

COLETÂNEA EM SANEAMENTO AMBIENTAL**SÉRIE TEMÁTICA
TECNOLOGIAS AMBIENTAIS
VOLUME 2**

ISBN: 978-85-64386-02-0

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SISTEMA DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE
ESGOTOS PARA COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE****Sérgio de Freitas****Olavo Barbosa Filho****Gandhi Giordano****1ª Edição
Rio de Janeiro – RJ****2011**

EXPEDIENTE**Reitor**

Ricardo Vieiralves de Castro

Vice-reitora

Maria Christina Paixão Maioli

Sub-reitoria de Graduação

Lená Medeiros de Menezes

Sub-reitoria de Pós-graduação e Pesquisa

Monica da Costa Pereira Lavalle Heilbron

Sub-reitoria de Extensão e Cultura

Regina Lúcia Monteiro Henriques

Centro de Tecnologia e Ciências

Maria Georgina Muniz Washington

Faculdade de Engenharia

Maria Eugenia de las Mercedes Mosconi de Gouvêa

EDITORES

Thereza Christina de Almeida Rosso

Gandhi Giordano

Editor Associado

Olavo Barbosa Filho

Editoração Eletrônica

Marco Antônio Perna

E-BOOK

Diretrizes para projeto de sistema de disposição oceânica de esgotos para comunidade de pequeno porte / FREITAS, Sérgio; BARBOSA FILHO, Olavo; GIORDANO, Gandhi.

Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2011.

(Série Temática: Tecnologias Ambientais - Volume 2)

75 p.

1. Esgoto sanitário, 2. Disposição oceânica, 3. Emissário submarino, 4. Projeto, 5. Dados oceanográficos, 6. Saneamento ambiental, 7. Engenharia sanitária.

Editores – Thereza Christina de Almeida Rosso; Gandhi Giordano.

Editor Associado – Olavo Barbosa Filho.

I Coletânea em Saneamento Ambiental. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. III. Título. IV. Série.

ISBN: 978-85-64386-02-0

SOBRE OS AUTORES

Sérgio de Freitas

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (1970), especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2007), mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2010), especialização em restauração de pavimentos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil –LNEC – Lisboa, Portugal (1972). Diretor da empresa Freitas Consultoria e Engenharia Ltda. desde 2001. Atua na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, em temas associados ao abastecimento de água, com foco na redução de perdas de água, esgotamento sanitário, destinação de resíduos sólidos e com experiência na área de Engenharia de Transporte Rodoviário.

Olavo Barbosa Filho

Possui graduação em Engenharia Química pela Fundação Armando Alvares Penteado - FAAP (São Paulo, 1982), mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986) e doutorado (PhD) pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK (1991). Ocupa o cargo de professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente-DESMA e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental-PEAMB da Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ. Atua na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, em temas associados ao Controle da Poluição e aos efeitos desta sobre a saúde humana e ambiental. Esses temas incluem o monitoramento e controle da poluição hídrica e atmosférica, química aplicada à engenharia sanitária e ambiental, tratamento físico-químico e biológico de águas residuárias, operações e processos unitários de tratamento de efluentes e processamento químico de materiais e metais (processos hidrometalúrgicos). Consultor em engenharia ambiental e auditor ambiental.

Gandhi Giordano

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1980), especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1981), mestrado em Ciência Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (1999) e doutorado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2003). Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, lotado desde 1982 no Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia. Diretor Técnico da TECMA Tecnologia em Meio Ambiente desde 1986. Tem experiência na área de Saneamento Ambiental, com ênfase em Química Sanitária, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de águas residuárias, reúso de águas, controle da poluição, tratamento de efluentes e tratamento de chorume. Tem experiência na implantação e operação de laboratórios de análises ambientais conforme os requisitos da Norma ISO NBR 17025.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	01
1.1 EFEITOS AMBIENTAIS	02
1.2 POPULAÇÃO FLUTUANTE	04
CAPÍTULO 2: SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA E PADRÕES DE BALNEABILIDADE	07
2.1 ESCOLHA DA LOCAÇÃO E PROGRAMA DE SIMULAÇÃO INICIAL	09
2.2 CONDICIONAMENTO PRÉVIO DO EFLUENTE SANITÁRIO	09
2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS E DE LANÇAMENTO E SEU MONITORAMENTO	10
CAPÍTULO 3: PROJETO DE EMISSÁRIOS DE PEQUENO PORTE	12
3.1 PROJETO HIDRÁULICO – BASES TÉCNICAS ADOTADAS	13
3.2 PROJETO ESTRUTURAL – ESTABILIDADE DO EMISSÁRIO NO LEITO DO MAR	19
3.3 OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS	22
CAPÍTULO 4: ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS	28
4.1 NOVAS TECNOLOGIAS – OS TUBOS DE PLÁSTICO E MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO	29
4.2 ASSENTAMENTO DA TUBULÇÃO DO EMISSÁRIO NO LEITO DO OCEANO	30
4.3 DETALHES DA ANCORAGEM	32
CAPÍTULO 5: LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS DE ESGOTOS SANITÁRIOS – EIA/RIMA	35
CAPÍTULO 6: PROJETO TÍPICO DE SISTEMA DE EMISSÁRIO SUBMARINO EM COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE	38
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	39
6.2 DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGOTOS SANITÁRIOS DE GRUSSAÍ	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

APRESENTAÇÃO

O texto aqui apresentado descreve a proposta de uma 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 método simplificado para obtenção de alguns dados oceanográficos necessários para o projeto. Essas localidades, por serem pequenas e em país em desenvolvimento, carecem de recursos financeiros para as soluções convencionais de tratamento de esgotos sanitários. Apresenta-se neste texto o desenvolvimento do projeto não só referente à parte hidráulica como também quanto à estabilidade física da tubulação do emissário asentada no leito do mar. Também 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 tomou o nome de **SURF - Sistema Utilitário com Referencial Flutuante**. Julgou-se oportuno a realização deste trabalho depois que se verificou que a implantação de emissários submarinos com diâmetros até da ordem de 400 mm, em geral tem seus custos inferiores aos dos sistemas convencionais.

Palavras-chave: Esgoto sanitário; Disposição oceânica; Emissário submarino; Projeto; Dados oceanográficos; Saneamento ambiental; Engenharia sanitária.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Nunca tanto se falou sobre poluição. Todos opinam sobre o assunto e deploram-na. Especialistas nos mais diversos setores apresentam planos de dão sugestões. Quantias vultuosíssimas – notadamente nas nações mais desenvolvidas – já são gastas para a sua detecção, prevenção e combate, todavia os seus índices prosseguem aumentando.

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 *et al.*, 2006; ARASAKI; ORTIZ, 2006; FREITAS, 2009).

O esgoto em localidade de pequeno porte, da ordem de 50.000 habitantes, além de ter como característica sua relativa pequena vazão, de um modo geral pode ser classificado como esgoto sanitário predominantemente doméstico, sem os graves problemas relativos aos efluentes industriais, principalmente metais pesados.

O método de projeto que aqui se apresenta, desenvolvido por Freitas (2010), utiliza processos simples para os cálculos relativos aos fenômenos da diluição inicial, da dispersão e do decaimento bacteriano.

No âmbito do projeto, para torná-lo completo, desenvolveu-se um modelo hidrodinâmico simplificado de transporte do campo de esgoto para verificação de atendimento à Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 274/2000, relativo à balneabilidade (BRASIL, 2000). A aplicação deste modelo é feita através de um sistema computacional denominado SURF - Sistema Utilitário com Referencial Flutuante.

1.1. EFEITOS AMBIENTAIS

Muitas pessoas falam, e escrevem, sobre os efeitos ambientais causados pelos emissários submarinos mas não apresentam bases técnicas. Quanto a isso, ressalta-se que foram realizados estudos para uma grande campanha nos Estados Unidos, iniciada em 1969, quando 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. Como resultado, dez anos depois foi publicado 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 do relatório – “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 desapareceram 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 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 Bascom (1982) e Bascom e Brown (1984).

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 muito bem a situação submarina 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 orgâni-

cas anexadas, é provável que este material se torne uma valiosa fonte de alimentação para os animais marinhos situados no 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.

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).

1.2. POPULAÇÃO FLUTUANTE

Os balneários, locais inerentes aos emissários, possuem características muito peculiares quando comparados com outras áreas de ocupação urbana. Dentre estas peculiaridades destaca-se a sazonalidade das atividades turísticas e, como consequên-

cia, a considerável flutuação populacional, que geram esgotos que entrarão na Estação de Tratamento de Esgotos, ETE, podendo gerar problemas de sobrecarga.

Há uma grande variação entre a população fixa e a população flutuante, chegando a números várias vezes maiores durante as estações de veraneio do que aquela da população fixa. Além desta flutuação verificada entre a alta e a baixa estação, verifica-se também, uma flutuação mais ou menos crônica, em feriados e finais de semana.

Em sistemas compactos de tratamento de esgotos, nos quais o líquido fique retido poucas horas, picos populacionais de poucos dias (feriados) poderão trazer um grande impacto. Em sistemas de tratamento com longo tempo de detenção hidráulica, de ordem de vários dias, picos de feriados curtos podem ser absorvidos, dependendo das condições de carga relativa a que usualmente é submetida a estação. No caso de férias, em que o aumento da carga de esgotos pode se dar por um ou dois meses, mesmo os sistemas com longo tempo de detenção hidráulica poderão ser afetados.

Nestes casos a infraestrutura de um balneário deveria ser superdimensionada (em relação a sua população fixa) para funcionar adequadamente nestes períodos. Além do superdimensionamento, tal infraestrutura deveria ter flexibilidade para acompanhar os aumentos e diminuições de população sem perder a capacidade operacional e sem envolver custos desnecessários.

Os emissários, por utilizarem a grande massa das águas marinhas pela sua capacidade de autodepuração, que independe da vazão ocorrente, apresentam esta grande vantagem sobre o tratamento convencional dos esgotos sanitários.

Nos métodos convencionais de tratamento de esgoto os processos biológicos reproduzem em uma escala de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem na natureza. Os tratamentos biológicos de esgotos têm como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos), ou gases. Os produtos formados devem ser mais estáveis, tendo os esgotos tratados um aspecto mais claro, significativa redução da presença de microrganismos e menor concentração de matéria orgânica. Os processos de tratamento biológicos têm como princípio utilizar a matéria orgânica dissolvida ou em suspensão como substrato para microrganismos tais como bactérias, fungos e protozoários, que a transformam em gases, água e novos microrganismos. Os microrganismos, através de mecanismos de produção de exopolímeros (GRADY, Jr; LIN, 1980), formam flocos biológicos mais densos que a massa líquida, da qual sepa-

ram-se com facilidade. A fração da matéria orgânica transformada em sólidos, situa-se na faixa de 6 a 60% (GRADY, Jr; LIN, 1980), dependendo de diversos fatores, tais como o processo adotado e a relação alimento/microrganismos (A/M). A outra parte da matéria orgânica é transformada em gases, notadamente o gás carbônico nos processos aeróbios e gás carbônico e metano nos sistemas anaeróbios.

É neste ponto - a relação A/M - que a flutuação de população pode inviabilizar a utilização dos processos biológicos de tratamento (GIORDANO; BARBOSA FILHO, 2002).

CAPÍTULO 2

SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA E PADRÕES DE BALNEABILIDADE

SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA E PADRÕES DE BALNEABILIDADE

Neste sistema, a grande capacidade potencial de autodepuração 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 mistura esgoto/águas do mar), atingir as áreas de balneabilidade, aquelas relacionadas ao banho e esportes náuticos ou às áreas de aquicultura.

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.

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.

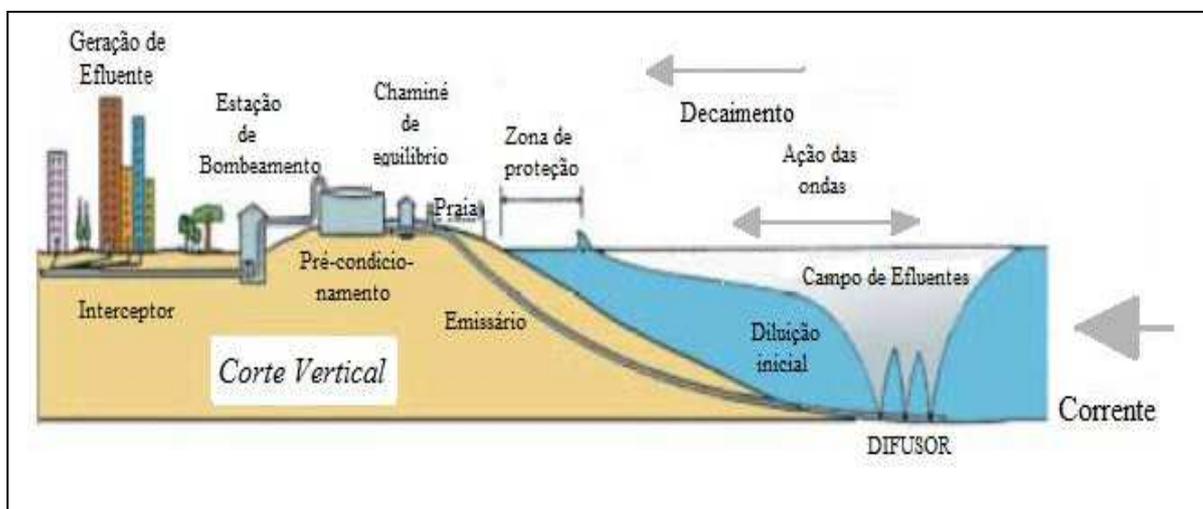


Figura 1. Esquema de um sistema de disposição oceânica.

Fonte: CETESB-Relatório de Monitoramento, 2007.

2.1. 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).

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.

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

2.2. Condicionamento prévio do efluente sanitário

Tecnicamente, 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.

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.

2.3. PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS E DE LANÇAMENTO E SEU MONITORAMENTO

Para o controle dos lançamentos de efluentes por meio de emissários submarinos, a legislação ambiental existente, principalmente através das Resoluções do CONAMA 274/2000, 357/2005 e 430/2011, tem sido instrumento importante para avaliação desses empreendimentos e da qualidade das águas marinhas (BRASIL, 2000, 2005, 2011).

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.

Com relação à balneabilidade foram definidos, conforme **Tabela 1** os seguintes critérios.

Tabela 1. 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.

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 (BRASIL, 2000, 2005).

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*) a qualidade estrutural da tubulação (rupturas, vazamentos, trincas, estados dos difusores ou descalçamento da tubulação); *b*) o monitoramento ambiental, tanto da qualidade do efluente como a qualidade do corpo hídrico receptor (MARCELINO; MACEDO, 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.

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.

CAPÍTULO 3

PROJETO DE EMISSÁRIOS DE PEQUENO PORTE

PROJETO DE 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.

3.1. PROJETO HIDRÁULICO - BASES TÉCNICAS ADOTADAS

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 as 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.

3.1.1. 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.

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 comprimento, a profundidade e a orientação assim como a área e o espaçamento entre os orifícios de descarga são parâmetros do projeto.

3.1.2. 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.

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.

3.1.3. 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 bactérias 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 T_{90} , cujo processo depende de inúmeros fatores ambientais, como: radiação solar, sedimentação, temperatura, pH, mistura oceânica, salinidade, falta de nutrientes e outros (GRACE, 1978). Estudos realizados no litoral santista determinaram um T_{90} que varia de 60 a 120 minutos (OCCHIPINTI, 1973 e 1974).

Em Maceió, AL, o valor encontrado para o T_{90} 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 processo de redução da densidade das bactérias no campo de esgoto 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.

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%.

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

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

3.1.5. Cálculo do difusor

Para o dimensionamento do difusor, a principal parte do sistema de disposição oceânica, as seguintes premissas devem ser consideradas: o espaçamento dos orifícios, a área dos orifícios, a velocidade do efluente nos orifícios e a vazão unitária.

3.1.6. 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 Gunnerson (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.

Este modelo de transporte foi utilizado para verificação de atendimento das condições e padrões exigidos pela Resolução CONAMA 274/2000 relativa à balneabilidade (BRASIL, 2000).

3.1.7. 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.

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 a o ângulo formado entre o eixo do emissário e o eixo Leste-Oeste.

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

Na simulação utiliza-se o modelo de transporte inter-relacionando-o com os processos de diluição do poluente e o tempo necessário para a obtenção do padrão de balneabilidade que se deseja, quando 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 **Planilha 1**, 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.

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, **Planilha 1**, 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.

Planilha 1. Interface do programa SURF com os dados de correntes introduzidos.

PLANILHA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO - SURF

INSTANTE (HORAS)	DISTANCIA PERCORRIDA (M)	INTERVALO DE VERIFICAÇÃO (H)	LIMITES		NUMERO DE OBSERVAÇÕES (Nobservações)	OCORRENCIAS FORA DOS LIMITES (Nocorrências)	Nocorrências/Nobservações N Máx=20%
			TEMPO (H)	DISTANCIA(M)			
0	0	0,25	2	900	10716	2871	27
0,25	303						
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						

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

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.

3.2. PROJETO ESTRUTURAL - ESTABILIDADE DO EMISSÁRIO NO LEITO DO MAR

A estabilidade do emissário submarino no fundo do 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 arre-

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

3.2.1. 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 dessas 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. Geralmente, a seção do emissário submarino que está situada na zona de arrebentação está sujeita a uma maior solici- tação 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 píer. 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 que- brando 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 signifi- cativa da região, sendo a altura significativa a média do terço superior das maiores ondas registradas.

No desenvolvimento do projeto são determinadas – Forças devidas às correntes; – Forças devidas às ondas não quebrando; - Forças devidas às ondas quebrando.

3.2.2. Ancoragem

Para a determinação do peso do bloco de ancoragem e do espaçamento entre eles são analisadas as condições de equilíbrio das forças hidrodinâmicas verticais e das forças hidrodinâmicas horizontais que atuam sobre o emissário assentado no leito do mar.

3.2.3. 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%, Reiff (2002) desenvolveu um nomograma como solução gráfica 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 em função do equilíbrio das forças hidrodinâmicas, deve ser verificado o atendimento dessa 2ª condição.

3.3. OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

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.

3.3.1. Seleção dos trechos homogêneos ao longo da costa

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 são selecionados principalmente 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. No Estado do Rio de Janeiro os trechos selecionados foram: Trecho 1 –(Divisa ES/RJ - Cabo de São Tomé); Trecho 2 – (Cabo de São Tomé - Cabo Frio) Trecho 3 –(Cabo Frio – Ponta de Itaipú); Trecho 4 – (Ponta do Arpoador - Ponta Grossa de Marambaia); Trecho 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.

3.3.2. 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.

3.3.3. A biocenose

Para a caracterização do estado ambiental da área se procede a 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 representativos.

Dados de animais marinhos podem ser obtidos com o uso de redes que são arastadas 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 à 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.

3.3.4. 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 e para isso 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 da 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.

3.3.5. 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.

3.3.6. O relevo e as características do solo marinho

Com base nas cartas náuticas e principalmente nas folhas de bordo, da 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.

3.3.7. 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.

3.3.8. 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 suas 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 menos onerosos, 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.

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.hmso.gov.uk, do HMSO - Her Majesty's Stationery Office, órgão do governo britânico, em Londres. 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 do regime de ondas na zona fora da arrebentação e do regime de ondas na zona de arrebentação.

3.3.9. 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 T_{90} é efetuada, pela sua simplicidade e seu baixo custo, pelo método das membranas dialisadoras. (LUDWIG, 1988; GONÇALVES; SOUZA, 1997; OCCHIPINTI *et al.*, 1974) e é indicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para os países em desenvolvimento. 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. 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.

3.3.10. 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 em longo prazo como também em curto prazo (ZEE, 2002).

A linha de costa varia de acordo com as condições de ondas ao largo. A variação do perfil é muito importante tanto no caso de enterramento da tubulação como no caso de construção de pier, na zona de arrebenção.

CAPÍTULO 4

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS EMISSÁRIOS SUBMARINOS

4.1. NOVAS TECNOLOGIAS – OS TUBOS DE PLÁSTICOS E MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO

Até pouco tempo, somente as cidades costeiras médias ou grandes porte possuíam 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.

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.

4.2. 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 2 e 3** apresentam os esquemas de acoplamento dos lastros na tubulação no seu lançamento no mar.

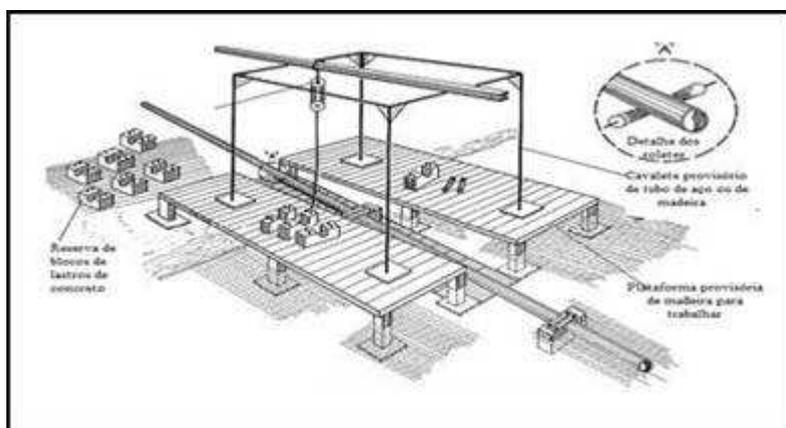


Figura 2. Esquema de uma plataforma típica de trabalho para acoplar os lastros de concreto no emissário submarino.

Fonte: REIFF, 2002.

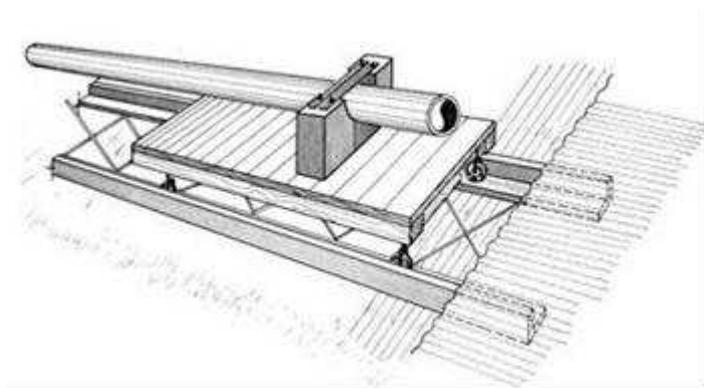


Figura 3. Esquema de plataforma rodante para acoplar os lastros de concreto na tubulação do emissário submarino.

Fonte: REIFF, 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 jun-

to 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 4 e 5** ilustram a instalação conforme relatado.

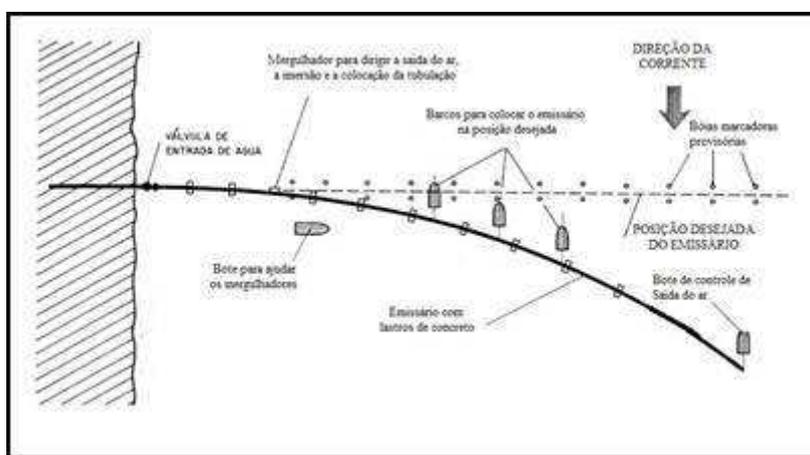


Figura 4. Vista superior de um processo típico de instalação de um emissário submarino.

Fonte: REIFF, 2002.

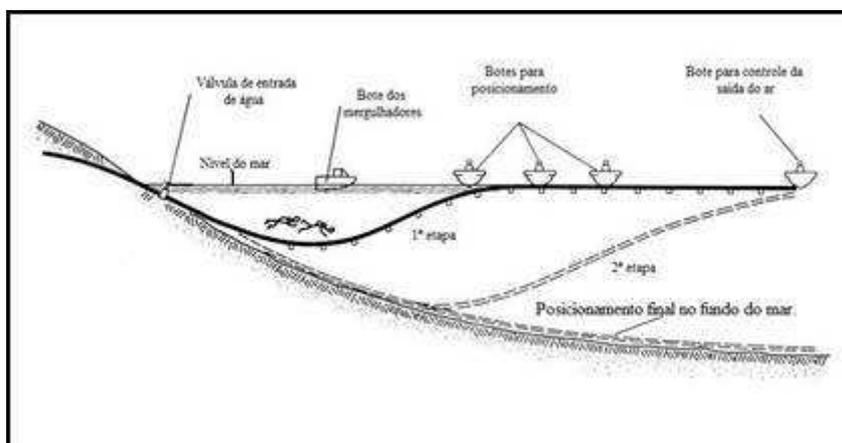


Figura 5. Perfil de um processo típico de instalação e submersão de um emissário submarino de PEAD.

Fonte: REIFF, 2002.

4.3. DETALHES DA ANCORAGEM

Os lastros para os emissários submarinos de PEAD usualmente se fabricam de concreto devido a sua densidade apropriada e a sua durabilidade na água do mar.

Devem ser consideradas:

- a) facilidade de se fixar na tubulação;
- b) resistência dos fixadores à corrosão da água do mar;
- c) facilidade da sua concretagem.

A **Figura 6** mostra o projeto de um lastro para tubulação de pequeno diâmetro

A **Figura 7** ilustra o projeto do tipo B, de lastro de concreto que é o mais comum para tubos de PEAD de diâmetro maior que 20 cm.

A **Figura 8** mostra o lastro tipo C, que é usualmente mais fácil de instalar e os problemas de corrosão são mínimos.

As **Figuras 9 e 10** apresentam as formas típicas para os lastros de concreto tipo A e B, respectivamente.

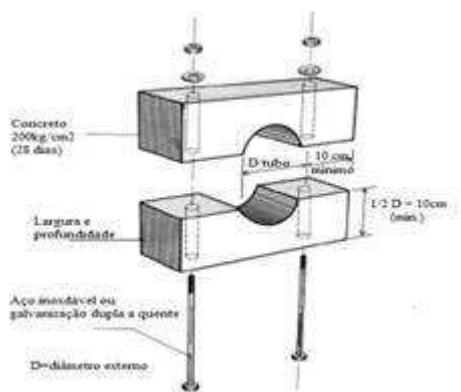


Figura 6. Colar do lastro de concreto para tubos de diâmetros menor que 20 cm.

Fonte: REIFF, 2002.

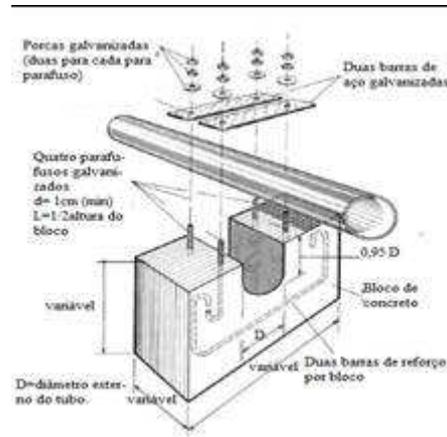


Figura 7. Bloco de ancoragem para PEAD tipo B.
 Fonte: REIFF, 2002

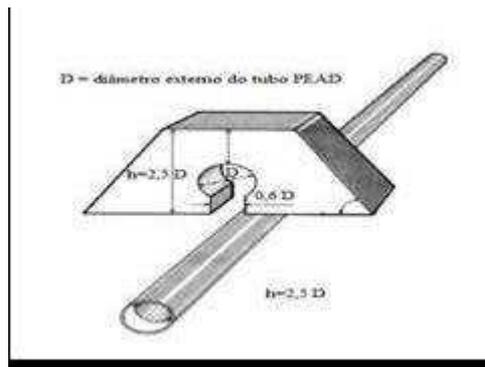


Figura 8. Bloco de ancoragem para PEAD tipo C.
 Fonte: REIFF, 2002

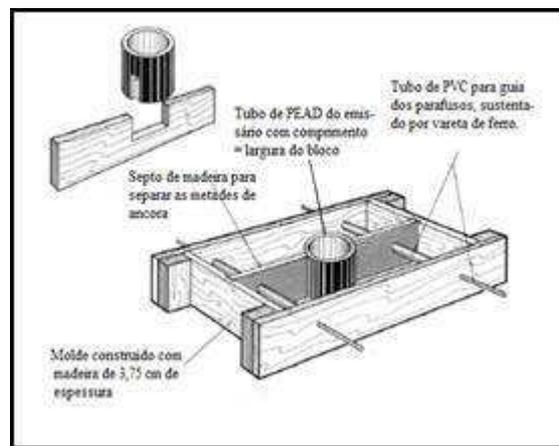


Figura 9. Molde típico para lastro de concreto tipo A.
 Fonte: REIFF, 2002

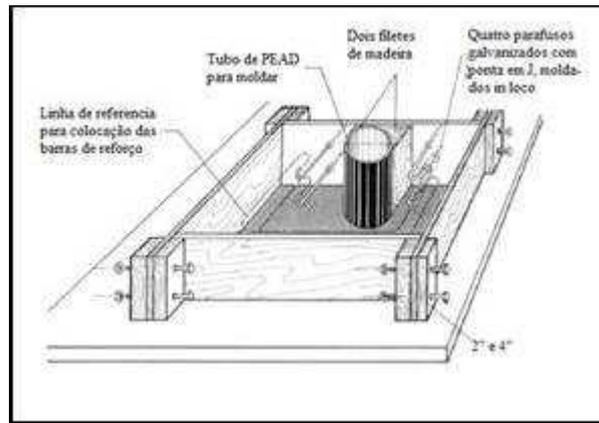


Figura 10. Molde típico para lastro de concreto tipo B.
Fonte: REIFF, 2002

CAPÍTULO 5

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

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 (EI-As), técnicos e abrangentes, e os relatórios de impactos ambientais (RIMAs), estes desenvolvidos de maneira mais simples e inteligível 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 e 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:

- a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; 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.

CAPÍTULO 6

PROJETO TÍPICO DE SISTEMA DE EMISSÁRIO SUBMARINO EM COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE

PROJETO TÍPICO DE SISTEMA DE EMISSÁRIO SUBMARINO EM COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O exemplo de projeto funcional que se apresenta é baseado no sistema do sistema de emissário submarino projetado para o balneário de Grussaí.

Grussaí é um povoado de praia que pertence ao município de São João da Barra, localizado no norte do Estado do Rio de Janeiro.

Na **Figura 11**, a localização de Grussaí e na **Figura 12**, a disposição do emissário com referencia à praia de Grussaí.

A população considerada para projeto foi de 3500 habitantes e sua topografia é toda plana. Não existe sistema de tratamento de esgoto. O esgoto coletado é jogado nos rios do povoado que o encaminha para mar.

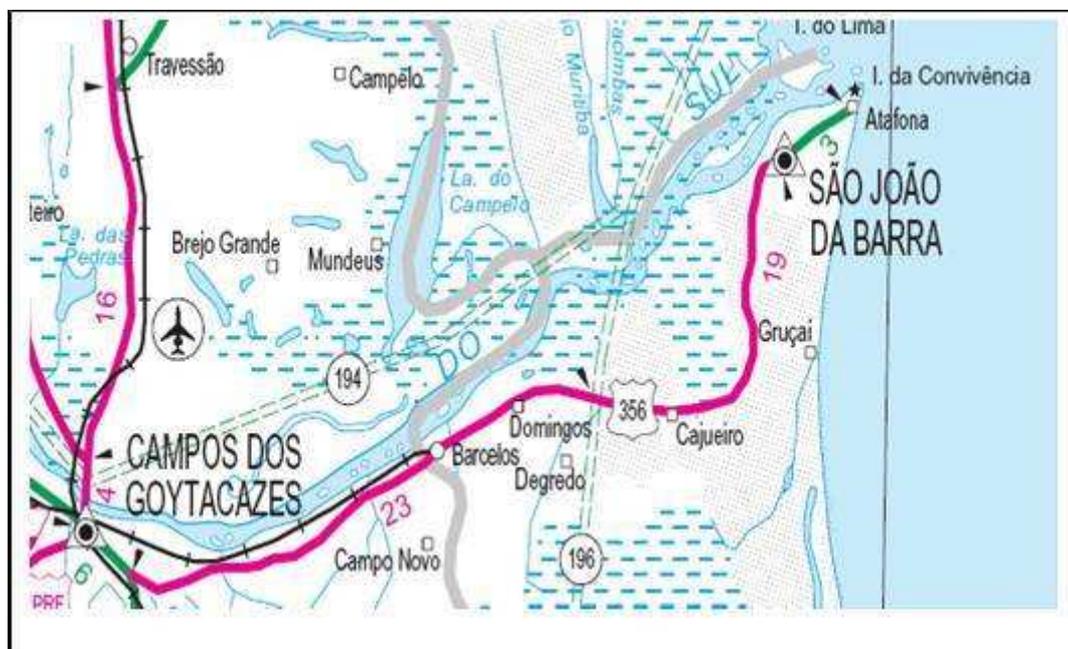


Figura 11. Localização de Grussaí.

Fonte: DNIT-Mapas.

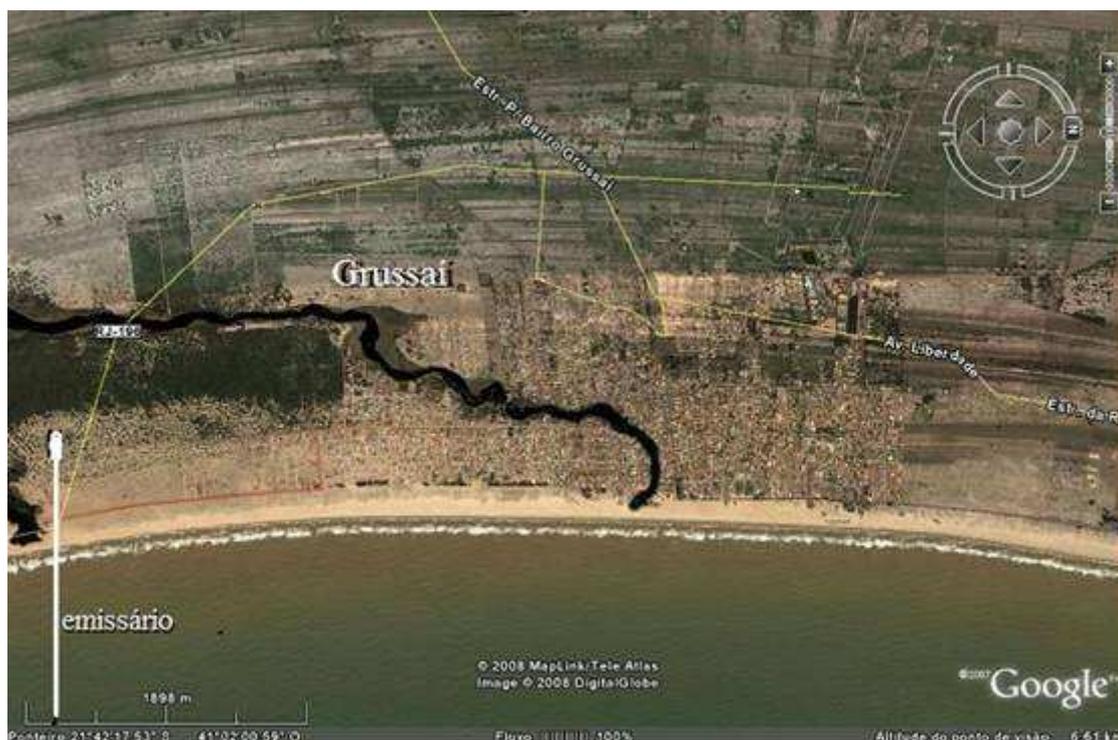


Figura 12. Praia de Grussaí.
 Fonte: Google Earth.

6.2. DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGOTOS SANITÁRIOS DE GRUSSAÍ

6.2.1. Parâmetros de projeto

A **Tabela 2** apresenta a população e vazões de esgotos utilizadas no projeto.

Tabela 2. População/Vazões de esgotos.

Ano	População	Vazões de esgotos (L/s)		
		Mínima	Média	Máxima
2008	3500	3,3	6,5	11,7
2033	11300	10,5	21,0	38,0

Considerou-se taxa de crescimento de 5,0% (por ser região de royalties do petróleo, semelhante à Macaé), o consumo de água per capita de 200 litros por dia e uma taxa de retorno de 80%.

6.2.2. Batimetria e características do solo marinho

A declividade é regular de 1,2 metros a cada 100 metros. A 1000 m de distância é alcançada a profundidade de 12,00 m.

Foi utilizada carta náutica 1500 da DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação, da Marinha do Brasil.

Com base nas informações das cartas e de mergulhos realizados no local previsto para a implantação da tubulação do emissário por engenheiro civil com experiência em geotecnia, das sondagens expedidas realizadas pelos mergulhadores no leito do mar, dispensou-se o uso do batímetro e do equipamento indicado anteriormente para sondagem do terreno.

6.2.3. Correntes marinhas

Estudos realizados ao longo da costa do Estado do Rio de Janeiro relativos ao comportamento das correntes marítimas selecionaram cinco trechos homogêneos em função do padrão hidrodinâmico existente.

O balneário de Grussaí está compreendido no trecho homogêneo selecionado 01: Divisa ES/RJ – Cabo de São Tomé.

Com base nestes estudos e nos dados utilizados no Projeto do Sistema de Disposição Oceânico da cidade de Rio das Ostras, adotou-se o valor de 0,21 m/s para a corrente de projeto.

Para a verificação de atendimento às condições de balneabilidade foram usados os dados de correntes obtidos no Centro de Hidrografia da Marinha – CHM, Divisão de Informações Ambientais – CH-11, da Marinha do Brasil que foram utilizados como banco de dados para o programa SURF- Sistema Utilitário com Referencial Flutuante.

6.2.4. Estratificação da densidade

Com base nos dados oceanográficos obtidos no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) no seu banco de dados Access contendo dados físicos e químicos coletados

por XBT e CTD verifica-se a ausência de estratificações de densidade. Isto é normal para profundidades até 12 metros, como é o caso presente.

A densidade da água do mar (ρ) é função não linear da salinidade (S) e da temperatura (T). Por convenção ela é expressa como ***sigma-T***, sendo:

$$\mathbf{sigma-T} = (\rho - 1)1.000$$

A coluna d'água apresenta uma pequena variação linear de densidade, tendo o ***sigma-T*** na superfície o valor de 23,68 e o ***sigma-T*** no fundo do mar o valor de 24,69.

A densidade do esgoto foi considerada com o valor usual de 997,8 kg/m³.

6.2.5 Taxa de Decaimento Bacteriano

Devido à proximidade com o município de Rio das Ostras e após consulta com o oceanógrafo David Zee (2002), o valor de T₉₀ foi tomado como 1,5 horas, valor adotado no projeto da disposição oceânica daquele balneário elaborado pelo professor Fernando Penna Botafogo Gonçalves.

A densidade de coliformes fecais nos esgotos brutos foi tomada com o valor de 10⁷ NMP/100 ml, valor médio entre vários autores. Os valores considerados foram os usados pelo Ministério da Saúde (5,0x10⁶ NMP/100ml) - ("Comentários sobre a portaria 518/2004:Subsídios para Implementação" – Secretaria de Vigilância em Saúde-2005), pelo professor Fernandes (2000) e por Jordão; Pessoa (2005).

Tendo-se em conta o tratamento realizado pelo decantador primário, considerou-se uma redução inicial de 25% de coliformes (50% da média considerada). Jordão; Pessoa (2005), apresenta valores de 40-60% de remoção de coliformes em decantadores.

Uma forma de medição do T90 aqui preconizada e indicada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), bastante econômica, é a utilização do processo das bombonas de plástico transparente nas quais se dilui o esgoto doméstico com a água do mar, em proporção igual à que se espera depois da diluição inicial realizada pelo difusor, como, por exemplo, 1:100.

6.2.6 Zona de recreação de contato primário

Considerou-se a faixa de 300 metros a partir da linha de costa (linha da areia da praia) como a zona a proteger.

6.2.7 Zona de arrebenção

De acordo com vários pesquisadores, entre eles, Gaughan; Komar; Nath (1973), existe uma relação entre a altura da onda quebrando, a profundidade da área na qual a onda quebra e a altura da onda não refratada. Por analogia ao projeto da Disposição Oceânica de Rio das Ostras, considerando as alturas das ondas obtidas no Centro de Hidrografia da Marinha, referentes a Grussaí, considerou-se uma faixa de 200 metros como zona de arrebenção.

Existem duas opções para esta zona: usar ancoragem especial em tubos com SDR menor (espessura maior) ou construir um píer para sustentar a tubulação sobre esta zona.

6.2.8 Padrão de balneabilidade

Para a zona de recreação por contato direto estabeleceu-se que, em 80% do tempo, as densidades de coliformes fecais (termotolerantes, segundo definição da Resolução CONAMA 274 de 2000) deveriam ser, no máximo, 1000 NMP/100 ml, estabelecidas pela resolução do CONAMA 357/2005 como água de categoria muito boa em termos de condições de balneabilidade (BRASIL, 2000; BRASIL, 2005).

6.2.9 Bases técnicas para projeto do sistema de disposição oceânica

Foi empregado o modelo denominado RSB (ROBERTS; SNYDER; BAUMGARTNER, 1989a, 1989b, 1989c), apoiado pela USEPA, desenvolvido por Roberts, Snyder e Baumgartner para determinação da diluição inicial, a aproximação de Brooks para a determinação da dispersão horizontal e o modelo de Chick para a determinação do decaimento bacteriano.

6.2.10. Condicionamento prévio do efluente sanitário

Os esgotos passam, antes de seguir para o emissário submarino, por uma estação de condicionamento prévio - ECP, onde constam:

- grade - barra 10x40mm, espaçamento 1" e canal 0,30x0,30m. Comprimento=1,40 m;
- caixa de areia - 6,50 x 0,45 com profundidade 0,35 m;
- calha Parshall - seção de garganta contraída de 3";
- decantador primário com dispositivo de remoção de gorduras e sólidos flutuantes, com dimensões 22,5 x 4,5 x 3,0 m e $t_d = 2h$.

6.2.11. 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.

6.2.12. Dimensionamento do sistema de disposição oceânica

Dados básicos do sistema:

$$Q_{\text{méd}} = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mín}} = 0,010 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade das correntes=0,21m/s

Profundidade do difusor=12 m

Comprimento do emissário (a ensaiar)=1.000 m (além da zona de recreação)

Largura da zona de recreação a proteger=300 m

Comprimento total do emissário = 1000 m + 300 m = 1.300 m.

6.2.12.1. Cálculo do difusor

Premissas a serem consideradas:

a) Espaçamento dos orifícios

Liseth (1976) em "Wastewater disposal by submerged manifolds", determinou que a diluição máxima fosse obtida quando o espaçamento apresenta valores entre 1/5 a 1/10 da altura da coluna do campo de misturação.

b) Áreas 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 de condicionamento prévio, para evitar entupimentos. No caso de Grussaí tomou-se o valor de 8 cm.

c) Velocidade do efluente nos orifícios

Deve estar 30% acima da velocidade no tubo, com vazão mínima.

d) Vazão unitária (comprimento do difusor)

Metcalf & Eddy (1991) indica valor máximo de vazão unitária de 11,0 L/s/metro

Ludwig (1988) indica 7,0 L/s/metro.

Considerando somatória das áreas dos orifícios (Σ) aproximadamente 2/3 da área do tubo.

Diâmetro externo do tubo = 250mm

Diâmetro interno = $250 - 2 \times 7,8 = 234,4$ mm

$$S = \frac{\pi \times 0,0234^2}{4} = 0,0432 \text{ m}^2$$

$$\Sigma = \text{Somatória das áreas} = 2/3 \times 0,0432 \text{ m}^2 = 0,0285 \text{ m}^2$$

Adotar diâmetro do orifício = 8 cm

$$\text{Área do orifício} = S = \pi \cdot 0,04^2 \text{ m}^2 = 0,00503 \text{ m}^2$$

Número de orifícios:

$$0,0285/0,00503 = 6 \text{ orifícios}$$

Elementos característicos do difusor:

$$\text{Relação de Liseth} = H/\text{espaçamento} = 5 \text{ a } 10.$$

onde H é a altura da coluna do campo de mistura; na relação, será adotado o valor 5.

$$\text{Espaçamento} = 12/5 = 2,4 \text{ m}$$

Comprimento do difusor (M) e número de orifícios:

$$L = (6 - 1) \times 2,4 \text{ m} = 12 \text{ m com seis orifícios}$$

6.2.12.2 Cálculo da diluição inicial D1

Utilizando o modelo RSB, para o caso de variação linear da densidade, considerando-se os parâmetros q , m , b , a frequência de boiância e o número de Froude-Roberts, sendo:

q = fluxo de vazão

$q = Q/L$, sendo Q =vazão média e L =comprimento do difusor

m = fluxo de momento;

$m = u.q$, sendo u =velocidade da corrente;

b = fluxo de boiância

$b = g'_0 . q$, sendo g'_0 = aceleração modificada da gravidade;

$$g'_0 = g(\rho_a - \rho_0) / \rho_a$$

ρ_a =massa específica do corpo receptor à saída dos orifícios e ρ_0 = massa específica do efluente.

$$N = \text{frequência de boiância} = N = \left(\frac{g}{\rho_a} \times \frac{d_p}{d_z} \right)^{1/2}$$

onde d_p =diferença entre a massa específica da água da superfície e a do fundo.

F = número de Froude-Roberts ($F=u^3/b$)

Considerando os valores:

$$g = \text{valor da gravidade} = 9,81 \text{ kgf/m.s}^2$$

$$\rho_a = 1,0249 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 0,9978 \text{ g/cm}^3$$

d_p = massa específica da água na superfície – massa específica da água no fundo.

$$d_p = 1,02469 - 1,02368$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$u = 0,21 \text{ m/s}$$

Cálculo dos parâmetros:

$$g'_0 = 9,81(1,0249 - 0,9978) / 1,02469 = 0,257$$

$$Sm = \frac{2,0 \times b^{2/3}}{qN} = 196$$

$$m = 0,21 \times 0,0032 = 0,00067$$

$$b = g'_0 \times q = 0,257 \times 0,0032 = 0,000822$$

$$F = u^3/b = 0,213/0,000822 = 11,3$$

$$N = [9,81 / 1,02469 \times (1,02469 - 1,02368) / 12]^{1/2} = 0,028$$

Cálculo da diluição inicial

Verificou-se que a densidade varia linearmente ao longo da coluna d'água e que as correntes incidem a 45° do difusor.

A relação empírica devido à Roberts; Snyder; Baumgartner (1989a, 1989b, 1989c), para número de Froud-Roberts entre 0,1 e 100 e para correntes a 45° é traduzida segundo a curva do meio da **Figura 13**.

Entrando com numero de Froud-Roberts com o valor calculado $F=11,3$ obtém-se o valor:

$$Sm q \frac{N}{b^{2/3}} = 2,0$$

Desenvolvendo com os valores calculados anteriormente:

$$Sm = \frac{2,0 \times b^{2/3}}{qN} = 196$$

Portanto: $D_1 = 196$

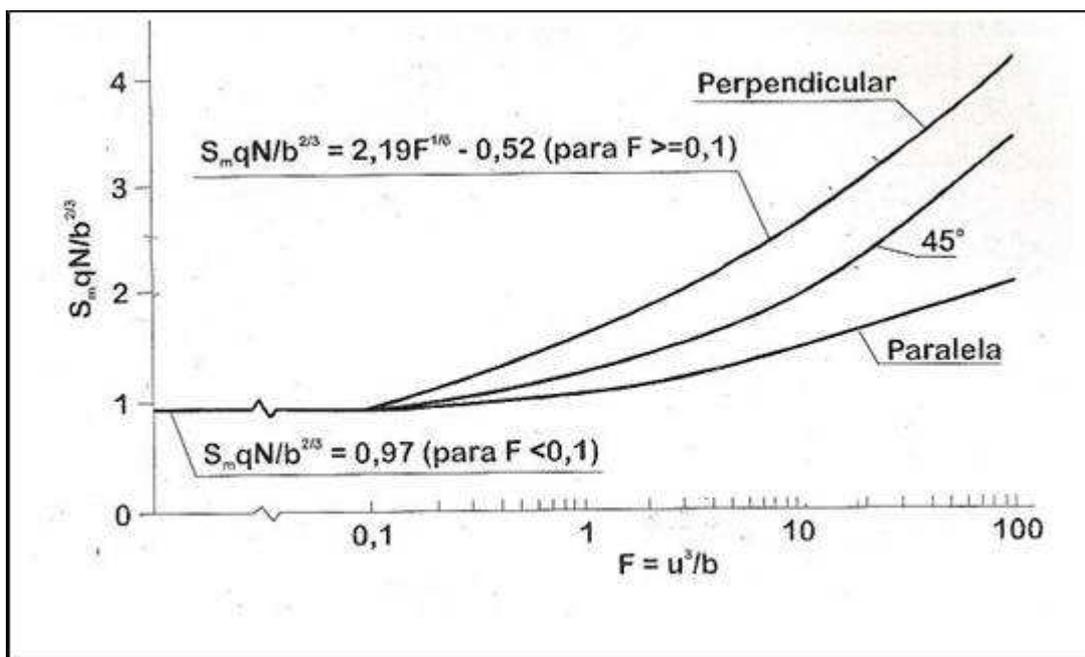


Figura 13. Diluição Inicial mínima – D_1 (ROBERTS; SNYDER; BAUMGARTNER, 1989a, 1989b e 1989c).

6.2.12.3 Cálculo da dispersão horizontal D_2

O cálculo da dispersão horizontal é feito a partir da aproximação de Brooks que utiliza um modelo determinístico para estudo do comportamento do campo afastado da mistura efluentes/aguas do mar. A equação determinada é solucionada através do gráfico da **Figura 14**.

Entrando com comprimento da parte do emissário que fica fora da área a proteger, com valor de 1.000 m, valor que está sendo ensaiado, com velocidade de correntes de 0,21 m/s e com valor do comprimento do difusor de 12 m, obtem-se a dispersão horizontal $D_2 = 7$.

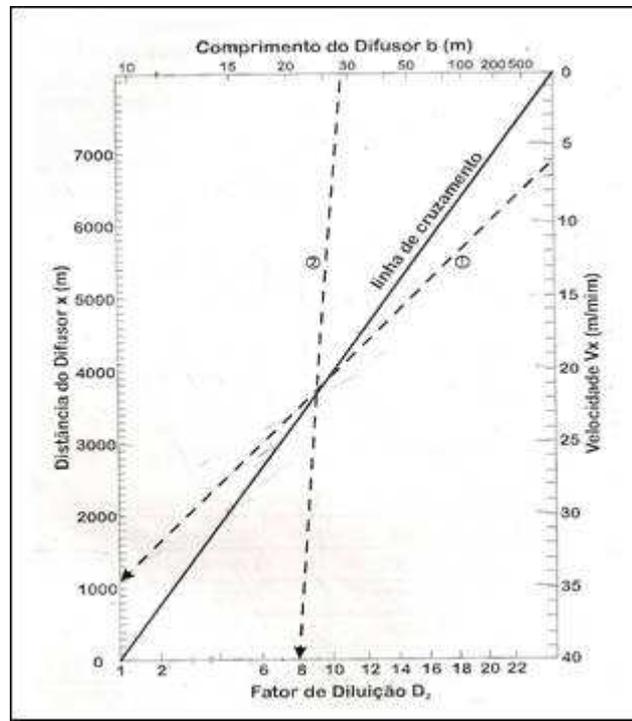


Figura 14. Dispersão Horizontal – D_2 (Metcalf; Eddy, 2002).

6.2.12.4 Cálculo do decaimento bacteriano D_3

A redução por decaimento bacteriano pode ser determinada através do modelo desenvolvido por Chick, traduzido pela equação $S_B = 10^{-T/T_{90}}$, sendo $S_B = D_3$ a diluição de coliformes.

A **Figura 15** apresenta uma solução gráfica para essa equação.

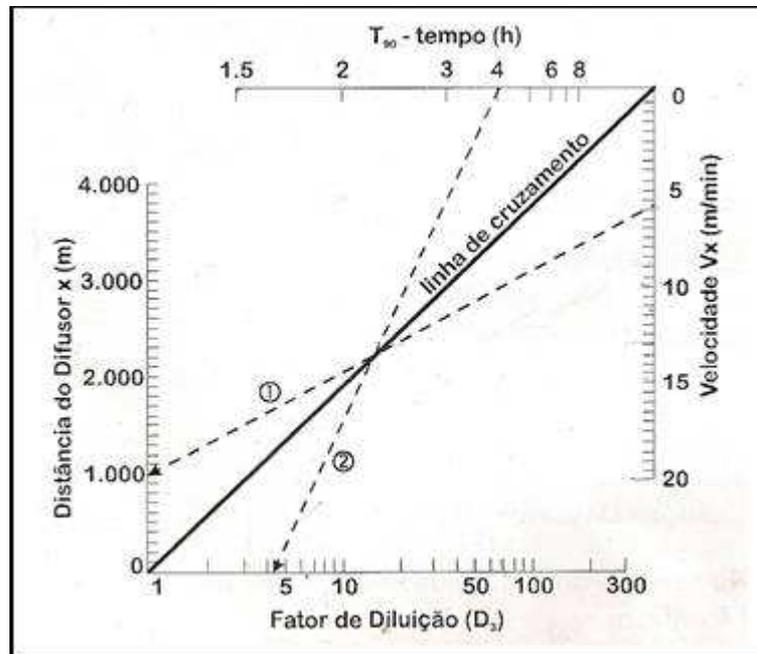


Figura 15. Decaimento Bacteriano- D_3 (Metcalf; Eddy, 2002).

Entrando com os valores:

$$T_{90} = 1,5 \text{ h}$$

$L =$ parte do emissário fora da área a proteger = 1.000 m

Velocidade das correntes marinhas = 0,21 m/s

$T =$ tempo de deslocamento do campo do efluente até à área a proteger.

$$T = 1000 \text{ m} / 0,21 \text{ m/s} = 1,32 \text{ horas}$$

$$D_3 = S_B = 10^{T / T_{90}}$$

$$D_3 = 7,5$$

6.2.12.5 Redução total da densidade de coliformes termotolerantes

A redução total é obtida como resultado dos tres fenômenos (diluição inicial, dispersão horizontal e decaimento bacteriano). É o produto das diluições individuais.

$$\text{Redução total obtida} = R_t = R_1 \times R_2 \times R_3 = 196 \times 7 \times 7,5 = 10.290$$

Redução necessária = $10^7 \times 0,75 / 10^3 = 7.500$, considerando redução do decantador.

Logo, o emissário terá o comprimento de 1.000 m + 300 m (largura da área a proteger) = 1.300 m

6.2.12.6. Cálculo da ancoragem

Considerações Gerais

A praia de Grussaí apresenta condições muito interessantes para utilização de tubulações submersas.

A inclinação do leito do mar é aproximadamente 1% em uma extensão de mais de 3,0 km. As curvas de nível do fundo do mar são retas e paralelas à linha de costa.

Ao se aproximarem da linha de costa, ou seja, quando a profundidade local começa a ser menor que a metade do comprimento de onda das ondas, diz-se que as ondas começam a sentir o fundo. Com um comprimento de onda em torno de 56m, esta ação já se faz sentir á 2.800m.

Assim, quando as ondas formadas em oceano aberto aproximam-se de águas rasas, progressivamente se orientam para permanecerem paralelas à linha de costa.

Este fenômeno é chamado de **refração** e é função da diminuição da profundidade.

Este fato, as ondas sempre se apresentando paralelas à linha de costa, pode ser constatado sempre que se estiver na praia. O tipo de arrebentação que ocorre é em derrame.

Como o emissário tem um comprimento relativamente pequeno e está posicionado perpendicular à praia, quando as ondas chegam à tubulação, já estão

totalmente influenciadas pela topografia existente, percorrendo toda a extensão do emissário perpendicularmente a este.

As forças de interesse no caso, além da referente à boiância, ao seu peso submerso e à resistência por atrito, que atuam sobre o emissário são as referentes:

- às ondas (fluxo das ondas);
- às correntes marinhas.

Forças devido às ondas

Para verificar a estabilidade do emissário em relação às forças devidas às ondas, principalmente na zona de arrebentação, deve-se saber os valores extremos dessas forças.

Essas forças são:

- Força de inércia (F_i)
- Força de arrasto (F_a)
- Força de elevação (F_e)

Elas podem ser calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$F_i = n C_i f y \frac{n D^2}{4} \frac{H_0}{L_0}$$

$$F_a = C_a f^2 y \frac{n D^2}{4} \frac{H_0}{L_0} \frac{H_0}{D}$$

$$F_e = C_e f^2 y \frac{n D^2}{4} \frac{H_0}{L_0} \frac{H_0}{D}$$

Onde:

f = coeficiente de refração;

C_i = coeficiente de inércia;

C_a = coeficiente de arrasto;

C_e = coeficiente de elevação;

γ = peso específico da água do mar (N/m^3);

D = diâmetro externo do tubo(m);

H_0 = altura da onda em águas profundas(m);

L_0 = comprimento de onda em águas profundas(m).

sendo:

$$f = \frac{2a}{H_0} \text{sen}\theta$$

onde:

a = amplitude das partículas da onda na órbita descrita no fundo do mar;

θ = ângulo formado pela direção da velocidade da onda e a tubulação do emissário.

Observação: O valor de f também pode ser determinado em diagramas apresentados em trabalhos técnicos. Foram utilizados o Manual Técnico para Instalações Submarinas de Tubulações de Polietileno, editado pela Pipelife Norge AS, e Wastewater Management for Coastal Cities – The Ocean Disposal Option, do Banco Mundial, editado por Gunnerson (1988).

No caso de Grussaí, como o ângulo θ tem o valor zero, pode-se considerar sem efeito as forças referidas anteriormente devidas às ondas.

Como nesta área, onde as ondas sentem o fundo, os movimentos das partículas são para frente e para trás, e não mais circularmente, surgirão forças no tubo de compressão e tração, alternativamente. Por isso deve ser pesquisado o fenômeno de fadiga no material de PEAD, em função do número dessas solicitações a que é submetido.

Forças devido às correntes

A força devido às correntes pode ser dividida em duas componentes: força de arrasto e força de elevação.

A magnitude dessas forças depende principalmente da:

- velocidade da corrente;
- diâmetro do tubo;
- densidade da água do mar;
- distância do tubo ao fundo do mar.

No caso, favoravelmente, temos o fato do diâmetro do tubo ser pequeno (250mm) e uma adequada distância do tubo ao fundo de 25 cm ($1,0 D$). Se a distância for entre $0,5D$ e $1,0 D$ a força de elevação será aproximadamente 10% da força de elevação de uma tubulação que repousa diretamente sobre o fundo.

Essas forças podem expressar-se matematicamente da seguinte maneira:

$$F_a = C_a \frac{1}{2} \rho v^2 D$$

$$F_e = C_e \frac{1}{2} \rho v^2 D$$

onde:

ρ = densidade da água do mar (kg/m^3);

v = velocidade da corrente (m/s);

D = diâmetro externo do tubo.

Determinado o número de Reynolds a partir de uma viscosidade referente à temperatura de 20°C , de uma velocidade de corrente de $0,21 \text{ m/s}$ e um diâmetro de 250 mm , chega-se aos valores de $C_a = 1,0$ e $C_e = 0,10$ que acarretam valores admissíveis das forças F_a e F_e , perante o peso da ancoragem indicada.

Espaçamento dos lastros de concreto na zona de arrebentação

Diâmetro externo=250 mm

Diâmetro interno = 234,4 mm

Densidade do concreto= 2.400 kg/m³

Densidade da água do mar= 1.024 kg/m³

Volume unitário de água do mar deslocado pelo tubo=0,049 m³/m

Peso unitário do tubo= 5,952 kg/m

Utilizando-se o nomograma desenvolvido por Reiff (2002), conforme descrito em 3.2.2, determina-se o máximo espaçamento entre os blocos de ancoragem para emissários de PEAD.

Para SDR = 32,25 indica um espaçamento menor ou igual a 5,0 metros. Devido ao interesse em utilizar o máximo de trabalho braçal local, será adotado o espaçamento de 3,0 metros.

Cálculo do peso dos blocos de concreto na zona de arrebentação.

Utiliza-se o método conforme "Small Diameter (HDPE) Submarine Outfalls" (2002) – Reiff F.M. – CEPIS – WHO, adequado até ao nível de Projeto Básico. Para Projetos Executivos, preconiza-se a metodologia apresentada em Freitas (2010).

$$W_a = \frac{0,8 S (W_m V - W_p)}{1 - W_m / W_c}$$

onde:

W_a = Peso total de cada âncora, no ar (kg);

W_m = Densidade da água do mar (kg/m³);

W_p = Peso unitário do tubo (kg/m);

W_c = Densidade do concreto (kg/m³);

V = Volume unitário do tubo (m^3/m);

S = Espaçamento entre blocos (m).

$$W_a = \frac{0,83,0(1,0240,0491 - 5,952)}{1 - 1,024 / 2.400}$$

$$W_a = 186\text{kg} = 186 \text{ kg}$$

Espaçamento dos lastros de concreto fora da zona de arrebentação.

Nesta zona pode-se espaçar mais os lastros. Na tentativa com 5,0 metros (o máximo permitido).

Com este espaçamento e o peso de 186 kg, determinamos o fator de afundamento (K)

$$K = \frac{S(W_p + W_s) + W_a}{S V W_m + W_m / W_c}$$

Onde W_s é o peso unitário do conteúdo do tubo = 43,06 kg/m.

$$K = 1,303$$

Estando entre 1,1 e 1,5, considera-se o valor como sendo adequado.

Medidas do bloco:

Utilizando-se o modelo do bloco tipo B, tem-se:

$$b=0,50\text{m} \quad l=0,40\text{m} \quad e \quad h = 0,50\text{m}$$

6.2.12.7. Elementos da Estação de Condicionamento Prévio - ECP

Cálculo do decantador primário (JORDÃO; PESSOA, 2005; ROQUE, 2006)

$$Q = 38 \text{ L/s} = 3.284 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{SS afluente} = 300 \text{ mg/L (JORDÃO; PESSOA, 2005)}$$

$$\text{Redução esperada} = 40 \text{ a } 60\% \text{ (JORDÃO; PESSOA, 2005)}$$

Adotou-se 50%

$$\text{SS efluente} = 150 \text{ mg/l}$$

$$\text{Taxa de vazão superficial} \leq 40 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$$

$$\text{Tempo de retenção (vazão máx)} = 2\text{h}$$

$$\text{Área superficial} > Q/\text{taxa} > 3284 \text{ m}^3/\text{dia}/40 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia} > 82,1 \text{ m}^2$$

$$\text{Comprimento (L)} < 25 \text{ profundidade (h)} \therefore L = 10 \text{ a } 100 \text{ m}$$

$$\text{Prof} = 3 \text{ a } 3,5 \quad \text{Adotado} = 3,0 \text{ m}$$

$$L = 3 \text{ a } 10 \text{ largura (B)} \therefore B = 3 \text{ a } 27 \text{ m}$$

$$\text{Para } Q = 3.284 \text{ m}^3/\text{d} \text{ e } t_d = 2\text{h}, \text{ Volume} = 274 \text{ m}^3$$

$$\text{Para } h = 3\text{m} \text{ Área(S)} = 92 \text{ m}^2$$

$$S = B \times 5B \quad \therefore 92 = 5B^2 \quad B = 4,5 \text{ m e } L = 22,5 \text{ m}$$

Dimensões do decantador:

$$l = 22,5 \text{ m} \quad b = 4,5 \text{ m.} \quad h = 3,0 \text{ m.}$$

6.2.12.8. Chaminé de equilíbrio

No sistema de disposição oceânica de esgotos de Grussaí será adotada uma chaminé de equilíbrio de concreto armado, com formato tubular. Além de possuir as características mencionadas no item 6.2.11, ela é muito importante no caso de

utilização de tubos de PEAD, pois evitando a entrada de ar na tubulação, impede a sua possível flutuação não desejada.

Na **Figura 16** apresenta-se esquema do perfil do emissário assentado na praia de Grussaí, com os valores das cotas utilizados.

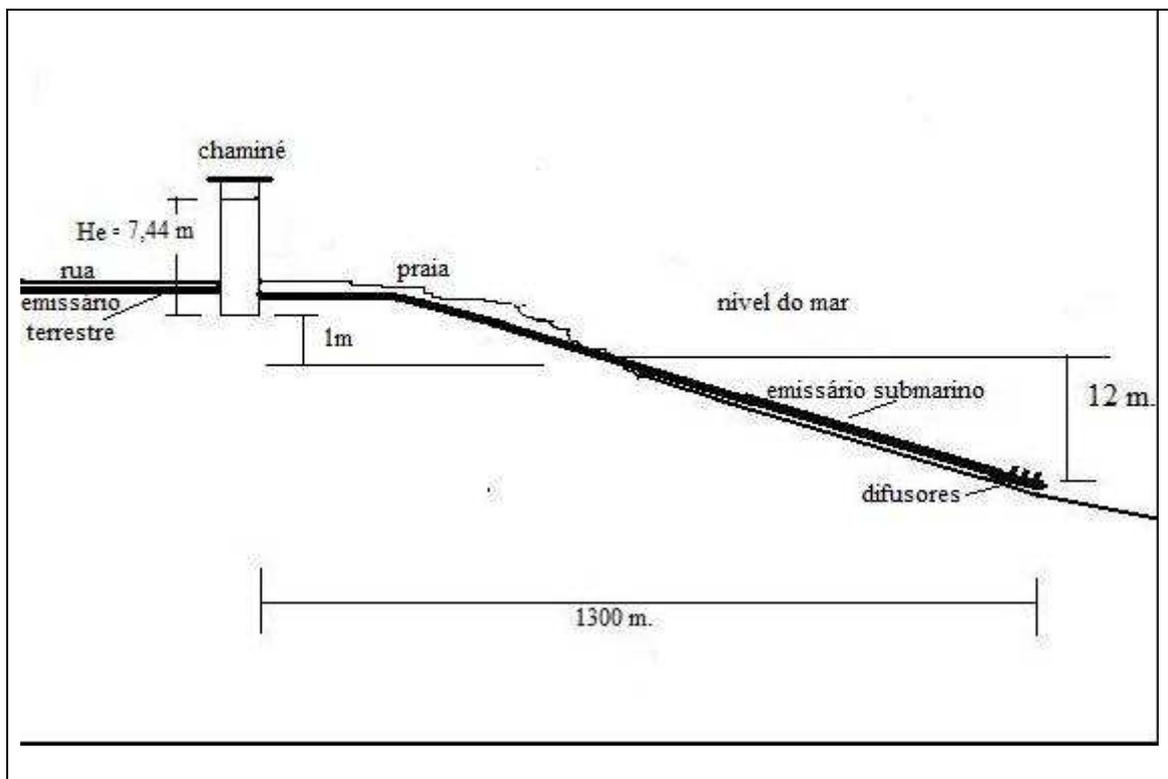


Figura 16. Altura da coluna de efluente (He) na chaminé de equilíbrio.

Cálculo da altura da coluna de efluente na chaminé de equilíbrio (He):

$$Q = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tubo PEAD} : \text{ Diâmetro interno} = 250 - 2 \times 7,8 = 234,4 \text{ mm}$$

$$\text{Área do tubo } S = 0,0432 \text{ m}^2$$

$$Q = V S \quad V = 0,88 \text{ m/s}$$

$$\text{Altura da coluna do efluente na chaminé} = He$$

Altura da coluna da água do mar acima do difusor (com a variação da maré)
 = 12,0m + 1,4m.

Altura do nível do mar até o fundo da chaminé = 1m

$$H_e + 12 + 1,40 = H_e + 14,4 = \frac{V_2}{2g} + \frac{\rho a}{\gamma} + h_p$$

$$Q = 0,2785 C D^{2,83} J^{0,54}$$

$$J = 0,005316$$

$$h_p = 7,15 \text{ m}$$

$$H_e = 7,44$$

6.2.12.9. Digestor

Cálculo do digestor (primário de câmara única) (ROQUE, 2006).

Etapas:

- Vazão diária de lodo bruto:

$$Q_1 = \frac{P \times L_d}{(1 + H)\mu}$$

onde:

L_d = per capita diário contribuinte de lodo, g//hab.d

H = grau de umidade do lodo bruto/100

μ = massa específica do lodo = 1,014 g/cm³

Vazão de lodo digerido:

$$Q_2 = \frac{0,30 (P \times L_d) + 0,70 \times 0,5 (P \times L_d)}{(1 - H_1)\mu}$$

onde:

$H_1 =$ % de umidade no lodo digerido/100;

0,70 = % de sólidos em suspensão voláteis no lodo bruto;

0,30 = % de redução de sólidos em suspensão voláteis.

Capacidade do digestor de câmara única:

$$V = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) T_1 + Q_2 T_2$$

Admitindo-se:

$T_1 = 25$ dias para 35°C ;

$T_2 = 55$ dias.

Resolvendo a equação (15)

$V = 1118 \text{ m}^3$

Dimensões do digestor:

Diâmetro = 15m e $h = 6,5\text{m}$

6.2.12.10. Leito de secagem (ROQUE, 2006; JORDÃO; PESSOA, 2005)

Dados estimados da caracterização do lodo:

Sólidos em suspensão no esgoto bruto: 0,040 kg/hab.d;

Eficiência do decantador = 60%;

Sólidos voláteis no esgoto bruto = 75%;

Redução de sólidos pela digestão = 55%;

Valor de sólidos no lodo digerido = 8%;

Altura de descarga de lodo no leito = 0,20m;

Número de descargas/ano = 12.

Produção do lodo per capita:

$$\lambda = 365 \text{d/ano} \times 0,040 \text{ kg/hab.d} \times 0,60$$

$$\lambda = 8,76 \text{kg/hab.ano}$$

Sólidos voláteis no esgoto bruto:

$$\lambda_{SV} = 8,76 \text{ kg/hab.ano} \times 0,75$$

$$\lambda_{SV} = 6,57 \text{ kg/hab.ano}$$

Sólidos fixos no lodo bruto:

$$\lambda_{SF} = 8,76 \text{ kg/hab.ano} - 6,57 \text{ kg/hab.ano}$$

$$\lambda_{SF} = 2,19 \text{ kg/hab.ano.}$$

Determinação dos sólidos voláteis do lodo digerido

$$\lambda_{SVLD} = 6,57 \text{kg/hab.ano} \times (1-0,55)$$

$$\lambda_{SVLD} = 2,96 \text{ kg/hab.ano}$$

Determinação dos sólidos totais no esgoto digerido:

$$\lambda_{LD} = 2,19 \text{ kg/hab.ano} + 2,96 \text{ kg/hab.ano}$$

$$\lambda_{LD} = 5,15 \text{ kg/hab.ano}$$

Volume do lodo úmido:

$$V = 5,15 \text{ kg/hab.ano} / 0,08 \times 1000 \text{kg/m}^3$$

$$V = 0,064 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$$

Área do leito de secagem para 12 descargas de 0,20m de altura:

$$A = 0,064 \text{m}^3/\text{hab.ano} / (0,20 \text{m} \times 12) = 0,026 \text{ m}^2/\text{hab.ano}$$

Células de 6,0m x 10,0m área=60 m²

$$\text{Números de células} = 0,026 \text{ m}^2/\text{hab.ano} \times 11300 \text{hab} / 60 \text{m}^2 = 5$$

6.2.12.11. Bombas de recalque (do decantador para chaminé de equilíbrio)

$$P = \frac{\gamma Q H_{mt}}{75 \eta} \times CV$$

$$P = \frac{9987 \times 0,038 \times 7}{75 \times 0,75} = 5 \text{ CV}$$

6.2.13. Orçamento

Após o dimensionamento do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários da localidade de Grussaí, foi elaborado o seu orçamento.

Para a tubulação de PEAD foram considerados os preços cotados junto aos fabricantes Brastubo do Brasil e Polierg.

Os preços dos serviços de solda térmica nos tubos de PEAD foram cotados com a empresa especializada Tecnofusion. Os preços relativos ao tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha Parshall) e ao tratamento primário (decantador, leito de secagem) e o chaminé de equilíbrio foram, após seu dimensionamento, estimados.

Os custos dos serviços referentes ao posicionamento e assentamento da tubulação do emissário submarino foram médias dos custos apropriados por quatro empresas: as duas que fornecem os tubos PEAD (Brastubos e Polierg), a empresa que executa os serviços de solda térmica (Tecnofusion Locação de Máquinas e Serviços em Tubos e Conexões Ltda.).

No orçamento, base 2007, considerou-se que a época de construção do emissário seria quando as condições do tempo fossem as melhores possíveis.

O orçamento do sistema é apresentado a seguir, na **Figura 17**.

	Grade	Cx areia	Parshall	Decantador	Elevatória	Chaminé de equilíbrio	Emissário submarino lastreado
A-Sistema de disposição oceânica							
1-Gradeamento-(estruturas,limpeza manual,stop log fibra) e cx. de areia c/ sistema de purga de fundo							27.500,00
2-Parshall - seção da garganta contraída = 3" h=0,38m - (peça)							600,00
3-Decantador com raspador de lodo e bomba de lodo							87.000,00
4-Digestor primário de câmara única com bomba de lodo, stop log fibra (D=15,0m ; h=6,5m)							42.700,00
5-Leitos de secagem - 6 células (10,0mx6,0m)							35.400,00
6-Elevatória - estrutura e bombas							24.000,00
7-Chaminé de equilíbrio D = 1,0 m. , h=8,0m							5.000,00
8-Sub-estação, infra-estrutura de tubulações cabeamento, painel							65.000,00
9- Emissário submarino Ø = 250 mm.							
10.1-Tubulação						(1.300m + 100m) x R\$ 72,54	101.550,00
10.2-Soldagem termo-plástica						(1.300m + 100m) x R\$ 10,80	15.120,00
10.3-Ancoragem (blocos 0,50mx0,40mx0,50m) 350 unid.x R\$130,00							45.500,00
10-Montagem							147.000,00
						sub-total	596.370,00
B-Instalação da tubulação							
1- Operação de afundamento (reboque,flutuação e assentamento controlado)							135.000,00
2-Serviços de mergulho (apoio, monitoramento e afundamento)							75.000,00
3-Embarcações para apoio marítimo(posicionamento)							90.000,00
4-Diversos(canteiro, equipamentos complementares, mão de obra de apoio)							95.000,00
						sub-total	395.000,00
						TOTAL	991.370,00

Figura 17. Orçamento do sistema de disposição oceânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABESSE, D. M. S. Avaliação da qualidade dos sedimentos do sistema estuarino de Santos, SP. 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. São Paulo, SP: CETESB, 2006. p. 187-203.
- BASCOM, W. The non-toxicity of metals to animals in the sea. Southern California Coastal Water Research Project, Long Beach, CA, 1982.
- BASCOM, W.; BROWN, D. Toxicity and sea animals. Southern California Coastal Water Research Project, Long Beach, CA, 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.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução 274, 2000.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução 375, 2005.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução 430, 2011.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de monitoramento de emissários submarinos, 2007.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas costeiras do Estado de São Paulo – Balneabilidade das Praias, 2008.
- FERNANDES, C. Esgotos Sanitários. João Pessoa, PB: Editora UFPB, 2000.
- FISCHER, B. H.; KOH, R. C. Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N. H. Mixing in inland and coastal waters. New York: Academic Press, 1979, 483 p.

- FREITAS, S. O uso de emissários submarinos em cidades pequenas. *Revista do CREA-RJ*, n. 77, p. 36-37, 2009.
- FREITAS, S. Proposta de Metodologia de Projeto de Sistema de Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários, em Localidades de Pequeno Porte. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: UERJ, 2010.
- GAUGHAN, M. K.; KOMAR, P. D.; NATH, J. H. *Breaking Waves: a review of theory and measurements*. School of Oceanography. Oregon State University, 1973.
- GIORDANO, G.; BARBOSA FILHO, O. O processo eletrolítico aplicado ao saneamento ambiental de balneários. *In: 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, 2002.
- GONÇALVES, F. B.; SOUZA, A. P. *Disposição oceânica de esgotos sanitários - História, Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- GRACE, R. A. *Marine Outfall Systems*. New Jersey: Prentice Hall, 1978.
- GRADY Jr, C. P. L.; LIN, H. C. *Biological wastewater treatment, Pollution engineering and technology*, New York: Marcel Decker, 1980. 963p.
- GUNNERSON, C. G. *Wastewater Management for Coastal Cities, The Ocean Disposal Option*. World Bank Technical Paper, nº 77, 1988.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4.ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, 2005.
- LISETH, P. Wastewater disposal by submerged manifolds. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 102, n. 1, p. 1-14, 1976.
- LUDWIG, R. G. *Environment impact assessment-siting and design of submarine outfalls*. World Health Organization – WHO, 1988.
- 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, SP: USP, 2002.
- 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. São Paulo, SP: CETESB, 2006. P. 43-57.
- MARINHA DO BRASIL - Diretoria de Hidrografia e Navegação Roteiros-Costa Leste, 2008.
- MARINHA DO BRASIL - Diretoria de Hidrografia e Navegação. Roteiros-Costa Sul, 2008.
- MEARNS, A. J. How clean is clean? The battle for Point Loma. *Water Environment Research*, v. 66, n. 5, 1994.
- METCALF & EDDY Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- OCCHIPINTI, A. G.; SANCHEZ, W.; GAGLIANONE S. Estudos para o sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos e São Vicente – Relatório Parcial Nº 1- Publicação nº 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 Nº 4- Publicação nº 304. IPE Instituto de Energia Atômica, 1974.
- REIFF, F. M. Small diameter (HDPE) submarine outfall. Division of Health and Environment. Pan American Sanitary Bureau, Regional of the World Health Organization – WHO. Washington, DC: WHO, 2002.
- ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls I: submerged wastefield formation. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 1-25, 1989a.
- ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls II: spatial evolution of submerged wastefield. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 26-48, 1989b.

-
- ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls III: effect of diffuser design on submerged wastefield. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 49-70, 1989c.
- ROQUE, O. C. C. Tratamento de Esgotos – Apostila do Curso de Especialização de Engenharia Sanitária e Ambiental – UERJ, 2006.
- SALAS, H. Emisarios Submarinos: Alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras em America Latina. Lima, CEPIS, OPS, CEPIS/PUB, 2000.
- TOPÁZIO, E. F. Modelagem de pluma de emissários com T90 variável na costa oceânica de Salvador, BA. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Rio de Janeiro: UFRJ; 2003.
- 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.