiro de 2007.

Ponto de Coleta	Superfície	Meio	Fundo	Média
1	23,8	24	22,6	23,4
2	26,4	21,2	21	22,8
3	22,4	24,8	23,6	23,6
4	29,6	24	22,4	25,3
5	20	25,4	25	23,4
6	23,8	23,2	21	22,6
7	17,8	22	22,6	20,8
8	24,4	19,2	26,4	23,3
9	24	22,8	24,4	23,7
10	24,8	25,8	30,2	26,9
11	22,4	23,6	29,6	25,2
12	30	29,8	24	27,9
Média	24,1	23,8	24,4	24,1

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 26 - Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nos doze pontos de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.

Ponto de Coleta	Superfície	Meio	Fundo	Média
1	22,4	24,8	19,2	22,1
2	24,0	19,6	21,0	21,5
3	19,4	19,8	19,4	19,5
4	19,2	23,3	26,6	23,0
5	20,6	20,8	22,0	21,1
6	24,8	25,6	29,2	26,5
7	20,8	22,2	24,8	22,6
8	20,0	19,0	22,4	20,4
9	24,2	20,2	14,0	19,4
10	23,0	23,6	24,4	23,6
11	22,2	26,6	30,4	26,4
12	23,4	20,4	23,4	22,4
Média	22,0	22,1	23,0	22,3

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 27 - Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nos doze pontos de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.

Ponto de Coleta	Superfície	Meio	Fundo	Média
1	37,0	95,4	141,2	91,2
2	19,6	48,6	37,6	35,2
3	225,8	122,2	136,4	161,4
4	149,0	39,8	171,0	119,9
5	128,0	36,0	106,2	90,0
6	162,8	51,6	24,8	79,7
7	38,8	37,4	26,6	34,2
8	20,0	38,2	32,0	30,0
9	33,0	43,2	38,4	38,2
10	29,8	100,4	25,2	51,8
11	28,8	33,4	37,2	33,1
12	24,8	35,6	36,2	32,2
Média	74,7	56,8	67,7	66,4

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

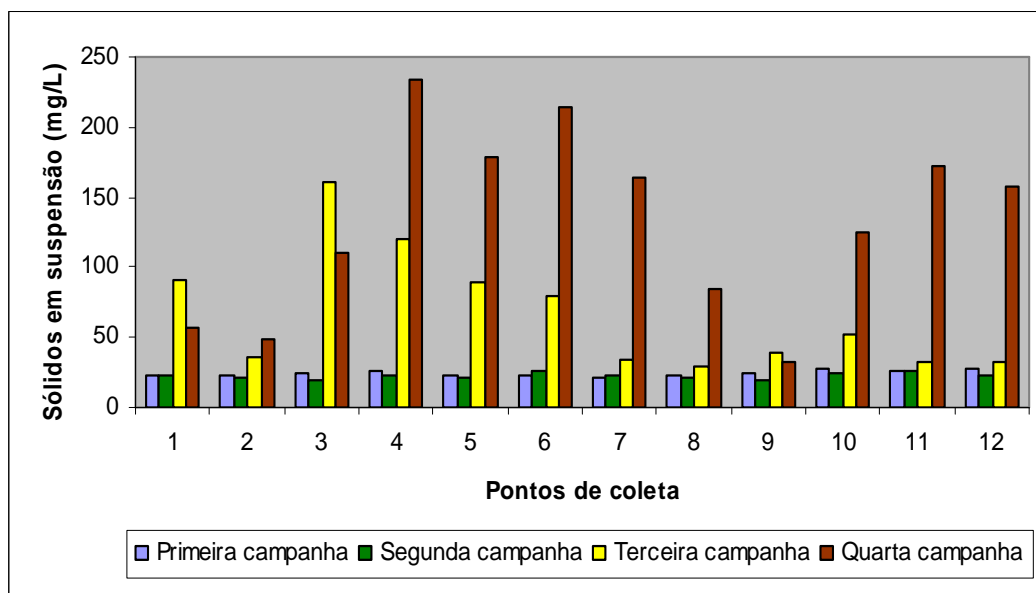
Tabela 28 - Valores da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) nas amostras de água colhidas nos doze pontos de amostragem da área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.

Ponto de Coleta	Superfície	Meio	Fundo	Média
1	51,6	71,4	46,0	56,3
2	33,0	36,8	74,6	48,1
3	59,2	238,2	35,4	110,9
4	298,6	352,0	51,0	233,8
5	284,2	206,2	47,0	179,1
6	249,6	37,4	355,6	214,2
7	193,0	46,2	252,0	163,7
8	178,0	41,0	33,0	84,0
9	25,2	33,0	38,6	32,2
10	301,6	38,2	34,6	124,8
11	74,2	311,0	128,8	171,3
12	178,0	34,8	258,8	157,2
Média	160,5	120,5	112,9	131,3

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

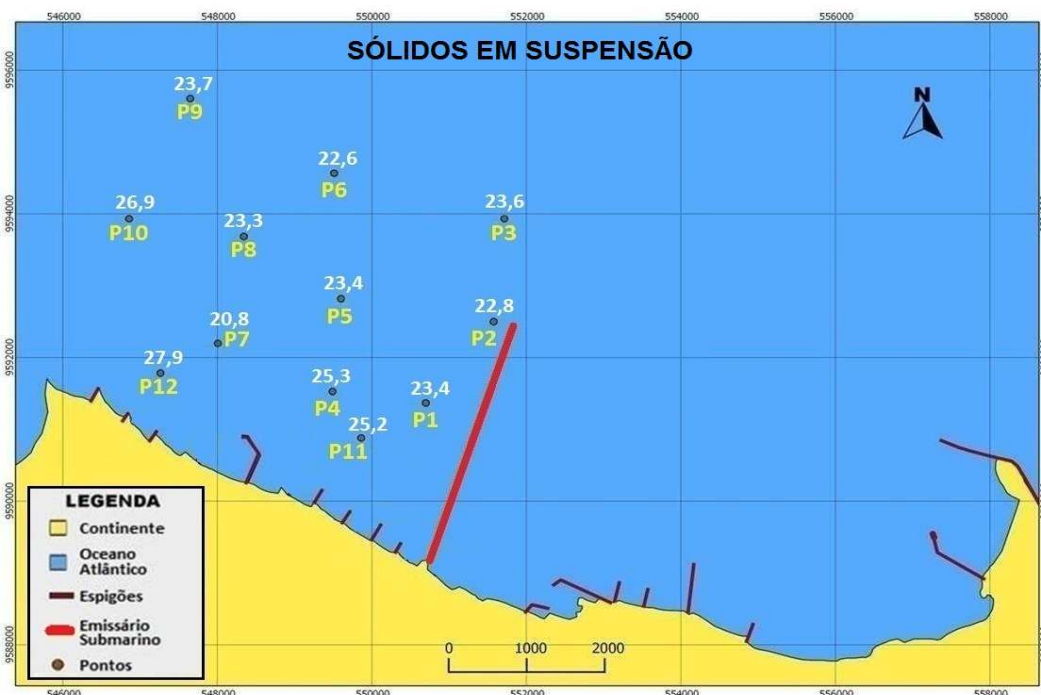
O gráfico 14 e os mapas 18 a 21 mostram a distribuição das médias de concentração de sólidos em suspensão na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.

Gráfico 14 – Concentração média de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



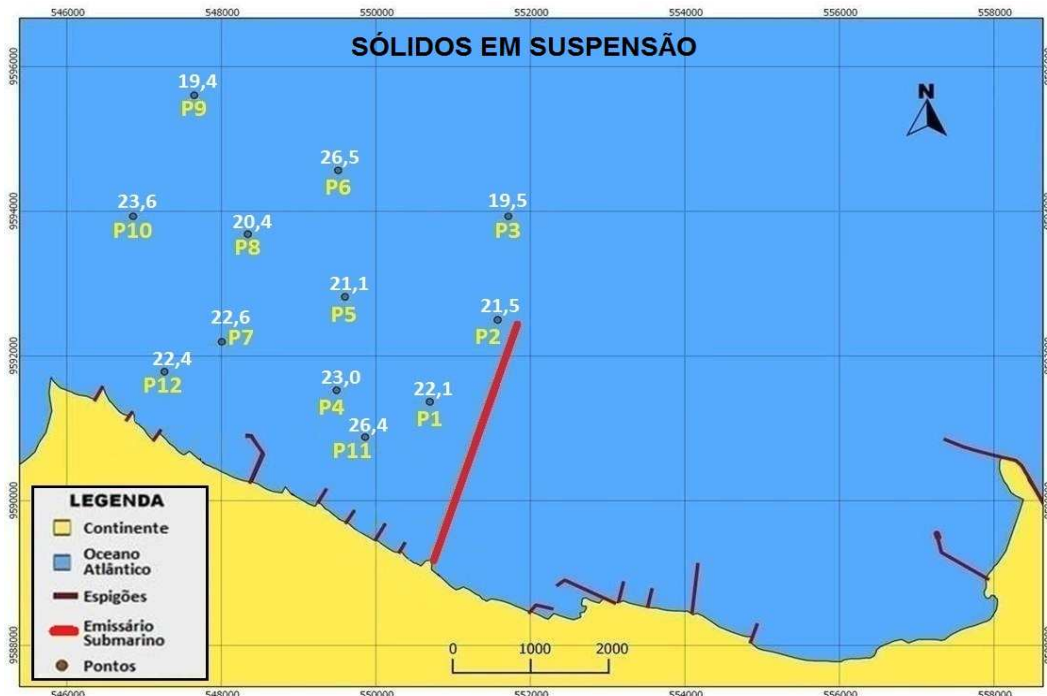
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 18 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da primeira campanha, fevereiro de 2007.



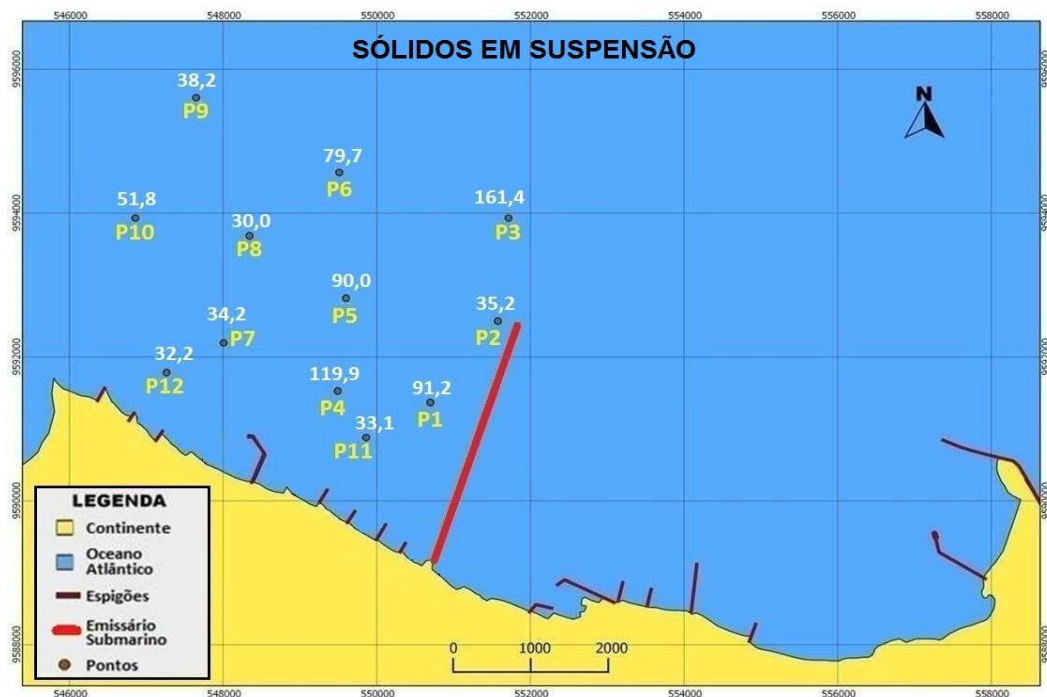
Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 19 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da segunda campanha, maio de 2007.



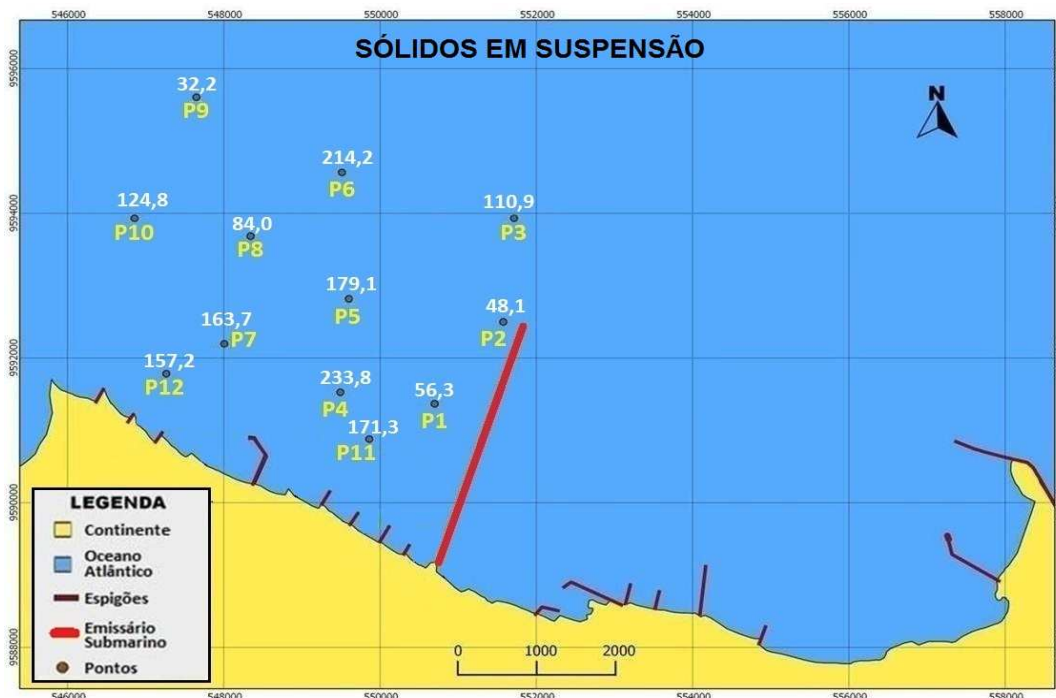
Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 20 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da terceira campanha, agosto de 2007.



Fonte: Google Earth, 2011. Elaboração: Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 21 - Distribuição das concentrações médias de sólidos em suspensão (mg/L) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento da quarta campanha, novembro de 2007.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Os coliformes são um grupo de bactérias, bastonetes Gram negativos, móveis, que habitam o intestino de animais de sangue quente, capazes de fermentar lactose em 35⁰C/24-48 horas com produção de ácido e gás (APHA,1995). A detecção de coliformes em águas marinhas indica que está havendo um fluxo de fezes para esse local e, como as águas do mar são tóxicas para esse grupo de bactérias, sua presença nesse meio tem um significado importante (Hagler & Hagler, 1988).

Os coliformes totais são um importante parâmetro de medição e controle de qualidade da água e correspondem a um grupo de bactérias constituído por bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído dentro de 24-48 horas a 35-37⁰C.

O indicador microbiológico de poluição fecal mais utilizado é o grupo coliforme, que envolve várias espécies de enterobactérias. Dentre essas espécies destaca-se *Escherichia coli* que é a única, dentre os coliformes, considerada de origem unicamente fecal. A água do mar, devido à grande concentração de sais, pode funcionar com um fator limitante para

multiplicação da *Escherichia coli* aliado a outros fatores, tais como a temperatura, radiação e competição com outros seres vivos (Vieira *et al.*, 2001). Os sais e a luz são decisivos na viabilidade da *Escherichia coli*, sendo deletérios a essa bactéria. A taxa de redução dessas bactérias não decorre apenas da diluição, mas também dos fatores bióticos e abióticos. Tanto os raios ultra-violeta (UV) como os componentes visíveis da luz solar são letais para bactérias em água do mar, sendo que a luz UV usualmente interfere no DNA causando danos mais severos (Castro *et al.*, 2006). Davis & Evison (1991) concluem que a salinidade parece ser um importante fator na sobrevivência de bactérias expostas à luz solar. A matéria orgânica que permanece na água do mar pode ter um papel relevante na sobrevivência desta bactéria, provavelmente, atenuando os efeitos nocivos do sal e da luz. Apesar da pouca tolerância desta bactéria à toxicidade da água do mar (Hagler & Hagler, 1988), o aporte contínuo de esgotos, originário do emissário submarino de Fortaleza, faz com que sua detecção nessa classe de água seja considerada um importante indicador de poluição orgânica.

De acordo com os resultados obtidos nas análises bacteriológicas das amostras de água nos doze pontos de coleta, no decorrer das quatro campanhas, o que se constata é que o ponto 2, localizado no borbotão do emissário, foi um dos mais contaminados, apresentando quantidades de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* elevadas (acima de 1000/100 mL) na maioria dos níveis de profundidade da coluna d'água (Tabelas 29, 30 e 31) (Mapas 22, 23 e 24), valores bem superiores aos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA (Tabela 32). Nas amostras de água superficial, a baixa detecção das bactérias entéricas, possivelmente está relacionada ao efeito deletério combinado da salinidade da água do mar e do nível de insolação nessa região sobre os coliformes.

Os pontos de coleta 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 e 12 apresentaram em todos os níveis de amostragem (superfície, meio e fundo) concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em contagens inferiores aos limites estabelecidos pela Legislação (1000/100 mL) (Tabelas 29, 30 e 31) (Mapas 22, 23 e 24). No ponto de coleta 8, no decorrer da segunda campanha, na profundidade de fundo, a concentração de coliformes totais ultrapassou o limite aceitável (Tabela 29). Em muitos pontos de coleta, ao serem analisados os parâmetros de coliformes totais e termotolerantes, apresentaram concentrações inferiores a 1,8, valor esse que representa o índice limite mais baixo de detecção na tabela de Hoskins. Os pontos de coleta 4, 5 e 8 apresentaram resultados que definiram índices compatíveis com contaminação, provavelmente por conta de correntes marinhas (Tabelas 29 e 30).

O mapa 25 mostra o emissário submarino e a área de influência direta de contaminação por coliformes, destacando-se os pontos de coleta 2, 5 e 8, localizados em frente ao borbotão do emissário, ou seja, na linha de descarga direta dos efluentes. Identifica-se nesta ilustração a pluma de dispersão direta dos efluentes domésticos lançados pelo emissário submarino de Fortaleza, destacando-se as elevadas concentrações de coliformes totais e coliformes termotolerantes detectadas nas amostras de água coletadas nesta área, representando um elevado grau de contaminação (Tabelas 29 e 30) e (Mapas 22 e 23).

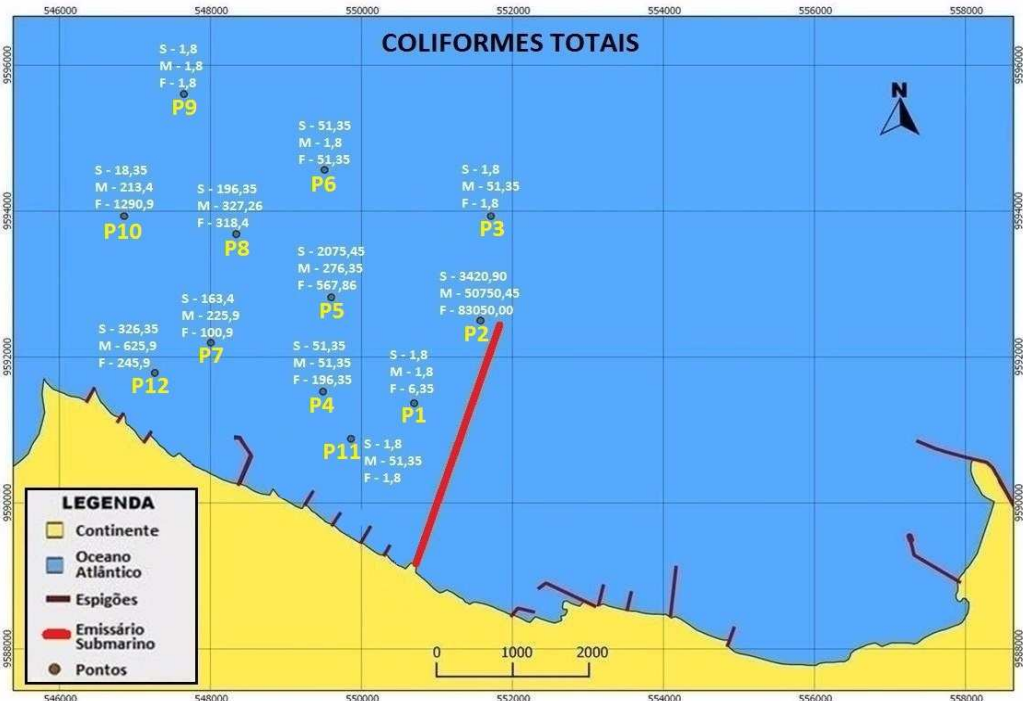
Tabela 29 – Resultado das análises de água do mar para coliformes totais (NMP/100 mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Pontos de coleta e nível de profundidade	Primeira Campanha	Segunda Campanha	Terceira Campanha	Quarta Campanha	Média
1S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	20	6,35
2S	13000	< 1,8	680	< 1,8	3420,90
2M	120000	13000	70000	< 1,8	50750,45
2F	13000	200	79000	240000	83050
3S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
3M	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
3F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
4S	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
4M	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
4F	< 1,8	< 1,8	780	< 1,8	196,35
5S	200	200	7900	< 1,8	2075,45
5M	< 1,8	< 1,8	1100	< 1,8	276,35
5F	< 1,8	< 1,8	1700	200	567,86
6S	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
6M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
6F	200	< 1,8	< 1,8	< 1,8	51,35
7S	200	450	< 1,8	< 1,8	163,4
7M	450	450	< 1,8	< 1,8	225,9
7F	200	200	< 1,8	< 1,8	100,9
8S	< 1,8	< 1,8	780	< 1,8	196,35
8M	< 1,8	200	780	200	327,26
8F	< 1,8	< 1,8	1100	170	318,4
9S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
10S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	68	18,35
10M	680	< 1,8	< 1,8	170	213,4
10F	4900	< 1,8	< 1,8	260	1290,9
11S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
11M	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
11F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
12S	< 1,8	1300	< 1,8	< 1,8	326,35
12M	< 1,8	2300	< 1,8	200	625,9
12F	< 1,8	780	< 1,8	200	245,9

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

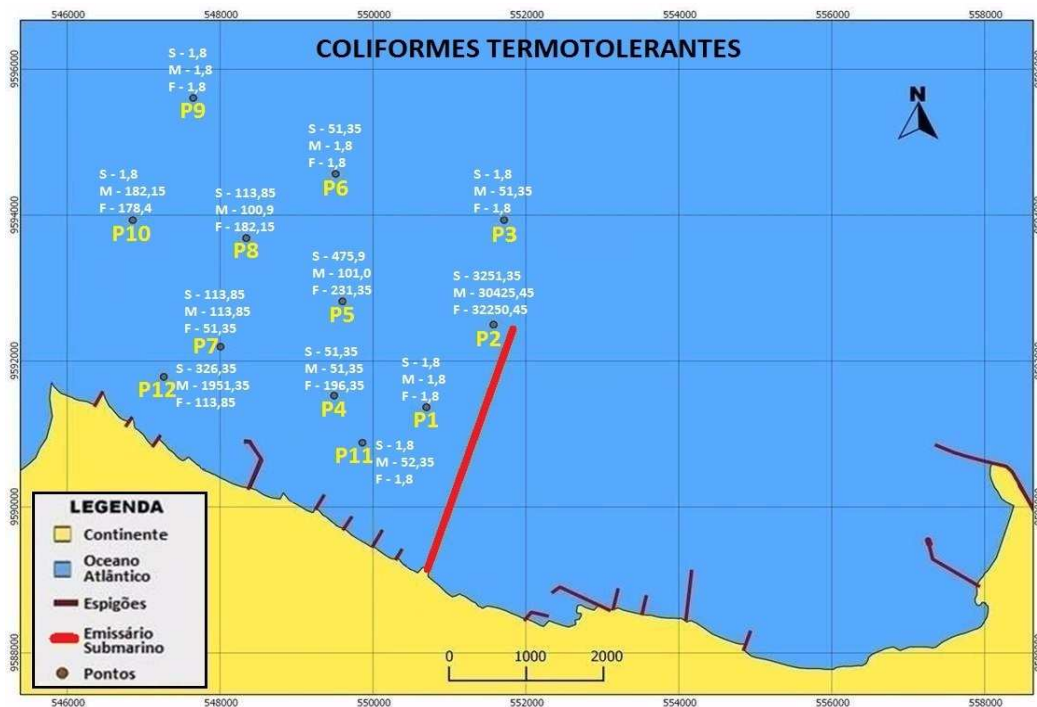
S – Superfície M – Meio F – Fundo

Mapa 22 - Distribuição de coliformes totais (NMP/100 mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.
S – Superfície M – Meio F – Fundo

Mapa 23 - Distribuição de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.
S – Superfície M – Meio F – Fundo

Tabela 30 – Resultado das análises de água do mar para coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Pontos de coleta e nível de profundidade	Primeira Campanha	Segunda Campanha	Terceira Campanha	Quarta Campanha	Média
1S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
2S	13000	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3251,35
2M	49000	2700	70000	<1,8	30425,45
2F	79000	< 1,8	22000	28000	32250,45
3S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
3M	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
3F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
4S	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
4M	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
4F	< 1,8	< 1,8	780	< 1,8	196,35
5S	< 1,8	200	1700	< 1,8	475,9
5M	< 1,8	< 1,8	400	< 1,8	101,35
5F	< 1,8	< 1,8	920	< 1,8	231,35
6S	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
6M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
6F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
7S	< 1,8	450	< 1,8	< 1,8	113,85
7M	< 1,8	450	< 1,8	< 1,8	100,9
7F	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
8S	< 1,8	< 1,8	450	< 1,8	113,85
8M	< 1,8	200	200	< 1,8	100,9
8F	< 1,8	< 1,8	680	45	182,15
9S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
10S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
10M	680	< 1,8	< 1,8	45	182,15
10F	450	< 1,8	< 1,8	260	178,4
11S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
11M	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
11F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
12S	< 1,8	1300	< 1,8	< 1,8	326,35
12M	< 1,8	7800	< 1,8	< 1,8	1951,35
12F	< 1,8	450	< 1,8	< 1,8	113,85

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.
 S – Superfície M – Meio F - Fundo

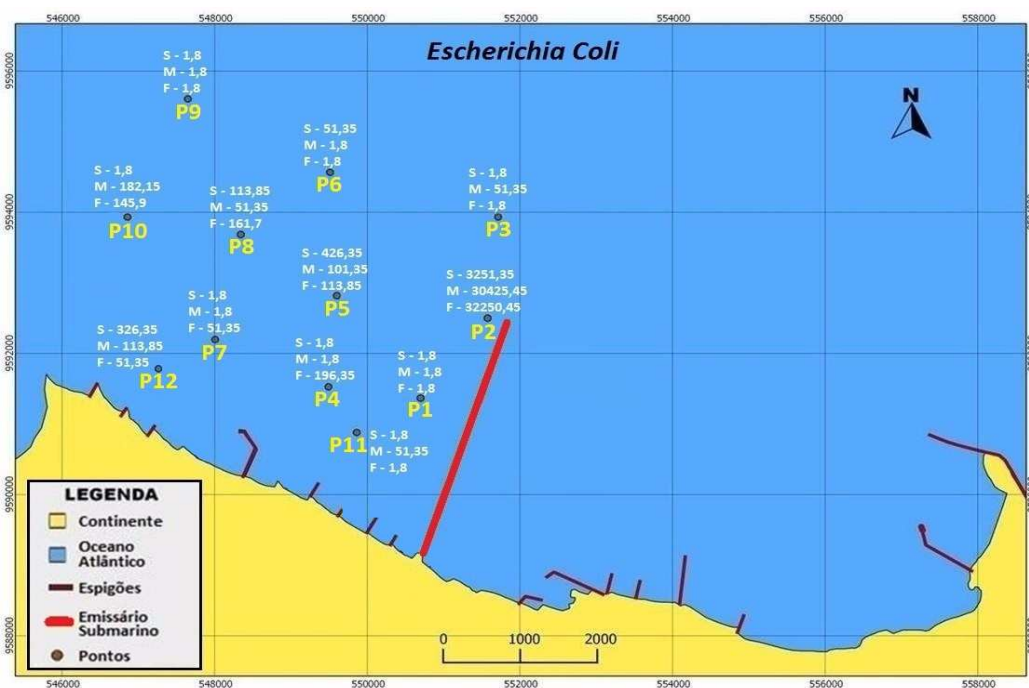
Tabela 31 - Resultado das análises de água do mar para *Escherichia coli* (NMP/100mL) durante as quatro campanhas realizadas nos doze pontos de amostragem do SDOES, Fortaleza, Ceará.

Pontos de coleta e nível de profundidade	Primeira Campanha	Segunda Campanha	Terceira Campanha	Quarta Campanha	Média
1S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
1F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
2S	13000	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3251,35
2M	49000	2700	70000	< 1,8	30425,45
2F	79000	<1,8	22000	28000	32250,45
3S	<1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
3M	<1,8	200	< 1,8	<1,8	51,35
3F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
4S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
4M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
4F	< 1,8	< 1,8	780	< 1,8	196,35
5S	< 1,8	< 1,8	1700	< 1,8	426,35
5M	< 1,8	< 1,8	400	< 1,8	101,35
5F	< 1,8	< 1,8	450	< 1,8	113,85
6S	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
6M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
6F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
7S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
7M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
7F	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35
8S	< 1,8	< 1,8	450	< 1,8	113,85
8M	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
8F	< 1,8	200	400	45	161,7
9S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9M	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
9F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
10S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
10M	680	< 1,8	< 1,8	45	182,15
10F	450	< 1,8	< 1,8	130	145,9
11S	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
11M	< 1,8	< 1,8	200	< 1,8	51,35
11F	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
12S	< 1,8	1300	< 1,8	< 1,8	326,35
12M	< 1,8	450	< 1,8	< 1,8	113,85
12F	< 1,8	200	< 1,8	< 1,8	51,35

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

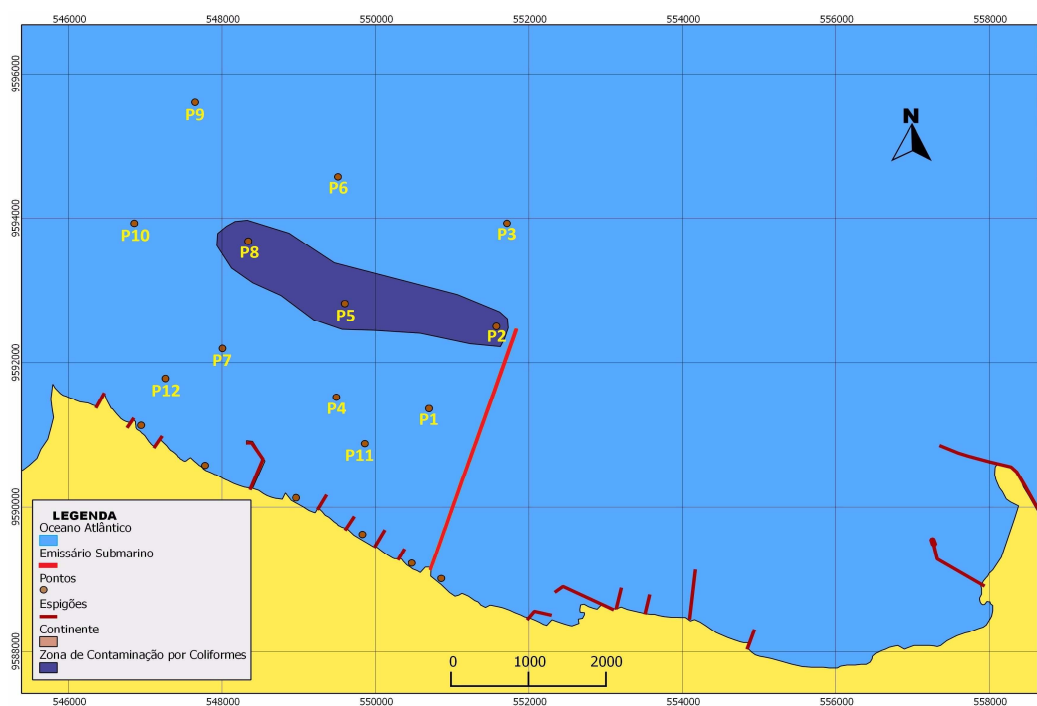
S – Superfície M – Meio F - Fundo

Mapa 24 - Distribuição das concentrações de *Escherichia coli* (NMP/100 mL) na água nos doze pontos de coleta na área marinha do SDOES, durante o desenvolvimento das quatro campanhas.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.
S – Superfície M – Meio F – Fundo

Mapa 25 - Mapa da região costeira de Fortaleza, destacando o emissário submarino e a área de influência direta de contaminação por coliformes na área do SDOES.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

A tabela 32 apresenta uma síntese dos valores dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos verificados nas amostras e os padrões para as classes de qualidade da água (Resolução Conama 357/2005).

Tabela 32 – Valores dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos verificados nas amostras de água coletadas na área de influência do SDOES e os padrões para as classes de qualidade da água (Resolução CONAMA 357/2005).

Parâmetros	Valores	Recomendações da Resolução CONAMA 357/2005
Temperatura	28,0 ^o C - 30,1 ^o C	Inferior a 40 ^o C
Salinidade	37,0 ‰ - 37,9 ‰	Igual ou superior a 30,0 ‰
pH	7,02 - 7,94	6,5 a 8,5
Oxigênio Dissolvido	6,41 – 6,64 mg/L	Não inferior a 6 mg/L
Condutividade	58,7 – 60,4	-----
Nitrato	0,015 – 3,270 mg/L	0,40 mg/L
Nitrito	0 – 0,924 mg/L	0,07 mg/L
Fósforo Total	0 – 4,125 mg/L	0,062 mg/L
Amônia Total	0,110 – 4,417 mg/L	0,40 mg/L
Óleos e graxas	12,5 – 70,7 mg/L	Virtualmente ausentes
Sólidos em suspensão	19,4 – 233,8 mg/L	Virtualmente ausentes
Coliformes Totais	4.256/100mL	1000/100 mL
Coliformes Termotolerantes	1.962/100mL	1000/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	2.050/100mL	1000/100 mL

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

6.2.2. Praias do litoral oeste de Fortaleza

A contaminação das águas das praias do litoral oeste de Fortaleza, pela descarga de esgotos domésticos, representa risco à saúde dos banhistas e freqüentadores desses ambientes de lazer. Os esgotos escoados através de galerias pluviais, através da rede de drenagem urbana, contribuem de forma pontual para a poluição das águas e podem apresentar um impacto significativo sobre o meio ambiente. Além de ligações domiciliares, muitas delas clandestinas, é importante ressaltar que as águas pluviais drenam áreas de favelas ou carentes, onde a limpeza pública e a coleta de lixo não são regularmente praticadas. Nessas áreas carentes de saneamento básico, a lavagem das ruas após as chuvas constitui uma contribuição equivalente a de esgotos primários (Jordão & Pessoa, 1995). O litoral oeste de Fortaleza (praias estudadas) se enquadra dentro desta realidade, pois apresenta um sistema de drenagem e saneamento básico bastante precários, comprometendo a qualidade da água e conseqüentemente as condições de balneabilidade destas praias.

De acordo com a Resolução nº 274/2000 do CONAMA, as praias serão consideradas *Excelentes*, quando no máximo apresentarem 250 CF (Termo tolerantes)/100 ml em 80 % ou mais nas amostras, durante o tempo de coleta; *Muito Boas*, quando atinge no máximo de 500 CF (Termo tolerantes)/100 ml; e *Satisfatórias* com no máximo 1.000 CF (Termo tolerantes)/100 ml, nas mesmas condições. As amostras que ultrapassarem esses valores serão enquadradas na categoria das *Impróprias*. As águas destas praias são classificadas como salinas, voltadas para recreação de contato primário, atividades de natação, esqui aquático e mergulho. Os trechos das praias serão interditados se o órgão de controle ambiental, em quaisquer das suas instâncias (municipal, estadual ou federal), constatar que a má qualidade das águas de recreação de contato primário justifica a medida. Segundo esta Resolução considera-se como passíveis de interdição os trechos em que ocorram acidentes de médio e grande porte, tais como: derramamento de óleo e extravasamento de esgoto, a ocorrência de toxicidade ou formação de nata decorrente de floração de algas ou outros organismos. A interdição e a sinalização, pelos motivos acima mencionados, devem ser efetivadas, pelo órgão de controle ambiental competente.

As análises bacteriológicas envolveram os seguintes parâmetros: coliformes totais, coliformes termotolerantes e concentração de *Escherichia coli*. Os coliformes termotolerantes são bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes totais, caracterizadas pela

presença da enzima β -galactosidade e pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás em 24 horas à temperatura de 44 - 45⁰ C, em meios contendo sais biliares ou outros agentes tenso-ativos com propriedades inibidoras semelhantes. Além de presentes em fezes humanas e de animais, podem também ser encontradas em efluentes contendo matéria orgânica.

A *Escherichia coli* trata-se de uma bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae, caracterizada pela presença das enzimas β -galactosidade e β -glicuronidase. Cresce em meio complexo a 44 – 55⁰ C, fermenta lactose e manitol com produção de ácido e gás e produz indol a partir do aminoácido triptofano. A *Escherichia coli* é abundante em fezes humanas e de animais, tendo, somente, sido encontrada em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente.

Os resultados obtidos nas análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes nas águas das praias estudadas (Ponto 13 a Ponto 18) (Tabelas 33 e 34) (Gráficos 15 e 16), indicam valores bastante elevados, tanto no período chuvoso, quanto no período de estiagem, excedendo os limites preconizados pelo CONAMA, que aconselham para essas águas, não ultrapassarem valores de 1.000 CF (Coliformes Termotolerantes) em 80% das amostras coletadas. O ponto 13, localizado a montante do emissário, apresentou valores baixos para coliformes totais e termotolerantes, com exceção do mês de fevereiro de 2011 (período chuvoso), que apresentou valores de 13.000/100 ml e 4.900/100 ml para coliformes totais e coliformes termotolerantes respectivamente (Tabelas 33 e 34) (Gráficos 15 e 16) (Mapas 26 e 27).

A chuva representa um importante fator de carreamento de bactéria para a praia, aumentando as concentrações de coliformes nesses ambientes. De uma maneira geral, estas praias apresentam-se com elevados índices de contaminação, representando aos banhistas risco sob o ponto de vista de Saúde Pública. Torna-se, portanto, urgente à intensificação de programas de monitoramento por parte dos órgãos públicos, visando à diminuição ou eliminação do nível de poluição dessa faixa costeira, além do esclarecimento dos banhistas e da população local sobre os riscos que a descarga de esgoto doméstico representa à saúde humana e a qualidade ambiental desses ecossistemas.

A existência de esgotos ilegais (clandestinos) ligados às galerias pluviais representa importante fator de poluição dessa faixa costeira. Diante disso, seria importante a

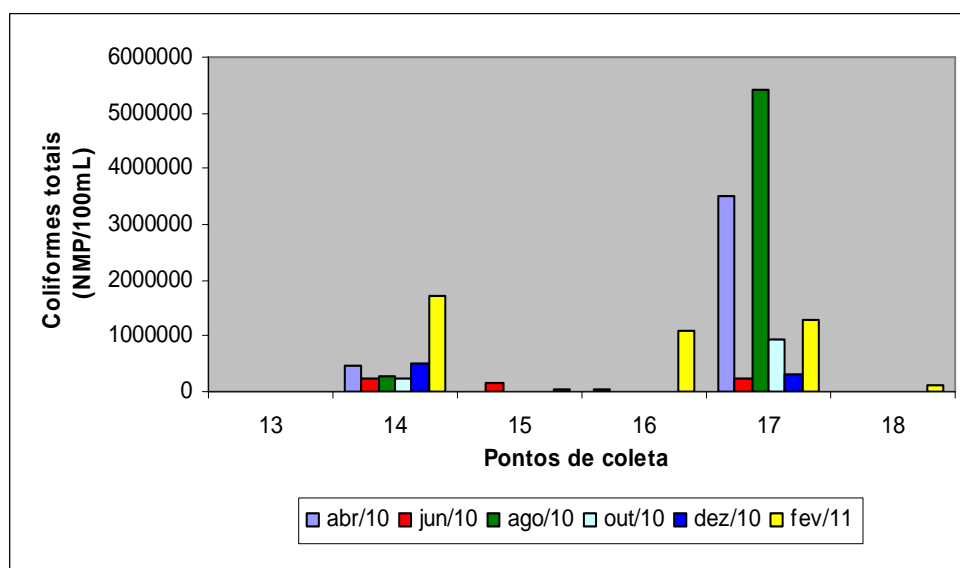
identificação e eliminação destas fontes poluentes ou que estes canais (galerias pluviais) fossem barrados e o material fosse encaminhado para disposição final, juntamente com os esgotos da cidade, via emissário submarino de Fortaleza. A cidade de Fortaleza apresenta parte do sistema de esgoto, ligado ao interceptor oceânico (emissário submarino), o qual é um coletor de dejetos, tratados quando muito por tratamento preliminar (peneiramento dos sólidos), despejando no mar detritos que poluem este ambiente.

Tabela 33 - Número Mais Provável (NMP/100mL) de coliformes totais obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	Abril/2010	Junho/2010	Agosto/2010	Outubro/2010	Dezembro/2010	Fevereiro/2011	Média
13	< 1,8	< 1,8	200	200	< 1,8	13000	2234
14	460000	220000	280000	220000	490000	1700000	561667
15	2100	140000	1300	450	680	33000	29588
16	22000	2200	680	13000	13000	1100000	191813
17	3500000	220000	5400000	920000	330000	1300000	1945000
18	4900	450	2300	780	2200	130000	23438

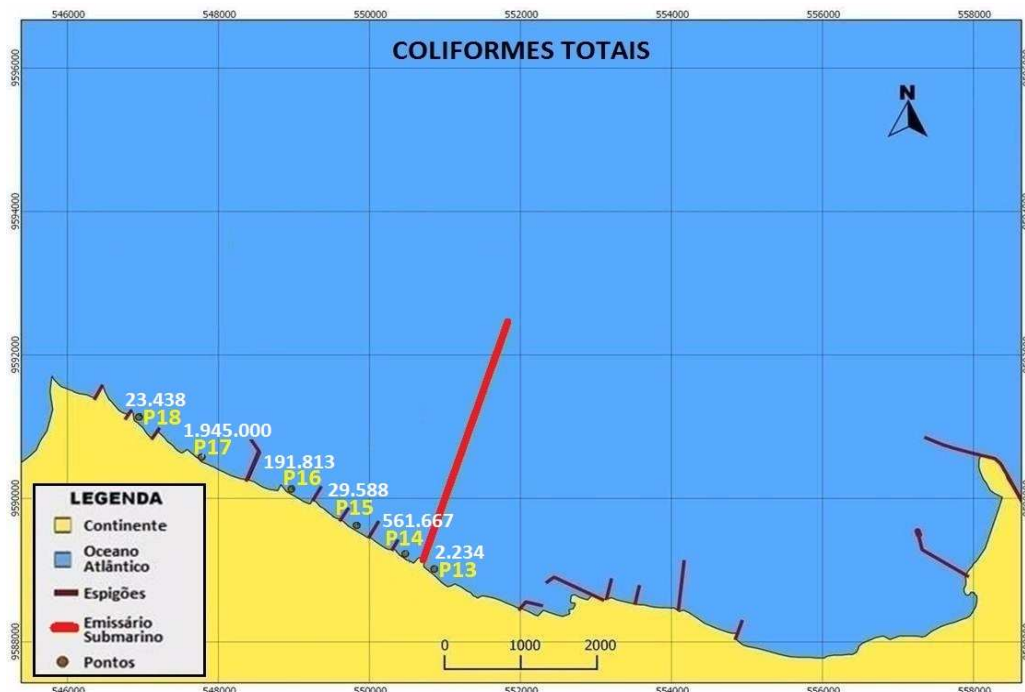
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 15 - Concentração de coliformes totais (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 26 - Distribuição das médias de coliformes totais (NMP/100mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.



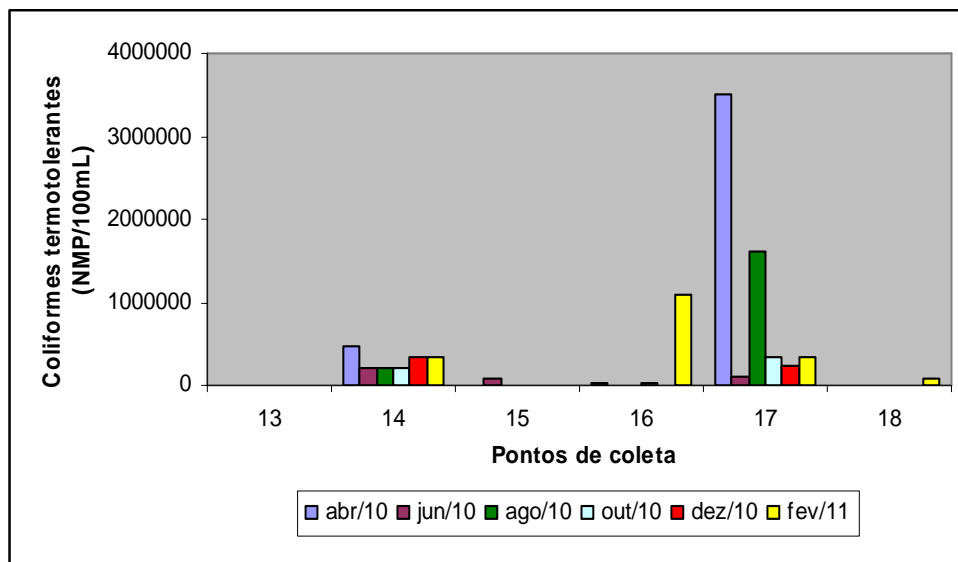
Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

Tabela 34 - Número Mais Provável (NMP/100mL) de coliformes termotolerantes obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	Abril/2010	Junho/2010	Agosto/2010	Outubro/2010	Dezembro/2010	Fevereiro/2011	Média
13	< 1,8	< 1,8	200	200	< 1,8	4900	884
14	460000	220000	220000	210000	330000	340000	296667
15	2100	79000	780	450	400	7900	15105
16	22000	1700	450	13000	2300	1100000	189908
17	3500000	110000	1600000	350000	230000	330000	1020000
18	2300	200	2300	450	400	79000	14108

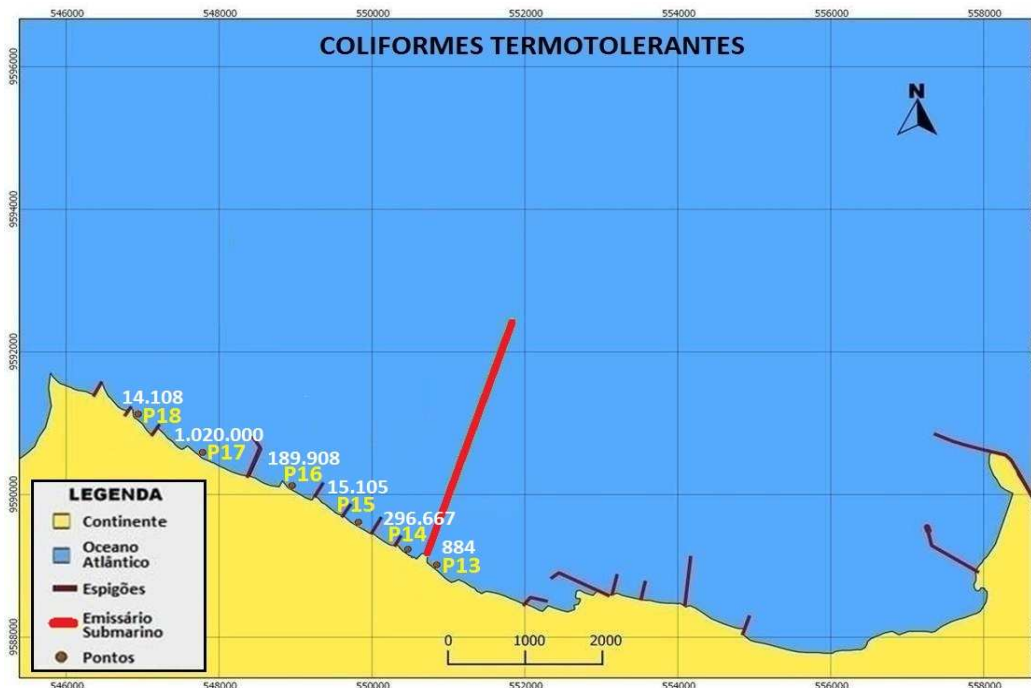
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 16 - Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 27 - Distribuição das médias de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.



Fonte: Google Earth, 2011. **Elaboração:** Paulo Roberto F. G. da Silva.

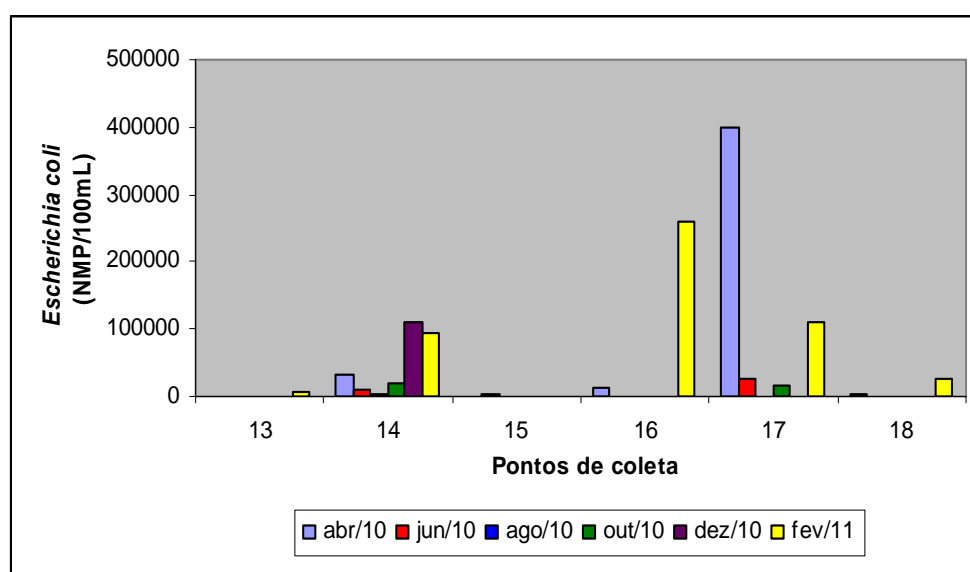
Os valores para as concentrações de *Escherichia Coli* obtidos nas análises de amostras de água dos seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza indicam que os pontos 14, 16, 17 e 18 apresentaram índices consideráveis (Tabela 35; Gráfico 17; Mapa 28), refletindo uma elevada contaminação e representando riscos a saúde dos frequentadores destas praias. O gráfico 17 mostra a concentração média de *Escherichia coli* (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.

Tabela 35 - Concentração de *Escherichia Coli* (NMP/100mL) obtidos nas análises de amostras de água de seis pontos localizados no litoral oeste de Fortaleza, Ceará.

Ponto de coleta	Abril/2010	Junho/2010	Agosto/2010	Outubro/2010	Dezembro/2010	Fevereiro/2011	Média
13	< 1,8	< 1,8	200	200	< 1,8	4900	884
14	33000	9200	3900	21000	110000	93000	45017
15	140	4500	450	450	200	1100	1140
16	14000	680	450	1400	400	260000	46155
17	400000	26000	> 15	17000	600	110000	92269
18	2300	200	450	< 1,8	400	27000	5058

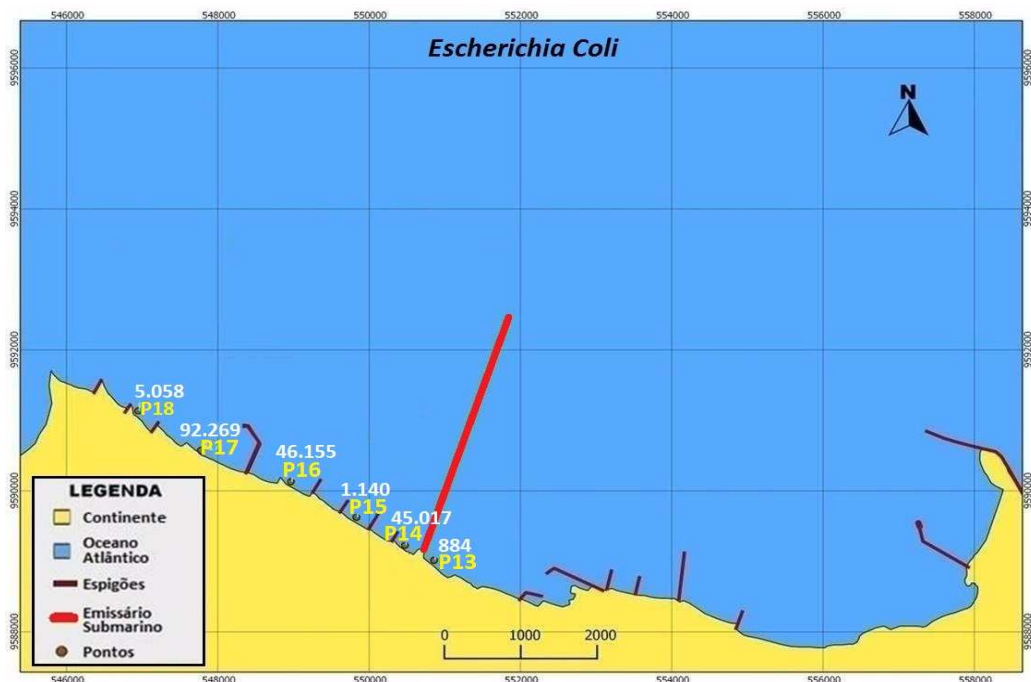
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Gráfico 17 - Concentração de *Escherichia coli* (NMP/100mL) nas amostras de água de seis pontos localizados nas praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará.



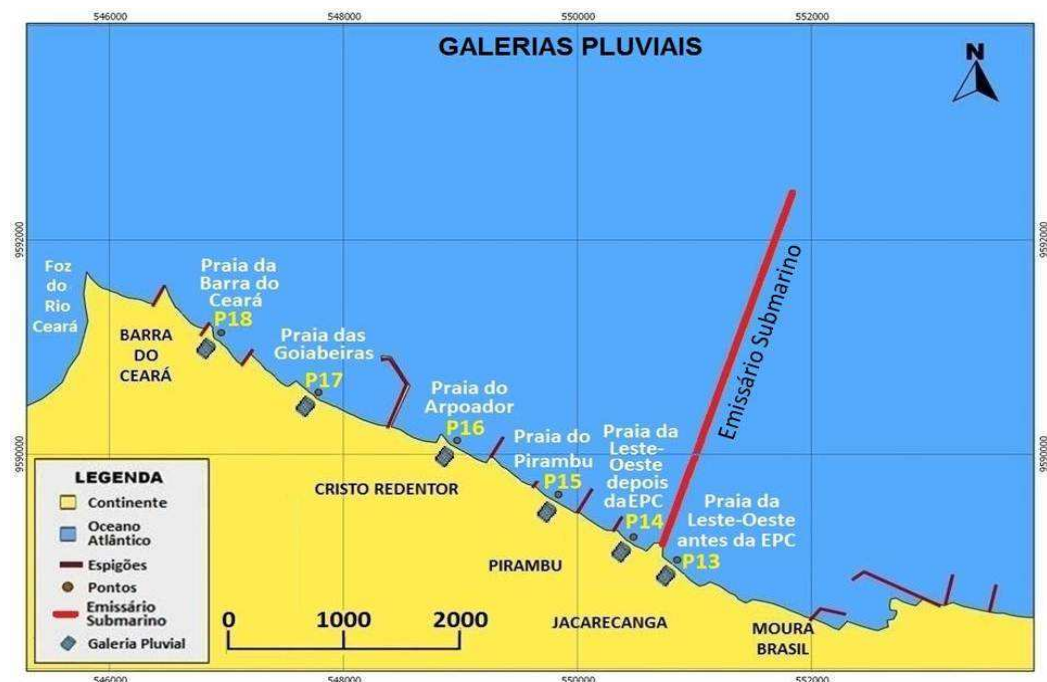
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Mapa 28 - Distribuição das concentrações médias de *Escherichia Coli* (NMP/100 mL) na água nos seis pontos de praia localizados no litoral oeste de Fortaleza.



O mapa 29 mostra a região costeira de Fortaleza, destacando-se as galerias pluviais utilizadas para descarga de esgotos nas praias do litoral oeste de Fortaleza.

Mapa 29 - Mapa da região costeira de Fortaleza, destacando as galerias pluviais responsáveis pela descarga de esgotos nas praias do litoral oeste de Fortaleza.



As águas coletadas pelas galerias pluviais, misturadas a esgotos domésticos, se constituem num dos principais veículos de poluição das praias do litoral oeste de Fortaleza. A contaminação das águas destas praias pela descarga de esgotos domésticos pode representar um risco a saúde dos banhistas e freqüentadores desses ambientes de lazer, expondo-os a bactérias, vírus e protozoários, tornando-se necessário um monitoramento permanente destas praias e o desenvolvimento de ações preventivas, visando o esclarecimento da população local sobre o risco que a contaminação destes ambientes representa.

Na tabela 36 podemos observar os valores das médias das concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* encontradas nas amostras de água das praias e os padrões de balneabilidade das praias (Resolução Conama 274/2000).

Tabela 36 - Valores das médias das concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* encontradas nas amostras de água das praias e os padrões de balneabilidade (Resolução CONAMA 274/2000).

Parâmetros bacteriológicos	Ponto de coleta	Valores médios NMP/100mL	Recomendações da Resolução CONAMA 274/2000 NMP/100ml
Coliformes Totais	13	2.234	
	14	561.667	
	15	29.588	1.000
	16	191.813	
	17	1.945.000	
	18	23.438	
Coliformes Termotolerantes	13	884	
	14	296.667	
	15	15.105	1.000
	16	189.908	
	17	1.020.000	
	18	14.108	
<i>Escherichia coli</i>	13	884	
	14	45.017	
	15	1.140	1.000
	16	46.155	
	17	92.269	
	18	5.058	

Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Segundo (Mendes *et al.*, 1993), a intensificação do surto de doenças (virais, gastroenterite, hepatite, salmonelose) e ocorrência de dermatites e micoses no verão, nas cidades costeiras, está associada com a poluição marinha, contaminação de areia das praias, tendo o lixo acumulado deixado pelos usuários destas praias, papel importante na contaminação desses ambientes.

De acordo com os resultados obtidos, as condições de balneabilidade destas praias estão comprometidas, sendo consideradas impróprias para atividades recreativas pela população.

6.3. Correntometria

Durante as atividades de campo, observou-se que a velocidade média de fluxo foi de 0,16 m/s para todos os perfis realizados. Ao longo do primeiro perfil foi possível observar que a intensidade de correntes obteve velocidade máxima e mínima de fluxo de 0,38 m/s e 0,01 m/s respectivamente na superfície da coluna d'água; para as porções mais próximas ao substrato o valor máximo foi de 0,17 m/s e o mínimo de 0,01 m/s (Tabela 37).

O segundo perfil apresentou uma menor intensidade de fluxo na porção superficial da coluna d'água quando comparado ao perfil 1, obtendo velocidades máximas e mínimas de superfície de 0,28 m/s e 0,03 m/s, respectivamente (Tabela 37).

O terceiro perfil obteve os maiores picos de velocidade para as regiões mais profundas, sendo este de 0,23 m/s, enquanto a intensidade máxima de fluxo na superfície foi de 0,35 m/s. Os valores mínimos coletados na superfície d'água também foram os que obtiveram maior intensidade entre os perfis, sendo de 0,05 m/s, enquanto que para as regiões mais profundas os menores resultados coletados foram de 0,01 m/s (Tabela 37).

O quarto perfil obteve valores máximos de superfície e fundo de 0,29 m/s e 0,15 m/s respectivamente e mínimos de 0,08 m/s na superfície e 0,01 m/s próximo ao substrato oceânico (Tabela 37).

Em todos os perfis foi possível observar que nos pontos de maior profundidade a velocidade da corrente foi sensivelmente maior, havendo um pequeno decréscimo de intensidade de fluxo na medida em que o perfil se deslocava para o continente, este fato é

decorrente do crescente atrito da coluna d'água com o substrato à medida que se aproxima da linha de costa.

As Figuras 25 a 28 mostram a variação dos valores de velocidade e direção de correntes ao longo da coluna d'água para cada célula medida pela sonda. Vale ressaltar que a porção preta existente nessas figuras denota a variação da profundidade no trajeto.

Os resultados obtidos para direção de fluxo apresentaram caráter bastante homogêneo em todos os perfis realizados, apresentando preponderância entre 270^o a 330^o.

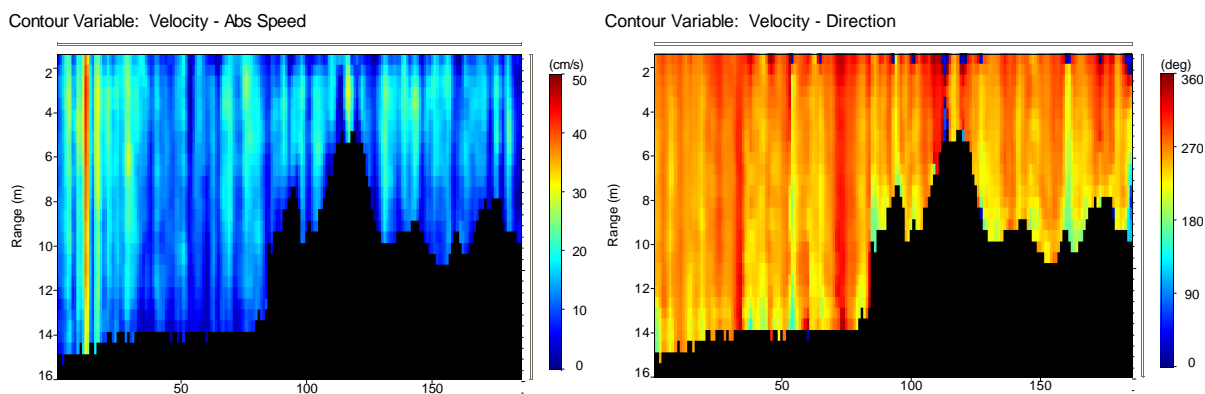
As Figuras 29 a 32 mostram as rosas das correntes para a região no entorno do emissário submarino; enquanto que a tabela 37 apresenta um resumo dos principais valores encontrados em campo.

Tabela 37 - Resultados de velocidade e direção média do fluxo obtida para os perfis realizados na área do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.

Perfil	Velocidade máxima na superfície (m/s)	Velocidade mínima na superfície (m/s)	Velocidade máxima no fundo (m/s)	Velocidade mínima no fundo (m/s)	Velocidade média no perfil (m/s)	Direção média do fluxo (°)
1	0,38	0,01	0,17	0,01	0,16	269
2	0,28	0,03	0,20	0,02	0,16	268
3	0,35	0,05	0,23	0,01	0,16	329
4	0,29	0,08	0,15	0,01	0,16	335

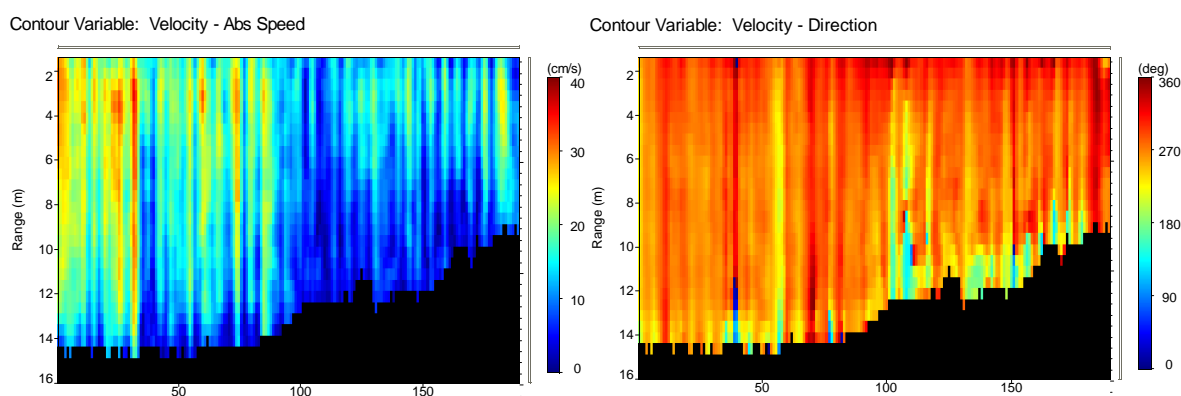
Fonte: Elaborado por Paulo Roberto F. G. da Silva.

Figura 25 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 1.



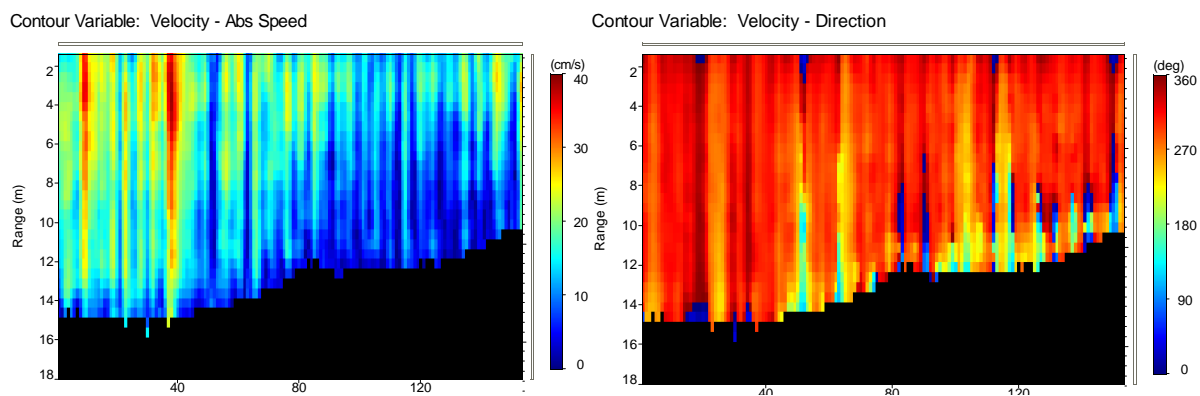
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 26 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 2.



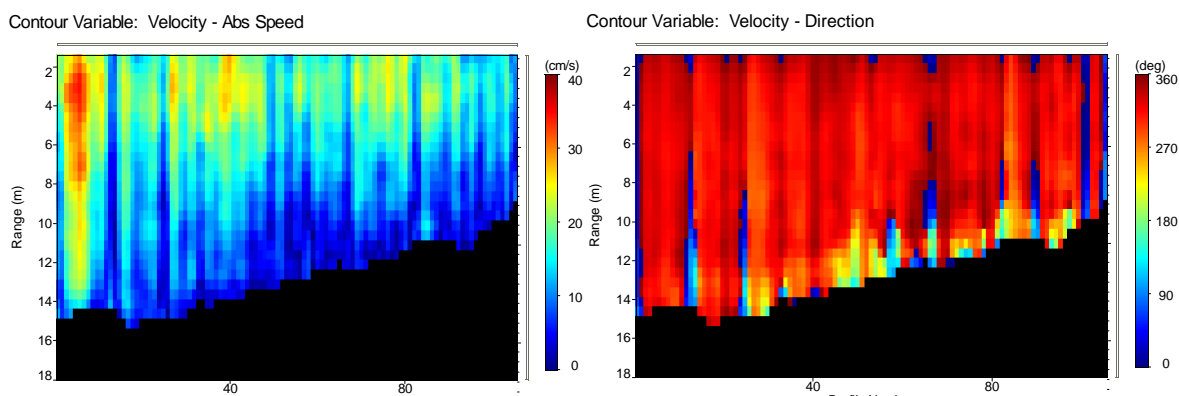
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 27 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 3.



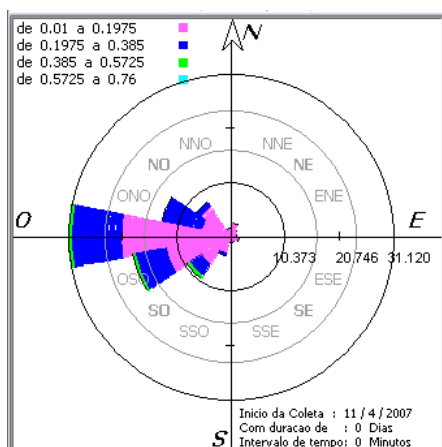
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 28 - Perfil de velocidade em cm/s (à esquerda) e de direção de corrente (à direita) para o Perfil 4.



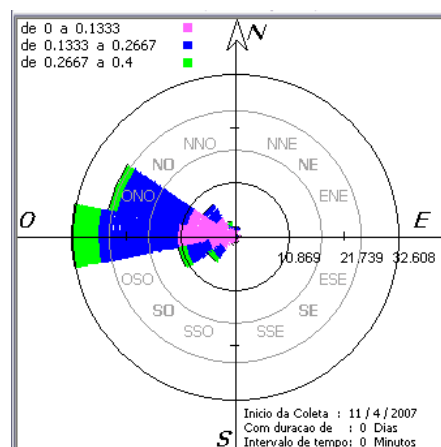
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 29 - Rosa das correntes para P1.



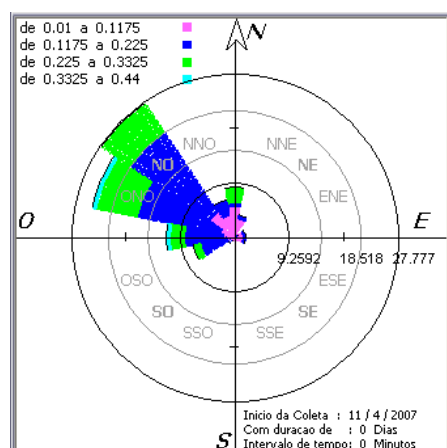
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 30 - Rosa das correntes para P2.



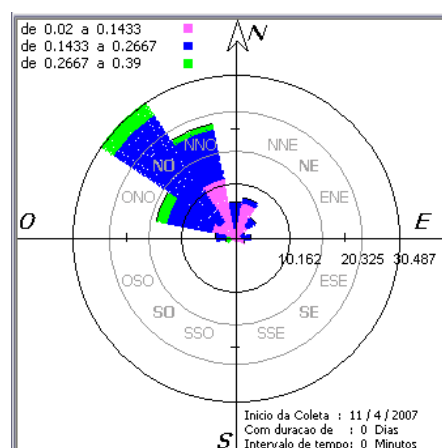
Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 31 - Rosa das correntes para P3.



Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

Figura 32 - Rosa das correntes para P4.



Fonte: Perfilador de correntes ADCP.

As direções e intensidades de corrente, em todos os perfis, apresentaram expressivas modificações na camada d'água, a 40 cm do substrato e da superfície, evidenciando o efeito do atrito com o fundo e as interferências do vento.

6.4. Simulação do comportamento do efluente lançado pelo emissário submarino de Fortaleza

Para a simulação do comportamento do efluente lançado pelo emissário submarino foi utilizado o software Cormix-Cornell Mixing Zone Expert System, desenvolvido especialmente pela School of Civil and Environmental Engineering da Universidade de Cornell-USA para a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA-U. S. Environmental Protection Agency).

O software CORMIX 3.0 consiste de um sistema para análise, previsão e desenho de plumas de efluentes líquidos contendo substâncias tóxicas ou poluentes convencionais. O CORMIX consiste de uma série de subsistemas para a análise, previsão, e desenho de descargas aquosas em cursos de água, com ênfase na geometria e características de diluição da zona inicial de mistura, sendo aplicado para vários tipos de ambientes, estratificados ou não, tais como rios, lagos, estuários, e zona costeira. Trata-se de um software de análise e prognóstico do lançamento e dispersão de efluentes domésticos e industriais em diversos tipos de corpos d'água, permitindo a verificação do atendimento dos parâmetros de qualidade da água em relação à legislação em vigor.

O software simula a geometria da pluma e as características de diluição na zona inicial de lançamento do efluente e realiza a análise do comportamento da descarga de poluentes convencionais ou tóxicos nos diversos tipos de corpos de água. O modelo também simula poluentes não conservativos com decaimento de primeira ordem, considerando os efeitos dos ventos e a mistura termal da pluma. Os submodelos do CORMIX podem ser usados para diferentes tipos de descarga, como difusores simples, com multiportas ou descargas diretas na superfície.

O programa apresenta uma forte ênfase na geometria e características da diluição inicial na zona de mistura, incluído os limites legais para lançamento de substâncias poluidoras, embora simule com precisão o comportamento da pluma a longa distância. O sistema CORMIX consiste de três subsistemas integrados: CORMIX1 para descargas submersas simples (dutos); CORMIX2 para descargas submersas com difusores; CORMIX3 para descargas subáreas.

Nas simulações para definir o desenho ou o comportamento de um efluente é necessário definir claramente a distinção entre os processos hidráulicos de mistura, que determina o comportamento e distribuição da pluma, dos limites legais de emissão que visa proteger o ambiente e diminuir os impactos adversos sobre o meio. Os processos de mistura de qualquer efluente são governados pelas relações entre as condições ambientais do corpo de água receptor e pelas características da descarga.

As condições do corpo receptor (e.g. rio, lago, reservatório, estuário os águas costeiras) são definidas pela geometria incluindo a forma em planta, perfis transversais e batimetria, especialmente nas proximidades da descarga e pelas características dinâmicas tais como a velocidade e distribuição de densidade do meio. Em geral, estas características são consideradas estacionárias ou com pequenas variações, em função da pequena escala temporal dos processos de mistura, usualmente da ordem de minutos podendo alcançar uma hora. Em alguns casos, notadamente em fluxos influenciados pelas marés, as condições ambientais podem ser altamente transientes e a assunção de condições estacionárias pode ser inapropriada. Neste caso, a diluição efetiva da pluma da descarga será reduzida relativamente para a região sob condições estacionárias.

As características da descarga estão relacionadas com a geometria e com as condições do fluxo, geradas na saída do emissário submarino. Para descargas submersas simples, o diâmetro do duto, a elevação e a orientação definem a geometria; para instalações com difusores, o arranjo individual destas aberturas ao longo da linha de difusores, a orientação da linha e os detalhes construtivos representam as feições geométricas adicionais; para descargas superficiais a seção transversal e a orientação do fluxo do curso de água são as principais características.

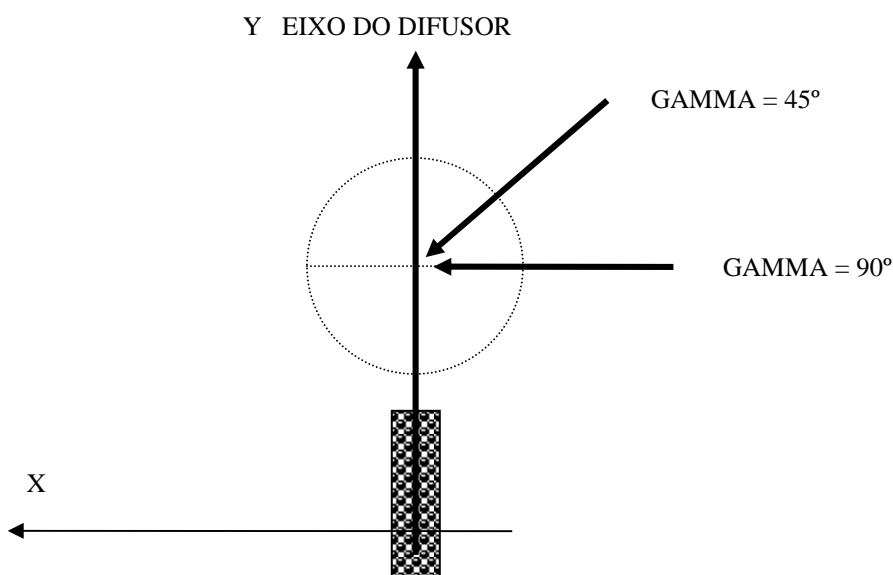
O comportamento do fluxo dado pela vazão do efluente, momentum e boiança (efeito da diferença de densidade entre o efluente e o meio, considerando a aceleração da gravidade). Este efeito é a medida da tendência do efluente ascender (boiança positiva) ou afundar (boiança negativa).

Segundo a CAGECE o Emissário Submarino foi executado, em 1987, em aço revestido com concreto, diâmetro de 1.500mm e 3.205 metros de comprimento, apresentando as seguintes características técnicas: Tubulação em aço API-5Lx, chapa X-42; Diâmetro nominal

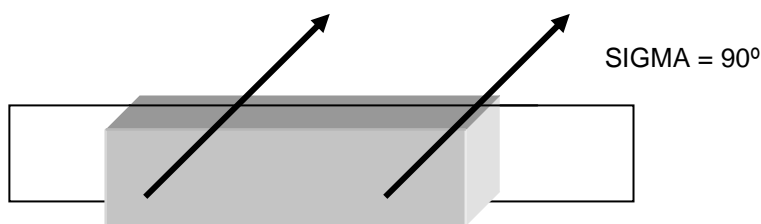
externo: 1.524 mm; Diâmetro nominal interno: 1.487 mm; Espessura da chapa CA 18,26 mm. Os esgotos são lançados ao mar através de 120 orifícios, chamados difusores localizados na extremidade do emissário com uma vazão de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e profundidade aproximada de 16,0 m. Nas simulações foram utilizadas para a densidade do meio (mar) o valor de $1.023 \text{ kg}/\text{m}^3$ e para o efluente $999,5 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Um aspecto importante neste software consiste do sistema de orientação utilizado, sendo sua caracterização e entendimento fundamental para o sucesso da simulação. Ângulo de Alinhamento (GAMMA) – Corresponde ao ângulo medido na direção anti-horária entre a corrente a ser simulada no meio receptor e o eixo do difusor; Ângulo Horizontal (SIGMA) - Corresponde ao ângulo medido na direção anti-horária entre a corrente a ser simulada no meio receptor e o plano de projeção do centro da tubulação difusora; Ângulo Vertical (THETA)- Corresponde ao ângulo entre o centro da tubulação difusora e o plano horizontal. No nosso caso como a tubulação difusora está alinhada o eixo do difusor (GAMMA = SIGMA) (Figuras 33 e 34).

Figura 33 - Esboço esquemático para definição do ângulo GAMMA.



Fonte: Software CORMIX 3.0.

Figura 34 - Esboço esquemático para definição do ângulo SIGMA.

Fonte: Software CORMIX 3.0.

Considerando os valores das direções observadas WNW mais freqüente e divergente em relação à linha de costa e as direções mais desfavoráveis por serem convergentes a costa WSW e SSW e as velocidades características, foi elaborada a tabela das condições a serem simuladas (Tabela 38).

Tabela 38 - Conjunto de dados de velocidades e respectivas direções utilizadas nas simulações referentes a setembro e dezembro de 2007.

SETEMBRO			
Dir./Veloc.	Mínima	Média	Máxima
Divergente	WNW – 0,078	WNW – 0,246	WNW – 0,460
Convergente	WSW – 0,078	WSW – 0,246	WSW – 0,460
Convergente	SSW – 0,078	SSW – 0,246	SSW – 0,460
DEZEMBRO			
Dir./Veloc.	Mínima	Média	Máxima
Divergente	WNW – 0,068	WNW – 0,243	WNW – 0,510
Convergente	WSW – 0,068	WSW – 0,243	WSW – 0,510
Convergente	SSW – 0,068	SSW – 0,243	SSW – 0,510

Devido à homogeneidade das condições de mar observadas em termos das velocidades características foi possível simplificar o número de simulações para nove casos. Os ângulos de alinhamento utilizados foram WNW (112,5°), WSW (67,5°) e SSW (22,5°).

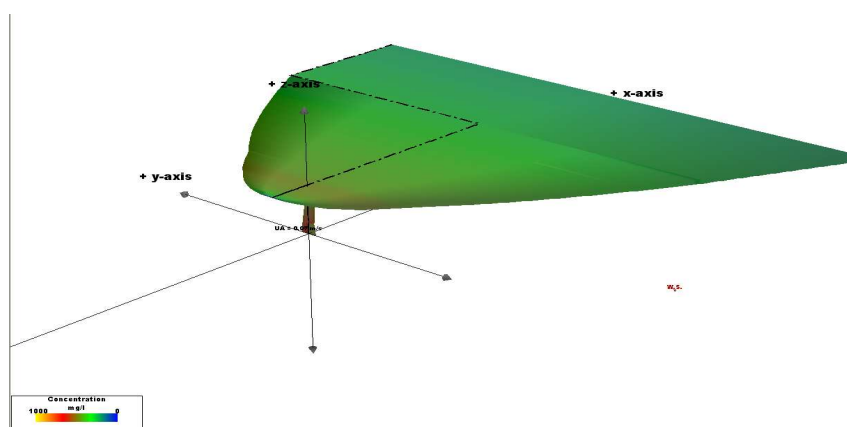
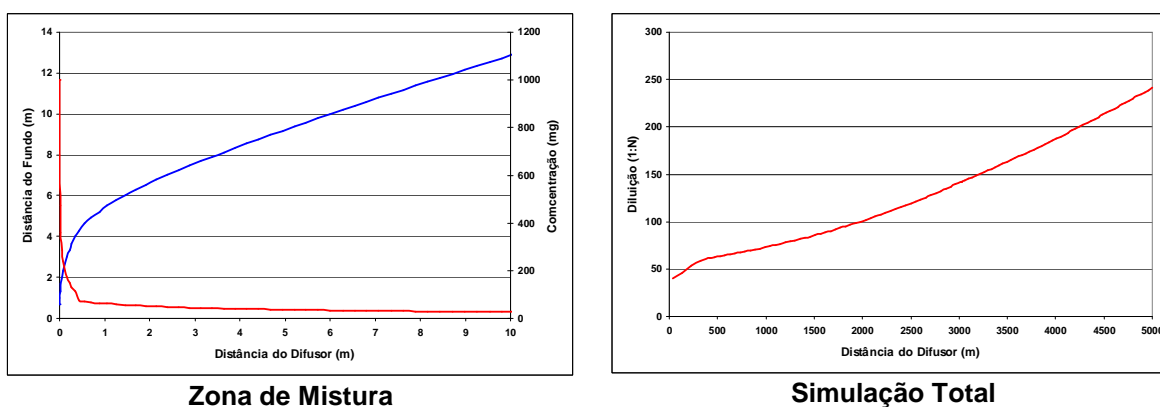
Os resultados das simulações vêm apresentados nas fichas referencias a seguir. Nestas, na parte superior encontra-se a situação simulada (eg WNW – 0,510), as características da zona de mistura no campo proximal sob influencia da ação do difusor bem como a diluição alcançada nesta zona. A seguir apresentam-se os limites e a diluição na zona de expansão, se ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição (Tabelas 39 a 47) (Figuras 35 a 43).

Os resultados também são apresentados em gráficos, mostrando a pluma de simulação representada pelo software CORMIX (Figuras 30 a 38).

Tabela 39 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,068.

CONDIÇÃO SIMULADA SSW – 0,068			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	17.20; 12.61	51	1:43
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	1.000; 15	6.164	1:80
Zona de Toque ATTACHED to LEFT bank/shore.	2.974; 15	43.545	1:149
Limite da Simulação	5.000; 15	73.327	1:251

Figura 35 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,068.



Fonte: Software CORMIX 3.0.

Tabela 40 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,246.

CONDIÇÃO SIMULADA SSW – 0,246			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	16.74; 15	68	1:78
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	5.000; 15	20.235	1:640
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	20.235	1:640

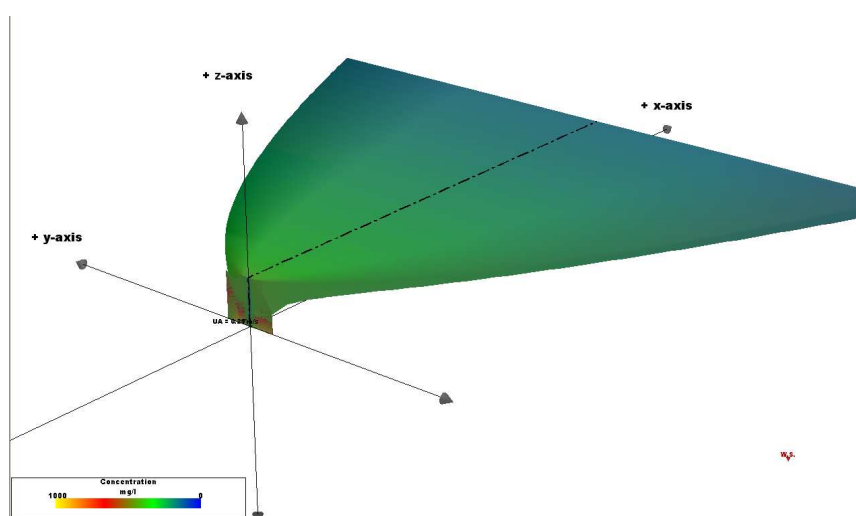
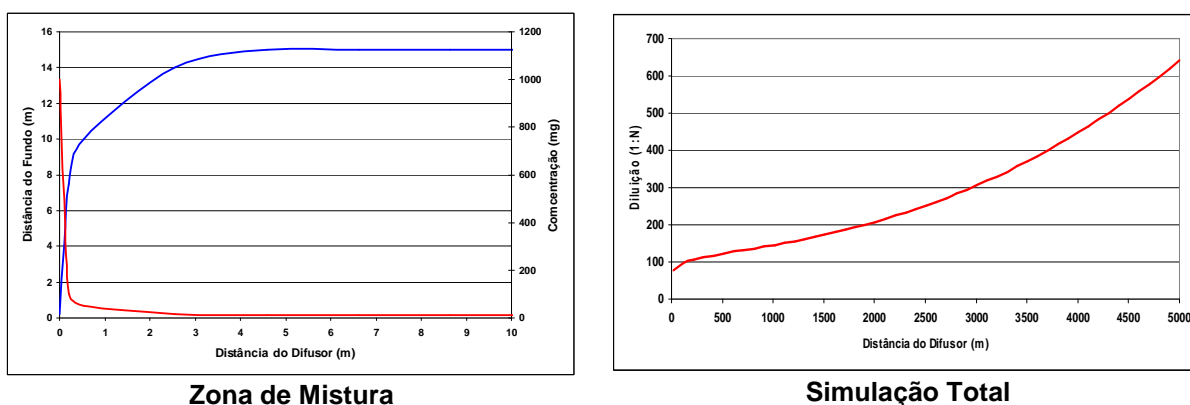
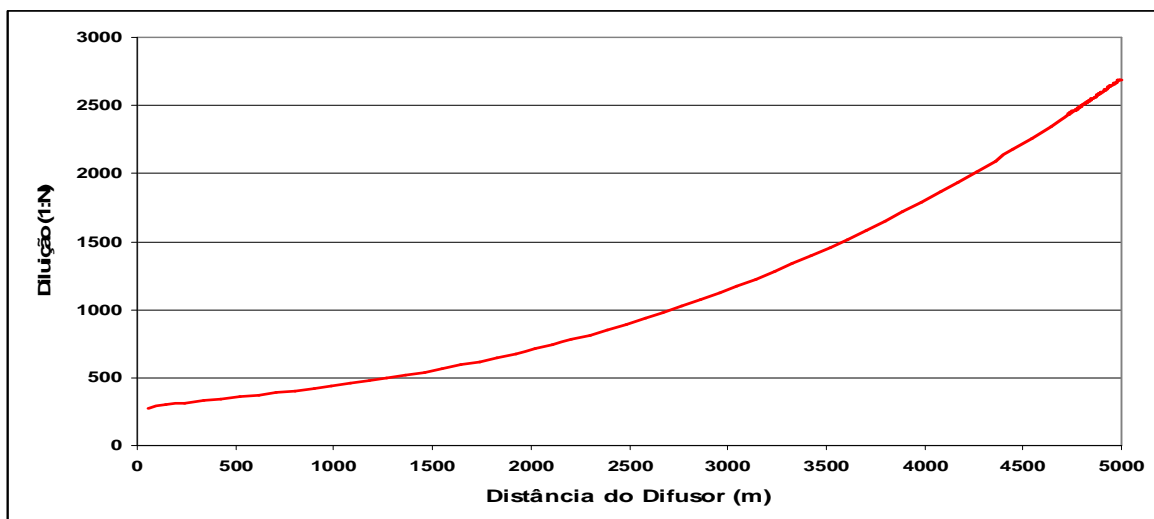
Figura 36 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,246.

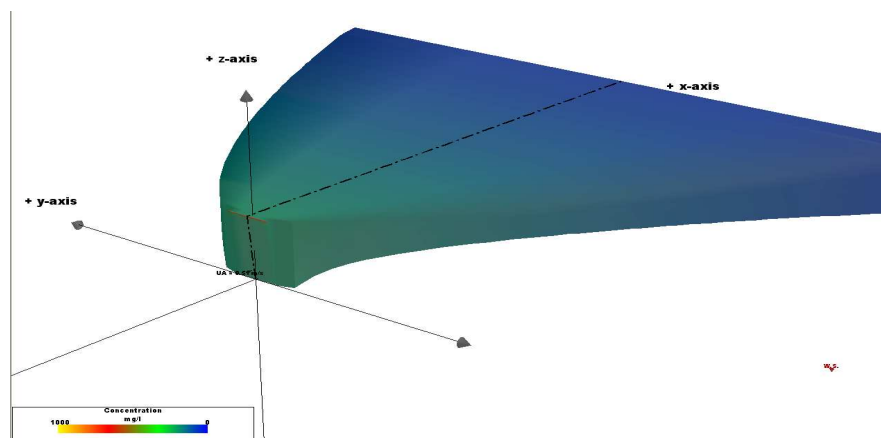
Tabela 41 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,510.

CONDIÇÃO SIMULADA SSW – 0,510			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	55; 15	217	1:278
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	4.730	9386	1:2435
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	9913	1:2.688

Figura 37 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada SSW – 0,510.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



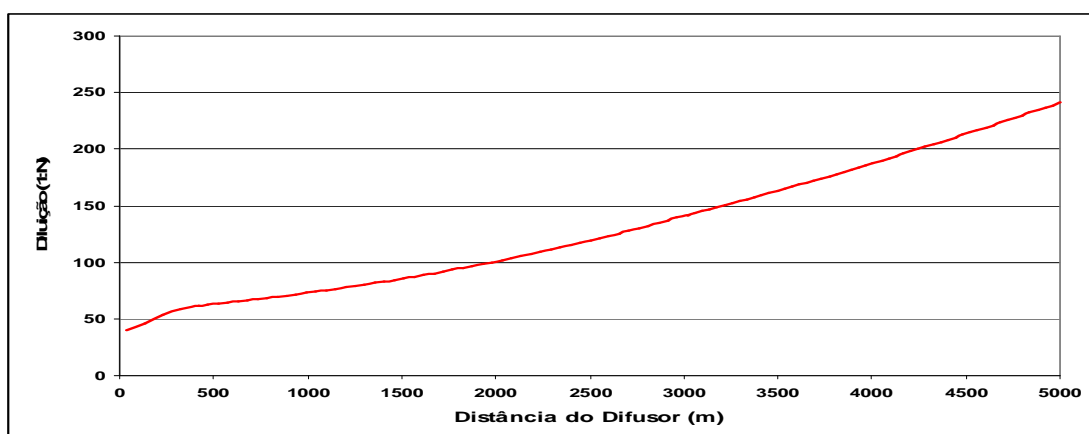
PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0.

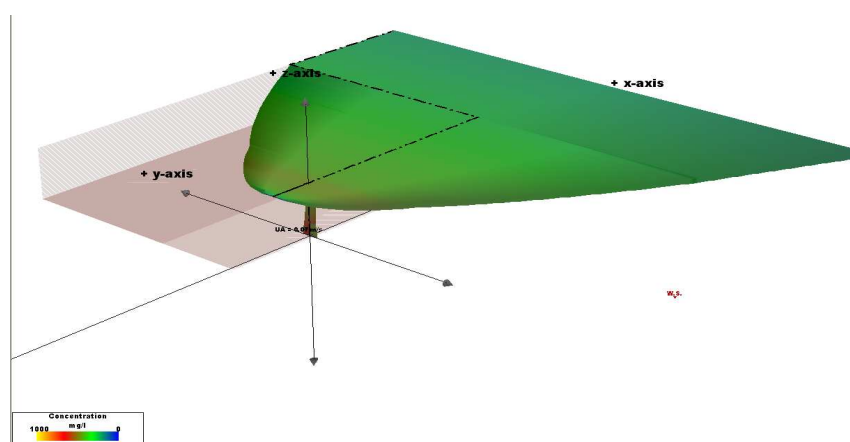
Tabela 42 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW - 0,068.

CONDIÇÃO SIMULADA WSW – 0,068			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	17,2; 12	51	1:45
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	992; 15	5800	1:80
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	2974.81	43.545	1:149
Limite da Simulação	5.000; 15	73327	1:251

Figura 38 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,068.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



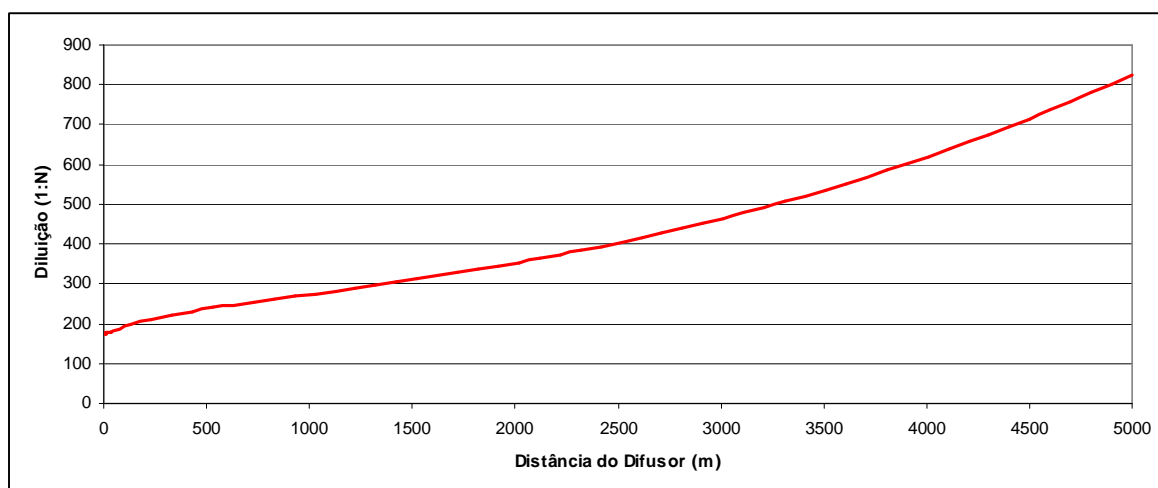
PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0.

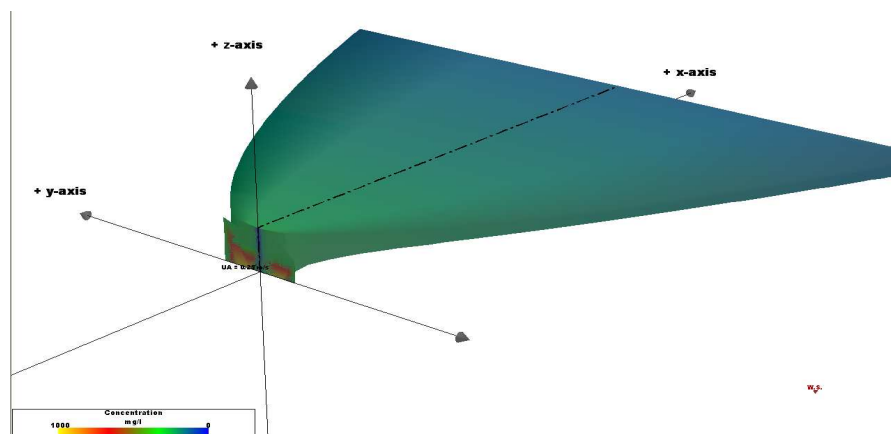
Tabela 43 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,246.

CONDIÇÃO SIMULADA WSW – 0,246			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	32,46; 15	132	1:178
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	5.000; 15	20.235	1:640
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	20.235	1:824

Figura 39 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,246.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



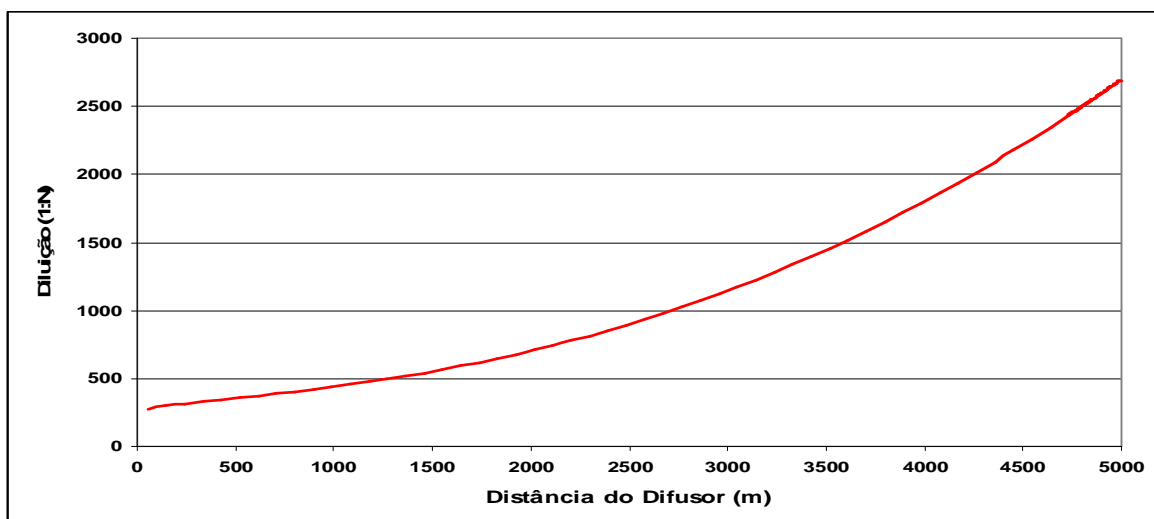
PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0.

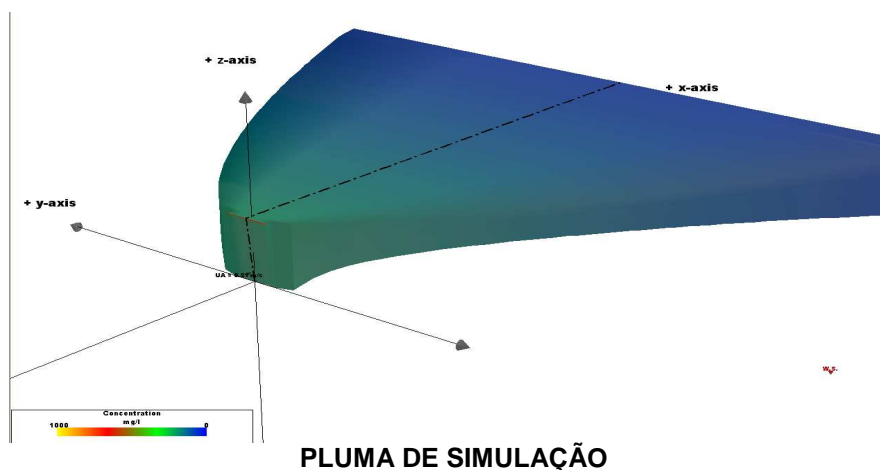
Tabela 44 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW - 0,510.

CONDIÇÃO SIMULADA WSW – 0,510			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	55; 15	217	1:278
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	4.730	9386	1:2435
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	9913	1:2.688

Figura 40 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WSW – 0,510.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA

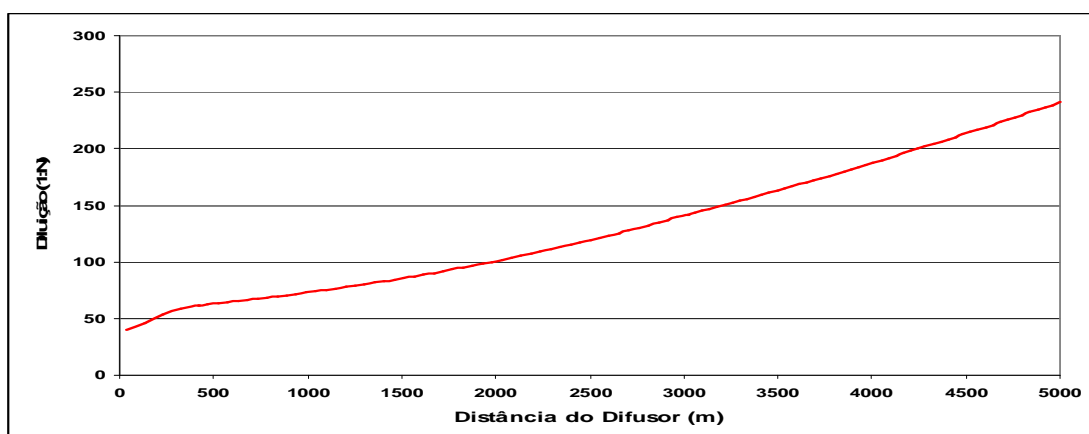


Fonte: Software CORMIX 3.0.

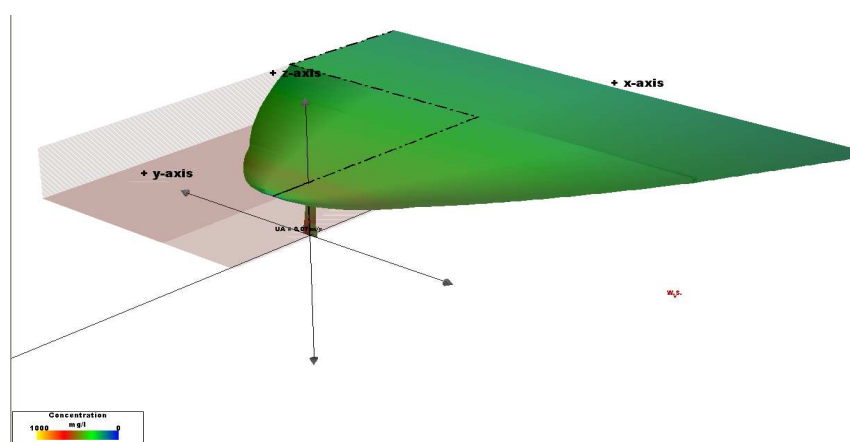
Tabela 45 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,068.

CONDIÇÃO SIMULADA WNW – 0,068			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	17,2; 12	51	1:45
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	992; 15	5800	1:80
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	73327	1:251

Figura 41 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,068.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



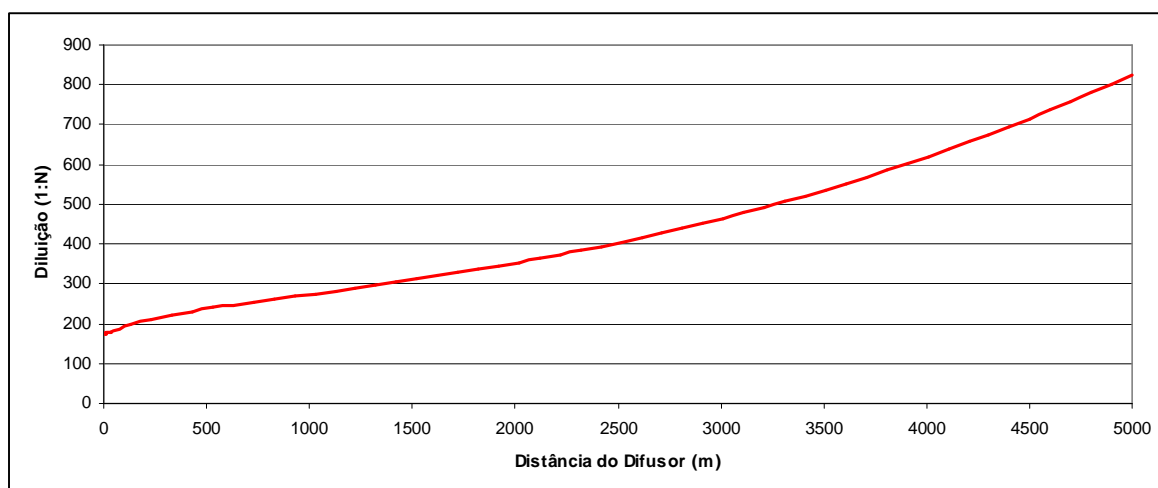
PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0.

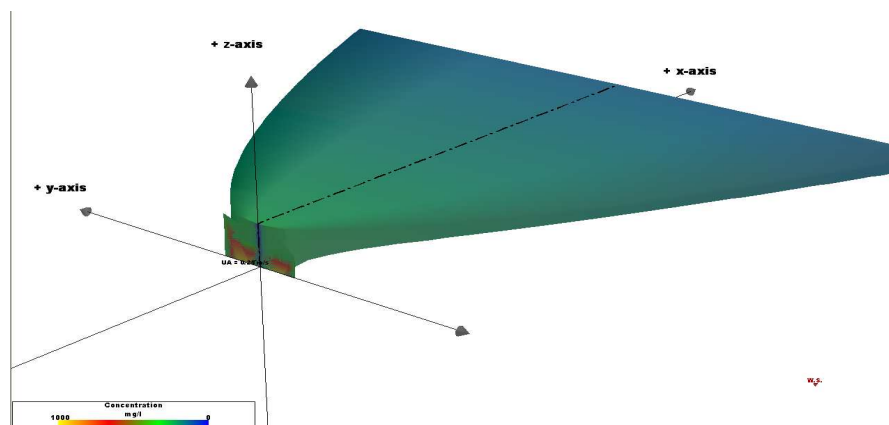
Tabela 46 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,246.

CONDIÇÃO SIMULADA WNW – 0,246			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	32,46; 15	132	1:178
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	5.000; 15	20.235	1:640
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	20.235	1:824

Figura 42 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,246.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



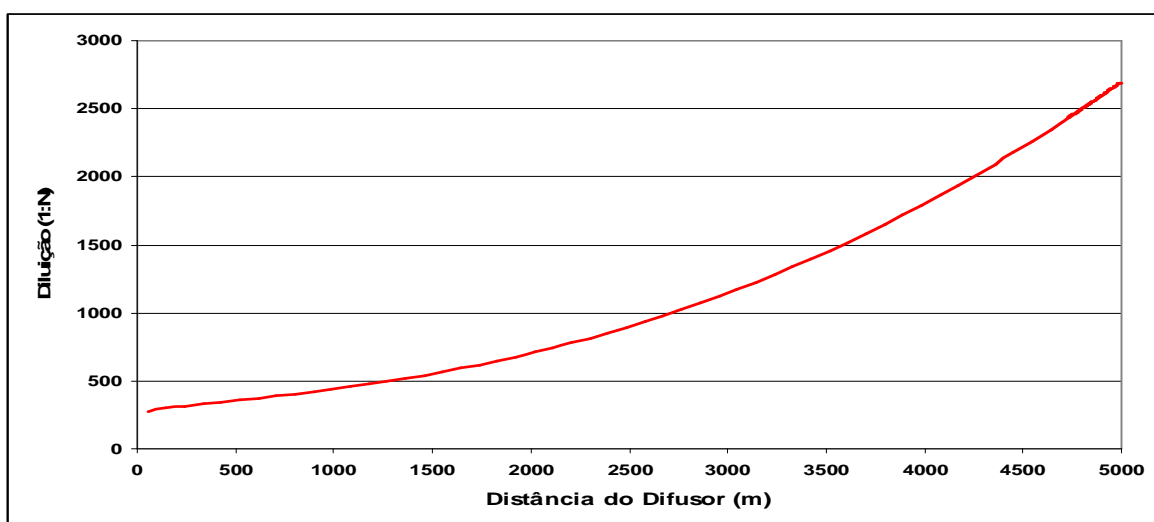
PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0

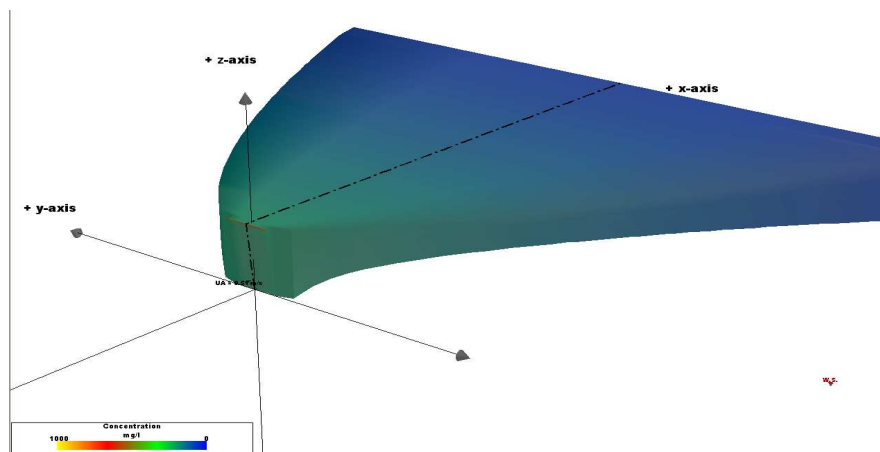
Tabela 47 - Limites e a diluição na zona de expansão, quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,510.

CONDIÇÃO SIMULADA WNW – 0,510			
PARÂMETROS	Distância (X;Z)	Tempo (s)	Diluição
Zona de Mistura JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION	55; 15	217	1:278
Zona de Expansão BUOYANT AMBIENT SPREADING	4.730	9386	1:2435
Zona de Toque ATTACHED to LEFT SHORE	NÃO	NÃO	NÃO
Limite da Simulação	5.000; 15	9913	1:2.688

Figura 43 - Pluma de simulação quando ocorre toque na zona costeira e as características finais da simulação com seus limites e níveis de diluição, condição simulada WNW – 0,510.



DILUIÇÃO X DISTÂNCIA



PLUMA DE SIMULAÇÃO

Fonte: Software CORMIX 3.0.

As simulações realizadas considerando as características do emissário submarino de efluentes líquidos operado pela CAGECE e do meio receptor mostram uma capacidade de diluição bastante elevada. A diluição apresenta-se diretamente relacionada à velocidade das correntes costeiras variando entre 1:45 e 1:278, respectivamente mínima e máxima. Vale salientar que estes valores estão associados à diluição da zona inicial de mistura, distâncias do difusor entre 16 e 55 metros, o que confere ao sistema a característica de boa capacidade de diluição relativamente a outros sistemas implantados. No limite das simulações, i.e. 5000m desde o difusor, as diluições alcançaram valores entre 1:251 e 1:2.688.

Das condições simuladas, onde se buscou a situação mais desfavorável do nosso sistema, somente durante as velocidades mínimas e com correntes para SSW e WSW o efluente pode alcançar a costa. Neste caso a diluição é da ordem de 1:149 e o tempo recorrido de 43.545 segundos (12 Horas). O tempo para o toque é importante no estudo de bactérias patogênicas tipo *Escherichia Coli*, que em um intervalo de 8 horas e dependendo das condições ambientais (Insolação) podem ser reduzidas a zero, sem contar a diluição. Com relação à probabilidade de ocorrência destas situações teríamos, considerando os registros de setembro, onde na superfície a direção WNW, divergente em relação à costa, totalizou 75% dos registros, seguido da direção WSW que converge para a costa (19%) e a direção paralela à costa W (6%).

Em dezembro, à direção WNW, divergente em relação à costa, predominou em 75% dos registros, seguido da direção WSW que converge para a costa (25%). Para as velocidades teríamos que valores menores que 0,100 m/s ocorreram em uma frequência de 4% e mesmo assim associado às correntes medidas no fundo.

Das simulações observa-se que devido à diferença de densidade entre o efluente (doce) e o mar a pluma apresenta uma forte boiança positiva. Desta forma, se considerarmos as velocidades e correntes desfavoráveis (0,25-Direção e 0,04-Velocidade) teríamos uma probabilidade $P = 0,25 \times 0,04$ ou $P = 0,01$ (1%) de ocorrência. Entretanto para a situação real esta probabilidade é muito próxima à zero.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proteção do meio ambiente marinho e de seus recursos tem que ser assumida por todos. O meio ambiente marinho costeiro é vital para a humanidade, daí ser necessária a implementação de esforços visando protegê-lo, através de um constante controle e gestão adequada de seus recursos.

Os impactos ambientais observados no litoral oeste de Fortaleza são de diversas naturezas, intensidades diferentes e estão relacionados à falta de um sistema de saneamento básico eficiente, a um tratamento inadequado dos resíduos sólidos e efluentes domésticos, a falta de uma maior participação das comunidades atingidas no processo de tomadas de decisão, a ausência de mecanismos mais eficientes de fiscalização por parte do governo, principalmente no que diz respeito ao processo de ocupação destas áreas e implementação de empreendimentos costeiros que alterem os processos dinâmicos e ambientais do litoral.

As análises sedimentológicas indicam a presença predominante de um substrato biodetrítico. A intensa atividade biológica na área de estudo, decorrente da presença de nutrientes oriundos da intensa descarga de esgotos domésticos, justifica esse tipo de substrato. A presença do emissário submarino é um fator responsável diretamente pelas transformações das características granulométricas e composicionais dos sedimentos que compõem o assoalho oceânico, configurando-se a existência de dois setores morfossedimentares diferenciados: um nas proximidades da zona de descarga do emissário e outro localizado fora da área de influência do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza. Os pontos de coleta posicionados próximos ao emissário submarino de Fortaleza apresentam porcentagens de lama bastante elevadas, com grau de seleção de muito mal a bem selecionado; enquanto que os pontos mais afastados apresentam sedimentos quartzosos e pobres em matéria orgânica. O impacto resultante da precipitação de sólidos e substâncias sedimentáveis, bem como do aumento de biodetritos é responsável por alterações significativas do substrato marinho, das características físico-químicas e bacteriológicas da água e do ciclo biológico e distribuição das espécies marinhas.

A produção excessiva de esgotos domésticos (dejetos), muitas vezes lançados diretamente nas águas, in natura, sem tratamento, vão acabar consumindo o oxigênio que está na água para decomposição da matéria orgânica, criando áreas com pouco oxigênio (zonas mortas),

causando impactos negativos relevantes na qualidade destas águas, no substrato oceânico e ainda na flora e fauna marinhas, comprometendo todo ecossistema marinho.

A descarga de esgotos domésticos através de galerias pluviais, associada ao aumento da carga de efluentes lançados no mar através do emissário submarino, tratados quando muito, por tratamento preliminar (peneiramento de sólidos grosseiros e areia) constituem fontes importantes de poluição destas águas e destas praias, representando risco constante a população usuária dessas áreas de lazer, tornando-se necessário a implementação de um sistema mais eficiente e confiável de tratamento destes efluentes, que venha a reduzir consideravelmente o potencial poluidor dos efluentes lançados no ambiente marinho.

O tratamento do esgoto produzido antes de lançá-lo ao mar através do emissário submarino, diminuindo-se as concentrações de matéria orgânica, as substâncias tóxicas e os agentes patogênicos é imprescindível para redução ou eliminação dos impactos sobre o meio marinho e as espécies, pois, a capacidade destes ambientes em suportarem a carga poluidora é limitada, dependendo diretamente dos processos de autodepuração dessas águas marinhas, através da diluição, da dispersão e do decaimento de cargas poluentes a elas lançadas.

As análises bacteriológicas da água demonstram que dois pontos, localizados no borbotão do emissário, apresentaram quantidades de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* elevadas (acima de 1000/100 mL) na maioria dos níveis de profundidade da coluna d'água, valores bem superiores aos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Os resultados obtidos nas análises das concentrações de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* nas águas das seis praias estudadas, indicaram valores bastante elevados, tanto no período chuvoso, quanto no período de estiagem, excedendo os limites preconizados pela Resolução 274/2000 do CONAMA, caracterizando uma elevada contaminação, representando riscos a saúde dos frequentadores destas praias, tornando-as impróprias para atividades recreativas pela população.

As simulações da pluma de dispersão, realizadas considerando as características do emissário submarino de efluentes líquidos operado pela CAGECE e do meio receptor, mostram uma capacidade de diluição bastante elevada. A diluição apresenta-se relacionada diretamente à velocidade das correntes costeiras. Das condições simuladas, onde se buscou a

situação mais desfavorável do sistema, somente durante as velocidades mínimas e com correntes para SSW e WSW o efluente pode alcançar a costa.

De acordo com os estudos aqui apresentados, comprova-se a hipótese inicial, segundo a qual, as galerias pluviais que recebem e transportam grande volume de esgoto doméstico, representam a principal fonte de poluição das praias do litoral oeste de Fortaleza.

O enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade. A saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas, daí a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, visando um melhor controle, assegurando condições e padrões de qualidade que possibilitem a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida.

A remodelagem da costa oeste de Fortaleza exige medidas que passam pela realização sistemática de monitoramento da qualidade da água destas praias e um acompanhamento constante do processo de ocupação destas áreas. Torna-se imprescindível também um processo de realocação destas moradias e a fiscalização constante visando evitar a ocupação irregular destas zonas de praia.

É importante observar que para essas áreas, além dos sistemas de esgotamento sanitário, devem ser construídos sistemas de coleta de águas de tempo seco das galerias pluviais, ligando para tanto essas galerias urbanas ao sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários, nos casos em que isso for possível e recomendável, pois os lançamentos de cargas poluidoras através de galerias pluviais representam enorme fonte de poluição para as praias, que supera, na maioria dos casos, em ano hidrológico qualquer, as cargas poluidoras carregadas pelo sistema de esgotamento sanitário.

O lixo representa uma importante fonte de contaminação destes ambientes, por isso torna-se necessário à implementação de programas educacionais junto à população, visando desenvolver uma consciência ambiental coletiva, através de práticas que evite o desperdício, promova a coleta seletiva de lixo e o tratamento destes resíduos sólidos.

Após a retirada e melhor distribuição da população de baixa renda destas áreas, que se constituem em áreas de risco, sugere-se o desenvolvimento de projetos visando à despoluição da orla, a adequação do sistema de esgotamento sanitário, a ampliação da rede de esgoto local, o financiamento de casas próprias dotadas de redes coletoras e de tratamento de esgotos, evitando-se assim, que o lançamento de efluentes domésticos venha comprometer a qualidade de água destas praias e do ambiente marinho.

O processo de requalificação do litoral oeste de Fortaleza trata-se, portanto, de uma necessidade urgente, que permita a coexistência do homem com o seu ambiente natural de forma sustentável e ecologicamente correta. A participação da comunidade nesse processo representa um elemento imprescindível para uma melhor readequação deste espaço. A adoção de uma política que prestigie a permanência da população local e que defina um meio ambiente saudável e equilibrado torna-se indispensável no processo de desenvolvimento sustentável dessas comunidades litorâneas.

A sistematização das informações foi de grande importância para se avaliar as alterações sobre o meio marinho no entorno do emissário e praias adjacentes, para proposição de medidas e ações visando à mitigação dos impactos negativos previstos para o sistema, as quais estão relacionadas com a gestão integrada da zona costeira, melhoria da estrutura de saneamento básico, continuidade do monitoramento dos sistemas marinho e costeiro e sistemas mais eficientes de tratamento destes esgotos.

Diante do exposto, é imprescindível um plano de monitoramento constante das praias localizadas no litoral oeste de Fortaleza e do ambiente marinho adjacente, que possibilite a identificação e eliminação das principais fontes de poluição, notificação dos agentes poluidores, associado a um permanente controle da ocupação humana nessa faixa de praia. Além disso, torna-se de suma importância à implantação de planos e programas integrados de gerenciamento que garantam a sustentabilidade destes ambientes costeiro e marinho. É necessário estabelecer um sistema integrado de planejamento da costa oeste de Fortaleza, com a participação do poder público, das comunidades atingidas e da sociedade civil de uma maneira geral.

REFERÊNCIAS

- ABESSA, Denis Moledo de Souza. **Avaliação da qualidade de sedimentos do sistema estuarino de Santos, São Paulo, Brasil**. 2002. 290 p. Tese (Doutorado em Oceanografia)-Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ABICLOR, *Anuário estatístico 2000*. Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e Cloroderivados, 24 p., São Paulo, 2001.
- ACKERMANN, F.; BERGMANN, H.; SCHELEICHERT, U. **Monitoring of heavy metals in coastal and estuarine sediments – a question of grain-size: < 20 µm versus < 60 µm**. Environmental Technology Letter, v. 4, 1983, p. 317 – 328.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and Wastewater**. American Public Health Association, 19th edition, New York, 1995, 953 p.
- ARAÚJO, Diego Teixeira de. **Áreas de Lazer na Praia da Leste-Oeste**. XVI Encontro Nacional de Geógrafos, Porto Alegre, 2010.
- BARLETT, P.D. **Degradation of coprostanol in na experimental system**. Marine Pollution Bulletin, n. 18, p. 27-29, 1987.
- BERNER, E.K.; BERNER, R.A. **Global Environment: water, air and geochemical cycles**. [s.l; s.n], Prentice Hall, 1996.
- BERTALANFFY, Ludwing Von. **O significado da teoria geral dos sistemas**. In: Teoria geral dos sistemas, 2.ed., Petrópolis: Vozes, 1975. p. 52-81.
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global**. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, 1972. n.13, p. 1-27.
- BOYD, C. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Alabama: Birmingham Publishing Co., 1990, 482 p.
- BRYAN, G.W. & LANGSTON, W.J. **Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review**. Environmental Pollution 76, 1992, 89–131p.
- CAGECE.< <http://www.cagece.com.br>>, acesso em: 17 março 2011.
- CAMARGO, M.G. **SysGran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.2, n.36, p. 371-378, 2006.
- CAPPARELLI, Marco Antonio de Araujo. **Contaminação Marinha**. Brasília, Art Brasil Designa Gráfico Ltda, 2002, 96 p.
- CARDONHA, Â.M.S. *et al*. **Monitoramento da poluição da água das galerias pluviais e do mar por meio de avaliações físico-químicas e microbiológicas**. Arquivos de Ciências do Mar, v.38, p. 71-78, 2005.

CARREIRA, Renato da Silva. **Carbono orgânico especiação do fósforo em sedimentos na área de influência do emissário submarino de esgotos de Ipanema (ESEI)**. 1994. 100 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CARVALHO, C.E.V.; OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E.; MOLISANI, M.M.; SALOMÃO, M.S.M.B. & LACERDA, L.D. **Seasonal variation of particulate heavy metals in the lower Paraíba do Sul River, R.J., Brazil**. *Environ. Geol.*, v.37, n. 4, p. 297-302, 1999.

CASTRO, H.M.P. de; VIEIRA, R.H.S.,F.; TORRES, R.C.O. **Balneabilidade e doenças de veiculação hídrica: situação das praias de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil**. Arquivos de Ciências do Mar, v.35, p. 119 -124, 2002.

CASTRO, H.M.P.de.; VIEIRA, R.H.S.F.; FONTELES, A.A.; ALBUQUERQUE, W.F. de; HOFER, E. **Efeito da radiação solar na sobrevivência de *Escherichia Coli***. Arquivos de Ciências do Mar, v.39, p. 28-33, 2006.

CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito. **Métodos e Técnicas da Pesquisa Ambiental - Guia para estudos do Meio Ambiente**. Teresina, UFPI/CCHL/DGH, 2006, 111 p.

CLARK, R.B. **Marine Pollution**. New York, Oxford University Press, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 020, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas superficiais e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 30 jul.1986. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 05 mar. 2011.

_____ Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Sobre as águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 09 mai. 2011.

_____ Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 02 fev. 2011.

_____ Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 16 nov. 2008.

COUTINHO, P.N. **Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira**. Revista de Geologia: 65-75, Fortaleza, 1995.

CPRM. **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. CD ROM.

_____ **Mapa Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2011. CD ROM.

DANTAS, Eustógio Wanderlei Correia. **Mar à vista: Estudo da maritimidade de Fortaleza.** Fortaleza: Museu do Ceará, 2002.

DAVIS, R.A. **Beach and nearshore zone, in Coastal sedimentary environments.** New Springer- Verlag, 420 p., New York, 1978.

DAVIS, C.M. & EVISON, L.M. **Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters.** *Journal of Applied Bacteriology*, Oxford, n. 70, p. 265-274, 1991.

DIAS-NETO, J.; DORNELLES, L.D.C. **Diagnóstico da pesca marítima do Brasil.** Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca, Brasília. n. 20, p.1-163, 1996.

DNPM. **Plano Diretor de Mineração para Região Metropolitana de Fortaleza.** Ministério de Minas e Energia; Secretaria de Minas e Metalurgia; Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília, 1998, 192 p., il.

DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., MARTIN, L.O. **O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos Rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA) e Paraíba do Sul (RJ).** *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.13, p. 98-105, 1983.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** Interciência, Rio de Janeiro, 1998, 606 p.

FEITOSA, Renato Castiglia. **Modelagem da pluma do emissário submarino da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro com T90 variável.** 2003. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FIGUEIREDO, Luis Henrique Melges. **Influência do emissário submarino de esgotos de Ipanema e outras fontes potenciais na concentração de metais pesados em águas costeiras da cidade do Rio de Janeiro.** 1989. 160 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FOLK, R. L. e WARD, W.C. **Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters.** *Journal of Sed. Petrol.*, n. 27, p. 3-27, 1957.

FORTIS, Ricardo de Mattos. **Modelagem computacional da dispersão da pluma dos efluentes dos emissários submarinos do TEBAR/PETROBRAS.** 2005. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRANÇA, A.M.C.; COUTINHO, P.N.; SUMMERHAYES, C.P. **Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira.** *Revista Brasileira de Geociências*, n.6, p.71-87, 1976.

FREIRE, G.S.S. **Geologia marinha da plataforma continental do Ceará.** 1985. 132 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

FREIRE, G.S.S, Cavalcante, V.M.M. **A cobertura quaternária da plataforma continental do Estado do Ceará.** DNPM, Fortaleza, 1998, 42 p.

FREIRE, G.S.S.; GOMES, D.F.; LIMA, S.F.; MAIA, L.P.; LACERDA, L.D. **Geochemistry of continental shelf sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil.** In: *Environmental*

Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments. LACERDA, L.D.; SANTELLI, R.E.; DUURSMA, E.K.; ABRÃO, J.J. (Eds.). Springer-Verlag. Berlin, p. 365-377, 2004.

FREITAS, Sérgio de. **Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários em localidades de pequeno porte.** 2010. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GONÇALVES, F.B. & SOUZA, A.P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história, teoria e prática.** Rio de Janeiro, ABES, 1997.

GUERRA, Marco Antonio Jardim. **Caracterização espaço-temporal do ambiente costeiro na área do emissário submarino de Ipanema.** 2000. 242 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HAGLER, A.N. & HAGLER, L.C.S.M. **Indicadores microbiológicos de qualidade sanitária.** In Roitman, I; Travassos. L.R & Azevedo. J.L. (eds.), Tratado de Microbiologia, Manole, São Paulo, p. 88-96, 1988.

HITCHINS, A. D.; FENG, P.; WATKINS, W. D.; RIPPEY, S. R.; CHANDLER, L. A. ***Escherichia coli* and the coliform bacteria.** In: Bacteriological analytical manual *online*. FDA/CFSAM, 2001. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-4.html>> Acesso em: 10 jun. 2002.

HOLANDA, Janaina Sales. **Caracterização da Comunidade de Peixes Demersais na Área de Influência do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza (SDOES).** 2009. 34 p.: il. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

INSTITUTE FOR COMPUTATIONAL EARTH SYSTEM SCIENCE – ICESS. Santa Barbara, 2010. Disponível em <<http://icess.ucsb.edu/gem/tempestades.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

IPLANCE. **Atlas do Ceará:** Fortaleza, 1997, 65p. il.

IPLANCE. **Informações Básicas Municipais:** Fortaleza, 1993, 65 p. il.

JORDÃO, E.,P. & PESSÔA. C.A. **Poluição das águas e saneamento.** In: Tratamento de esgotos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), p. 9-10, 2 ed., 1995.

LABOMAR. **Mapa batimétrico da área marinha do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza, Ceará.** 2004.

LEDRU, M.P. **Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil.** Quaternary Research, San Diego, v. 39, n.1, p. 90-98, 1993.

LEHUGEUR, L.G.O; SILVA, P.R.F.G.da; SILVA, J.G.da; BRANCO, M.P.N.C.; RODRIGUES, A.C.B. **Morfodinâmica da Praia da Barra do Ceará, Município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil.** Arquivos de Ciências do Mar, v.36, p. 7-17, 2003.

LIMA, Guacyra Maria Sbrana de Sá Brasil. **Efeitos de efluentes domésticos do emissário submarino de São Sebastião (SP) sobre o fitoplâncton marinho: estudos de campo laboratório.** 1998. 160 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, Sávio Freire. **Programa de análise granulométrica ANASED – Manual do usuário,** LGMA, UFC. Fortaleza, v.1, 2000, 20 p.

LORING, D.H.; RANTALA, R.T.T., **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter.** Earth-Science Reviews, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam: 32, p. 235-283, 1992.

MAIA, L.P. **Processos costeros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza(NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.** 1998. 269 p. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, facultat de Geologia, Departament d'Estratigrafia i Paleontologia, Barcelona, Espanha,

MAIA, Saulo Roberio Rodrigues. **Distribuição e partição geoquímica de metais traço na costa norte de Fortaleza, Ceará.** 2004. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MANDAJI, Débora dos Santos. **Emissário Submarino de Santos: Contribuição nos sedimentos de fundo para Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S.** 2008, 91 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

MARCELLINO, Edward Brambilla. **Sistematização dos Projetos de Emissários Submarinos da Sabesp e avaliação de desempenho através do modelo computacional CORMIX.** 2000. 272 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARCOVECCHIO, J.E. **Overview on land-based sources and activities affecting the marine, coastal and associated freshwater environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean.** *UNEP Regional Seas Reports and studies* N^o 170, UNEP/GPA Coordination Office, The Hague, 2000, 78 p.

MELO, Maria Thereza Damasceno. **Análise hidrológica e bacteriológica dos resíduos lançados pelo Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos de Fortaleza.** 1996.144 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MELO, M.T.D., VIEIRA, R.H.S.F., SAKER SAMPAIO, S. & HOFER, E. **Coliforms and Salmonella in seawater near to domestic sewage in Fortaleza, Ceará, Brazil.** *Microbiol. SEM*, V. 13, p. 463-470, 1997.

MENDES, B., NASCIMENTO, M.J. & OLIVEIRA, J.S. **Preliminary characterization and proposal of microbiological quality standard of sand beaches.** *Wat. Sci. Tech.*, v. 27, n. 3-4, p. 453-456, 1993.

MENEZES, Janete Mary Alves de. **Diluição inicial e convectiva do emissário submarino de Salvador, Bahia.** 1996. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MOLISANI, M.N.; SALOMÃO, M.S.M.B.; OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E.; LACERDA, L.D. & CARVALHO, C.E.V. **Heavy metals in sediments of the lower Paraíba do Sul River and estuary, southeastern Brazil.** *Bull. Environm. Contamin. Toxicol.* 63: 682-690, 1999.

MORAIS, Jader Onofre de. **Evolução sedimentológica da Enseada do Mucuripe, Fortaleza, Ceará, Brasil.** Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 21 (1/2), p. 19-46, 1981.

_____ **Geologia do Planejamento Ambiental. Capítulo V. Processos de Impactos Ambientais em zonas Costeiras.** In: Revista de Geologia, volume 9, UFC. Fortaleza: Departamento de Geologia, 1996.

NETO, João Guedes. **Controle de odores no sistema de esgoto sanitário dos municípios de Santos e de São Vicente com a utilização de peróxido de hidrogênio.** 2005.127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

NRIAGU, J.O. & PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals.** *Nature*, v.333, p.134-139, 1988.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Declaração Universal dos Direitos da Água.** 1992. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agua/salga da/index.html&conteudo=/agua/salgada/agenda.html>. Acesso em: 17 nov. 2008.

PAULL, G.J. **Curso de Geografia da América Latina.** Universidade do Texas, Brownsville, 2011. Disponível em <http://blue.utb.edu/paullgj/geog3333/lectures/oceancurrents-1.gif>. Acesso em 30 mar. 2012.

PECLY, José Otávio Goulart. **Monitoramento Ambiental do Emissário Submarino de Ipanema usando traçadores e técnicas geoestatísticas.** 2000. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PENTEADO, A.R. O Atlântico Sul. In: Azevedo, A. (ed.), **Brasil a terra e o homem: as bases físicas.** São Paulo: Editora Nacional, 1968. p. 307-336.

RACHID, Bauer Rodarte de Figueredo. **Sanitários urbanos lançados ao mar através de emissários submarinos.** 1996. 106 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____ **Avaliação ecotoxicológica dos efluentes domésticos lançados pelo sistema de disposição oceânica da Baixada Santista, São Paulo.** 2002. 286 p. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

RODRIGUEZ, J.M.M., SILVA, E.V. da, CAVALCANTI, A.P.B. **Geocologia das Paisagens – Uma visão geossistêmica da análise ambiental.** Fortaleza, Editora UFC, 2004, 222 p.: il.

SANTOS, José Sérgio dos. **Modelagem computacional da dispersão costeira de esgotos sanitários – O caso do emissário do Pecém.** 2002. 230 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento.** São Paulo, 2006, 240p.

SHEPARD, F.P. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios.** Journal of Sedimentary Petrology, 24 (3) p. 151-158, 1954.

SILVA, D.A.M.; BÍCEGO, M.C.; MONTONE, R.C. **Uma visão da poluição marinha: indicadores geoquímicos orgânicos.** Apostila minicurso. Semana Nacional de Oceanografia, 10, São Paulo, 2003, 80 p.

SMITH, A. J., MORAIS, J.O.de. **Estudos preliminares sobre a geologia ambiental costeira do estado do Ceará, Nordeste do Brasil.** Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v.23, p. 85-96, 1984.

SOETAERT, K., MJ, P.H., MIDDELBURG, J.J. **A model of early diagenetic processes from the shelf to abyssal depths.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 60 (6), p.1019-1040, 1996.

SONTEK/YSI. ADCP Manual, v. 710, 2005.

SOUZA, Fábio Teodoro de. **Avaliação da capacidade de diluição do emissário submarino de esgotos de Ipanema (ESEI) com o emprego de traçadores fluorescentes e dados oceanográficos.** 1999. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, M.J.N. **Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará.** Revista de Geologia, Fortaleza, v.1, n.1, p.73-91, 1988.

SOUZA, Maria Salete. **Meio ambiente Urbano e Saneamento Básico.** Revista Mercator, Fortaleza, v.1, n^o.1, p. 41-52, 2002.

STANDARD METHODS - for the examination of water and wastewater. 18 th ed. Washington, DC: APHA, 1992.

STEIN, R. **Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the deep sea Drilling Project/Ocean Drilling Program.** Berlin, Springer Verlag, 1991, 217 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha.** T.A. Queiroz. Ed., São Paulo, 1992, 171 p.

SUMMERHAYES, C.P., COUTINHO, P.N., FRANÇA, A.M.C., ELLIS, J.P. **Salvador to Fortaleza, North-eastern Brazil.** Contrib. Sediment. 4:44-77, 1975.

TENÓRIO, Rosa Maria Barros. **Avaliação do Programa de Monitoramento da Balneabilidade das Praias Urbanas da cidade de Maceió.** 2001.130 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TEODORO, Andréia Cristiane. **Estudo hidrogeoquímico, sedimentológico e de foraminíferos em áreas da Baixada Santista, SP, submetidas à disposição oceânica de esgotos.** 2006. 166 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar e Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

TOPAZIO, Eduardo Farias. **Modelagem de pluma de emissários com T90 variável na costa oceânica de Salvador, Bahia.** 2003. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 1977, 97p.

TUREKIAN, Karl, K. **Oceanos.** Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1996, 151 p.

UNEP/GPA. **The state of Marine Environment: Trends and process.** UNEP/GPA, The Hague. 2006.

VASCONCELOS, Fábio Perdigão. **Aspecto da poluição nas praias do município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil.** Boletim de Ciências do Mar, Fortaleza, v.1, n. 41, p. 1-8, 1985.

VIEIRA, R.H.S.F.; SILVA, A.I.M.; SOUZA, O.V.de; HOFER, Ernesto; VIEIRA, G.H.F.; SAMPAIO, S.S.; LIMA, E.A. **Análise experimental sobre a viabilidade de *Escherichia Coli* em água do mar.** Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 34, p. 43-48, 2001.

VIEIRA, R.H.S.F., NASCIMENTO, S.C.O. do, MENEZES, F.G.R. de, NASCIMENTO, S.M.M. do, LUCENA, H.L. de. **Influência das águas das galerias pluviais como fator da poluição costeira, Fortaleza, Ceará.** Arquivos de Ciências do Mar, v.36, p. 123-127, 2003.

VILLARROEL, José Miguel Brassea. **Dispersão de efluentes no oceano.** 1993.115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora da UFMG, v.1, 3 ed., Belo Horizonte, 2005, 452 p.

WEBER, Rolf Roland. **Sistemas costeiros e oceânicos.** Química Nova, v.15, n.2, p.137-143, 1992.

WENTWORTH. C.K. **A scale of grade and class terms for clastics sediments.** Journal of Geology, 30 (1): 377-392, 1922.

YOST, K. J. **Cadmium, the environment and human health: an overview.** Experientia, v. 40, 1984, p. 157-164.

YUNDA, Gustavo Adolfo Guarin. **Composição e variação espaço-temporal da macrofauna bentônica influenciada pelo sistema de esgotos sanitários de Fortaleza (SDOES), Ceará, Brasil.** 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.