



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Sergio de Freitas


**Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica
de esgotos sanitários, em localidades de pequeno porte**

Rio de Janeiro

2010

Sergio de Freitas

**Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica de
esgotos sanitários, em localidades de pequeno porte**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Olavo Barbosa Filho

Coorientador: Prof. Gandhi Giordano

Rio de Janeiro

2010

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

F866	Freitas, Sergio de. Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários, em localidades de pequeno porte. / Sergio de Freitas – 2010. 87f. Orientador: Olavo Barbosa Filho Coorientador: Gandhi Giordano Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. 1. Esgoto – Tratamento - Teses. 2. Engenharia Ambiental. I. Barbosa Filho, Olavo. II. Giordano, Gandhi. III Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. IV. Título. CDU 628.35
------	---

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte

Assinatura

Data

Sergio de Freitas

**Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica de
esgotos sanitários, em localidades de pequeno porte**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em 25 de março de 2010.

Banca examinadora:

Prof. Olavo Barbosa Filho (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Gandhi Giordano (Coorientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Thereza Christina de Almeida Rosso

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Eduardo Pacheco Jordão

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica

Rio de Janeiro

2010

RESUMO

FREITAS, Sergio de. *Proposta de metodologia de projeto de sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários, em localidades de pequeno porte*. Brasil, 2010. 87f . Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade de Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

O presente trabalho tem por objetivo disponibilizar metodologia para o projeto de tratamento de esgoto sanitário através de disposição oceânica com utilização de emissário submarino, para localidades de pequeno porte. Também apresenta metodologia simplificada para obtenção de alguns dados oceanográficos necessários, na perspectiva de atender aos administradores dessas pequenas prefeituras envolvidas nas questões de atendimento de sua população quanto aos serviços de tratamento dos esgotos sanitários. Esses municípios, por serem pequenos e em país em desenvolvimento, carecem de recursos financeiros para as soluções convencionais de tratamento de esgotos sanitários. O trabalho contém uma revisão da bibliografia técnica relativa ao processo objeto deste estudo, não só referente ao projeto hidráulico como também à estabilidade física da tubulação do emissário assentada no leito do mar. Julgou-se necessário a realização, deste trabalho depois que se verificou que a implantação de emissários submarinos com diâmetros até da ordem de 300 mm, em geral tem seus custos inferiores aos dos sistemas convencionais.

Palavras-chave: Esgotos sanitários. Disposição oceânica. Emissário submarino. Engenharia Sanitária.

ABSTRACT

This paper aims to provide a simplified methodology for the treatment design of sewage disposal through the use of oceanic outfall locations for small towns. It also features simplified methodology for obtaining oceanographic data needed for those small municipalities' management. As these cities are usually on a development phase and have restricted resources to invest on its needs, the designed system becomes very attractive due to its low capital requirement. This work includes a technical review on the subject of this case study, not only regarding the water issues but also related to its physical stability of the outfall pipe at the bottom of the sea. It was felt necessary to organize this work after it was found that the introduction of submarine outfalls with diameters up to around 300 mm, has its costs below those of conventional systems. The most important result from this work is the competitiveness conclusion of the required implementation investment of submarine outfalls, with diameters up to 300 mm.

Keywords: Sewage treatment. Marine disposal. Marine outfall. Sanitary engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um sistema de disposição oceânica.....	18
Figura 2 - Visualização dos campos próximo e distante.....	20
Figura 3 - Semelhanças entre tratamento artificial e natural de esgotos sanitários	21
Figura 4 - Zona de mistura de um difusor de emissário submarino.....	32
Figura 5 - Diluição Inicial mínima – D1	45
Figura 6 - Dispersão Horizontal-D2.....	47
Figura 7 - Decaimento Bacteriano-D3	48
Figura 8 - Disposição do emissário submarino em planta e situação dos eixos referenciais	53
Figura 9 - Interface do programa SURF com os dados de correntes introduzidos	54
Figura 10 - Coeficiente de arrasto.....	59
Figura 11 - Coeficiente de elevação.....	59
Figura 12 - Fator de refração para $\beta=0^\circ$	61
Figura 13 - Fator de refração para $\beta=15^\circ$	61
Figura 14 - Fator de refração para $\beta=30^\circ$	62
Figura 15 - Espaçamento máximo entre blocos de concreto para as tubulações submarinas de PEAD	65
Figura 16 - Probabilidade de ocorrência de T-90 nas águas do litoral santista	71
Figura 17 - Curva de duração de T90 nas águas do litoral santista	72
Figura 18 - Esquema de uma plataforma típica de trabalho para acoplar os lastros de concreto no emissário submarino	74
Figura 19 - Esquema de plataforma rodante para acoplar os lastros de concreto na tubulação do emissário submarino	75
Figura 20 - Vista superior de um processo típico de instalação de um emissário submarino	76
Figura 21 - Perfil de um processo típico de instalação e submersão de um emissário submarino	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre custos implantação de ETE LAB e Emissário Submarino	9
Tabela 2 - Comparação entre ETEs Convencionais e Emissário Submarino.....	9
Tabela 3 - Principais condições e padrões para as águas salinas – CONAMA 357/2005...	31
Tabela 4 - Padrões de balneabilidade segundo a Resolução CONAMA 274/2000	33
Tabela 5 - Parâmetros para o monitoramento.....	35
Tabela 6 - Valores típicos de T90 em vários locais do mundo	49
Tabela 7 - Dados oceanográficos (correntes) levantados no local onde se pretende implantar o emissário submarino	53
Tabela 8 - Coeficientes de força para as ondas não quebrando.....	60
Tabela 9 - Exemplo de Matriz de Impactos Negativos para um Sistema de Disposição Oceânica	79

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	9
1	OBJETIVOS E METODOLOGIA	15
1.1	Objetivos	15
1.2	Metodologia	15
2	SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS RECEPTORAS E DE LANÇAMENTO	17
2.1	Introdução	17
2.2	A Disposição de esgotos sanitários no mar	18
2.2.1	<u>A diluição inicial</u>	18
2.2.2	<u>A dispersão horizontal</u>	19
2.2.3	<u>O decaimento bacteriano</u>	20
2.3	A escolha da locação e Programas de simulação inicial	22
2.4	Condicionamento prévio dos efluentes sanitários	26
2.5	Padrões de qualidade das águas e de lançamento	30
2.6	Monitoramento	34
2.6.1	<u>Monitoramento Estrutural</u>	34
2.6.2	<u>Monitoramento Ambiental</u>	35
3	OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS – METODOLOGIA CONVENCIONAL	37
3.1	O relevo e as características do solo marinho	37
3.2	A biocenose	38
3.3	Os dados climáticos	38
3.4	O regime de ventos e de marés	39
3.5	O regime de correntes marinhas e de ondas	39
3.6	Temperatura e salinidade da água do mar	40
3.7	O decaimento bacteriano	40
3.8	A estabilidade da linha de costa – a dinâmica do litoral	42
4	METODOLOGIA PARA PROJETO DE EMISSÁRIOS DE PEQUENO PORTE	43
4.1	Projeto Hidráulico – bases técnicas adotadas na metodologia proposta	43
4.1.1	<u>A diluição inicial</u>	43

4.1.2	<u>A dispersão horizontal</u>	46
4.1.3	<u>O decaimento bacteriano</u>	47
4.1.4	<u>O condicionamento prévio</u>	50
4.1.5	<u>Cálculo do difusor</u>	50
4.1.6	<u>Modelo adotado para a simulação do transporte do campo de esgoto</u>	51
4.1.7	<u>Desenvolvimento do programa computacional SURF – Sistema Utilitário com Referencial Flutuante</u>	52
4.2	Projeto Estrutural – Estabilidade do emissário no fundo do mar	57
4.2.1	<u>A importância das forças hidrodinâmicas</u>	57
4.2.2	<u>Determinação das forças</u>	58
4.2.3	<u>Ancoragem</u>	63
4.2.4	<u>Espaçamento entre os blocos de ancoragem</u>	64
4.3	Obtenção de dados climáticos e oceanográficos – Metodologia simplificada	65
4.3.1	<u>Seleção dos trechos homogêneos ao longo da costa</u>	66
4.3.2	<u>Correntes para projeto, por trecho homogêneo</u>	67
4.3.3	<u>O relevo e as características do solo marinho</u>	68
4.3.4	<u>Regime de ventos e de mares</u>	68
4.3.5	<u>Regime de correntes marinhas e de ondas</u>	68
4.3.6	<u>Dados relativos ao decaimento bacteriano</u>	70
5	ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS	73
5.1	Novas Tecnologias – Os tubos de plásticos e métodos de construção	73
5.2	Assentamento da tubulação do emissário no leito do oceano	74
6	LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS	
	EIA – RIMA	77
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	82
7.1	Conclusões	82
7.1	Sugestões	83
	REFERÊNCIAS	84

INTRODUÇÃO

Hoje em dia já se sabe que o custo de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários para localidades litorâneas de pequeno porte em geral é mais econômico que os respectivos sistemas de tratamento de esgotos convencionais, Ortiz; Arasaki; Marcellino (2006); Freitas (2009), conforme mostram as tabelas 1 e 2 a seguir:

Tabela .1 - Comparação entre custos de implantação de uma estação de tratamento de esgoto de lodo ativado por batelada (ETE LAB) e de emissário submarino com pré-condicionamento.

		ETE- Lodo Ativado por Batelada	Emissário + Pré-condicionamento
Pop. Equiv.	Hab	Valores per capita de referência (R\$/hab)	
	Até 10.000	168,89	-
	Até 20.000	165,65	-
	Até 50.000	158,28	56,41*
	Até 100.000	153,43	135,35**
	Até 200.000	-	83,01***
	Mais de 200.000	141,66	75,16****
* Emissário de Itaquanduba (Ilhabela) ** Emissários de Peruíbe e Bertioga *** Emissário de Itanhaém – margem direita **** Emissários de Mongaguá e Praia Grande 3			

Fonte: Arasaki,E;Ortiz,J.P., 2006

Tabela .2 - Comparação de custos entre estações de esgoto convencionais e emissário submarino

ITEM	CUSTO PER CAPITA (R\$/hab)	POPULAÇÃO PREVISTA (hab.)	CUSTO TOTAL (R\$)
(RAFA+ reator rotativo) ou (LAB-Lodo ativado por batelada)	190,00	11.300	2.147.000,00
Disposição oceânica com emissário submarino	87,73	11.300	991.370,00

Fonte: Freitas, S., 2009

Mesmo assim, continua quase impossível para as administrações municipais dessas localidades arcarem com a soma dos custos dos projetos desses sistemas e dos custos de sua implantação. No projeto convencional, o uso de programas computacionais existentes, pela necessidade de calibragem torna-os bastante onerosos. Além disso, a obtenção de

determinados dados oceanográficos pelos métodos convencionais também tem seus custos muito elevados.

Assim, é necessário que sejam encontradas alternativas para a elaboração de um projeto adequado financeiramente para que essas prefeituras possam atender uma maior população no tratamento de esgotos sanitários.

A metodologia completa para projeto de um empreendimento como o sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários, devido a necessidade de licenciamento ambiental Conama 01/86, deve incluir método de cálculo que permita a verificação do atendimento da exigência da condição da balneabilidade conforme resolução do Conama 274/2004.

É necessário incluir também metodologia para verificação da estabilidade do emissário no leito do mar.

A metodologia apresentada é simplificada por utilizar métodos existentes simples de cálculos dos fenômenos da diluição inicial, da dispersão e do decaimento bacteriano e se tornar completa englobando o método aqui desenvolvido e também simplificado, para verificação da condição de balneabilidade.

Na metodologia convencional é necessário o uso dos programas computacionais disponíveis atuais, relativamente complexos, condição de se verificar as condições de balneabilidade, necessário para o licenciamento ambiental além de permitir, também, verificar os efeitos dos fenômenos da depuração do efluente sanitário no ambiente marinho.

O esgoto em localidade de pequeno porte, da ordem de 30.000 habitantes, além de ter como característica sua relativa pequena vazão, de um modo geral pode ser classificado como esgoto sanitário predominantemente doméstico, sem os problemas dos poluentes relativos aos efluentes industriais, principalmente metais pesados.

No trabalho serão analisadas também simplificações para a obtenção de alguns importantes dados oceanográficos necessários para o projeto da disposição oceânica das pequenas localidades com mar aberto. No projeto é utilizado um modelo hidrodinâmico simplificado de transporte do campo de esgoto para verificação de atendimento à Resolução Conama 274/2000, relativo à balneabilidade. A aplicação do modelo é feita através de um sistema computacional, desenvolvido no âmbito desta dissertação, denominado Sistema Utilitário com Referencial Flutuante - SURF.

Dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento - SNIS, referente ao ano de 2007, indicam que a coleta através de redes de esgotos atende apenas 42,0% da população do Brasil, deixando mais de 110 milhões de brasileiros sem atendimento. A situação se torna ainda mais alarmante quando verificamos que o tratamento é feito em apenas 24,4% dos

municípios, sendo despejado grande parte do esgoto bruto restante em rios, lagos e praias.

O elevado déficit com os serviços de esgotamento sanitário explica-se, em parte, pela ausência das companhias estaduais de saneamento na grande maioria dos municípios brasileiros no que diz respeito a esses serviços. De fato, enquanto tais companhias atuam com serviços de água em 4.556 municípios (81,9% do total de municípios brasileiros), em relação aos serviços de esgotos a quantidade cai para apenas 1.355 (24,4% do total de municípios do país).

As localidades costeiras, principalmente aquelas de menor porte, fazem as descargas dos esgotos domésticos sem tratamento nos corpos hídricos vizinhos e não consideram suas grandes consequências ambientais e de saúde, devido principalmente à falta de recursos econômicos. Normalmente esses lançamentos ocorrem em estabelecimentos de recreio ou muito perto deles.

Este esgoto é aquele que provém principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõe-se essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (FUNASA, 2006).

Nos balneários, a flutuação da população devida ao grande número de turistas nas épocas de veraneio, provoca um aumento considerável da quantidade de esgotos domésticos gerada na região. Em muitos casos, o destino final desses esgotos são os corpos d'água mais próximos, uma vez que o sistema de rede coletora e de tratamento ainda é incipiente em algumas regiões.

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 emissões diretas nas praias que constituem-se em 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 e o enriquecimento por nutrientes, que pode levar à eutrofização, nos locais praticamente sem correntes, caso de baías, enseadas e lagoas.

Uma das soluções encontradas para o problema da geração de esgotos no litoral é o seu pré-condicionamento (para remoção de sólidos grosseiros e parte do material em suspensão) e sua disposição final no mar por meio de emissários, que constituem-se de uma longa tubulação, normalmente superior a 500 m, assentada no leito marinho e que em seu trecho final atinge, em geral, médias profundidades, onde ocorre o lançamento dos esgotos por meio de vários orifícios (difusores) permitindo, assim, uma diluição eficaz do efluente

lançado. Esta solução, embora traga muitos benefícios para a qualidade das praias na medida em que afasta o esgoto das mesmas, pode também trazer prejuízos ambientais se estes sistemas não forem bem dimensionados, operados e monitorados.

Com referência aos efeitos ambientais causados pelos emissários submarinos, apresentam-se a seguir informes do Professor Fernando Botafogo Gonçalves e do engº Amarílio P. Souza, do livro “Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários - História, Teoria e Prática-1997”:

No que diz respeito aos efeitos ambientais, comenta-se aqui resultados de estudos realizados durante os primeiros 10 anos de uma grande campanha nos Estados Unidos, campanha esta que continua até hoje. Em 1969 foi feito um consórcio entre os governos do Estado da Califórnia, das cidades de San Diego e Los Angeles e dos condados de Orange, Los Angeles e Ventura. Estes estudos tomaram o nome de Southern California Coastal Water Research Project - S.C.C.W.R.P., que teve parte do suporte financeiro da USEPA- U.S. Environmental Protection Agency, órgão federal de controle ambiental dos EUA.

O controle desse projeto foi entregue à uma comissão formada por líderes comunitários locais e autoridades eleitas. O projeto reuniu cerca de 30 renomados especialistas dos EUA, incluindo aqueles do Scripps Institution of Oceanography e do Caltech – California Institute of Technology, que se dividiram em tres divisões: biologia, química e engenharia.

Em 1978, o S.C.C.W.R.P. publicou um relatório intitulado “Os Efeitos da Disposição Oceânica de Águas Servidas Municipais” do qual se apresentam a seguir alguns tópicos de interesse, que constam na Parte 3 - “Respostas a afirmações desinformadas”:

“Tem-se desenvolvido uma substancial credence em relação às condições das águas costeiras abertas do sul da Califórnia. O público em geral, que não é bem informado sobre o oceano e sua vida, tem confundido por meias verdades e deformações disseminadas pela imprensa, televisão e filmes documentários. Certas afirmações, que não se baseiam em fatos, têm sido repetidas até que sejam acreditadas como verdadeiras. Por exemplo: (i) o oceano encontra-se poluído e está morrendo; (ii) um mar de morte ou um deserto ecológico está sendo criado ao largo da costa por disposição de águas servidas; (iii) existe uma grande massa de lodos no fundo do mar que pode encaminhar-se para a costa; (iv) certas espécies de vida marinha têm sido irreversivelmente destruídas ou afastadas pelos resíduos humanos; (v) a pesca tem mudado, e certas espécies não podem mais ser capturadas devido a poluição dos esgotos; e (vi) as algas gigantes (kelps) desapareceram de Palos Verdes e têm sido afetadas, em outros locais por poluentes presentes em águas servidas”.

O relatório, por seus cientistas e técnicos, examina cada uma dessas alegações e conclui após aqueles longos e detalhados estudos, que além de não procederem aquelas alegações, os sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários constituem realmente solução adequada para cidades localizadas no litoral com mar aberto.

Referente aos metais no efluente lançado, ressalta-se que embora seja prudente limitar suas quantidades, a grande pesquisa conduzida pelo Southern California Coastal Water Project claramente mostrou que as concentrações de metais encontradas nos esgotos sanitários domésticos não causam danos nos animais que vivem no mar nem nas pessoas que comem estes animais, de acordo com (BASCUM 1982; BASCOM; BROWN 1984).

Na avaliação de possíveis impactos ecológicos dos lançamentos de esgotos sanitários nas águas marinhas, deve-se tomar cuidado em preparar um programa de estudo referente às informações biológicas e químicas da região do emissário, que engloba as zonas que se quer proteger. Caso contrário, obtém-se uma quantidade enorme de dados mas com pouca utilidade prática.

Nos estudos dos efeitos ecológicos, na consideração das informações biológicas e químicas correspondentes, baseando-se em Bascom (1987), resume-se o seguinte:

A primeira prioridade dos estudos biológicos é levantar a situação submarina muito bem para proteger qualquer valioso recurso na região, principalmente os frutos do mar.

Como o material lançado é, no caso, composto em sua maior parte de partículas finas de esgoto doméstico com pequenas parcelas de substâncias químicas orgânicas anexadas, é provável que este material se torne uma valiosa fonte de alimentação para os animais marinhos pertencentes ao final da cadeia alimentar. Pequenos animais bênticos vão se proliferar, tornando-se maiores e mais numerosos; algumas poucas espécies que não gostam deste tipo de alimentação podem se afastar de uma pequena área em volta do difusor. O resultado do aumento do número de invertebrados vai ser o aparecimento de um número maior de peixes maiores em volta do emissário. Esses peixes não deverão ser afetados negativamente pelo material lançado. Isto também é verdade para as lagostas e caranguejos que se alimentam de animais menores, eles também comestíveis.

Deve-se evitar áreas onde existam criações de ostras e mexilhões, que sobrevivem filtrando partículas da água. Provavelmente esses crescerão mas seus intestinos poderão conter bactérias patogênicas, indicando quantidade de coliformes que os tornarão inaceitáveis como alimento.

Quando efluentes são lançados em mar aberto, somente poucos parâmetros são importantes e aplicáveis, incluindo considerações de proteção à saúde pública, considerações

estéticas, particularmente as referentes aos materiais flutuantes, e as substâncias tóxicas tais como DDT, PCB, etc que são persistentes e podem causar danos ecológicos. No entanto, estas substâncias não fazem parte da composição de um esgoto sanitário típico de pequenos municípios, que são predominantemente domésticos.

Todos os outros constituintes como matéria orgânica medida por meio da DBO, sólidos suspensos, oxigênio dissolvido, salinidade e nutrientes não são significativos quando o efluente sanitário é lançado em mar aberto através de emissário adequadamente projetado e equipado com sistemas de difusores adequados, onde valores de diluição inicial mínimos da ordem de 100:1 são imediatamente atingidos.

Os materiais flutuantes que poderiam retornar à costa e causar danos estéticos são removidos no condicionamento prévio.

Na implantação de sistema de tratamento dos esgotos alguns países desenvolvidos obedecem a razões políticas ao invés de razões técnicas. Um exemplo foi em San Diego, Califórnia, onde os responsáveis pelo saneamento local se recusaram a gastar cerca de US\$ 5.000.000 do governo federal para a implantação de tratamento secundário, alegando que teria melhor custo-benefício o uso de longos emissários para a disposição do esgoto, ganhando a causa na Corte Federal (MEARNS, 1994; E J.P. et al., 2007).

1 OBJETIVOS E METODOLOGIA

1.1 Objetivos

É necessário que as pequenas prefeituras dos municípios costeiros do Brasil, apesar de seus poucos recursos financeiros, possam custear projetos de tratamento de esgotos para sua população que, conforme apresentado anteriormente, tanto precisa. Faltam serviços de esgotos em mais de 75% dos municípios brasileiros.

Assim, a presente dissertação tem como objetivo geral contribuir para disponibilizar uma metodologia, adequada técnica e financeiramente a estes municípios, para o projeto da Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários, como também para a obtenção, de maneira simplificada, de alguns dados oceanográficos necessários para o referido projeto.

São objetivos específicos deste estudo:

- revisão do modelo convencional de dimensionamento dos sistemas de disposição oceânica.
- apresentar sistemas de modelagem computacional usados.
- determinar metodologia de projeto simplificado.
- desenvolver sistema computacional SURF-Sistema Utilitário com Referencial Flutuante, baseado na concepção de um modelo simplificado de transporte para verificação de atendimento da Resolução 274/2000, referente à balneabilidade.
- apresentar metodologia convencional de obtenção de dados para projeto.

1.2 Metodologia

Para alcançar estes objetivos, o estudo foi desenvolvido tendo como base os dados e informações obtidos de pesquisa de bibliografia e bancos de dados técnicos relevantes.

O estudo realizado envolveu as atividades seguintes:

- Pesquisa em textos técnicos de livros, periódicos e trabalhos apresentados em congressos, seminários, workshops, etc
 - Visitas à Diretoria de Hidrografia e Navegação, da Marinha do Brasil, em Niterói, para obtenção de dados oceanográficos além de entrevistas com o pessoal técnico que lá trabalha
- Estas visitas resultaram em:
- Análise e seleção do material a ser realmente utilizado.
 - Estudo desse material selecionado e consolidação dos dados e informações.

- Descrição da metodologia convencional para projeto e obtenção de dados.
- Descrição da metodologia proposta, que é apresentada no capítulo 4 do presente trabalho.
- Desenvolvimento do sistema computacional simplificado.

Entende-se que é necessário o monitoramento na obra executada de acordo com a metodologia proposta, não só para verificação de atendimento às exigências ambientais, das condições estruturais da obra mas também para verificação da validade dessa proposta.

2 SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA E PADRÕES DE BALNEABILIDADE

2.1 Introdução

Neste sistema a grande capacidade potencial de auto-depuração das águas marinhas é utilizada para realizar o tratamento dos efluentes sanitários reduzindo as concentrações poluentes a níveis permitidos dentro do campo de mistura, antes da pluma do esgoto (o campo de misturação esgoto/águas do mar), atingir as áreas de balneabilidade, aquelas relacionadas ao banho e esportes náuticos ou às áreas de aquíicultura.

Devido à sua capacidade de auto-depuração, as águas marinhas promovem a diluição, a dispersão e o decaimento bacteriano das cargas poluentes a elas lançadas.

Os emissários submarinos fornecem uma tecnologia eficiente, segura e relativamente econômica para a disposição final dos efluentes sanitários e, quando projetados apropriadamente e combinados com condicionamento prévio, podem atingir os objetivos de qualidade de águas e minimizar os impactos adversos ao ambiente e à saúde pública.

A Organização Mundial de Saúde publicou em 1999 o Protocolo de Annapolis, inserido em uma série de eventos denominado Proteção do Meio Ambiente do Homem – Água, Saneamento e Saúde. Neste documento oficial da OMS, é assumido que emissários submarinos convenientemente projetados, em termos de sua extensão e profundidade de descarga, de forma a assegurar uma baixa probabilidade da pluma de mistura esgotos / águas marinhas vir a atingir as zonas locais de balneabilidade, apresentam-se como uma alternativa de muito baixo risco para a saúde humana, na qual é improvável que um banhista venha a ter contato físico com esgotos sanitários, sejam tratados ou brutos”.

Segundo Jordão; Leitão (1990), a disposição oceânica de efluentes, desde que seja bem projetada e operada, representa uma alternativa econômica e tecnicamente aceitável para países onde os recursos financeiros são limitados.

Conforme apresentado na Figura 1, um sistema de emissário submarino consiste basicamente de uma tubulação, proveniente da estação de condicionamento prévio e da chaminé de equilíbrio que transporta o efluente até o local exato de lançamento no corpo d’água através de uma seção difusora.

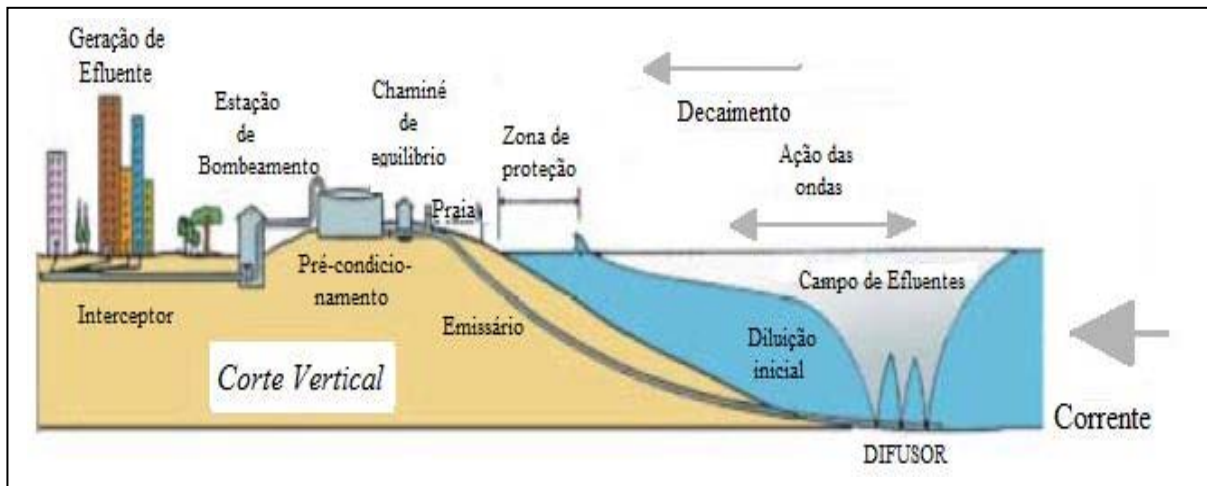


Figura 1: Esquema de um sistema de disposição oceânica
 Fonte: Cetesb-Relatório de Monitoramento, 2007

2.2 A disposição de esgotos sanitários no mar

O princípio básico da disposição oceânica de esgotos sanitários é promover o melhor entranhamento dos efluentes lançados no meio oceânico e a formação de um campo de mistura inicial adequado para aproveitar o máximo da capacidade potencial que as águas receptoras apresentam para promover logo inicialmente a difusão e diluição e, em seguida, a dispersão e o decaimento bacteriano das cargas poluentes e contaminantes nelas dispostas, conservando dessa maneira os padrões de qualidade das águas.

2.2.1 A diluição inicial

A adequada diluição inicial do efluente é feita através de uma seção difusora. Esta seção, chamada de difusor, compreende a parte final do emissário, fechada na ponta.

A seção difusora possui um conjunto de orifícios, que estão espaçados a uma determinada distância, no qual o efluente é lançado em alta velocidade no corpo receptor.

Os orifícios podem ser buracos feitos na própria estrutura da tubulação.

A quantidade, diâmetro, espaçamento e ângulo de orientação da seção difusora devem ser dimensionados para produzir as melhores taxas de diluição. Um projeto ideal de difusores deve ser calculado para que a vazão efluente seja distribuída uniformemente através de todos os orifícios.

Quando o efluente é lançado em forma de jato ou de pluma no fundo do oceano pelos difusores de um emissário submarino, cada partícula líquida ao deixar o orifício da seção difusora encontra-se submetida a duas forças; uma no sentido horizontal devido à condição de deslocamento que lhe foi imposta no interior do emissário e a segunda, no sentido vertical, o empuxo, resultante do diferencial de densidade da partícula de esgotos sanitários em relação à água do mar.

Este processo é denominado de diluição inicial, formando uma mancha denominada de “campo inicial ou campo próximo”.

O termo pluma é usado para descrever a forma do efluente se o empuxo é o efeito principal e o termo jato é usado quando o efeito de movimento é o mais importante na determinação do grau de mistura (GRACE; MARINE OUTFALL SYSTEMS, 1978).

O jato se torna pluma depois de um certo tempo de viagem.

É consenso entre os especialistas que um sistema difusor eficiente deva alcançar diluições da ordem de 100 a 200, isto é, diluição de valor 100:1 a 200:1 no campo próximo.

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

2.2.2 A dispersão horizontal

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

No transporte pelas correntes marinhas, o campo de mistura, submetido às forças horizontais dessas correntes, começa a se deslocar passando a atuar como um campo de

dispersão horizontal. A seguir, este campo se alarga sob o efeito de uma propriedade das águas marinhas, que é a difusividade em vórtice. Ele faz com que a concentração de uma substância presente nas águas marinhas passe a ser difundida horizontalmente, o que dá as características homogêneas das águas do mar.

A utilização de emissários submarinos para o lançamento de efluentes sanitários deve ser definida a partir de projetos adequados para garantir a qualidade da água após o processo de diluição inicial.

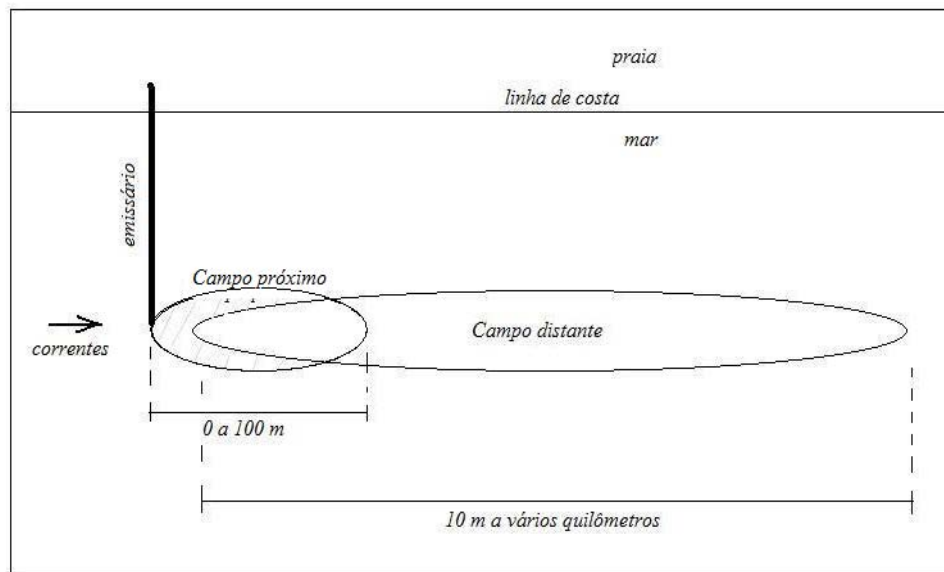


Figura 2 - Visualização dos campos próximo e distante

2.2.3 O decaimento bacteriano

Ao mesmo tempo em que ocorrem estes dois fenômenos, ocorre também um terceiro devido aos efeitos adversos do contato da água do mar com os organismos contaminantes existentes nos esgotos sanitários, como as bactéria e os vírus, e é denominado decaimento bacteriano (GONÇALVES; SOUZA, 1997).

A determinação da razão de desaparecimento dessas bactérias e vírus (decaimento bacteriano) dos efluentes sanitários lançados ao mar é outro fator de extrema importância nos projetos de sistemas de disposição oceânica de esgotos domésticos para garantir o atendimento aos padrões de balneabilidade das praias.

O tempo requerido para o decaimento de 90% desses organismos é identificado pela sigla T90, cujo processo depende de inúmeros fatores ambientais, como: radiação solar, sedimentação, temperatura, pH, mistura oceânica, salinidade, falta de nutrientes e outros.

Grace; Marine Outfall Systems (1978). Estudos realizados no litoral santista determinaram um T90 que varia de 60 a 120 minutos (OCCHIPINTI, 1973; 1974).

Em Maceió,AL, o valor encontrado para o T90 foi de 1,35 h e em Fortaleza,CE, foi de 1,30 h, Ludwig (1988), e o valor tomado como referência em Salvador,BA, foi 1,5 h (TOPÁZIO, 2003).

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

Os processos que ocorrem nos sistemas natural e artificial de tratamento de esgotos domésticos são bastante semelhantes. A figura 3 apresentada a seguir mostra que os sistemas de tratamento convencional procuram reproduzir artificialmente os sistemas de tratamento de esgotos domésticos com emprego de disposição oceânica.

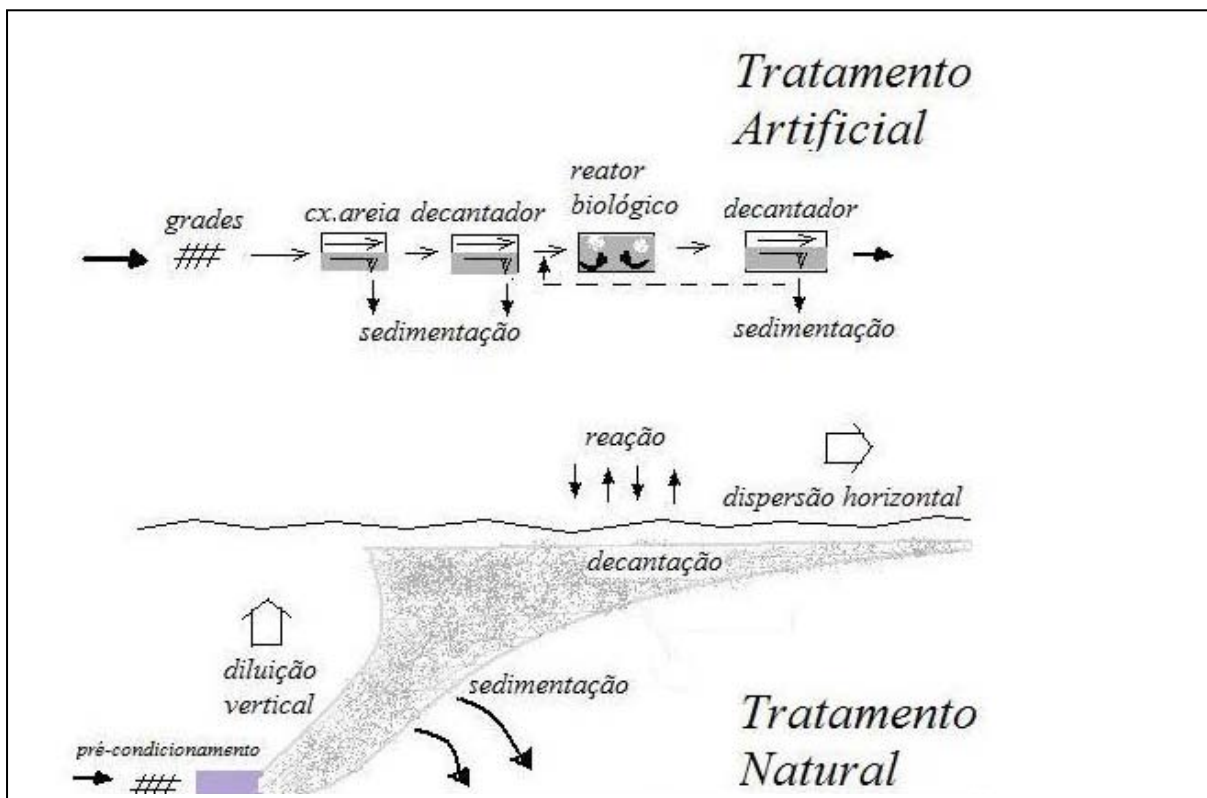


Figura 3 - Semelhanças entre tratamento artificial e natural de esgotos sanitários.

Fonte: Gonçalves, F.B. e Souza, A.P., 1997

2.3 Escolha da locação e Programas de simulação inicial

Quando se projeta um sistema de disposição oceânica o primeiro passo deve ser a determinação do local adequado para o difusor.

A localização e o projeto do difusor devem ser feitos considerando a distância mínima, necessária para o abatimento dos coliformes, às áreas que se quer proteger e suficiente profundidade, dispersão e abatimento dos poluentes considerando o nível de tratamento prévio dado ao esgoto sanitário para garantir o mínimo impacto ambiental e de saúde pública. Para isso são utilizados os programas computacionais para aplicação dos modelos matemáticos desenvolvidos para simular os fenômenos que ocorrem na diluição dos poluentes existentes (BERZIN, 2003; FISCHER et al., 1979).

Esses modelos estimam a diluição em função de parâmetros de profundidade, diâmetro dos furos e velocidade de saída, diferença de densidades, estruturas de correntes com ou sem estratificação, etc.

De início, desenvolve-se um modelo matemático hidrodinâmico da área em estudo. Este modelo deverá ser multidimensional e variável com o tempo e incluir as forças devidas à rotação da terra (força de Coriolis), os efeitos de fricção do fundo do mar e o efeito dos ventos.

O modelo matemático hidrodinâmico deve estimar o fluxo líquido e o fluxo das marés e simular, sob as condições críticas, o movimento de uma partícula nas vizinhanças do emissário em estudo.

Os resultados do modelo hidrodinâmico serão utilizados como entradas para o modelo matemático de qualidade de água, simulando assim o impacto em vários cenários da disposição oceânica dos esgotos sanitários.

Para os esgotos sanitários são bastante utilizados os programas 3PLUMES e o Visual Plumes, que são disponibilizados pela agência ambiental federal americana (EPA) no site www.epa.gov, para determinar a posição (comprimento do emissário) e para o projeto do difusor.

Outros modelos numéricos computacionais muito usados são o Cormix, o Mike 21, o QUAL2E, o SisBaHiA e o Chemmap.

Todos esses programas têm, além de uma razoável complexidade, altos custos, principalmente pela necessidade de suas calibrações.

CORMIX

O CORMIX é um programa especialista largamente utilizado na análise do campo próximo do lançamento de efluentes por emissários submarinos.

É desenvolvido para a análise, previsão e planejamento do lançamento de efluentes em diferentes corpos d'água, Jirka et al., (1996). A ênfase do sistema se dá na previsão da geometria e das características de diluição da zona de mistura inicial, permitindo que valores aceitáveis de qualidade de água sejam calculados e discutidos.

É composto por três subsistemas: (a) CORMIX1, utilizado para a análise de lançamentos pontuais abaixo da superfície (“submerged single port discharges”); (b) CORMIX2, para a análise de múltiplos lançamentos pontuais (difusores) abaixo da superfície (“submerged multiport diffuser discharges”); e (c) CORMIX3, para a análise de lançamentos superficiais (“buoyant surface discharges”). Embora a metodologia do CORMIX considere condições ambientais estacionárias, o sistema representa uma ferramenta para a previsão tanto de feições qualitativas (e.g. classificação de fluxos), quanto de aspectos quantitativos (e.g. taxas de diluição, trajetórias de plumas) dos processos de mistura hidrodinâmicos resultantes de diferentes configurações de lançamentos e em vários tipos de corpos d'água, incluindo pequenos riachos, grandes rios, lagos, reservatórios, estuários e águas costeiras.

É comercializado pela MixZon Inc através do site www.mixzon.com.

MIKE21

O modelo MIKE21, da DHI Danish Hydraulic Institute Water & Environment é, talvez, o modelo ambiental mais usado no mundo. O MIKE 21 inclui diversos módulos: hidrodinâmico, de transporte advectivo-difusivo, de qualidade de água, de eutrofização e de metais pesados. Os módulos trabalham em conjunto, ou seja, sempre é necessário conhecer o campo de correntes e a posição da superfície livre, para que os demais módulos possam ser usados. O módulo de transporte considera a malha retangular, usando um esquema de diferenças finitas para as discretizações espaciais e temporais. No entanto, a modelagem dos termos difusivos usada é bastante simplificada.

É comercializado pela empresa DHI através do site www.mikebydhi.com

Qual2E

O modelo Qual2E foi criado em 1987 por Brow e Barnwell para a agência ambiental federal americana (EPA) e é capaz de simular vários constituintes da qualidade da água,

considerando que estes estejam completamente misturados ao escoamento, e introduzindo o ciclo das algas e do fósforo.

O processo de modelagem parte do pressuposto que os principais mecanismos de transporte (advecção e dispersão) são significativos somente na direção longitudinal do escoamento. Também pode-se considerar diversos pontos de lançamentos (aporte de vazão, contribuições de indústrias e/ou esgoto doméstico) e retiradas de água (contribuição para um aquífero ou captação).

O modelo é utilizado de forma Permanente, onde se permite o estudo do impacto dos dejetos na qualidade da água (amplitude e qualidade) ou na forma Dinâmica, onde se permite o estudo das variações do oxigênio dissolvido e da temperatura da água, devido a alteração de grandezas meteorológicas (diurnas) e devido ao crescimento e respiração das algas.

Este modelo pode ser operado com até 15 constituintes que afetam a qualidade de água, que são: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura, algas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrato, fósforo dissolvido, coliformes, constituintes não conservativos e três constituintes conservativos.

O modelo permite também o cálculo das vazões necessárias para diluição quando o nível mínimo pré-fixado de oxigênio dissolvido não for alcançado.

A principal restrição deste modelo está na modelagem do transporte difusivo, feita a partir de coeficientes de difusão constantes.

É de domínio público e pode ser obtido através do site www.epa.gov.

SisBaHiA.

O SisBAHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e tem sido adotado em dezenas de estudos e projetos envolvendo modelagem de corpos de água naturais.

Em linhas gerais, na versão atual, o SisBaHiA contém:

Modelo hidrodinâmico: é um modelo de circulação hidrodinâmica 3D ou 2DH e otimizado para corpos de água naturais nos quais efeitos de densidade variável possam ser desprezados.

Os processos de calibração são minimizados devido a um ótimo mapeamento de corpos de água devido à discretização espacial via elementos finitos quadráticos.

Modelo de Transporte Euleriano: é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, para escoamentos 2DH, ou em 3D.

Modelo de Transporte Lagrangeano - Determinístico: é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, para camadas selecionadas

de escoamentos 3D ou 2DH. Usado em Plumas de emissários ou pontos de lançamento de efluentes, Derrames de óleo, instantâneos ou por período definido e Transporte de detritos flutuantes.

Modelo de Transporte Lagrangeano - Probabilístico: acoplado ao modelo anterior, permite obtenção de resultados probabilísticos computados a partir de eventos ou de resultados ao longo de um período de tempo T.

Modelos de Qualidade de Água e Eutrofização: trata-se de um conjunto de modelos de transporte Euleriano, para simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade de água e indicadores de eutrofização: sal, temperatura, OD-DBO, nutrientes compostos de nitrogênio e de fósforo e biomassa.

Modelo de Geração de Ondas: é um modelo para geração de ondas por campos de vento permanentes ou variáveis. O modelo determina se a geração de ondas será limitada pela pista ou pela duração do vento. O modelo permite calcular, ao longo do tempo, a distribuição espacial no domínio de parâmetros do clima de ondas gerado tais como: alturas significativas e médias quadráticas, períodos de pico, tensões oscilatórias no fundo devido a ondas, etc.

Modelo de Propagação de Ondas: trata-se de um programa de propagação de ondas monocromáticas, ou espectros de ondas, com efeitos de refração, difração, dissipação e arrebentação.

Módulo de Análise e Previsão de Marés: através deste módulo pode-se realizar análises harmônicas de registros de níveis ou correntes para obtenção das constantes. Com o módulo de Previsão, fornecendo as constantes harmônicas de níveis ou de correntes, faz-se previsões de valores em séries temporais a intervalos definidos pelo usuários, bem como de séries de máximos e mínimos entre uma data inicial e uma final especificadas pelo usuário.

No SisBAHiA as coerências entre valores reais e computados são em geral melhores que 90%. Após calibração é usual que sejam superiores a 95%. Coerências entre valores reais e valores computados de velocidade e direção de correntes são usualmente melhores que 70%. Após calibração é comum ter-se coerências superiores a 90%.

Os programas são cedidos gratuitamente pela Fundação Coppetec, através de um contrato de cooperação técnico científica.

O usuário (contratante) poderá usar o SisBaHia profissionalmente em modelagens sem uso comerciais, independentemente da participação da Fundação COPPETEC. Entende-se como “uso comercial” a prestação ou venda, pelo contratante, de serviços a terceiros envolvendo resultados de modelagens feitas com o SisBaHia.

Qualquer uso comercial do SisBaHiA, somente poderá ser feito pelo contratante em parceria com a Fundação COPPETEC, através de programas de trabalho para serviços específicos, com tarefas e responsabilidades, prazos, cronograma, forma de trabalho e custos acordados entre as partes.

Os contatos para uso podem ser feitos através do site www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

Chemmap

O CHEMMAP, desenvolvido pela Applied Science Associates, Inc. (ASA), possui estrutura tridimensional e simula separadamente a mancha superficial, as parcelas na coluna d'água, partículas da substância química pura, parcelas adsorvidas ao material particulado em suspensão e as parcelas dissolvidas dos produtos químicos.

Os processos biogeoquímicos simulados são: espalhamento, advecção, dispersão, evaporação, volatilização, entranhamento, dissolução, particionamento, sedimentação, adsorção e degradação. O modelo utiliza as seguintes propriedades físico-químicas para simular a trajetória e o destino de produtos químicos descartados na superfície ou na coluna d'água: densidade, pressão de vapor, solubilidade na água, taxa de degradação, coeficiente de partição (adsorvido e dissolvido), viscosidade e tensão superficial. Cada um dos produtos que compõe o efluente deve ser simulado isoladamente.

O CHEMMAP possui a capacidade de realizar simulações determinísticas e probabilísticas. Utilizando-se o CHEMMAP no modo probabilístico é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais, de modo que as simulações de comportamento da pluma sejam realizadas através de variadas condições meteorológicas e oceanográficas dentro do período de disposição de dados ambientais. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar aleatoriamente.

O programa é comercializado pela empresa Applied Science Associates, Inc através do site www.asascience.com.

2.4 Condicionamento Prévio do Efluente Sanitário

Técnicamente, o condicionamento prévio do esgoto sanitário necessário em uma disposição submarina é apenas a separação dos sólidos grosseiros e areia além de material flutuante, óleos e graxas.

Para Salas (2000), assessor para avaliação de impacto ambiental do CEPIS, Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, da OMS - Organização Mundial de

Saúde, na América Latina não se deve adotar, como em alguns países desenvolvidos obedecendo razões de ordem políticas em vez de técnicas, outras soluções que não sejam o tratamento primário ou o preliminar para remoção do material flutuante, óleos e graxas.

No Brasil, a maioria dos emissários sanitários submarinos encontra-se no Estado de São Paulo. Existem 7 (sete) sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários em operação no litoral paulista com estação de condicionamento prévio na qual o efluente passa por um gradeamento, depois por peneiras finas sendo submetido à cloração antes de seu lançamento no mar. O uso da cloração, pelo abatimento de grande parte dos coliformes, diminui o comprimento da tubulação do emissário. Entretanto, chama-se aqui a atenção, no caso do uso do cloro, para formação de produtos indesejáveis, organoclorados, que são cancerígenos (GONÇALVES, 2003).

Nessa estação não se realiza nenhum tipo de tratamento primário e conta-se com a capacidade de diluição e autodepuração do mar para realizar a degradação do material introduzido no meio marinho.

No Estado do Rio de Janeiro, que é onde se passa o estudo, a legislação atual (Lei 2.661, de 27 de dezembro de 1996, alterada pela Lei 4.692, de 29 de Dezembro de 2005) exige além da garantia de ausência virtual de sólidos flutuantes, a redução mínima de 30% da DBO (demanda bioquímica de oxigênio).

O sistema de condicionamento prévio em geral é composto por grades, desarenadores, peneiras, calha Parshall, decantadores primários, leitos de secagem, sistema de controle de odores e chaminé de equilíbrio.

A seguir apresenta-se a descrição sumária dessas unidades:

Grades

O gradeamento constitui-se de um conjunto de barras paralelas, geralmente de ferro fundido, cuja limpeza periódica, pode ser feita de maneira manual (para baixas vazões, $Q < 250$ L/s) ou mecanizada (para $Q > 250$ L/s). Para o caso de limpeza mecanizada, recomenda-se a instalação de pelo menos duas unidades em paralelo. Além disso, quando houver risco de danos ao equipamento de remoção (rastelo), uma grade com espaçamento mais grosseiro e de limpeza manual, deve ser instalada a montante.

A separação de sólidos grosseiros como latas, madeira, papelão, vidros, plásticos e panos, é feito através do gradeamento, com espaçamento entre barras de 25 milímetros, retraindo o lixo tipicamente urbano destinado para o aterro metropolitano.

Desarenadores

Retiram a areia, óleos e graxas acumulados nos afluentes, limpeza com a importante função de diminuir o assoreamento no fundo do mar, nas proximidades dos difusores do emissário submarino.

A quantidade de areia removida varia de acordo com as condições da comunidade esgotada e da própria instalação das redes de esgoto. Para cidades litorâneas, é mais usual se ter cerca de 60L de areia/1.000 m³ de esgoto (SOBRINHO, 2002).

A remoção de areia - que tem por principal objetivo proteger as unidades a jusante da ETE ou mesmo o emissário submarino, evitando o assoreamento no interior da tubulação.

Peneiras

As peneiras utilizadas, para o caso de emissários submarinos, possuem usualmente, aberturas que variam de 0,5 a 3 mm. Nestes casos, tem-se uma remoção de sólidos suspensos na faixa de 5 a 20% e são removidos com teor de sólidos de 12 a 25%, dependendo do equipamento utilizado. Pelas peneiras de malha de 2,5 mm pode ocorrer uma redução da DBO₅ de 10 - 20 % em instalações municipais de tratamento de esgoto.

É estimada uma geração de 100 a 250 L de material retido nas peneiras por 1000 m³ de esgoto.

Tem sido utilizado, em São Paulo, como pré-condicionamento para disposição oceânica através de emissários submarinos, peneiras com abertura de 1,5 mm. Para pequenas vazões tem sido utilizado peneira estática. Para sistemas de maior porte utilizam-se peneiras rotativas cilíndricas, porém, mais recentemente a escolha tem recaído em peneiras rotativas inclinadas, de limpeza automática, com sistema de compactação dos sólidos removidos.

Como no sistema de grades passam materiais sólidos longos, finos e fibras conseguem passar flutuando através da grade, até mesmo nas grades finas, o sistema de grades tem sido cada vez mais complementado com peneiras ou até, substituídas por elas. As aberturas da malha empregada ou das chapas perfuradas comercializadas situam-se na faixa de 5 mm e 0,15 mm. É evidente que quanto menor a abertura entre as malhas, maior o risco de obstrução e oclusão bem como, de perda de pressão frente às redes de aberturas maiores.

As peneiras mecânicas mais simples são as peneiras em arco. Elas não possuem peças móveis. O efluente flui de cima para baixo atravessando a peneira enquanto o material retido na peneira se desloca para baixo e com isso, é desidratado. Um sistema parecido à peneira rotatória é a peneira em cuba, cuja limpeza se dá mediante escovas de limpeza rotativas.

Peneiras rotativas são compostas de um tambor que gira lentamente, provido de um envoltório com aberturas circulares ou em fendas através do qual o efluente flui de fora para dentro, ou em sentido contrário, e com isso é liberado dos sólidos. Nos tambores com alimentação interna do efluente, o descarte do material retido na peneira acontece por uma rosca sem fim de alimentação externa, através de um sistema autolimpante.

Calha Parshall

A calha Parshall é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizados. A água é forçada por uma garganta relativamente estreita, sendo que o nível da água à montante da garganta é o indicativo da vazão a ser medida, independentemente do nível da água à jusante de tal garganta

Sistema de controle de odores

Todas unidades do pré-condicionamento produzem odores desagradáveis, por isso elas devem estar em recintos fechados e o ar contaminado extraído através de exaustores é encaminhado para a unidade de controle de odores onde é neutralizado e lançado na atmosfera limpo e inodoro.

Os processos utilizados podem ser: colunas de lavagem, Netto (2005), colunas de adsorção, biofiltros, oxidação térmica ou então pode ser usada a aplicação de produtos químicos na rede coletora.

Decantador primário, com dispositivo de remoção de gorduras e sólidos flutuantes.

Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. Os esgotos fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, que apresentam densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos, denominada lodo primário bruto, segue para os leitos de secagem e em seguida para os aterros sanitários.

O decantador, além de possibilitar a remoção de gorduras e sólidos flutuantes, como pode reduzir 30% a DBO (demanda bioquímica de oxigênio), é usado no Rio de Janeiro para atender a legislação atual – Lei 4.692, de 29/12/2005.

Leitos de secagem

Os leitos de secagem são tanques construídos em alvenaria ou concreto com fundo inclinado, direcionando os líquidos filtrados para uma rede de drenagem. Sobre o fundo, é

construído um filtro em geral de areia e brita, o qual são colocados tijolos rejuntados com areia grossa o que permitirá a retirada do lodo filtrado sem danificar a camada filtrante para ser encaminhado para os aterros sanitários.

Chaminé de equilíbrio

A chaminé de equilíbrio funciona como uma divisória, entre o trecho de tubulação no qual o efluente é recalcado (bombeado) e o trecho que o efluente é encaminhado para o emissário submarino por gravidade.

A chaminé de equilíbrio proporciona melhores condições operacionais, assegurando a carga manométrica necessária para encaminhar o esgoto por meio do seu acúmulo de volume.

Outra função importante é evitar o chamado “golpe de aríete”, que pode ocorrer quando da queda repentina do plano de carga, com a parada do sistema de bombeamento, além de assegurar que não ocorra um possível retorno do efluente quando operado em baixas vazões e em maré alta.

Ela é muito importante no caso de utilização de tubos de PEAD, pois evitando a entrada de ar, impede a tubulação de uma possível flutuação não desejada.

2.5 Padrões de qualidade das águas e de lançamento

Para o controle dos lançamentos de efluentes por meio de emissários submarinos, a legislação ambiental existente tem sido instrumento importante para avaliação desses empreendimentos e da qualidade das águas marinhas. Durante muito tempo foi adotada a Resolução Conama 20/86 que estabelecia padrões de qualidade para as águas salinas, além dos padrões de emissão que também podem ser aplicados nestes casos. Essa Resolução foi muito útil no controle da poluição e no gerenciamento da qualidade das águas costeiras embora apresentasse algumas lacunas.

Nesse sentido, foi complementada em 2000 com a Resolução do Conama 274/00, que define critérios para a balneabilidade, e foi posteriormente amplamente revista e substituída pela Resolução 357/05. Em 2008 o artigo 34 desta resolução foi alterado pela Resolução 397/2008. Elas apresentam avanços significativos com relação à anterior uma vez que introduzem novos parâmetros com limites a serem considerados como os nutrientes, por exemplo, além de definir quatro classes de água e não apenas duas, o que limitava muito o gerenciamento dessa questão.

Nessa nova Resolução, para as águas salinas, foram definidas as seguintes classes de água, seus usos e os respectivos padrões de qualidade:

Classe Especial -Preservação das comunidades aquáticas e do equilíbrio natural (+ restritiva)

Classe 1 -Recreação de contato primário, aquicultura - padrões para evitar toxicidade crônica.

Classe 2 - recreação de contato secundário - padrões para evitar toxicidade aguda;

Classe 3-Navegação - poucos padrões (menos restritiva).

As águas salinas, classe I, são as que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº274, de 2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas; e
- c) à aquicultura e à atividades de pesca.

No caso em estudo, localidades no litoral, em mar aberto, as águas salinas são enquadradas na classe I, onde se destacam (tabela 3) os seguintes parâmetros como condições e padrões de qualidade a serem mantidos no corpo hídrico, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 3 - Principais condições e padrões para as águas salinas, segundo a Resolução CONAMA 357/2005

<u>Parâmetro</u>	<u>Condições/padrões</u>
-materiais flutuantes	virtualmente ausentes
-óleos e graxas	virtualmente ausentes
substâncias que produzem odor e turbidez	virtualmente ausentes
-corantes provenientes de fontes antrópicas	virtualmente ausentes
-resíduos sólidos objetáveis	virtualmente ausentes
-coliformes termotolerantes	obedecer Resolução CONAMA nº274/ 2000.
-carbono orgânico total	até 3 mg/L, como C;
-OD, em qualquer amostra	não inferior a 6 mg/L O ₂ ;
-pH	6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior que 0,2 unidade
-nitrogênio amoniacal	menor que 0,40 mg/L N.
-nitrito	menor que 0,07 mg/L N.
-nitrato	menor que 0,40 mg/L N.
-fósforo	menor que 0,062 mg/L P.

Além de estabelecerem padrões para os corpos hídricos, as legislações impõem também a qualidade mínima a ser atendida por efluentes de qualquer fonte poluidora para o lançamento nos corpos de água. A Resolução CONAMA 357/2000 estabelece como padrões de emissão, dentre outros, os seguintes valores:

- -óleos e graxas:
 - 1-óleos minerais: até 20 mg/L
 - 2-óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L.
- -materiais flutuantes: ausentes.
- -amônia, menor que 20 mg/L N.

No controle da emissão de efluentes é considerado o conceito da “zona de mistura”.

A zona de mistura é definida na Resolução CONAMA 357/2005 como a região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente.

A figura 4 apresentada a seguir é um a representação esquemática da zona de mistura de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários.

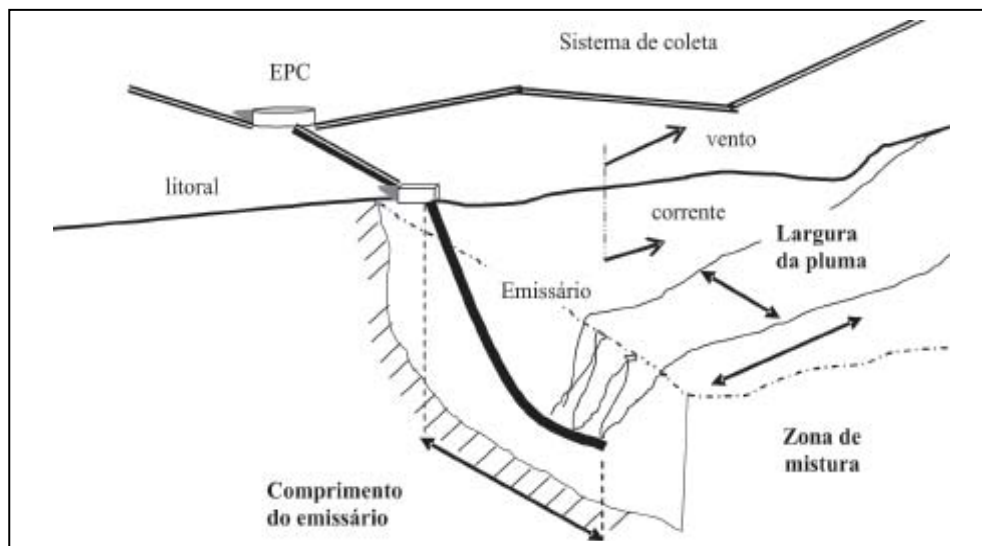


Figura 4 – Zona de mistura de um difusor de emissário submarino
Fonte: Ortiz, Arazaki e Marcellino, 2006

O artigo 33 daquela resolução descreve que “na zona de mistura de efluentes, o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não

comprometam os usos previstos para o corpo d'água. E em parágrafo único complementa que: “a extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento”.

No Rio de Janeiro existe também a lei nº 2661, de 27/12/1996, alterada pela lei nº 4692, de 29/12/2005, que se refere à exigência de níveis mínimos de tratamento de esgotos sanitários, antes de seu lançamento em corpos de água, onde consta:

Artigo 1º - Para fins previstos nesta lei, define-se como tratamento primário completo de esgotos sanitários a separação e a remoção de sólidos em suspensão, tanto sedimentáveis quanto flutuantes, seguida de seu processamento e disposição adequada.

Parágrafo único- No caso de lançamento de esgoto sanitário em alto mar, através de emissários submarinos, deverá ser assegurado que a carga poluidora lançada no ponto de disposição final no mar deverá ser inferior, em quaisquer valores, àquela gerada pela vazão final estabelecida no projeto de emissário submarino, levando em conta as normas de tratamento primário completo estabelecidas pelo caput do presente artigo e pelo disposto no artigo 2º desta lei.

Artigo 2º -Para lançamento de esgotos sanitários em corpos d'água, o tratamento primário completo deverá assegurar eficiências mínimas de remoção de demanda bioquímica de oxigênio dos materiais sedimentáveis e garantir a ausência virtual de sólidos flutuantes, com redução mínima na faixa de 30% (trinta por cento) a 40% (quarenta por cento) da DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Com relação à balneabilidade foram definidos, conforme tabela 4, os seguintes critérios:

Tabela 4 - Padrões de balneabilidade segundo a Resolução CONAMA 274/2000.

CATEGORIA		Coliformes Term. (NMP/100ml)	Escherichia coli (UFC/100ml)	Enterococos (UFC/100ml)
PRÓPRIA	EXCELENTE	<250 em 80% das amostras	<200 em 80% das amostras	<25 em 80% das amostras
	BOA	<500 em 80% das amostras	<400 em 80% das amostras	<50 em 80% das amostras
	SATISFATÓRIA	<1000 em 80% das amostras	<800 em 80% das amostras	<1000 em 80% das amostras
IMPRÓPRIA		>1000 em 20% das amostras	>800 em 20% das amostras	>100 em 20% das amostras
		>2500 na última amostra	>2000 na última amostra	>400 na última amostra

Na Resolução, as categorias EXCELENTE, MUITO BOA e SATISFATÓRIA podem ser agrupadas em uma só categoria denominada PRÓPRIA.

A largura da faixa do mar a proteger deverá ser de 300 m.

Gonçalves; Souza (1997) informam que nos projetos de disposição oceânica, os parâmetros utilizados são os dos níveis permitidos para a categoria SATISFATÓRIA, isto é, NMP de coliformes termotolerantes menor que 1.000/100ml em 80% das amostras.

Entretanto, atualmente considera-se que devem ser os enterococos a caracterizar a patogeneidade das águas por haver uma melhor correlação entre eles.

Este conceito é utilizado na metodologia aqui proposta.

2.6 Monitoramento

Os possíveis impactos ambientais gerados pelos lançamentos dos efluentes no mar são, por exemplo, além da contaminação microbiológica, o acréscimo da matéria orgânica no meio marinho e o aumento da turbidez. No caso de baías, enseadas e lagoas onde a circulação das águas é restrita, inclui-se o enriquecimento por nutrientes que pode levar à eutrofização.

Para que a disposição oceânica de esgotos domésticos tenha seus impactos ambientais minimizados é necessário um licenciamento ambiental adequado e o monitoramento da área sob influência do lançamento dos efluentes.

O monitoramento deve avaliar a eficiência do sistema e seus impactos no ambiente aquático verificando se esses efluentes e a água do corpo receptor estão atendendo aos padrões de emissão e de qualidade preconizados nas Resoluções do Conama 357/05 e 274/00.

O monitoramento das águas costeiras complementados pelos estudos de modelagem da pluma dos emissários são ferramentas importantes para o gerenciamento ambiental.

De acordo com estes objetivos deverá contemplar dois aspectos que se complementam: A qualidade estrutural da tubulação (rugas, vazamentos, trincas, estados dos difusores ou descalçamento da tubulação) e o monitoramento ambiental, tanto da qualidade do efluente como a qualidade do corpo hídrico receptor (MARCELINO; MACEDO, 2007).

2.6.1 Monitoramento estrutural

O monitoramento deverá detalhar os procedimentos e meios que serão empregados na inspeção e manutenção preventiva dos elementos estruturais, avaliando e quantificando os custos que operações representarão.

Toda extensão do emissário deverá ser inspecionada com emprego de mergulhadores estando a tubulação com carga hidráulica máxima, pelo menos uma vez ao ano.

2.6.2 Monitoramento ambiental

Este monitoramento será feito visando:

- o controle do efluente.
- o controle das águas receptoras.
- o controle de sedimentos e organismos.

O controle do efluente é feito para verificar possíveis introduções clandestinas de efluentes industriais sem tratamento.

Se as águas receptoras se encontrarem em zonas com risco de eutrofização os seguintes parâmetros deverão ser determinados:

NKT, N oxidado e Fósforo total.

-Para o controle das águas receptoras, serão selecionados, ao menos, cinco pontos: três situados próximos à linha de costa (dois em ambos os lados do emissário e um na direção dele) e dois entre o difusor e a costa.

Os parâmetros a serem determinados são relacionados na tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros para o monitoramento das águas receptoras.

-Coliformes fecais	-Temperatura
-Enterococos	-Cor
-Oxigênio dissolvido	-Transparência
-pH	-Óleos e gordura
-Salinidade	-Ortofosfatos
-Sólidos suspensos.	-

Fonte: Marcelino,E.B.;Macedo,L.S., 2007

Também serão registrados os parâmetros representativos das condições oceanográficas e meteorológicas da região no momento da amostragem. Entre os parâmetros a medir estão: as correntes, o vento, as ondas, o estado do tempo, o perfil de salinidade, a temperatura e o oxigênio dissolvido em um ponto nas proximidades da saída do efluente.

-Para o controle de sedimentos e organismos deverão ser selecionados pontos de amostragem na área de influência do emissário, onde o sedimento tende a se acumular e em locais onde se encontrem populações abundantes de organismos representativos da região.

Este controle deverá ser feito anualmente.

Além do plano de monitoramento é necessário um plano emergencial (plano de contingência) para produtos químicos, resíduos sólidos e rompimento de tubulação.

3 OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS - MÉTODO CONVENCIONAL

O projeto de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários deve levar em conta os seguintes dados climáticos e oceanográficos:

3.1 O relevo e as características do solo marinho

Para este levantamento é realizado um reconhecimento e descrição do fundo do mar ao longo do perfil longitudinal, analisando os materiais existentes e suas características para o estudo de sua resistência. Também serão identificados os elementos particulares como barras, baixios ou depressão, que possam influir no funcionamento e manutenção da obra.

A batimetria deve ser realizada ao longo de uma faixa de 150 m de largura, estendendo-se, em média, 4.000 m perpendicular à linha da costa.

O levantamento deve ser executado em linhas longitudinais ao eixo do futuro emissário com espaçamento de 20 m e linhas transversais de controle a cada 500 m. As profundidades devem ser referidas ao Nível de Redução da DHN-Diretoria de Hidrografia e Navegação para a área.

O posicionamento da embarcação de sondagem deve ser feito por instrumento eletrônico, aferido por comparação à distância entre os marcos plantados em terra.

A correção das profundidades lidas nos momentos dos levantamentos deve ser realizada em função das alturas de marés observadas naqueles momentos. A correção deve ser feita segundo a tábua de marés para a região, fornecida pela DHN.

Normalmente é utilizado o ecobatímetro, mas é recomendado o emprego do sonar de varrição lateral – “side-scanner sonar”.

A natureza do solo marinho é conhecida através de equipamentos denominados “boomer” ou “sparker” que emitem descargas sonoras que permitem conhecer a natureza do solo marinho e das camadas subsuperficiais de interesse.

As amostras do solo são coletadas por meio dos “coring tubes” que são tubos a serem enterrados verticalmente no solo marinho, por meio de pesos a eles ajustados.

3.2 A Biocenose

Para a caracterização do estado ambiental da área se procede um reconhecimento das comunidades bentônicas, principalmente mediante o estudo dos moluscos, poliquetas, das algas e de outras plantas marinhas (ABESSE, 2002).

Os resultados desse levantamento são representados graficamente, mediante um mapa das populações bentônicas. Esses levantamentos devem ter especial atenção em caso de tratamento do esgoto sanitário ser feito no nível primário.

Este reconhecimento biológico deverá ser complementado com amostras e análise de sedimentos superficiais, Mandaji (2002) e organismos acumuladores (por exemplo, mexilhões) em número e distribuição suficientemente representativo.

Dados de animais marinhos podem ser obtidos com o uso de redes que são arrastadas ao longo do fundo do mar e com os “grags,” dispositivos que retiram amostras do fundo do mar. Sobre estas amostras serão determinados, prioritariamente, os microcontaminantes orgânicos e inorgânicos que figuram nos objetivos de qualidade de água para que sirvam como referência da situação antes da construção do emissário. Deve também proceder a determinação das concentrações de organismos de contaminação fecal nas áreas de impacto adjacentes identificadas.

Mudanças naturais nas condições do oceano (causadas por alterações das correntes, grandes tempestades, etc) causam mudanças na vida marinha que podem ser confundidas com alterações causadas pelo emissário. Uma maneira de defesa contra críticas é fazer o mesmo conjunto de medidas biológicas em outro local que tenha profundidade, condições do fundo do mar, correntes, etc, similares com a região do emissário. Isto vai permitir que os efeitos dos emissários sejam distinguidos dos efeitos naturais.

3.3 Dados climáticos

Os elementos fundamentais para o projeto e dimensionamento de estruturas marítimas e costeiras são o conhecimento dos agentes físicos que atuam sobre a massa d'água, principalmente o regime de ventos, marés, correntes e ondas.

Para um perfeito entendimento do mecanismo de geração desses agentes é também necessário o conhecimento dos elementos climáticos presentes que são: pressão e sistema de circulação atmosférica, temperatura, precipitação e umidade relativa.

Para análise preliminar pode-se recorrer às informações publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério de Agricultura. Para a coleta sistemática de dados meteorológicos é recomendado a instalação de Estação Meteorológica na área de interesse.

Estes dados devem ser relacionados com os dados de correntes e de onda.

3.4 Regime de ventos e de marés

O regime dos ventos é determinado por meio de anemógrafos de registro contínuo com obtenção das suas intensidades e direções em campanhas de pelo menos 2 a 3 meses na época de chuvas e 2 a 3 meses na época seca.

O regime de ventos além de ser registrado pela Estação Meteorológica referida no item anterior, tem também seus dados obtidos nos arquivos do “Banco Nacional de Dados Oceanográficos” da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Defesa.

Os dados de marés são registrados por equipamentos denominados marégrafos de registro contínuo. Estes dados, além daqueles obtidos na campanha de coleta de dados oceanográficos, também podem ser obtidos na mesma instituição referida anteriormente, através das Tábuas de Marés. Estes dados devem ser correlacionados com os estados do tempo, permitindo melhor conhecimento das situações oceanográficas, possibilitando extrapolações para outros períodos.

3.5 Regime de correntes marinhas e de ondas

O regime de correntes deve ser investigado através de correntógrafos (perfiladores acústicos de correntes - ADCP) e de drogues de deriva em campanhas que devem compreender, pelo menos, 2 ou 3 meses na época de chuvas e de 2 ou 3 meses na época seca.

O número e a localização dos correntógrafos devem ser analisados em função do comprimento do emissário submarino. As medições devem ser feitas em várias profundidades.

As características das ondas, direção, comprimento e altura, são obtidas através dos ondógrafos de registro contínuo, que por diferença de pressões permitem o seu conhecimento.

Em relação ao regime de ondas as informações são utilizadas para se estabelecer as características das ondas ao largo e daí serem propagadas no sentido do litoral permitindo a obtenção de:

-regime de ondas na zona fora da arrebentação.

-regime de ondas na zona de arrebentação.

Utilizam-se os dados do “Ocean Wave Statistics” publicação britânica editada pelo “National Physical Laboratory”, que permitem, em primeira aproximação, uma caracterização do clima de ondas de uma dada região.

Os dados do “Global Wave Statistics”, também uma publicação britânica, normalmente não usados pois são considerados muito conservadores.

A região do Rio de Janeiro possui também dados de ondas coletados pela Petrobrás na baía de Campos, elaborados pelo Grupo de Oceanografia do Setor de Projetos Navais e Oceanografia.

Dados muito importantes relativos às ondas podem ser conseguidos no Banco Nacional de Dados Oceanográficos, da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN, do Comando da Marinha, Ministério da Defesa.

3.6 Temperatura e Salinidade da água do mar

A estrutura estratigráfica da coluna da água do mar no local do emissário é muito importante para análise da hidrodinâmica da área da pluma de esgoto.

Os dados necessários são coletados por perfiladores verticais de temperatura e salinidade, que são sondas tipo CTD – Conductivity / Temperature / Depth ou tipo XBT - Expandable Bathythermograph.

Os perfis verticais devem ser observados, diariamente, no mesmo ponto de lançamento do correntógrafo, registrados duas ou quatro vezes por dia acompanhando a variação da maré em campanhas de período já referidos.

3.7 O decaimento bacteriano

A partir do instante em que o esgoto entra em contacto com a água do mar, a população de bactérias nele existente começa a experimentar um processo de redução, provocado pela sedimentação da fração sólida, pelo efeito letal da água do mar e por outros agentes. Essa redução da densidade de bactérias presentes é conhecida pelo nome de decaimento bacteriano e pode ser matematicamente representado por uma equação exponencial que exprime a lei de Chick:

$$D_b = e^{-kT} \quad (3.1)$$

onde,

D_b = decaimento bacteriano.

$K = 2,3/T_{90}$

T = tempo de viagem da pluma (horas).

T_{90} = tempo requerido para abater 90% dos coliformes (horas).

A taxa de redução da densidade é representada pelo parâmetro T_{90} , definido como sendo o tempo necessário para que as populações de bactérias água do mar sejam reduzidas 90%.

Por ser um dos parâmetros mais importantes no problema de disposição oceânica, deve-se calcular o T_{90} a partir de dados experimentais, obtidos “in situ” pela impossibilidade de reproduzir em laboratório todas as condições existentes no mar.

Na medição “in situ”, com mancha artificial, se transporta um volume de 200 litros de esgoto sanitário bruto até o local previsto para a disposição, no primeiro furo do difusor e se mistura com um traçador conservativo, como a rodamina WT. Esta mistura é despejada no meio marinho e se tomam várias amostras no centro da mancha e se mede a concentração inicial tanto do traçador como a densidade dos organismos indicadores, dos enterococcus e dos coliformes fecais.

Usa-se um fluorímetro a bordo para obter medições rápidas para definir concentrações máximas do traçador, isto é, a localização onde devem ser tomadas as amostras para realizar as análises para os organismos indicadores.

As amostras devem ser tomadas a 0,60-0,90 m e aproximadamente 3,00 m abaixo da superfície, no ponto inicial da descarga e nas posições subsequentes nos tempos de 10, 30, 45, 120, 180, e 240 minutos.

Os dados dos indicadores resultantes devem ser corrigidos considerando a diluição física, multiplicando a concentração dos indicadores observada pela razão entre a concentração inicial do traçador e a concentração do traçador observada a qualquer momento.

Uma linha reta de melhor correlação com os dados se desenha em um gráfico semi-logarítmico de dados modificados dos indicadores versus tempo, assim podendo ler o valor de T_{90} .

3.8 A estabilidade da linha de costa – a dinâmica do litoral

Na análise da possibilidade de variações da linha da costa, devem ser considerados dois aspectos diferentes:

A estabilidade longitudinal da linha da costa e a estabilidade transversal do perfil da praia.

Deve ser analisada a possibilidade de variações do perfil da praia e da possível instabilidade da orla do mar. A variação da configuração da linha da costa deve ser estudada não só a longo prazo como também a curto prazo (ZEE, 2002).

A linha de costa varia de acordo com as condições de ondas ao largo.

A forma do perfil perpendicular à linha de costa varia em função das mudanças nas condições hidrodinâmicas na área. Nas tempestades os sedimentos são levados para águas profundas e nas condições de tempo mais calmas, os sedimentos são transportados gradualmente de volta para a costa.

A variação do perfil é muito importante tanto no caso de enterramento da tubulação como no caso de construção de pier, na zona de arrebentação.

4 METODOLOGIA PROPOSTA PARA EMISSÁRIOS DE PEQUENO PORTE

O projeto de sistema simplificado de sistema de disposição oceânica é composto do projeto hidráulico e do projeto estrutural.

O projeto hidráulico é aquele que se refere a tudo que é relativo ao transporte do esgoto sanitário e o projeto estrutural refere-se à estabilidade da tubulação assentada no leito do mar.

4.1 Projeto Hidráulico - Bases técnicas adotadas na metodologia proposta

O projeto adequado de um sistema de disposição submarina pode obter diluições suficientes da descarga de esgotos sanitários para reduzir as concentrações de contaminantes a níveis geralmente estabelecidos como normas de qualidade de água.

Uma diluição mínima de 100:1 é comum, permitindo que a alternativa de um emissário submarino supere às estações de tratamento convencionais, já na parte inicial.

Existem vários mecanismos que controlam as características de diluição de um emissário submarino. Estes mecanismos usualmente se consideram em três fases:

- Diluição Inicial que ocorre durante os primeiros minutos ao sair o efluente do emissário e subir na coluna d'água recipiente,
- Transporte e Dispersão Horizontal do campo de efluente,
- Reações químicas que ocorrem nas águas do mar.

Para o descarte do esgoto sanitário o mecanismo de maior importância para o projeto é o desaparecimento de indicadores como coliformes fecais.

Três fenômenos afetam a diluição inicial: a mistura causada pelo impulso do efluente ao sair do emissário, a força ascendente causada pela diferença da densidade entre o efluente e a água do mar que faz com que o campo do efluente suba na coluna d'água estendendo o processo e, assim, misturando-se com a água do mar, e finalmente o efeito da corrente marinha que causa uma mistura lateral da água do mar no campo do efluente.

O campo do efluente pode chegar até a superfície ou chegar a um nível submerso, dependendo do grau de estratificação da coluna d'água.

4.1.1 Diluição inicial

Inicialmente Norman H. Brooks, em 1983, desenvolveu um modelo que estima a diluição inicial que se pode obter em função de parâmetros de profundidade, diâmetro,

velocidade de saída e diferenças de densidade. Posteriormente, Roberts et al., (1989) desenvolveram um modelo (RSB) que permite estimar a diluição inicial para diferentes estruturas de correntes, com ou sem estratificação.

O projeto adequado do difusor do emissário submarino é crítico para alcançar o nível desejado de diluição.

O comprimento, a profundidade e a orientação assim como a área e o espaçamento entre os orifícios de descarga são parâmetros do projeto e S_m é a diluição inicial mínima.

Neste modelo consideram-se os seguintes parâmetros:

-Frequência de boiância N

$$N = (g / \rho_a \cdot d\rho/dz)^{1/2}, \quad (4.1)$$

sendo,

$d\rho$ = diferença entre massa específica da água da superfície e a massa específica do água do fundo

ρ_a = massa específica do corpo receptor

g = aceleração da gravidade

-Elementos que caracterizam a descarga através da unidade de comprimento da tubulação difusora:

$$\text{-Fluxo de vazão - } q = Q/L, \quad (4.2)$$

sendo:

Q = vazão média,

L = comprimento do difusor

$$\text{-Fluxo de momento - } m = u \cdot q, \quad (4.3)$$

Sendo:

u = velocidade da corrente

-Fluxo de boiância - $b = g^0 \cdot q$,

sendo (4.4)

g^0 = aceleração modificada da gravidade e

$$g^0 = g (\rho_a - \rho_0) / \rho_a, \quad (4.5)$$

sendo:

ρ_a = massa específica do corpo receptor

ρ_0 = massa específica do efluente.

Além desses valores, foi definido um número adimensional, como uma variante do número de Froude, sendo referido como o número de Froude-Roberts

$$\text{-Número de Froude-Roberts - } F = u^3/b, \quad (4.6)$$

sendo:

u = velocidade da corrente

b = fluxo de boiância, definido anteriormente.

Para a corrente perpendicular à tubulação, com intensidade moderada a forte, isto é, que não seja ambiente de correntes fracas, chegou-se à seguinte equação:

$$S_m q N/b^{2/3} = 2,19 F^{1/6} - 0,52 \quad (4.7)$$

Considerando os outros ângulos de aproximação da corrente à tubulação, os autores sintetizaram o modelo no nomograma da figura 5:

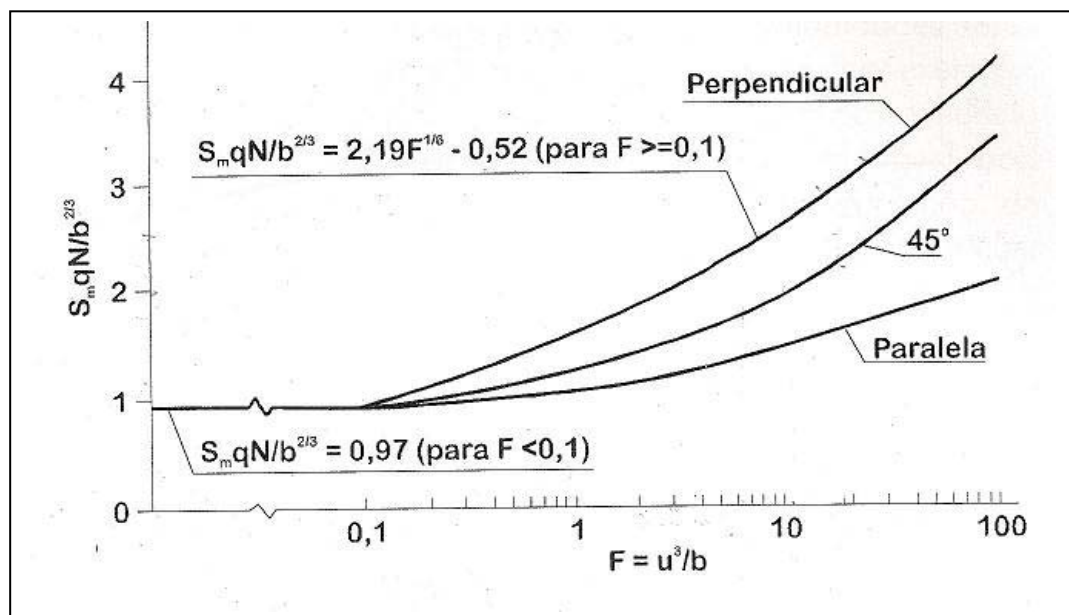


Figura 5 – Diluição Inicial mínima – D1
Fonte: Roberts, Snyder e Baugartner, 1989.

4.1.2 Dispersão horizontal

Dispersão horizontal e transporte são funções de correntes locais e da dispersão turbulenta.

Norman H. Brooks desenvolveu um modelo determinístico que caracteriza adequadamente estes processos para estimar a dispersão horizontal tratando-a como um processo de difusão turbulenta.

Para uma corrente caracterizada pela sua grandeza e direção pode-se então realizar a integração da equação diferencial que representa a difusão turbulenta chegando-se a uma fórmula que fornece a concentração no centro do campo de mistura depois de seu deslocamento durante um tempo t , sob a ação de uma corrente de velocidade u conhecida, ao longo das linhas de fluxo do escoamento.

Esta aproximação pode ser resumida pela seguinte equação:

$$D = \frac{C_0}{C_t} = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{[1+2/3 \beta(x/b)]^3 - 1}}} \quad (4.8)$$

onde:

D_2 = dispersão devido a difusão turbulenta, após a diluição inicial

D_0 = concentração do poluente após a diluição inicial

C_t = concentração máxima do poluente após um tempo t de deslocamento horizontal, em mg/l.

$\operatorname{erf}(x)$ = função do erro padrão do argumento (x)

$\beta = 12E/Vx^b$, número adimensional, onde,

$E = 4,53 \cdot 10^{-4} (b)^{4/3} \text{ m}^2/\text{s}$, b em metros

Vx = velocidade da corrente marinha, em m/s

x = distancia de deslocamento ao longo da linha do centro da pluma, em m.

b = largura do campo inicial, em m. Para a corrente marinha normal à tubulação difusora pode-se tomar b como o comprimento dessa tubulação em metros. Para outras direções relativas da corrente marinha deve-se tomar b como comprimento efetivo da tubulação difusora, perpendicular à essa direção.

Como solução da equação do modelo, Metcalf & Eddy apresentaram o nomograma da figura 6:

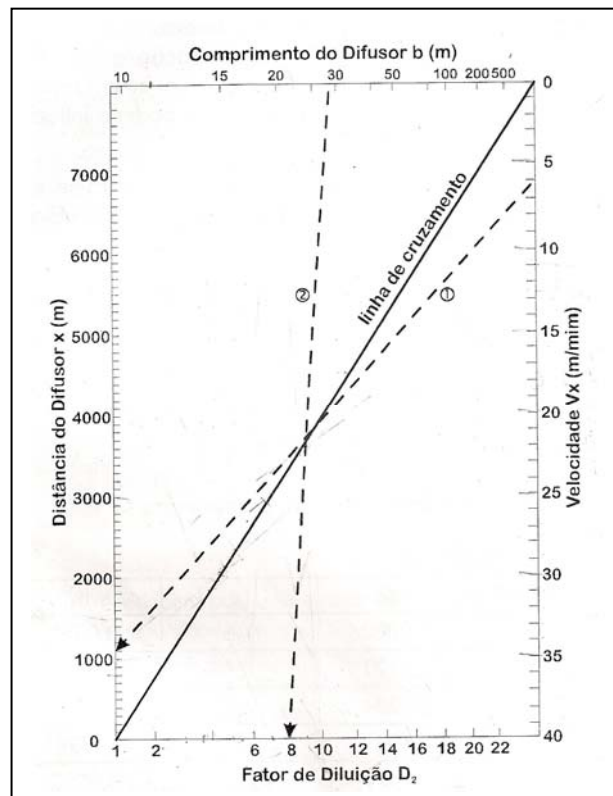


Figura 6 – Dispersão Horizontal – D_2
Fonte: Metcalf & Eddy, 2003

4.1.3 O Decaimento bacteriano

O processo de redução da densidade das bactérias no campo de esgoto é conhecido pelo nome de declínio bacteriano e pode ser matematicamente representado por uma equação exponencial (4.8) que exprime a lei de Chick que faz uma estimativa do desaparecimento dos coliformes para fins do projeto dos emissários submarinos.

$$D_b = e^{-kT}, \quad (4.8)$$

onde:

D_b = decaimento bacteriano

$$K = 2,3/T_{90}$$

T = tempo de deslocamento do campo do efluente até às áreas a proteger, como por exemplo, praias. (horas)

T_{90} = tempo necessário para o desaparecimento de 90% dos coliformes fecais (horas).

A taxa de redução da densidade de bactérias é usualmente representada pelo parâmetro T_{90} , definido como sendo o tempo necessário para que as populações de bactérias na água do mar sejam reduzidas em 90%.

Metcalf e Eddy apresentaram uma solução gráfica para aquela equação (Figura 7).

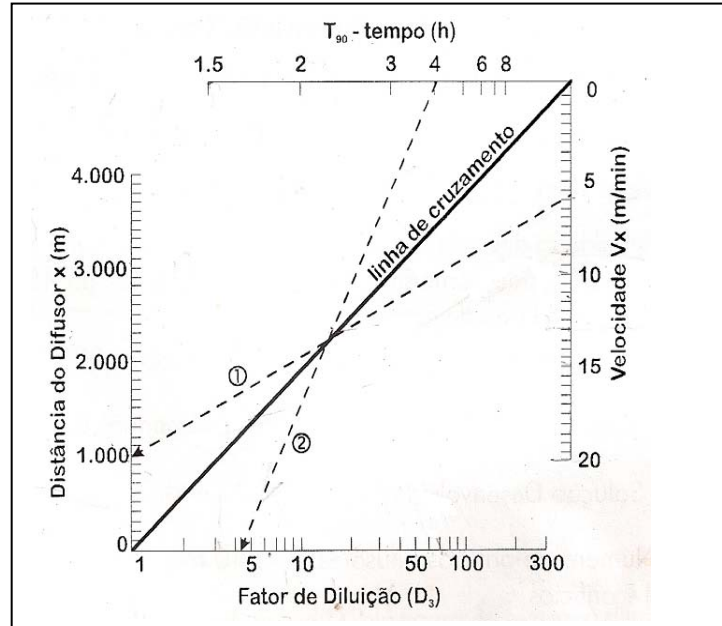


Figura 7 – Decaimento Bacteriano- D_3
Fonte: Metcalf & Eddy, 2003

Ludwig (1988); Topázio (2003) compilaram valores de T90, conforme tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Valores típicos de T90 em vários locais no mundo

LOCALIZAÇÃO	T90 (valores,horas)
Honolulu, Hawaí	0,7 ou menor
Bahia de Mayaguez,Porto Rico	0,7
Ipanema,Rio de Janeiro,Brasil	1,0
Nice, França	1,1
Acra, Gana	1,3
Montevidéu,Uruguai	1,5
Santos, Brasil	0,8 – 1,7
Tel Aviv, Israel	1,0
Triete, Itália	0,5 – 1,5
Orange County, Califórnia	1,5 – 1,7
Maceió, Brasil	1,35
Fortaleza, Brasil	1,30
Salvador, Brasil	1,5

Fonte:Ludwig,R.G., 1988 e Topázio,E.F., 2003

A diluição total obtida como resultado dos tres processos descritos é simplesmente o produto das diluições individuais.

Para as bactérias a redução total é:

$$S_T = S_i \times S_h \times S_b = C_0/C_T \quad (4.10)$$

onde:

S_T = Diluição total

S_i = Diluição inicial

S_h = Diluição horizontal

S_b = decaimento bacteriano

C_0 =Densidade inicial de coliformes no esgoto

C_T = Densidade de coliformes depois de T horas

A diluição inicial e o decaimento bacteriano usualmente são muito mais significativos que a dispersão horizontal.

A seguir, exemplos típicos:

S_i : 50 - 200

S_h : 2 - 3

S_b : 500 - 10.000

S_T : 5×10^4 - 6×10^6

4.1.4 Condicionamento prévio.

A unidade de condicionamento prévio é composta por grade, peneiras, caixa de areia, calha Parshal e a chaminé de equilíbrio, sendo que no Rio de Janeiro, para atender a legislação, é necessário acrescentar um decantador primário.

A chaminé de equilíbrio funciona como uma divisória, entre o trecho de tubulação no qual o efluente é recalcado (bombeado) e o trecho que o efluente é encaminhado para o emissário submarino por gravidade.

A chaminé de equilíbrio proporciona melhores condições operacionais, assegurando a carga manométrica necessária para encaminhar o esgoto por meio do seu acúmulo de volume.

Outra função importante é evitar o chamado “golpe de aríete”, que pode ocorrer quando da queda repentina do plano de carga, com a parada do sistema de bombeamento, além de assegurar que não ocorra um possível retorno do efluente quando operado em baixas vazões e em maré alta.

Ela é muito importante no caso de utilização de tubos de PEAD, pois evita a entrada de ar e impede a tubulação de uma possível flutuação não desejada.

4.1.5 Cálculo do difusor

Para o dimensionamento do difusor, a principal parte do sistema de disposição oceânica, algumas premissas devem ser consideradas:

a) Espaçamento dos orifícios.

Liseth,P.(1976) em “Waster disposal by submerged manifolds” determinou que a diluição máxima é obtida quando o espaçamento entre furos apresenta valores entre 1/5 a 1/10 da altura da coluna do campo de misturação.

b) Área dos orifícios.

O conjunto das áreas dos orifícios não deve ultrapassar 80% da área do tubo do emissário, sabendo-se que o valor ótimo deve ficar entre 33% e 66%. O diâmetro de cada orifício depende do tipo do condicionamento prévio do esgoto sanitário, para evitar entupimentos.

c) Velocidade do efluente nos orifícios.

Deve estar acima da velocidade no tubo, com vazão mínima.

d) Vazão unitária.

Deve ficar entre 11,0 l/s.m, indicado como máximo por Metcalf & Eddy e 7,0 l/s.m, indicado por Ludwig(1978) e Wilkinson, D.L. (1997).

4.1.6 Modelo adotado para a simulação do transporte do campo de esgoto

Considerando que o trabalho refere-se a emissários de pequeno porte, adotou-se um modelo simplificado, pois de acordo com o Gunnerson,C.G.(1988)-Wastewater Management for Coastal Cities-The Ocean Disposal Option-World Bank Technical Paper nº 77, em geral somente projeto de grande emissário submarino justifica o uso de uma modelagem numérica com grande complexidade.

O modelo de transporte que foi utilizado para verificação de atendimento das condições e padrões exigidos pela Resolução Conama 274/2000, relativa à balneabilidade, teve por base o modelo probabilístico de dispersão horizontal para determinar a frequência de visitação do campo de esgoto à determinadas áreas no entorno do emissário, concebido por R.M.Towill Corp (Gonçalves,F.B.e Souza,A.P., 1997).

Neste trabalho, a simulação do escoamento da pluma do esgoto lançado por emissário submarino considerada para o estudo da probabilidade desse alcançar a faixa de balneabilidade de uma praia utilizará no modelo de transporte o mesmo conceito de campo de correntes marinhas homogêneo, isto é, todo o campo é formado por partículas e possui as mesmas oscilações em direção e intensidade.

4.1.7 Desenvolvimento do programa computacional SURF–Sistema Utilitário com Referencial Flutuante

No âmbito do trabalho foi desenvolvido um programa computacional como ferramenta para análise do comportamento do campo de esgoto no atendimento aos padrões de balneabilidade e verificação da eficiência do sistema de disposição oceânica.

Este programa é o SURF - Sistema Utilitário com Referencial Flutuante.

Com base no conceito de um campo espacialmente homogêneo, em que se respalda o modelo de transporte do campo de esgoto, no comprimento do emissário, na diluição inicial, na dispersão no campo de correntes, no decaimento bacteriano nas águas marinhas da região e no tempo de deslocamento do campo de esgoto em direção à linha de costa, desenvolveu-se programa computacional que analisa os casos possíveis de ocorrências em relação ao atendimento dos padrões de balneabilidade, relativos às densidades dos organismos indicadores, calculando a probabilidade de se atingir a faixa protegida com aquela densidade padrão, verificando assim se atende ou não as condições de balneabilidade exigidas.

Na medição dos dados das correntes marítimas, suas velocidades e direções, os equipamentos utilizados as registram, geralmente, a cada 15 minutos e são obtidas as intensidades das correntes decompostas nos eixos NS (norte-sul) e no eixo EO (este-oeste). São consideradas positivas as decomposições no sentido norte-sul e no sentido este-oeste. São consideradas negativas as decomposições no sentido sul-norte e no sentido oeste-este. Esta convenção foi definida considerando a conformação da linha de costa do Brasil, preponderantemente voltada para o este.

Admite-se que a campanha das medições das correntes realizada conforme aqui definida seja uma amostra válida do campo de correntes.

Essas componentes são então projetadas no eixo do emissário submarino, sendo α o ângulo formado entre o eixo do emissário e o eixo este-oeste.

O vetor com sinal positivo significa que a partícula se desloca no sentido para a praia e com sinal negativo significa que a partícula se afasta da área a proteger.

A cada período de medição o programa calcula a distância percorrida pela partícula e o tempo gasto para percorre-la.

Na figura 8 apresenta-se a disposição do emissário em planta e a situação dos eixos referenciais usados no processamento dos dados

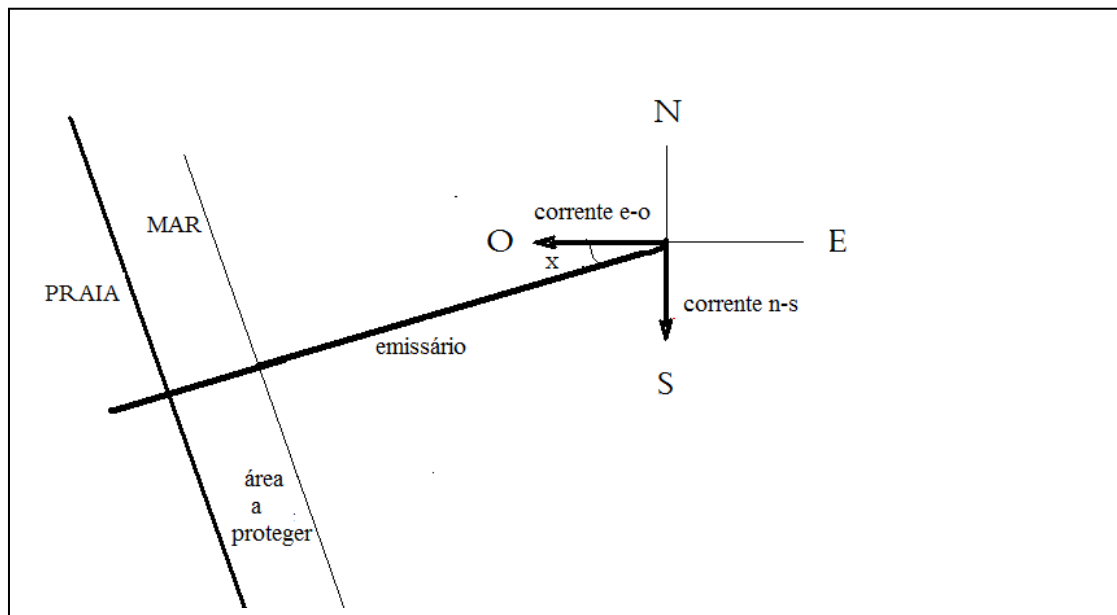


Figura 8 - Disposição do emissário submarino em planta e situação dos eixos referenciais

Apresenta-se a seguir a tabela 7 que mostra a ordem de grandeza de parte dos dados de correntes levantados numa campanha, em um ponto fixo do litoral onde se pretende implantar a tubulação do emissário.

Tabela 7 - Dados oceanográficos (correntes) levantados no local onde se pretende implantar o emissário submarino

DATA dd/mm/aa	HORA hh/mm/ss	NS-COR cm/s	EO-COR cm/s
01/04/95	00:02:04	57	6
01/04/95	00:17:04	83	13
01/04/95	00:32:04	16	13
01/04/95	00:47:04	97	11
01/04/95	01:02:04	95	-1
01/04/95	01:17:04	101	1
01/04/95	01:32:04	105	11
01/04/95	01:47:04	108	19
01/04/95	02:02:04	11	24
01/04/95	02:17:04	98	22
01/04/95	02:32:04	84	28
01/04/95	02:47:04	80	21
01/04/95	03:17:04	62	24
01/04/95	03:32:04	50	22
01/04/95	03:47:04	27	9

Fonte: Gonçalves, F.B.e Souza,A.P., 1997

Na simulação utiliza-se um modelo de transporte simplificado interligando-o com os processos de diluição do poluente e o tempo necessário para a obtenção do padrão de balneabilidade que se deseja.

As componentes das velocidades de correntes observadas, mostradas na tabela 4.2 são os valores utilizados no programa SURF para o estudo das condições de balneabilidade.

Na simulação é comparado o tempo de deslocamento da partícula em direção à área a proteger com o tempo necessário para obter a redução colimétrica desejada.

Também é comparada a distância percorrida da partícula com o comprimento que existe entre a área a proteger até o primeiro furo do difusor do emissário.

A seguir apresenta-se a planilha de trabalho, na figura 9, a interface do programa Surf.

No programa, após serem realizados os cálculos dos deslocamentos das partículas durante cada medida, é executado o processamento desses dados para verificação do atendimento da condição de balneabilidade

INSTANTE (HORAS)	DISTÂNCIA PERCORRIDA (M)	INTERVALO DE VERIFICAÇÃO (H)	LIMITES		NUMERO DE OBSERVAÇÕES (Nobservações)	OCORRENCIAS FORA DOS LIMITES (Nocorrências)	Nocorrências/Nobservações %
			TEMPO (H)	DISTANCIA(M)			
0	0	0,25	2	900	10716	2871	Máx=20% 27
0,25	303	PROCESSAR					
0,5	475						
0,75	173						
1	522						
1,25	420						
1,5	462						
1,75	558						
2	634						
2,25	-138						
2,5	612						
2,75	596						
3	524						
3,25	466						
3,5	396						
3,75	192						
4	52						
4,25	155						
4,5	40						
4,75	55						
5	110						
5,25	141						
5,5	93						
5,75	147						

Figura 9 - Interface do programa SURF com os dados de correntes introduzidos.

Para a planilha são transferidos todos os dados de correntes obtidos na campanha e calculados os deslocamentos da partícula em cada medida.

Nos campos da planilha de trabalho, figura 4.5, são introduzidos os limites de tempo e de distância:

- Campo LIMITES-TEMPO(H): tempo obtido para redução colimétrica desejada,
- Campo LIMITES-DISTÂNCIA(M): distância entre o primeiro furo do difusor, mais próximo da praia, até o limite da faixa a proteger.

Também é introduzido, no campo INTERVALO DE VERIFICAÇÃO, o intervalo de tempo de cada medida da corrente, normalmente 0,25 h.

O programa verifica e computa os casos que ocorrem.

Os casos possíveis de ocorrências são os seguintes:

$$1^{\circ} \text{ caso: } \sum t_i \geq T \quad \text{e} \quad \sum e_i < E$$

$$2^{\circ} \text{ caso: } \sum t_i \geq T \quad \text{e} \quad \sum e_i \geq E$$

$$3^{\circ} \text{ caso: } \sum t_i < T \quad \text{e} \quad \sum e_i < E$$

$$4^{\circ} \text{ caso: } \sum t_i < T \quad \text{e} \quad \sum e_i > E,$$

sendo:

t_i = tempo de deslocamento da partícula durante cada registro.

e_i = componente do deslocamento da partícula durante o tempo de cada registro, projetado no eixo do emissário submarino.

T = tempo necessário para obter a redução colimétrica desejada.

E = comprimento do emissário, entre o 1º furo do difusor ao limite da faixa a proteger, o programa analisa:

As ocorrências dos 1º, 2º e 3º casos são favoráveis e as do 4º caso são desfavoráveis.

1º caso: $\sum t_i \geq T$ e $\sum e_i < E$, significa que já houve tempo para a redução colimétrica e a pluma ainda não alcançou o limite da área a ser protegida.

2º caso: Se $\sum t_i \geq T$ e $\sum e_i \geq E$, significa que já havia tido tempo para a redução colimétrica quando a pluma alcançou o limite da área a ser protegida.

3º caso: $\sum t_i < T$ e $\sum e_i < E$, significa que não houve tempo para a redução colimétrica mas a pluma ainda não alcançou o limite da área a ser protegida.

4º caso: $\sum t_i < T$ e $\sum e_i > E$, significa que não houve tempo para a redução colimétrica e a pluma já alcançou o limite da área a ser protegida.

Após o processamento do programa, se a soma dos tempos referentes aos casos favoráveis for no mínimo 80% do tempo total, conclui-se que o projeto em questão estará atendendo o padrão da balneabilidade referente à colimetria, caso contrário é necessário aumentar o comprimento do emissário.

4.2 Projeto Estrutural - Estabilidade do emissário no fundo do mar

A estabilidade do emissário submarino no fundo da mar é alcançada através da ancoragem e esta é determinada sob duas condições.

A primeira consideração é o lastro necessário para evitar a flutuação e prevenir o movimento horizontal devido às correntes marinhas nas áreas fora da zona de arrebentação das ondas.

A segunda é prevenir o movimento da tubulação dentro da zona de arrebentação durante as piores condições de uma tormenta.

4.2.1 A importância das forças hidrodinâmicas

O sucesso de um emissário submarino, na parte estrutural, está baseado no conhecimento que o projetista tem das forças hidrodinâmicas do oceano que vão atuar sobre o emissário durante a sua vida de projeto.

Erros de uma adequada avaliação dessa forças no projeto e na construção tem sido possivelmente a causa principal nos insucessos de construção de emissários submarinos.

As forças que atuam em um emissário submarino são as devidas às correntes, às ondas não quebrando e às ondas quebrando.

As devidas às correntes podem ser forças de arrasto e de elevação e as devidas às ondas podem ser de arrasto, de elevação e de inércia.

Forças de correntes e de inércia são as mais importantes forças que devem ser consideradas no projeto de emissários submarinos.

Insucessos têm sido associados a deslizamentos laterais da tubulação devido ao insuficiente peso de ancoragem para resistir às forças horizontais (de arrasto) e de elevação induzidas pelas correntes e ondas.

Geralmente, a seção do emissário submarino que está situada na zona de arrebentação está sujeita a uma maior solicitação externa.

Em alguns casos, as forças exercidas nesta zona são suficientemente fortes de modo que o emissário precisa ser enterrado, ancorado por blocos de rocha, ou então ser levado até fora da zona por um pier.

Pelas primeiras razões é prática comum usar uma espessura do tubo maior.

A definição da zona de arrebentação é feita em função da altura da onda quebrando e da inclinação do leito do mar. Estes elementos são obtidos durante o estudo do regime das ondas.

Para as praias com inclinação suave do leito do mar é usual considerar que a relação entre a altura da onda quebrando e a profundidade na qual ela quebra é 0,78. Esta altura de onda pode ser considerada como sendo 1,8 vezes a altura significativa da região, sendo a altura significativa a média do terço superior das maiores ondas registradas.

4.2.2 Determinação das forças

A – Forças devidas às correntes

$$F_{a_c} = C_a \frac{1}{2} \gamma V^2 \sin^2 \alpha D \quad (4.11)$$

$$F_{e_c} = C_e \frac{1}{2} \gamma V^2 \sin^2 \alpha D \quad (4.12)$$

onde:

F_{a_c} = Força de arrasto devida à corrente, por metro de tubulação.

F_{e_c} = Força de elevação devida à corrente, por metro de tubulação.

C_a = Coeficiente de arrasto

C_e = Coeficiente de elevação

γ = densidade da água do mar

V = Velocidade da corrente

D = Diâmetro externo da tubulação

α = Ângulo formado entre eixo da tubulação e a direção da corrente

Os coeficientes são obtidos através dos diagramas (figuras 10 e 11), adaptados para emissários de pequeno porte, apresentados a seguir, onde Re é o número de Reynolds (MANUAL PIPELIFE NORGE E A. S., 2002).

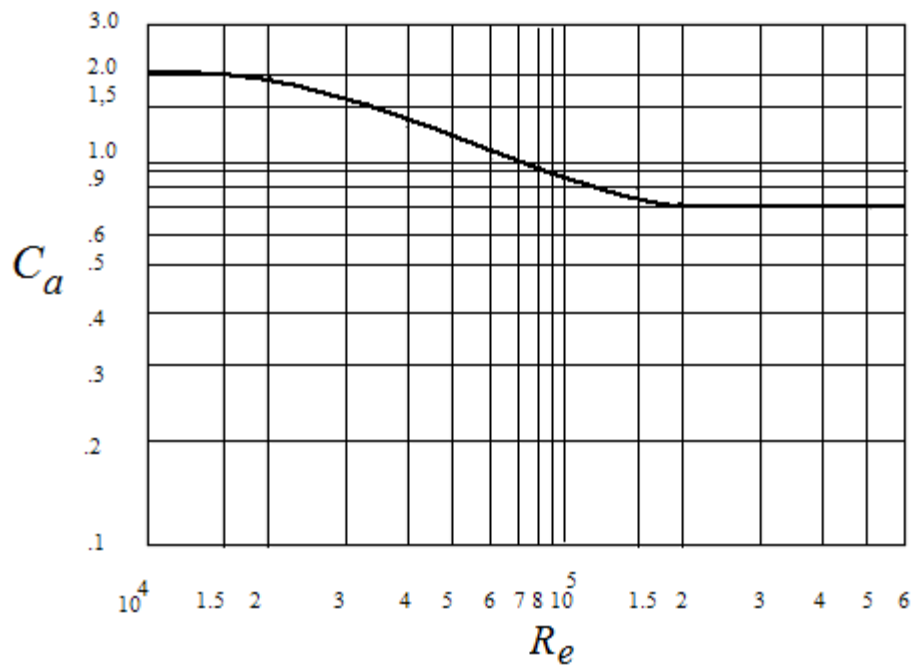


Figura 10 - Coeficiente de arrasto
 Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

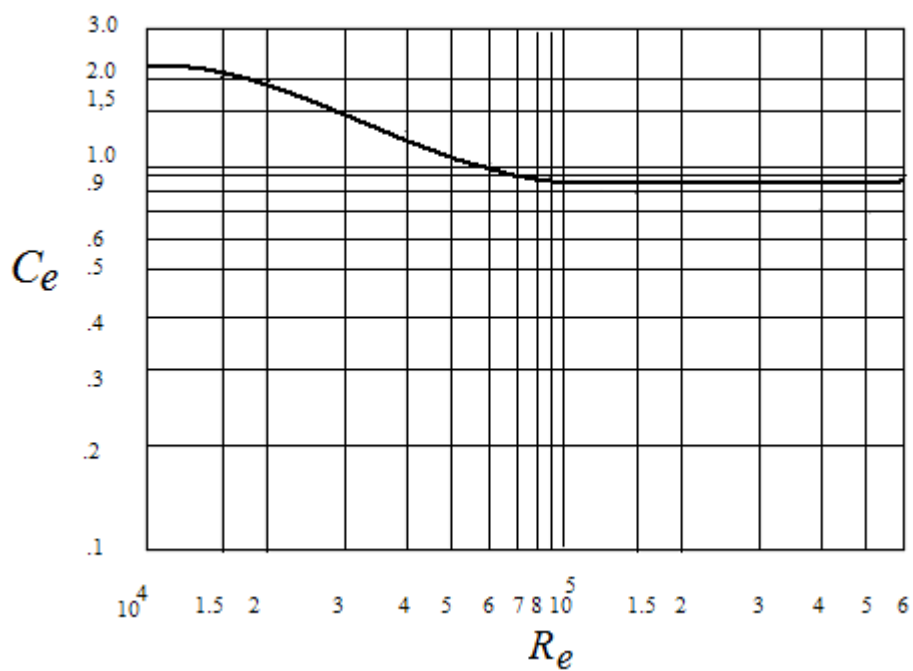


Figura 11 - Coeficiente de elevação
 Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

A força de elevação diminui à medida que aumenta a distância entre o fundo do mar e a tubulação. Para a distância de $0,5 D$ a força é aproximadamente 10% da que ocorreria caso a tubulação repousasse no leito.

B – Forças devidas às ondas não quebrando.

Estas forças atuam na zona em que o movimento das ondas toca o fundo do mar, o que ocorre quando a profundidade for igual à metade do comprimento da onda ($h < L/2$) e são elas:

$$F_{a_0} = C_a f^2 \gamma \pi D^2/4 H_0/L_0 H_0/D \quad (4.13)$$

$$F_{e_0} = C_e f^2 \gamma \pi D^2/4 H_0/L_0 H_0/D \quad (4.14)$$

$$F_{i_0} = \pi C_i f \gamma \pi D^2/4 H_0/L_0 \quad (4.15)$$

onde:

F_{a_0} = Força de arrasto devida à onda, por metro de tubulação.

F_{e_0} = Força de elevação devida à onda, por metro de tubulação.

F_{i_0} = Força de inércia devida à onda, por metro de tubulação.

C_a = Coeficiente de arrasto; C_e = Coeficiente de elevação; C_i = Coeficiente de inércia

γ = peso específico da água do mar.

D = Diâmetro externo da tubulação.

H_0 = Altura da onda em águas profundas.

L_0 = Longitude da onda em águas profundas.

f = Coeficiente de refração.

α_0 = ângulo entre direção da velocidade da onda e a perpendicular à linha de costa.

β = ângulo entre a tubulação e a perpendicular à linha de costa.

Valores práticos dos coeficientes são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes de força para as ondas não quebrando

Coeficiente	Distância tubo ao fundo = 0	Distância tubo ao fundo > D/4
C_i	3,3	2
C_a	1	0,7
C_e	2	0,4

Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

Através do diagramas (figuras 12, 13 e 14) apresentados a seguir, determina-se o valor de f .

Obs.: Como há uma defasagem entre as forças, elas nunca se dão simultaneamente, no cálculo da ancoragem utiliza-se a maior entre a força de arrasto e a força de inércia, anteriormente referidas.

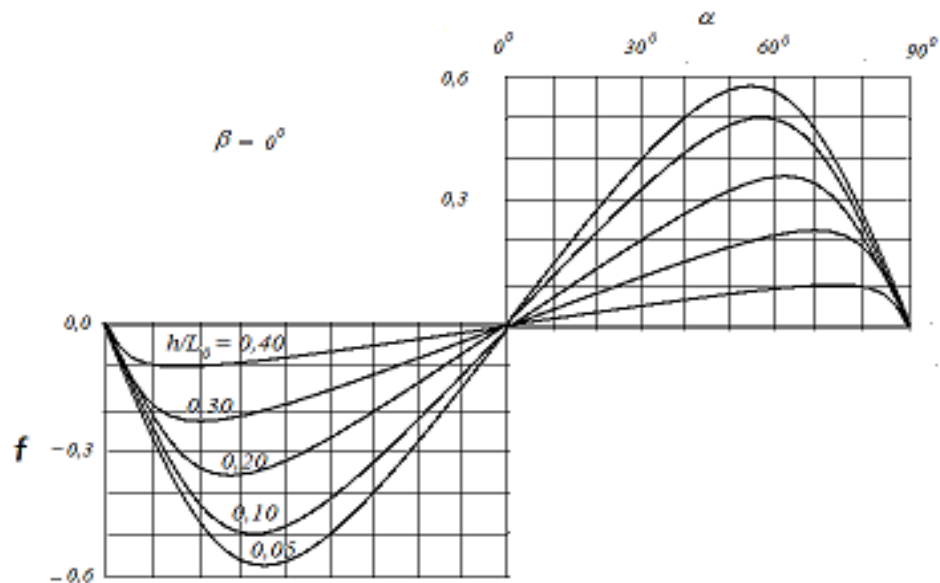


Figura 12 – Fator de refração para $\beta=0^\circ$
Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

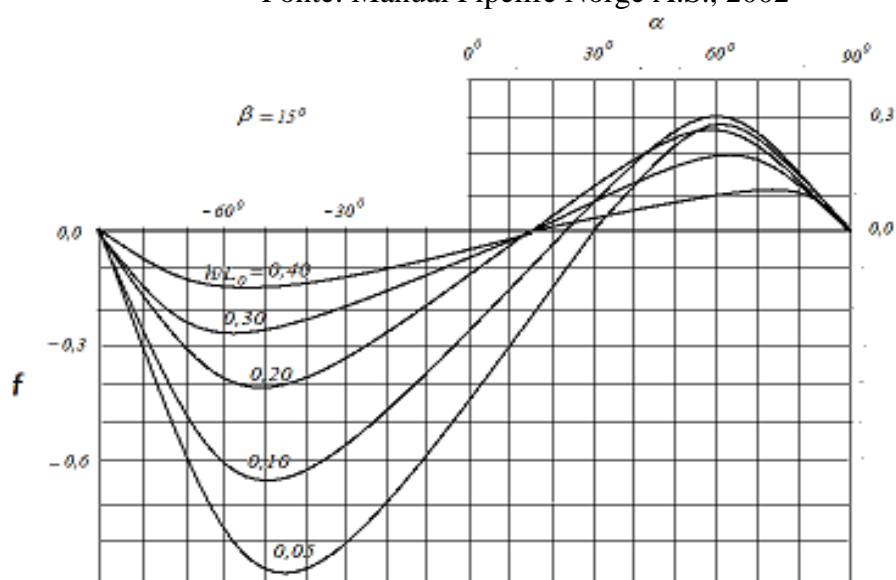


Figura 13 – Fator de refração para $\beta=15^\circ$
Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

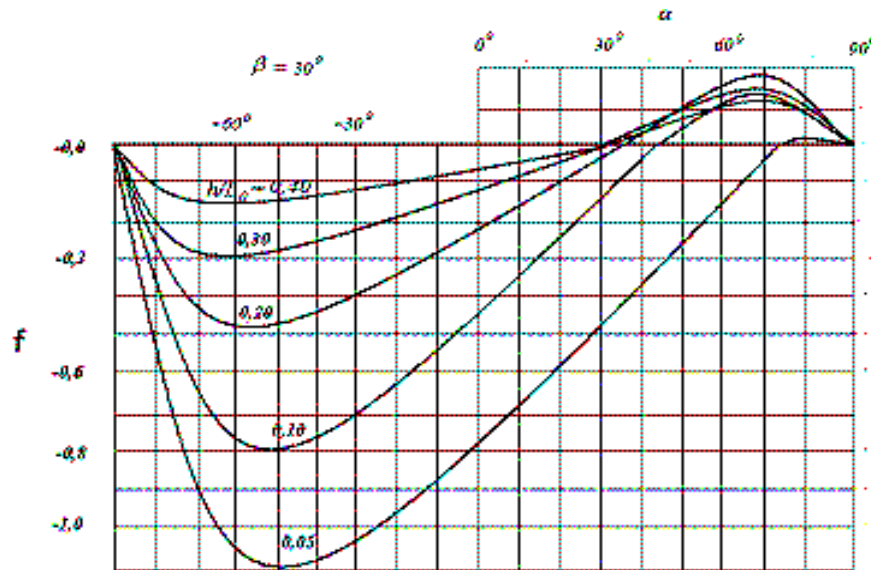


Figura 14 – Fator de refração para $\beta=30^\circ$
 Fonte: Manual Pipelife Norge A.S., 2002

C - Forças devidas às ondas quebrando.

Nos estudos realizados por Grace; Castiel (1975) -“Non-breaking and Breaking Wave Forces on Pipelines”- Proceedings, Civil Engineering in the Oceans III, University of Delaware, Newark e por Grace (1978) foram determinadas as relações entre os valores das forças devidas às ondas quebrando e os valores das forças devidas às ondas não quebrando. Essas forças eram compostas por força de arrasto e por força de elevação.

Os valores médios encontrados foram da ordem de 1,2 e 0,8 para as relações das respectivas forças de arrasto e de elevação. Entretanto, após a análise dos valores encontrados nos ramos da direita das curvas de distribuição, os valores indicados foram:

α_a = coeficiente de proporcionalidade entre as forças de arrasto = Força de arrasto onda quebrando (F_{aoq}) /Força de arrasto onda não quebrando = 2,0

α_e = coeficiente de proporcionalidade entre as forças de elevação (F_{eoq}) =Força de elevação onda quebrando/Força de elevação onda não quebrando = 1,2.

Assim, as forças devidas às ondas quebrando são:

$$F_{aoq} = 2 F_{ao} \quad (4.16)$$

$$F_{eoq} = 1,2 F_{eo} \quad (4.17)$$

sendo:

F_{aoq} = força de arrasto da onda quebrando;

F_{eoq} = força de elevação da onda quebrando

F_{ao} = força de arrasto da onda não quebrando;

F_{eo} = força de elevação da onda não quebrando

Para cálculo de F_{ao} e F_{eo} , ver fórmulas (4.13) e (4.14)

4.2.3 Ancoragem.

Para a determinação do peso do bloco de ancoragem e do espaçamento entre eles são analisadas as condições de equilíbrio das forças verticais e das forças horizontais.

1 – Equilíbrio das forças verticais:

Condição de equilíbrio vertical:

$$F_n = W_{cw} + W_w + W_p - F_b - \sum F_e \quad (4.18)$$

onde:

F_n = força normal, por metro de tubulação, contra o fundo marinho.

W_{cw} = peso submerso, por m de tubulação, do bloco de ancoragem de concreto.

W_w = peso do efluente, por metro, no interior da tubulação.

W_p = peso da tubulação, por m, no ar.

F_b = flotabilidade da tubulação por m.

Zona de arrebentação:

$\sum Fe$ = Somatório das forças de elevação. ($Fe_c + Fe_o + Fe_{oq}$).

Zona fora da arrebentação:

$\sum Fe$ = Somatório das forças de elevação. ($Fe_c + Fe_o$).

$W_{cw} = W_{ca} \cdot (\gamma_c - \gamma_{mar}) / \gamma_c$

W_{ca} = peso do bloco de ancoragem no ar, por metro de tubulação.

γ_c = peso específico do concreto.

γ_{mar} = peso específico da água do mar.

2 – Equilíbrio das forças na horizontal.

Condição de equilíbrio:

$$F_f > \sum F_a \quad (4.19)$$

onde:

F_f = força de fricção entre o bloco de ancoragem e o fundo do mar.

Zona de arrebentação:

$\sum F_a$ = Somatório das forças de arrasto ($F_{a_c} + F_{a_o} + F_{a_{oq}}$).

Zona fora da arrebentação:

$\sum F_a$ = Somatório das forças de arrasto ($F_{a_c} + F_{a_o}$).

4.2.4 Espaçamento entre os blocos de ancoragem (2ª condição)

A pior condição de tensão nas paredes dos tubos ocorre normalmente durante a instalação da tubulação no leito do mar. Isto é devido a peso dos blocos de ancoragem durante a flutuação e reboque da tubulação. Isto também pode ocorrer devido às forças hidrodinâmicas originadas pelas correntes e também possivelmente devido ao afundamento dos blocos em solo mole, caso existente, do mar.

É importante que a distância entre os blocos de ancoragem não seja grande. As maiores tensões e deflexões na tubulação ocorrem durante o afundamento do emissário para sua instalação no leito do mar.

Para limitar a deflexão a valor inferior a 5% ou a deformação a valor inferior a 1%, o gráfico da figura 15 foi desenvolvido para determinar o máximo espaçamento entre blocos para vários tipos (SDR) do tubo de PEAD.

Assim, após ter sido calculado o espaçamento entre os blocos de ancoragem de acordo com item 4.2.3, deve ser verificado o atendimento dessa 2ª condição.

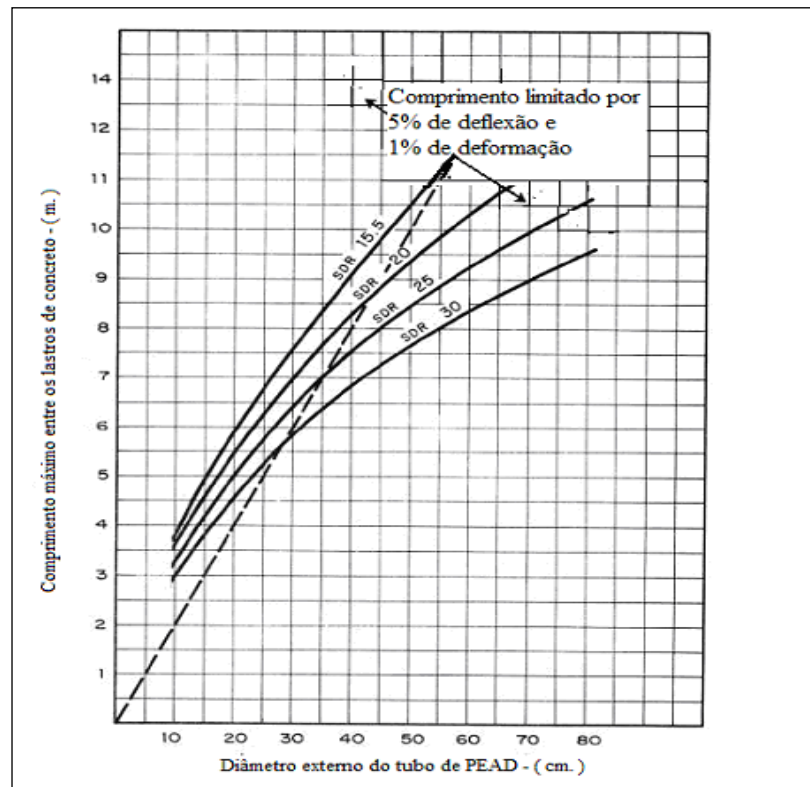


Figura 15 - Espaçamento máximo entre blocos de concreto para as tubulações submarinas de PEAD
Fonte: Reiff., 2002

4.3 Obtenção de dados climáticos e oceanográficos- Metodologia simplificada

Os sistemas de disposição oceânica para as localidades costeiras de pequeno porte podem ser considerados, ambientalmente, pequenos empreendimentos e tem as seguintes características:

- pequenas vazões,
- efluentes sanitários predominantemente domésticos,
- pequena resistência às forças marinhas devido seu pequeno diâmetro.
- perfil densimétrico característico da coluna de água de pouca profundidade.

No Brasil, o Conama, conforme Resolução 237/2008, considera os aterros sanitários para localidades de até 40.000 habitantes como pequenos empreendimentos e na análise ambiental para o licenciamento desses empreendimentos regulamentou procedimentos simplificados, considerando basicamente as dificuldades das pequenas prefeituras em atender o processo convencional.

Considerando como pequeno empreendimento o emissário submarino para até 50.000 habitantes, admite-se algumas simplificações na análise dos dados oceanográficos assim como na metodologia de projeto desses sistemas de disposição.

Na Espanha a legislação federal admite, no caso de localidades pequenas, a adoção para o projeto do emissário, de uma velocidade de corrente pré-determinada. Adota-se a velocidade de 0,20 m/s para o campo de mistura que se desloca do difusor em direção à zona que se quer proteger.

As metodologias para a obtenção dos dados relativos à biocenose, aos dados climáticos, à temperatura e salinidade da água do mar e à dinâmica da linha do litoral são as mesmas do processo convencional descritas anteriormente.

4.3.1 Seleção dos trechos homogêneos ao longo da costa

Durante a elaboração deste trabalho, foi pesquisado e constatado que existem ao longo da costa, em mar aberto, trechos que podem ser considerados homogêneos, em função do comportamento das correntes marítimas existentes na área, isto é, do padrão hidrodinâmico predominante existente. Estes trechos foram selecionados com base nos dados fornecidos pelas publicações “ROTEIROS”, editadas pelo Centro de Hidrografia e Navegação - CHN da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, da Marinha do Brasil, nos estudos da Petrobrás para a Bacia de Campos, consubstanciados no Relatório elaborado pelo Grupo de Oceanografia do Setor de Projetos Navais e Oceanografia da DIPREX e nos estudos do INPH- Instituto de Pesquisas Hidrográficas realizados no Leblon.

Os trechos selecionados no Estado do Rio de Janeiro são:

- 1-Divisa ES/RJ – Cabo de São Tomé.
- 2-Cabo de São Tomé – Cabo Frio.
- 3-Cabo Frio – Ponta de Itaipú.
- 4-Ponta do Arpoador – Ponta Grossa de Marambaia.

5-Ponta de Juatinga – Divisa RJ/SP.

Não foram considerados os trechos relativos às baías da Guanabara, de Sepetiba e da Ilha Grande. As baías da Guanabara e de Sepetiba, pelas velocidades muito pequenas de suas correntes, que contra indicam a disposição oceânica. A baía da Ilha Grande porque, pela complexidade da dinâmica de suas correntes marítimas, necessita de pesquisas específicas para cada local a ser indicado a disposição oceânica.

4.3.2 Correntes para projeto, por trecho homogêneo.

Nos trechos homogêneos, baseando-se nas publicações “Roteiros”, nos dados do Banco Nacional de Dados Oceanográficos, da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil, dos projetos do emissário de Rio da Ostra, do emissário da Barra da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, além de se definir os períodos representativos das campanhas para obtenção dos dados oceanográficos para verificação das condições de balneabilidade, foram obtidas as velocidades e direções das correntes para projeto:

Trecho 1 –(Divisa ES/RJ - Cabo de São Tomé) - velocidade=0,40 m/s com direção SW.

Neste trecho as campanhas oceanográficas deverão ser realizadas na primavera e no verão.

Trecho 2 –(Cabo de São Tomé - Cabo Frio) - velocidade=0,25 m/s com direção NW.

Neste trecho as campanhas oceanográficas deverão ser realizadas no início e no final da primavera.

Trecho 3 –(Cabo Frio – Ponta de Itaipú) - velocidade=0,50 m/s com direção NE.

Neste trecho as campanhas oceanográficas deverão ser realizadas em Agosto e em Outubro.

Trecho 4 –(Ponta do Arpoador - Ponta Grossa de Marambaia) - velocidade=0,30 m/s com direção NE.

Neste trecho as campanhas oceanográficas deverão ser realizadas em Agosto e em Outubro.

Trecho 5 –(Ponta de Juatinga – Divisa RJ/SP) - velocidade=0,25 m/s com direção N.

Neste trecho as campanhas oceanográficas deverão ser realizadas no outono e no inverno.

4.3.3 O relevo e as características do solo marinho

Com base nas cartas náuticas e principalmente nas folhas de bordo, da DHN-Diretoria de Hidrografia e Navegação, deve ser realizado um reconhecimento e descrição do fundo do mar ao longo do perfil longitudinal, analisando os materiais existentes e suas características mecânicas para o estudo de sua resistência considerando a pressão exercida pela ancoragem.

Caso os perfil longitudinal e/ou o perpendicular, por informações dos mergulhadores, sejam muito irregulares, utiliza-se o ecobatímetro.

A natureza do solo marinho é conhecida através de sondagens realizadas pelos mergulhadores permitindo conhecer a natureza do solo marinho e das camadas até 1,50 m. As amostras do solo são coletadas por meio dos “coring tubes” que são tubos a serem enterrados verticalmente no solo marinho.

4.3.4 Regime de ventos e de marés

O regime dos ventos é determinado por meio de anemógrafo de registro contínuo com obtenção das suas intensidades e direções. Também são utilizados os dados obtidos nos arquivos do “Banco Nacional de Dados Oceanográficos” da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Defesa.

Os dados de marés são obtidos na mesma instituição, através das Tábuas de Marés. Estes dados devem ser correlacionados com os estados do tempo, permitindo melhor conhecimento das situações oceanográficas, possibilitando extrapolações para outros períodos.

4.3.5 Regime de correntes marinhas e de ondas

Apesar do regime de correntes ter sido definido durante o estudo dos trechos homogêneos, serão feitas medidas por correntógrafos de medição instantânea, em pequenos períodos e nas épocas definidas naqueles estudos, para verificação do atendimento das condições de balneabilidade e para o estudo da diluição do efluente com consideração das correntes mínimas.

As intensidades das correntes e sua direções definidas anteriormente servirão para o estudo da diluição do efluente e também para o estudo da estabilidade da tubulação assentada no leito do mar.

As medidas poderão ser feitas através de correntógrafos de medição instantânea, mais simples e bem menos onerosos que os usados no processo convencional, tomando-se medições a cada 15 minutos, durante campanha de cinco semanas normalmente na época seca e na época de chuvas. Os valores determinados, intensidades e direções das correntes, serão utilizados no sistema computacional de simulação do transporte do campo de esgoto denominado SURF, para verificação da condição de balneabilidade.

Através do programa determinam-se e somam-se os tempos em que a área a ser protegida foi alcançada pelo campo de esgoto com densidade de coliformes fecais menor que 1.000/100 ml.

Se for maior que 80% do tempo utilizado na campanha, verifica-se que o comprimento do emissário atendeu as referidas condições.

As medições devem ser feitas, pelo menos, a 3 (três) e (cinco) metros da superfície e a 2 (dois) metros do fundo.

Referente às ondas, utilizam-se os dados do “Ocean Wave Statistics”, publicação britânica editada pelo “National Physical Laboratory”, além dos dados da “Global Wave Statistics”, também uma publicação britânica, para a caracterização do clima de ondas da região.

Estes dados da Global Wave Statistics podem ser obtidos através dos sites www.globalwavestatisticsonline.com mediante pagamento que pode ser feito através de cartão de crédito.

Os dados do Ocean Wave Statistics podem ser obtidos através do site www.hmsso.gov.uk, do (HMSO) - Her Majesty's Stationery Office, órgão do governo britânico, em Londres

A região do Rio de Janeiro possui também dados de ondas coletados pela Petrobrás na bacia de Campos, elaborados pelo Grupo de Oceanografia do Setor de Projetos Navais e Oceanografia.

Informações muito importantes relativos às ondas podem ser conseguidos no Banco Nacional de Dados Oceanográficos, da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN, do Comando da Marinha/Ministério da Defesa.

As informações referentes às ondas são utilizadas para se estabelecer as características das ondas ao largo, e daí serem propagadas no sentido do litoral permitindo a obtenção de:

- regime de ondas na zona fora da arrebentação.
- regime de ondas na zona de arrebentação.

4.3.6 Dados relativos ao decaimento bacteriano

Conforme já descrito na metodologia convencional, o parâmetro que representa o fenômeno da redução das bactérias é um dos mais importantes no problema da disposição oceânica

A medição de T90, parâmetro que caracteriza o decaimento bacteriano, necessário para o projeto, pode ser efetuada, pela sua simplicidade e seu baixo custo, pelo método das membranas dialisadoras. Ludwig (1988); Gonçalves; Souza (1997); Occhipinti; Sanchez; Gaglianone (1974) e é indicado pela OMS-Organização Mundial de Saúde para os países em desenvolvimento. Nesta metodologia são utilizados sacos dialisadores nos quais se diluem esgotos sanitários com a água do mar, em proporções que são esperadas depois da diluição inicial, por exemplo 100:1.

Assim, conforme Occhipinti; Sanchez; Gaglianone (1973 e 1974), preparam-se vinte sacos dialisadores individuais com capacidade de 1.000 ml cada, dentro dos quais foram colocadas misturas de água oceanográfica e esgoto bruto fresco na relação 100:1.

São transportados até o ponto que se pretende localizar difusor do emissário submarino, para manter as condições ambientais de temperatura e de luz. Fixam-se os sacos a um suporte parcialmente imerso no mar, à deriva, para ficarem sujeitos às condições de vento, luz solar, ondas, etc, semelhantes às de um campo natural de esgotos.

A cada intervalo de tempo de 15 minutos durante 5 horas retira-se um dos sacos, mantendo-se os demais dentro da água. Divide-se o conteúdo deste saco em três partes, de 300 ml cada, realizando-se a colimetria por triplicata..

Este procedimento reduz substancialmente o custo, elimina o uso do traçador conservativo e reduz o volume necessário de esgoto sanitário.

Os dados obtidos são plotados em gráfico, versus tempo, em papel semilogarítmico. Uma linha reta da melhor correlação com os dados é obtida e se pode ler o valor de T90.

Durante os trabalhos de Occhipinti; Sanchez; Gaglianone foi representada em gráfico log-normal (figura 16) a curva de probabilidade de ocorrência de T-90, desenhada a partir dos dados obtidos nas investigações. Verificou-se que os T-90, em minutos, com excedência entre 20% e 90%, ajustam-se satisfatoriamente a uma distribuição de frequência log-normal, o que facilita escolher essa distribuição para os testes de inferência estatística.

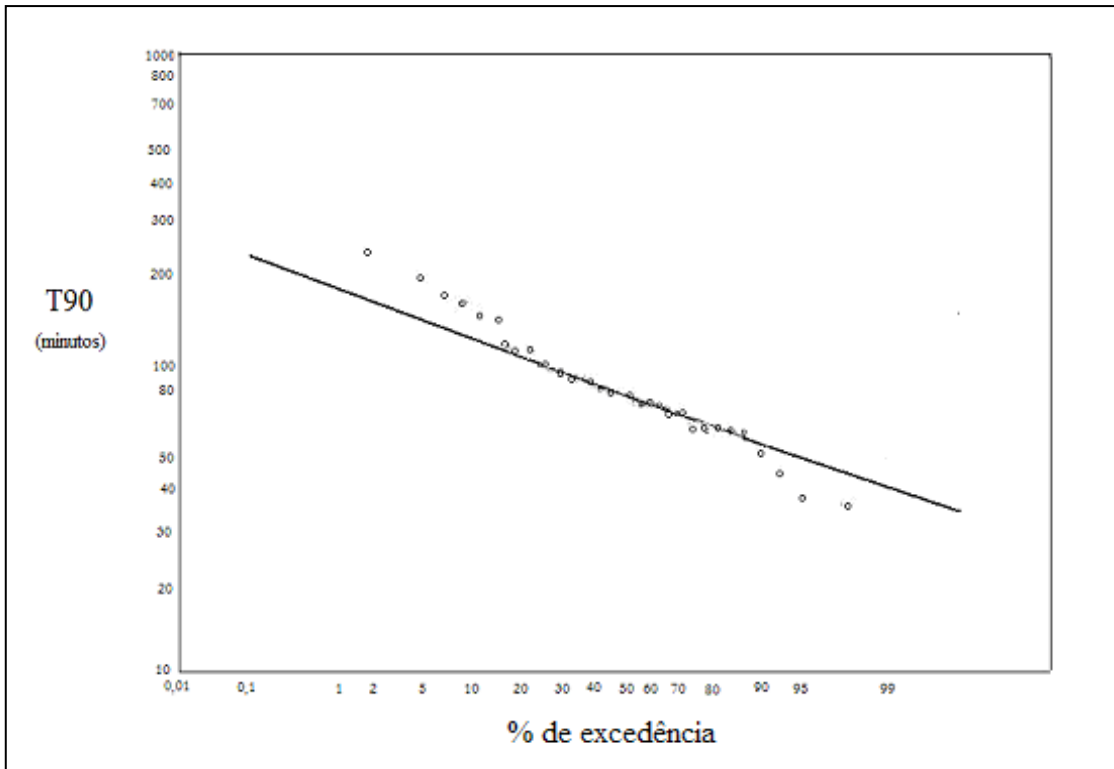


Fig 16 - Probabilidade de ocorrência de T-90 nas águas do litoral santista
 Fonte: Occhipinti,A.G., Sanchez,W. e Gaglianone S.

Na figura 17, esses autores representaram a curva de duração dos T-90 observados, indicando-se os níveis de confiança de detecção de valores excepcionais. Nota-se que 75% dos valores observados caem no intervalo com T-90 entre 53 e 118 minutos, o primeiro excedido em cerca de 90% do tempo e o último em apenas 18% do tempo. Em 70% do tempo, o T-90 varia entre 60 e 120 minutos.

Para todas as experiências realizadas tem-se um T-90 médio de 93 minutos, um desvio padrão de 42 minutos e um coeficiente de variação de 44,3%.

Para as experiências, cujos valores de T-90 estão incluídos no intervalo de maior reprodutibilidade (18 a 88% de excedência), o T-90 médio é de 82 minutos, o desvio padrão é de 17 minutos e o coeficiente de variação, de 20,6%. O T-90 correspondente a 50% de excedência é de 84 minutos.

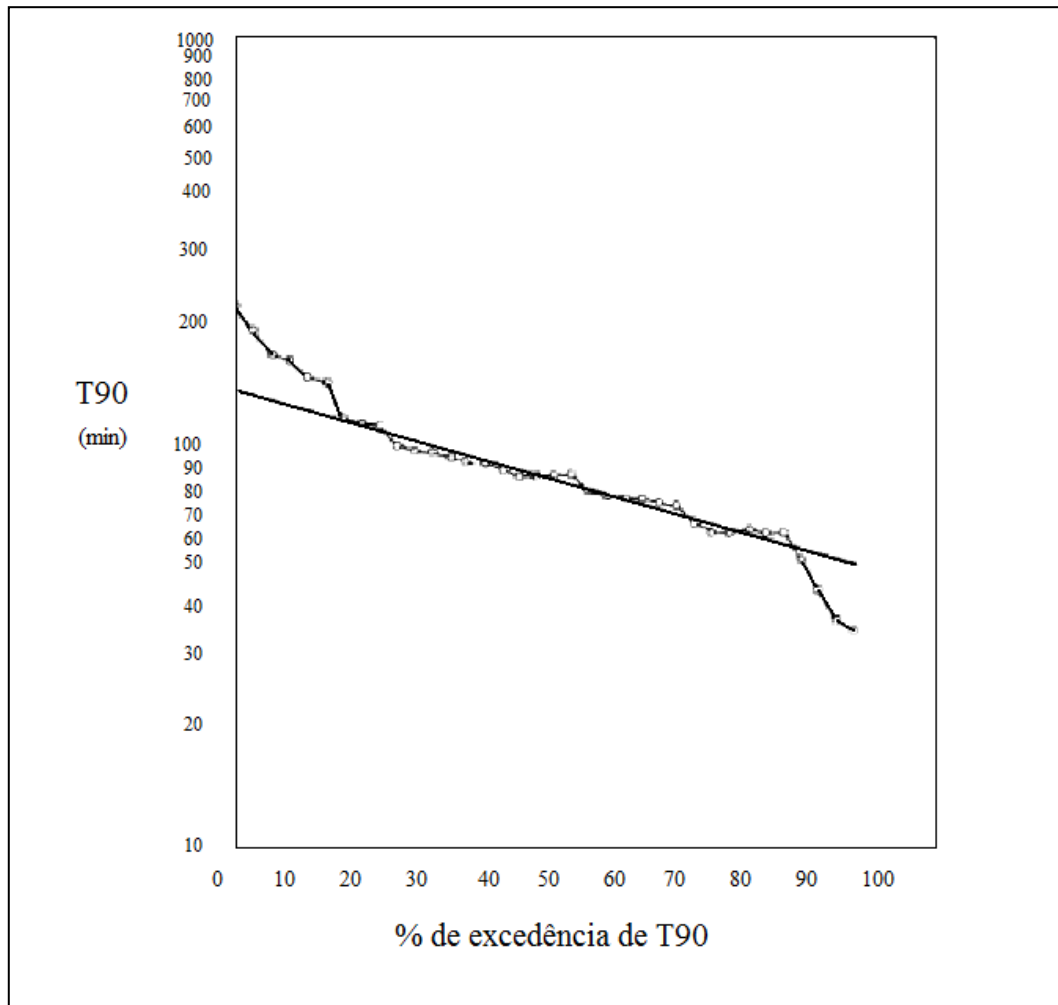


Figura 17 – Curva de duração de T90 nas águas do litoral santista
Fonte: Occhipinti, A.G., Sanchez, W. e Gaglianone S.

5 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS

5.1 Novas Tecnologias – Os tubos de plásticos e métodos de construção

Não faz muito tempo, somente as cidades costeiras médias ou grandes tinham emissários submarinos devido principalmente às dificuldades de sua construção, alto custo dos equipamentos que eram necessários e a falta de profissionais locais devidamente capacitados.

Atualmente com a disponibilidade de materiais plásticos como o PEAD, polietileno de alta densidade, métodos modernos de construção é possível que pequenas comunidades possam dispor de recursos para emissários submarinos relativamente longos e empregar mão de obra local em sua maior parte (REIFF, 2002).

Os benefícios do PEAD já o consagraram também na construção dos emissários submarinos em todo o mundo, inclusive no Brasil. O produto pode repousar diretamente sobre o leito oceânico sem preparo prévio, é mais resistente às forças das correntezas e acompanha as mudanças do leito sem sofrer danos. Além disso, como já foi dito, flutua e pode ser rebocado em longas seções pré-montadas até o local de implantação. Esses tubos encontram-se disponíveis normalmente em comprimentos de 6,12 ou 18m, podendo ser fornecidos em até 500 metros. A empresa Brastubo fabricou, por exigência da Sabesp, em 2009, tubos com comprimento de 1310 m, para duplicação do emissário de Santos.

O polietileno de alta densidade tem as seguintes vantagens:

1-É leve e fácil de manejar. Geralmente um trabalhador é suficiente para manipular barras de 12 metros com 30 cm de diâmetro.

2-As juntas soldadas corretamente são mais resistentes que o próprio tubo em si, o que evita vazamentos nas juntas, devido assentamentos e movimentos laterais da tubulação.

3-É suficientemente flexível para ser instalado facilmente em caminhos tortuosos, evitando a remoção de rochas submersas

4-O método de soldagem dos tubos é suficientemente rápido para permitir completar toda a extensão do emissário submarino em dois ou três dias.

5-O polietileno é imune ao efeito corrosivo da água do mar e ataques de organismos marinhos.

6-A tubulação de PEAD é bastante leve e resistente para ser puxada e posicionada no lugar correto usando pequenos barcos para rebocar e alinhar a tubulação.

7-Se necessário, a tubulação pode ser colocada para flutuar novamente, por injeção de ar comprimido.

A tubulação de PEAD é apropriada para fundos de areia, lodo e pequenas rochas, mas requer pesos externos (usualmente blocos de concreto armado) para mantê-la em seu lugar e impedir que se mova devido às forças hidrodinâmicas.

Também pode ser colocada sobre um leito rochoso desde que a tubulação não repouse sobre pontas de rocha cortantes.

Suas desvantagens são:

a-O PEAD é um material relativamente macio que pode ter sua forma alterada pelas âncoras dos grandes navios que podem se enganchar na tubulação.

b-Nas regiões de forças destrutivas de tormentas, nas zonas de arrebentação, é necessária proteção adicional para envolver os tubos em concreto ou pedras soltas (rip-rap), como acontece para a maioria dos outros materiais usados em tubos de emissários submarinos.

c-Se o emissário tiver bolsa de ar, pode flutuar se houver acumulação de gases.

5.2 Assentamento da tubulação do emissário no leito do oceano

A ancoragem do emissário submarino de PEAD é projetada para flutuar com os blocos de concreto acoplados na tubulação cheia de ar e não flutuar quando estiver cheia de água ou cheia com o efluente.

As figuras 18 e 19 apresentam os esquemas de acoplamento dos lastros na tubulação no seu lançamento no mar.

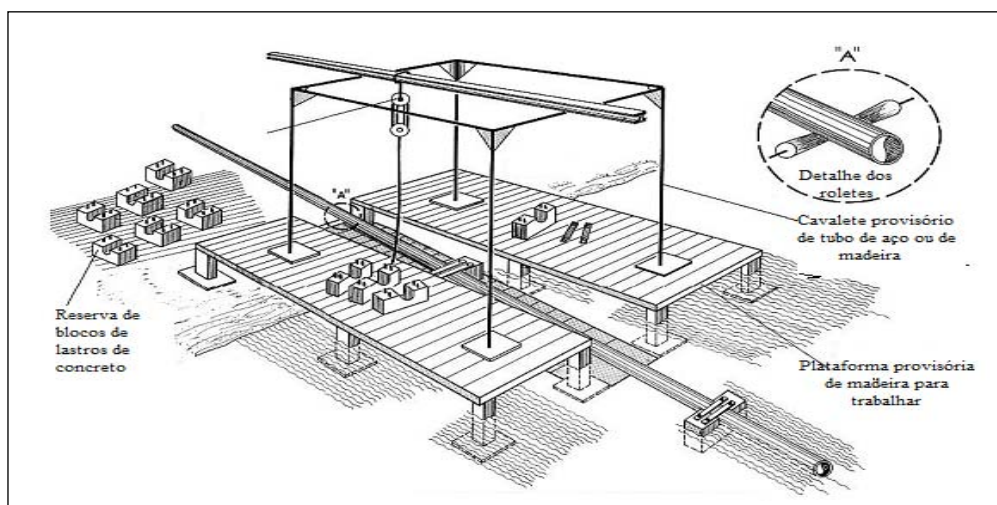


Figura 18 – Esquema de uma plataforma típica de trabalho para acoplar os lastros de concreto no emissário submarino

Fonte: Reiff,F.M., 2002

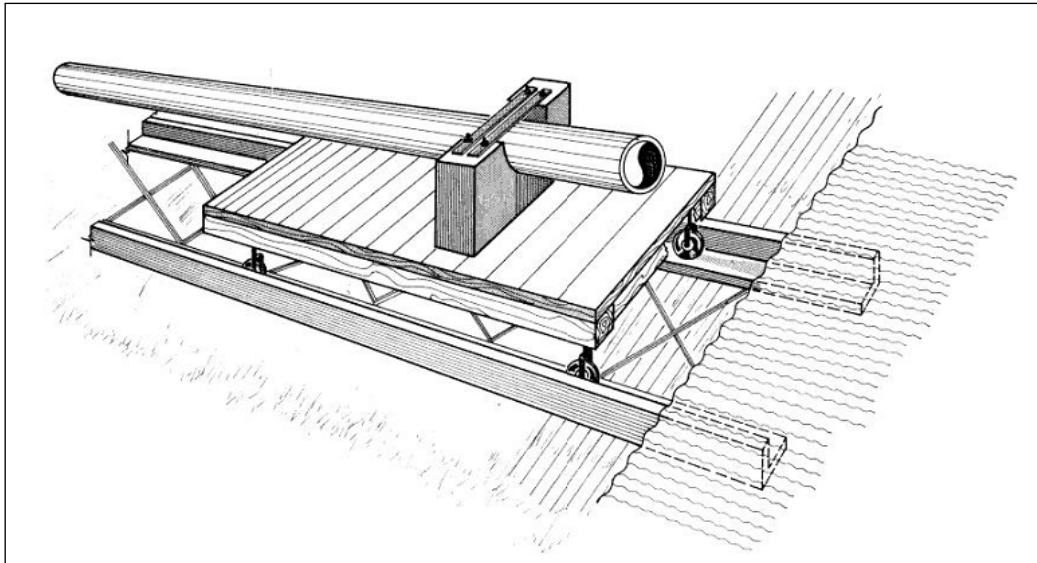


Figura 19 – Esquema de plataforma rodante para acoplar os lastros de concreto na tubulação do emissário submarino
 Fonte: Reiff,F.M., 2002

O ar é retido no interior do tubo por meio de um tampão na sua extremidade final. Neste tampão é acoplada uma válvula de entrada/saída. Permitindo a saída do ar por esta válvula e deixando a água entrar pela outra extremidade da tubulação junto à costa, o emissário afunda até o leito do mar começando este afundamento pelo lado da praia.

A velocidade de afundamento é controlada pela válvula de escape do ar localizada no final da tubulação. É importante que a tubulação seja afundada desde a costa continuando até o final para prevenir bolsas de ar em algum ponto alto.

São necessários alguns pequenos barcos para rebocar a tubulação desde a costa enquanto são acoplados os blocos, a fim de posicioná-lo adequadamente e logo iniciar o afundamento.

As figuras 20 e 21 ilustram a instalação conforme relatado.

De maneira geral, é necessário uma lancha para cada 100 metros de tubulação, dependendo das condições do mar.

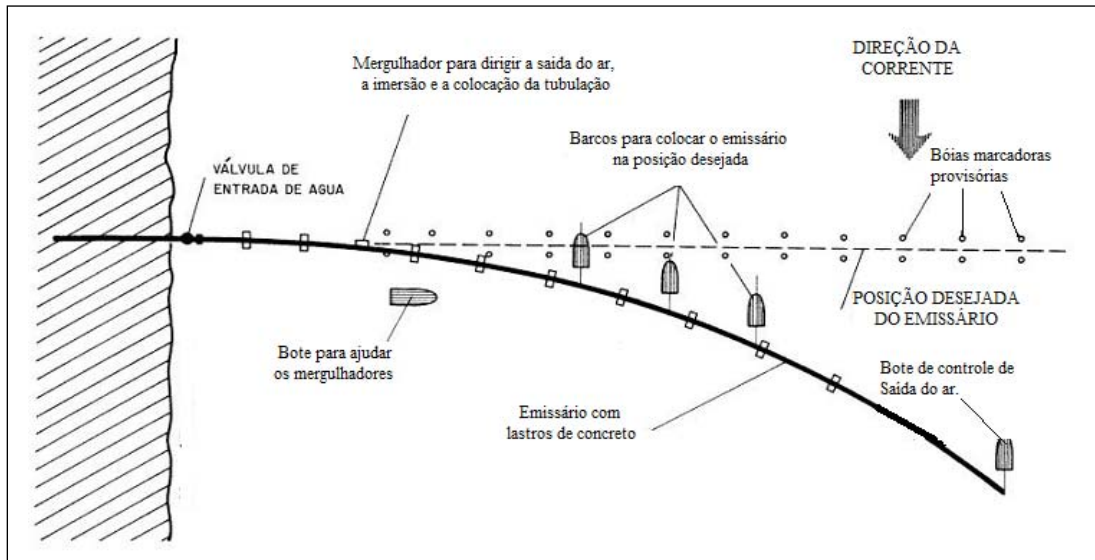


Figura 20 - Vista superior de um processo típico de instalação de um emissário submarino
 Fonte:Reiff,F.M., 2002

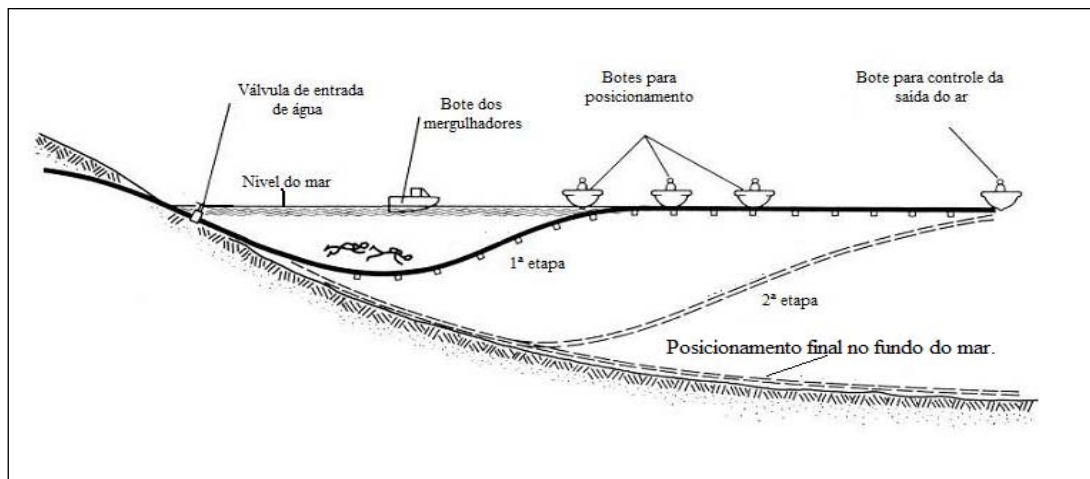


Figura 21 – Perfil de um processo típico de instalação e submersão de um emissário submarino de PEAD
 Fonte:Reiff,F.M., 2002

6 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS DE ESGOTOS SANITÁRIOS – EIA/RIMA

Os emissários submarinos por serem considerados pela legislação ambiental como empreendimentos potencialmente poluidores estão sujeitos ao licenciamento ambiental devendo passar pelas três fases do mesmo:

1. Licença Prévia, cuja preocupação é examinar as alternativas locacionais e tecnológicas em relação ao empreendimento que se solicita o licenciamento ambiental.

Nesta fase devem ser elaborados os relatórios de impactos ambientais (EIAs), técnicos e abrangentes, e os relatórios de impactos ambientais (RIMAs), estes desenvolvidos de maneira mais simples e intelegível para qualquer pessoa interessada.

2. Licença de Instalação, quando o órgão de controle ambiental verifica se o projeto final do empreendimento foi elaborado segundo as diretrizes, recomendações e exigências existentes no relatório do EIA.

3. Licença de Operação, quando o órgão de controle ambiental verifica se as obras foram executadas de acordo com o projeto aprovado.

Na verificação, na análise e no licenciamento ambiental desses empreendimentos aparece o fator determinante desse processo: o impacto ambiental, Neves; Muehe (2005).

Considera-se impacto ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de Janeiro de 1986, qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Embora os projetos executivos de emissários submarinos contemplem todas as medidas que minimizem os impactos negativos da disposição oceânica no ambiente marinho e os impactos referentes às obras das estações de condicionamento prévio em terra, os Relatórios Ambientais Preliminares e EIA/RIMA dos projetos devem apresentar todas as

ações preventivas/corretivas a serem tomadas quanto ao risco de ocorrência de acidentes e degradação do meio ambiente que eventualmente ocorram ao longo da vida útil do sistema.

Uma das principais ferramentas para a visualização de todas as ações preventivas ou corretivas de um sistema de disposição oceânica como um todo é a adequada elaboração da Matriz de Impactos.

Na Tabela 9 apresenta-se um exemplo de Matriz de Impactos Negativos para emissários submarinos.

Tabela 9 - Exemplo de Matriz de Impactos Negativos para um Sistema de Disposição Oceânica.

Fator Ambiental	Descrição dos Impactos	Atributos dos Impactos Negativos						Medidas Controle Ambiental	
		Fase do Empreendimento	Probabilidade de Ocorrência	Duração	Reversibilidade	Intensidade	Área de Influência	Identificação	Natureza
Águas do Mar	Aumento da turbidez.	Implantação	Provável	Temporário	Reversível	Baixa	Local	Execução das obras em época de calmaria e adoção de métodos construtivos com tecnologia adequada.	Preventiva
	Alteração das Características físico-químicas das águas na zona de mistura.	Operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Operação adequada do sistema; Monitoramento da zona de influência do emissário.	Preventiva
	Alteração na granulometria dos sedimentos.	Implantação	Certa	Temporário	Irreversível	Alta	Local	Execução das obras em época de calmaria e adoção de métodos construtivos com tecnologia adequada.	Preventiva
	Alteração na granulometria dos sedimentos.	Operação	Provável	Permanente	Irreversível	Alta	Local	Operação adequada do sistema; Monitoramento da zona de influência do emissário.	Preventiva
Ecossistema Marinho	Alterações quantitativa e qualitativa no fitoplâncton.	Implantação/Operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Monitoramento do fitoplâncton e das características físico-químicas da água (nutrientes, carbono total, material em suspensão, oxigênio dissolvido). Melhoria no pré-tratamento.	Preventiva Corretiva
	Alterações quantitativa e qualitativa no zooplâncton.	Operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Monitoramento do zooplâncton e das características físico-químicas da água (nutrientes, carbono total, material em suspensão, oxigênio dissolvido). Melhoria no pré-tratamento.	Preventiva Corretiva
	Alterações quantitativa e qualitativa no bentos.	Implantação/Operação	Certa	Permanente	Irreversível	Alta	Local	Monitoramento da comunidade bentônica e dos sedimentos (características físico-químicas e sedimentológicas). Melhoria no pré-tratamento.	Preventiva Corretiva
	Alterações quantitativa e qualitativa no ictofauna.	Implantação/Operação	Provável	Permanente	Reversível	Média	Local	Monitoramento da ictofauna (composição e abundância). Melhoria no pré-tratamento.	Preventiva Corretiva

Fonte :Marcelino,E.B.;Macedo,L.S., 2006

Tabela 9(Continuação) - Exemplo de Matriz de Impactos Negativos para um Sistema de Disposição Oceânica.

Fator Ambiental	Descrição dos Impactos	Atributos dos Impactos Negativos						Medidas Controle Ambiental	
		Fase do Empreendimento	Probabilidade de Ocorrência	Duração	Reversibilidade	Intensidade	Área de Influência	Identificação	Natureza
	Alterações quantitativa e qualitativa na ictiofauna.	Implantação/Operação	Provável	Permanente	Reversível	Média	Local	Monitoramento da ictiofauna (composição e abundância). Melhoria no pré-tratamento.	Preventiva Corretiva
Ecossistema Marinho	Contaminação de organismos (peixes, moluscos, crustáceos).	Operação	Provável	Permanente	Reversível	Média	Local	Monitoramento dos peixes, moluscos e crustáceos quanto a contaminação por patogênicos.	Preventiva
Qualidade de vida	Interferência das obras e do aumento no fluxo de veículos de carga com vizinhança.	Implantação	Certa	Temporário	Reversível	Baixa	Local	Implantar canteiro com infra-estrutura necessária, atendendo normas regulamentadas. Fiscalização e programas de orientação para os operários. Planejamento dos horários e rotas dos veículos;Disciplinamento de motoristas. Umedecimento da camada superficial e utilização de lonas sobre as cargas.	Preventiva
	Conflitos com usuários faixa de mar.	Implantação	Provável	Temporário	Reversível	Média	Local	Sinalização específica e procedimentos usuais de segurança.	Preventiva
	Desvalorização imobiliária no entorno da EPC.	Operação	Certa	Permanente	Irreversível	Baixa	Local	Manutenção e conservação das edificações e do paisagismo da EPC. Permanente controle do nível de odores e ruídos da EPC.	Preventiva
	Geração de resíduos sólidos do processo de pré-tratamento.	Operação	Certa	Permanente	Irreversível	Baixa	Local	Acondicionamento, transporte e disposição adequada dos resíduos sólidos da EPC.	Preventiva
	Eventuais vazamentos de gases (gás-cloro) na área da EPC.	Operação	Provável	Temporário	Reversível	Média	Local	Manutenção preventiva de válvulas, equipamentos e do sistema de exaustão de gases da EPC. Adoção de programa de ação de emergência.	Preventiva

Fonte :Marcelino,E.B;Macedo,L.S., 2006

A seguir apresenta-se a itemização de um Roteiro Básico para a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA para emissário submarino:

1-Informações gerais:

Identificação do empreendedor; Objetivo e Justificativa do projeto; Abrangência do projeto; Cronograma das obras e de investimentos; Nome e endereço para contatos relativos ao EIA/RIMA.

2-Characterização do projeto e das obras requeridas

Descrição do projeto; Rede coletora e elevatórias; Estação de Precondicionamento; Emissário terrestre; Emissário submarino e tubulação difusora; Técnicas a serem empregadas; Canteiro das obras; Mão de obra alocada; Origem dos materiais; Bota-fora de Materiais; Medidas de segurança; Operação do sistema; Plano de emergência

3-Alternativas locais e tecnológicas:

Alternativas estudadas; Análise das alternativas.

4-Legislação e Normas aplicáveis.

5-Planos e Programas Governamentais.

6-Área de influência.

7-Diagnóstico Ambiental:

Meio físico; Clima e condições atmosféricas; Aspectos geológicos e geotécnicos; Aspectos geomorfológicos; Hidrologia e recursos hídricos continentais; Oceanografia; Meio biótico; Ambiente marinho; Ecossistemas terrestres; Meio antrópico; Uso do solo; Aspectos econômicos; Dinâmica demográfica; Turismo e lazer; Organização social.

8-Avaliação Ambiental:

Metodologia de avaliação; Prognósticos ambientais; Identificação de eventos ambientais; Análise conclusiva dos impactos ambientais.

9-Planejamento de Controle Ambiental:

Medidas mitigadoras; Medidas compensatórias; Programas de monitoramento e controle; Programas especiais sociais.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 Conclusões

Tendo-se em conta o cenário atual do saneamento básico referente à cobertura do tratamento de esgotos sanitários nos municípios no Brasil, constata-se que é necessário encontrar, rápido, opções para atender essa população tão necessitada desses serviços.

Este trabalho é apresentado como uma contribuição para que pequenas localidades costeiras, apesar de seus poucos recursos, possam custear o tratamento de seus esgotos sanitários com a implantação de um sistema de disposição oceânica mesmo depois de já terem custeado os serviços para a obtenção dos dados climáticos e oceanográficos e a elaboração do projeto.

O emprego dos emissários submarinos bem projetados, após o condicionamento dos esgotos sanitários, permite que se obtenha os padrões de qualidade do efluente e, muito importante para os usuários das praias, os padrões de balneabilidade, a um custo adequado para países em desenvolvimento como o Brasil.

O aparecimento do plástico tipo polietileno de alta densidade-PEAD e sua utilização nas tubulações dos emissários, as modernas técnicas para suas construções e para seus lançamentos no fundo do oceano, além da grande facilidade de trabalhar no mar com pequenos diâmetros, fizeram que os custos abajassem muito, tornando-os viáveis até para as pequenas municipalidades.

No desenvolvimento do trabalho foi apresentada uma revisão da metodologia convencional para a elaboração de projetos de sistemas de disposição oceânica e foram apresentados sistemas de modelagem computacional comumente utilizados baseados nesta metodologia, os quais são muito completos mas de relativa complexidade e alto custo devido às suas necessárias calibrações.

Conseguiu-se desenvolver uma metodologia que engloba, na primeira etapa, a análise do comportamento do campo da mistura do esgoto, de maneira simplificada, para verificação do atendimento aos padrões da balneabilidade que, em resumo, é a análise da funcionalidade de qualquer projeto desse tipo. Esta análise é feita através de um sistema

computacional denominado SURF – Sistema Utilitário com Referencial Flutuante - desenvolvido no âmbito do presente trabalho, também de maneira simplificada. Esta primeira etapa, referente ao projeto hidráulico, engloba a utilização de processo simples de verificação da depuração do efluente dos esgotos sanitários pelas águas marinhas através de uso dos métodos selecionados de modelagem numérica.

A segunda etapa do projeto, relativa à estabilidade da tubulação no leito do mar frente às forças hidrodinâmicas, foi desenvolvida com utilização de modelos simples podendo-se inclusive utilizar os nomogramas desenvolvidos como soluções gráficas das equações referentes àqueles modelos.

As metodologias usadas para a obtenção de alguns dados oceanográficos, como os referentes às correntes marinhas e ao decaimento bacteriano (T90), foram desenvolvidas também de uma maneira simplificada, tanto na parte relativa aos custos como na parte referente à técnica utilizada, se enquadrando no nível técnico das administrações dessas municipalidades.

Concebeu-se, no decorrer deste trabalho, o conceito de “trechos homogêneos” ao longo da linha da costa após determinação dos padrões hidrodinâmicos daquelas áreas do mar, o que tornou bastante reduzidos os custos referentes à obtenção dos dados oceanográficos.

7.2 Sugestões

É muito importante que um bom monitoramento ambiental do emissário submarino seja realizado para verificação de seu atendimento aos padrões de qualidade das águas, principalmente para possibilitar evitar que efluentes industriais, com suas cargas poluentes características, sejam introduzidos no sistema, como também para acompanhar o comportamento da pluma nas áreas a proteger.

Tendo em conta a amplitude do assunto dessa dissertação, sugere-se a adoção, por este curso de mestrado, de uma linha de pesquisa dedicada aos sistemas de disposição oceânica através de emissários submarinos, não só referente ao projeto mas também referente à obtenção dos necessários dados climáticos e oceanográficos.

REFERÊNCIAS

- ABESSE,D.M.S Avaliação da qualidade dos sedimentos do sistema estuarino de Santos, S.P., Brasil. Tese de doutorado. São Paulo: USP; 2002.
- ARASAKI,E.; ORTIZ,J.P. Critérios de decisão aplicados aos emissários submarinos no litoral paulista. Workshop Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. 2003. São Paulo,S.P. São Paulo:CETESB; 2006. p 187-203.
- ARASAKI,E. Sistemas de tratamento de esgotos na costa paulista. Metodologia para a Tomada de Decisão. Tese de Doutorado. São Paulo: USP; 2004.
- BASCOM,W. The non-toxicity of metals to animals in the sea So. Calif. Coastal Water Research Project, Long Beach, Calif.; 1982.
- BASCOM,W. Pre-design ocean outfall studies In: Proceedings of the IAWPRC Marine Disposal Seminar Rio de Janeiro. 1987; Vol 18,No.11.
- BASCOM,W.; BROWN,D. Toxicity and sea animals, So. Calif. Coastal Water Research Project, Long Beach, Calif.; 1984.
- BERZIN,G. Utilização da modelagem matemática para o planejamento e gestão de descargas de águas residuárias utilizando emissários submarinos.O caso de estuário de Santos Joinville. Santa Catarina. 22º CBESA; 2003.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL CETESB Relatório de monitoramento de emissários submarinos, 2007.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL CETESB Relatório de qualidade das águas costeiras do Estado de São Paulo – Balneabilidade das Praias; 2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Resolução 274/2000.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Resolução 357/2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Resolução 397/2008.
- FISCHER,B.H.; KOH,R.C.Y.; IMBERGER,J.; BROOKS,N.H. Mixing in inland and coastal waters. Academia Press, Inc., 1979, 483 p.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE FUNASA. Manual de Saneamento. DF, 2006.
- FREITAS,S. O uso de emissários submarinos em cidades pequenas. Revista do CREA-RJ. 2009; N°77: p 36 e 37.

- GAUGHAN,M.K. et al. Breaking Waves: A review of theory and measurements. School of Oceanograph. Oregon State University; 1973.
- GONÇALVES,F.B.; SOUZA,A.P. Disposição oceânica de esgotos sanitários - História, Teoria e Prática. Rio de Janeiro. ABES; 1997.
- GONÇALVES,F.R. Desinfecção de efluentes sanitários. Brasília. PROSAB; 2003.
- GRACE,R.A. Marine Outfall Systems. N.Jersey. Prentice Hall, Inc.Englewood Cliffs; 1978.
- GRACE,R.A.;J.CASTIEL Non-breaking and breaking Wave Forces on Pipelines. Proceeding, Civil Engineering in the Oceans III, University of Delaware, Newark; 1975.
- GUNNERSON,C.G. Wastewater Management for Coastal Cities, The Ocean Disposal Option. Word Bank Technical Paper, nº 77; 1988.
- JIRKA,G.H.; DONEKER,R.L.; BARNWELL,T.O. CORMIX: An expert system for mixing zone analysis. Water Science Technology; 1991.
- JIRKA,G.H.;DONEKER,R.L.;HINTON,S.W. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. U.S. Environmental Protection Agency. 1996. 152pp.
- JORDÃO,E.P., LEITÃO,J.R. Sewage and solids disposal: are processes such as ocean disposal proper? The case of Rio de Janeiro, Brasil. Wat.Sci.Tech; 1990.
- JORDÃO,E.P.; PESSOA,C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª ed. Belo Horizonte: Segra Editora; 2005.
- LISETH,P. Wastewater disposal by submerged manifolds. JHD, ASCE; 1976.
- LUDWIG,R.G. Environment impact assessment-siting and design of submarine outfalls. OMS; 1988.
- MANUAL PIPELIFE NORGE A.S. Manual técnico para instalaciones submarinas de tuberías de polietileno. Noruega. 2002.
- MARCELINO,E.B; MACEDO,L.S. Emissários Submarinos: Critérios de Localização e Minimização dos Impactos no Meio Marinho. Workshop Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento.2003.São Paulo, S.P. São Paulo:CETESB; 2006. p 43-57.
- MARCELINO,E.B.;ORTIZ,J.P. Sistemização dos Projetos de Emissários Submarinos da SABESP e Avaliação do Desempenho através do Modelo Computacional CORMIX – Boletim Técnico da EPUSP; 2001.
- MEARNS,A.J. How clean is clean? The battle for Point Loma. Water Environment Research, Vol.66, nº5, 1994. Publisher: Water Environment Federation.

METCALF & EDDY Wastewater engineering. Treatment and reuse –4^a Ed. Mc Graw-Hill-N.York; 2003.

MANDAJI, D.S. 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. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP; 2002.

NETTO, J.G. Controle de odores no sistema de esgotos sanitários dos municípios de Santos e de S. Vicente com utilização de peróxido de hidrogênio. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP; 2005.

Neves, C.F.; Muehe, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação do clima: A zona costeira. Rio de Janeiro. C.G.E.E.; 2005.

OCCHIPINTI, A.G.; SANCHEZ, W.; GAGLIANONE S. Estudos para o sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos e São Vicente – Relatório Parcial N° 1- Publicação n° 300. IPE Instituto de Energia Atômica; 1973.

OCCHIPINTI, A.G.; SANCHEZ, W.; GAGLIANONE S. Estudos para o sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos e São Vicente – Relatório Parcial N° 4- Publicação n° 304. IPE Instituto de Energia Atômica; 1974.

OLIVEIRA, E.M.; MILANNI, M. Gestão de qualidade das águas litorâneas. CETESB; 2006.

-ORTIZ, J.P.; ARASAKI, E.; MARCELLINO, E.B. Visão geral dos emissários submarinos no litoral paulista-Workshop Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. 2003. São Paulo, S.P. São Paulo: CETESB; 2006. p 25-42.

REIFF, F.M. Small diameter (HDPE) submarine outfall. Division of Health and Environment. Pan American Sanitary Bureau, Regional of the World Health Organization Washington, D.C., USA; 2002.

ROBERTS, P. J. W.; TOMS, G. Ocean outfall system for dense and buoyant effluents. Journal of Environmental Engineering, 1988. v. 114, n. 5: p. 1.175-1.191.

ROBERTS, P.J.W.; SNYDER, W.H.; BAUGARTNER, D.J. Ocean outfalls I : submerged wastefield formation. Journal of Hydraulic Engineering; 1989.

ROBERTS, P.J.W.; SNYDER, W.H.; BAUGARTNER, D.J. Ocean outfalls II : spacial evolution of submerged wastefield. Journal of Hydraulic Engineering; 1989.

ROBERTS, P.J.W.; SNYDER, W.H.; BAUGARTNER, D.J. Ocean outfalls III : effect of diffuser design on submerged wastefield. Journal of Hydraulic Engineering; 1989.

MARINHA DO BRASIL-DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
Roteiros-Costa Leste; 2008.

MARINHA DO BRASIL-DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
Roteiros-Costa Sul; 2008.

SALAS,H. Emisarios Submarinos: Alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras em America Latina, Lima,CEPIS,OPS,CEPIS/PUB; 2000.

SALAS,H. Emisarios Submarinos: Enfoque general, conceptos básicos de diseño y requerimiento de datos para America Latina y Caribe.Lima;CEPIS,OPS/PUB; 2000.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento- SNIS. 2007. Acesso em: 25 de Julho de 2008. Disponível em www.snis.gov.br.

SOBRINHO,P.A. Biossólidos na agricultura. EDUSP. Universidade de São Paulo; 2002.

TOPÁZIO, E.F. Modelagem de pluma de emissários com T_{90} variável na costa oceânica de Salvador,BA. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Rio de Janeiro: UFRJ; 2003.

WILKINSON,D.L. Purging and flooding of pipeline sewage outfalls. Journal of Hydraulic Engineering. 1997. Volume 123.

WORLD BANK. Marine waste disposal for developing countries. A manual for planning and practice. Parts II and III. Structural Design and Construction, Draft. 1983.

ZEE,D.M.W. Diagnóstico do aporte de afluentes domésticos do canal da Joatinga na praia da Tijuca. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ; 2002.