
Planejamento e Projeto de Sistemas de Disposição Oceânica*

Engenheiro RUSSEL G. LUDWIG (**)

Introdução

No clima ambientalista atual há uma forma de histeria que surge, com bastante frequência, sempre que alguém menciona o assunto do lançamento de efluentes de águas servidas ao oceano. O fato é que muitos dos grandes centros de população no

mundo se acham nas orlas marítimas, e as águas oceânicas adjacentes representam o corpo receptor mais lógico e mais econômico para os esgotos. E, se o processo for apropriadamente controlado, este método de disposição não prejudicará os recursos marinhos.

Nenhum engenheiro ambientalista consciente pensa em prejudicar os oceanos do mundo nem, tampouco, em prejudicar os recursos de terra e de ar. No entanto, há extremistas que parecem achar que o engenheiro ambientalista seja um feiticeiro — que ele possa fazer com que as coisas desapareçam e que promovam "slogans" como o de "descarga zero". Neste caso, também, o fato é que realmente nós nunca nos livra-

mos de coisa alguma. Por exemplo, os processos de sedimentação apenas separam o material sedimentável da massa líquida. O resultado é simplesmente dois fluxos separados de esgoto. A digestão de despejos sólidos, de maneira similar, produz o lodo residual e os gases de despejos que entram na atmosfera. Os lodos e os efluentes ainda devem ser descarregados ou em corpos de água ou na terra. Em outras palavras, finalmente, todos os despejos são descarregados na terra, na água ou na atmosfera. Naturalmente, durante os processos de tratamento, os despejos são modificados e é tarefa do engenheiro ambientalista desenvolver sistemas em que os despejos sejam modificados em grau necessário

(*) Trabalho preparado para o Simpósio de Tecnologia de Tratamento e Disposição de Esgotos da Organização Pan-americana de Saúde realizado em Buenos Aires, Argentina, de 15 a 18 de junho de 1976.

(**) Presidente da Encibra S. A. — Estudos e Projetos de Engenharia.

para que, quando descarregados, o impacto resultante no meio ambiente total seja mínimo. Além disso, é de considerável importância que a disposição seja efetuada a custo mínimo.

No planejamento de disposição oceânica de despejos em países em desenvolvimento, os sistemas devem ser compatíveis com as necessidades globais da comunidade. Como B. Grover, do Banco Mundial, enfatizou no Simpósio de Londres, de 1964, sobre Descarga de Esgotos por Emisários Oceânicos (1), "autoridades responsáveis, especialmente de países em desenvolvimento, estão plenamente conscientes da necessidade de determinar prioridades no alocamento de fundos esparsos e não gastarão dinheiro para obter um oceano isento de poluição enquanto faltam à população hospitais, escolas, abastecimento seguro de água, ou até os alimentos necessários para sua sobrevivência". Portanto, nos países em desenvolvimento, critérios arbitrários, como os incorporados nas exigências atuais da Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (2), simplesmente não podem ser aplicados. Se fossem aplicadas indistintamente, sem considerar o ponto de lançamento, as exigências de 30 mg/l de DBO e de sólidos em suspensão e de 200 coliformes fecais por 100 ml para todos os efluentes, os programas resultantes exigiriam recursos inacessíveis e tornar-se-iam "projetos de gaveta", destituídos de qualquer valor. Isto é um exemplo da afirmação clássica de que "em muitos casos a perfeição é o inimigo do bom".

SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA

Desenvolvimento histórico

O mérito pelo início da pesquisa sobre a disposição de esgotos no oceano deve ser dado a A. M. Rawn e H. K. Palmer, que em 1929 publicaram o tratado original sobre o assunto (3). Em 1956, o professor Erman Pearson apresentou um relatório pormenorizado referente às práticas de disposição submarina no Estado da Califórnia (4). O aumento do interesse na disposição oceânica deu origem à já histórica Primeira Conferência Internacional de Disposição de Despejos no Ambiente Marino, celebrada na Universidade da Califórnia em julho de 1959 (5). Em segui-

da surgiram investigações extensas sobre a diluição e a difusão do jato, com estudos importantes apresentados por Abraham, Brooks, Cederwall, Fan e outros. Desde 1972 foram organizadas mais quatro conferências internacionais sobre disposição marinha, três na Itália (Marina Aurisina, 1972; San Remo, 1973; e Sorrento, 1975) e uma em Londres, na Inglaterra, em 1974.

Parâmetros de descarga: exposição geral

Na Primeira Conferência Internacional de Pesquisa de Poluição da Água (Londres, 1962), Harwey F. Ludwig e Ben Onodera apresentaram um trabalho importante sobre parâmetros de disposição marinha que, pela primeira vez, definiu a vasta diferença entre a disposição interioriana e a disposição no oceano aberto, dando ênfase à importância especial dos materiais fluviáveis.

Na conferência mais recente sobre disposição oceânica, celebrada em Sorrento, na Itália, em julho de 1975, as relevantes conclusões tomadas pela vasta maioria dos participantes, a respeito da descarga efluente de águas servidas no oceano, podem ser resumidas da seguinte forma:

a) Onde os efluentes são lançados no oceano aberto, apenas uns poucos parâmetros são importantes e aplicáveis, inclusive considerações quanto à proteção da saúde pública, considerações estéticas, especialmente com referência ao material fluviável e materiais tóxicos como DDT, PCB, etc., persistentes e que possam causar danos ecológicos.

b) Todos os demais constituintes dos esgotos, como DBO, sólidos suspensos, oxigênio dissolvido, salinidade e nutrientes, não têm significância quando os efluentes são lançados nas águas do oceano aberto através de longos emissários corretamente projetados e equipados com sistemas adequados de difusores.

c) O material fluviável persistente que possa voltar à orla marítima, causando prejuízos estéticos, deve ser removido antes do lançamento (o termo "persistente" é invenção deste autor e será definido mais adiante, no presente trabalho).

d) Substâncias tóxicas, como DDT, PCB, etc., não podem ser removidas economicamente dos esgotos aos níveis necessários, de modo que devem ser eliminadas através de controle aplicado na fonte. (Naturalmen-

te, esta exigência é ainda mais aplicável em casos onde os efluentes são lançados com pouca diluição.)

e) Os sistemas de disposição oceânica podem providenciar meios seguros e econômicos para a disposição de águas servidas, desde que as condições (c) e (d) sejam satisfeitas e o sistema inclua provisões para diluição inicial adequada, dispersão subsequente e tempo suficiente de percurso de campo de esgoto para satisfazer às exigências de saúde pública e de ordem estética.

Um trabalho excelente, com o título de "Projeto conceptual de sistemas de disposição oceânica", foi apresentado pelo professor Erman Pearson à Conferência de Londres de 1974 (1, trabalho 40). Nele, Pearson faz comparação entre várias alternativas de disposição oceânica, inclusive sistemas usando tratamentos primário, secundário e avançado com emissários correspondentes de vários comprimentos. É claramente demonstrado que o uso de tratamento primário com o transporte dos efluentes a uma área da alta capacidade de diluição resultará nos mais baixos níveis de concentração de poluentes, em comparação a sistemas que introduzem efluentes mais altamente tratados a um ponto mais próximo à costa. Na base da abordagem de Pearson e usando dados adicionais referentes ao custo de emissários, o autor estimou que o diferencial de custo entre apenas os tratamentos primário e secundário (inclusive todos os custos de capital, operação e manutenção) já é suficiente para permitir a construção de 3 a 4 quilômetros de tubulação oceânica quando a vazão de projeto chegar a 3 mgd (0,13 m³/s). Citamos 3 a 4 quilômetros porque isto representa o comprimento provável do emissário para garantir a proteção da praia sob condições oceânicas usualmente vigentes ao longo de costas abertas em águas tropicais. É óbvio que este é um valor aproximado, porém o mesmo nitidamente ilustra as potencialidades da disposição oceânica, especialmente se lembramos que, mesmo no caso do lançamento de efluentes secundários no oceano, se precisa de um emissário de certo comprimento.

Obviamente, se for possível aplicar um menor grau de tratamento (menos dispendioso do que o primário), então a comparação econômica será ainda mais a favor da alternativa da disposição oceânica.

Além disto, um sistema de disposição baseado no uso de um emissário comprido oferece vantagens adicionais, entre as quais mencionamos as seguintes:

a) O desvio de emergência do esgoto incompletamente tratado a um emissário curto pode, em pouco tempo, causar poluição grave da praia, ao passo que tal ocorrência pouco importará no caso da alternativa de emissário comprido.

b) No caso da entrada no sistema de poluentes tóxicos e/ou de caráter desconhecido, haverá pouco efeito com a alternativa de emissário comprido, capaz de proporcionar diluição inicial de 100/1 ou mais.

Alguns críticos da disposição oceânica afirmam que o transporte e a disposição dos efluentes de esgotos ao oceano detraem a possibilidade da reutilização das águas. Nada é mais distanciado da verdade, pois onde se pratica a renovação das águas servidas ainda maiores quantidades de poluentes residuais aguardam a disposição. Este fator importante foi enfatizado durante estudos extensos sobre a reutilização das águas do Condado de Los Angeles, Califórnia, em 1948-49 (6). O atual programa de renovação de águas, muito bem sucedido, dos Distritos de Saneamento do Condado de Los Angeles, onde mais de 70 mgd (265 mil m³/dia) são reencaminhados a bacias subterrâneas de água, é somente viável por causa do sistema de disposição oceânica bem sucedido daquela Agência.

As conclusões acima delineadas, sem dúvida alguma, estão consistentes com os resultados de dois estudos compreensivos conduzidos para determinar os efeitos factuais de descargas oceânicas a longo prazo, notadamente o "Programa de qualidade de água para Honolulu, com ênfase especial à disposição dos esgotos" preparado para a cidade e o condado de Honolulu em 1970-72 por um consórcio de engenheiros (ao qual este autor tem servido de diretor de programa) (7) e o "Projeto de pesquisa de águas costeiras da Califórnia do Sul", um programa contínuo iniciado em 1970 e patrocinado por várias grandes agências de esgotos municipais de condados da Califórnia do Sul (8).

Em Honolulu, cerca de 55 mgd (2,4 m³/s) de esgotos não tratados foram lançados por décadas através de um emissário de 1.100 m de comprimento, com pouca diluição inicial,

a uma profundidade de água de 11 m aproximadamente. A conclusão tirada dos estudos de comunidades animais bênticas era a de que os efeitos significantes eram limitados a uma área bastante pequena. O aspecto surpreendente desta conclusão era o de que a descarga do esgoto cru foi "a priori" considerada como tendo amplos efeitos sobre essas comunidades. Tem-se planejado um sistema que inclui o tratamento primário com ênfase especial à remoção do material fluatável e descarga dos efluentes em águas de profundidade acima de 250 pés (76 m), julgado pela equipe de engenheiros, oceanógrafos, biólogos marinhos e especialistas em saúde pública como sendo mais rigorosas exigências oceânicas.

Os resultados das investigações no Quadro do Projeto de Estudos de Águas da Califórnia do Sul incluíram as seguintes conclusões significantes, depois de três anos de estudos intensivos:

a) "Não há evidência que possa documentar que as práticas atuais de disposição das águas servidas tenham tido quaisquer efeitos substanciais adversos ou irreversíveis sobre as características gerais ecológicas ou sobre a qualidade ambiental das águas";

b) "A aplicação de políticas e práticas interiorianas de disposição de águas servidas na disposição oceânica de esgotos é tecnicamente falha. Por exemplo, exigências típicas interiorianas da remoção da DBO, de sólidos suspensos e nutrientes das águas servidas municipais têm pouca justificativa técnica ou relevância em problemas de ecologia marinha."

O Dr. John D. Isaacs, presidente do Conselho Consultor de Projetos e diretor do Instituto de Recursos Marinhos, da Scripps Institution of Oceanography, de La Jolla, Califórnia, também tem enfatizado a irrelevância do material orgânico de esgotos, apontando que as descargas fecais de somente das anchovas nas águas costeiras da Califórnia do Sul equivalem ao teor em material orgânico (DBO, SS) da descarga de esgotos de uns 90 milhões de pessoas. E isto é apenas uma das centenas de espécies de vida marinha.

A conclusão (a) acima é realmente profunda ao compreender-se que aproximadamente 600 milhões de galões (2,27 milhões de m³) são atualmente descarregados diariamente apenas pelas duas maiores agências de esgotos da área de Los Angeles

e que as mesmas atendem a uma região altamente industrializada.

Apesar dessa evidência esmagadora, a Agência de Proteção do Meio Ambiente dos EUA determinou que em 1977 todos os efluentes lançados no oceano por qualquer meio devem passar, antes, por um tratamento secundário. Já é bastante difícil para um engenheiro ambientalista americano bem informado tentar enfrentar esse conflito óbvio, porém seria ainda muito mais difícil para alguém que não esteja ciente do clima ambiental atual e do processo de distribuição de fundos nos EUA. O fato infeliz é que, se um município desconsiderar as normas das autoridades controladoras, deixará de receber 80% do custo de construção do sistema. Admita-se que um sistema, incorporando o tratamento primário possa ser construído pela metade do custo de uma alternativa com tratamento secundário (uma hipótese razoável). Se o município optar pelo sistema de tratamento primário, então, devido à perda dos fundos de complementação eqüitativa, o resultado seria que o sistema primário "custaria" ao município duas e meia vezes mais. Considerando esse fato, colocado no quadro do clima ambientalista nos EUA, quem imaginaria um governo municipal optando pela alternativa do tratamento primário?

Infelizmente, como nós todos o sabemos, o público deve pagar, em última instância, não somente o custo total da construção, mas também os pesados custos de operação e de manutenção, que continuarão para sempre.

Sistemas de pré-tratamento: significância e remoção da matéria fluatável

Infelizmente, pouca pesquisa se tem realizado visando à matéria fluatável e sua remoção de fluxos de esgotos. Trabalhos importantes foram apresentados por H. F. Ludwig e co-autores (28), (29). Tradicionalmente, nos EUA, tais matérias foram incluídas nas remoções que ocorrem no tratamento primário dos esgotos e, desde que o tratamento primário, há muitos anos, é a exigência mínima para a disposição oceânica, pouco ou nenhum interesse houve quanto ao desenvolvimento de processos visando especificamente à remoção da matéria fluatável.

Num tanque de sedimentação primária, grande parte da matéria fluatável

vel é removida por meio de escumadeiras. No entanto, uma proporção significativa dessa matéria fica também presa no lodo sedimentado. Se esse lodo for descarregado no oceano sem outro tratamento, a matéria presa se soltaria e subiria à superfície. Durante um estudo de dezoito meses, realizado em Honolulu (7, Área de Trabalho n.º 5), tentou-se classificar a matéria fluotável, porém sem muito sucesso. Entretanto, foram feitas comparações entre as quantidades efetivas de matéria fluotável, escumada da superfície do oceano sobre uma descarga existente de um emissário, sendo que as quantidades foram determinadas por análises de laboratório. Os resultados indicavam que apenas uma fração (menos de 10%) da matéria determinada no laboratório como sendo "fluotável" ficou fluotando de fato no oceano. Pode-se ver que somente o próprio oceano "sabe" o que é realmente matéria fluotável e que os métodos atuais de laboratório devem ser ainda mais refinados, para que possam oferecer dados de maior utilidade.

De fato, se pensarmos bem, logo veremos que o esgoto contém uma grande variedade de matéria fluotável que vai da própria água do esgoto, relativamente quente e de baixa salinidade, apenas um pouco menos densa do que a água do oceano, até o que se pode chamar de "matéria fluotável persistente", como a cortiça que sobe à superfície sob quase todas as condições de descarga. Com o emissário cuidadosamente projetado e se existir no oceano uma estrutura suficiente de densidade, a porção líquida do escoamento usualmente pode ser mantida submersa. É também evidente que sob tais condições boa parte da matéria, determinada no laboratório como sendo fluotável, também ficará submersa. O engenheiro Fernando Josa, de Barcelona, Espanha, tem descrito ao autor experiências por ele conduzidas em que matéria tipicamente fluotável, como fezes, pedaços de frutas, etc., pára de flutuar quando sujeita a uma pressão equivalente a 20 m de água de mar. Além disso, matéria com fluotabilidade um pouco maior permanece submersa por períodos consideráveis e, portanto, é distribuída sobre uma área ampla, por causa de correntes oceânicas subsuperficiais variadas. A matéria fluotável persistente ascenderá rapidamente à superfície em cima da seção dos difusores e tenderá a ficar mais concentrada.

Sob regimes desfavoráveis de correntes dirigidas à costa, quantidades suficientes dessa matéria podem chegar às zonas de praias recreacionais, causando sua deterioração estética. Para prevenir tais ocorrências, a matéria fluotável persistente deve ser eliminada do fluxo de escoamento antes de sua descarga. Esta afirmação parece bastante simples, porém na prática encontram-se dificuldades. De fato, o volume total da matéria a ser removida é muito pequeno. Estudos e pesquisas conduzidos no Rio de Janeiro em 1967-69 (9) indicavam que a quantidade ficava em torno de 100 libras de peso a seco por milhão de galões de esgoto (1,2 t por 100 mil m³).

Processos normais de sedimentação e/ou flotação resultam na remoção de quantidades excessivas de matéria, inclusive sólidos que afundam no oceano e que são rapidamente assimilados, sem efeitos significantes. Além disso, tais processos exigem grandes áreas e são bastante caros, tanto com respeito à construção inicial como à sua operação e manutenção. O autor e seus colaboradores estão no momento ocupados com estudos no Rio de Janeiro, visando à determinação do método otimizado para a remoção da matéria fluotável antes do lançamento pelo emissário recém-inaugurado de Ipanema, de 4,3 km de comprimento, que atualmente recebe aproximadamente 4,5 m³/s de esgoto cru da Zona Sul do Rio. À luz do que foi exposto acima, e mais ainda, por falta de qualquer área própria para o tratamento primário ou para um sistema de flotação com ar dissolvido, temos estudado seriamente a possibilidade do uso de rotofiltração como meio de remoção da matéria fluotável. O equipamento de rotofiltração, como por exemplo as unidades "Rototrainer", da Hydrocyclonics Corp., EUA, contém cilindros de filtração em aço inoxidável com furos de 0,25 a 2,5 mm que trabalham a velocidades de 5 a 11 rpm e incluem meios de autolimpeza. G. Shelef (10) relatou à Conferência de Sorrento de 1975 que em testes conduzidos em Tel-Aviv, Israel, uma redução significativa da matéria fluotável foi obtida pela rotofiltração, inclusive a eliminação da maior parte da matéria fluotável mais repreensível ou persistente. Tem-se recomendado a instalação de uma unidade-piloto no Rio de Janeiro para poder avaliar melhor a eficiência da rotofiltração quando aplicada ao esgoto do Rio, e, mais especifica-

mente, para verificar se é possível eliminar quantidades indicadas de matéria fluotável (inclusive gordura) e determinar o mais eficiente tamanho de malha. As vantagens de rotofiltração contra outras alternativas de tratamento são: (a) as instalações necessárias ocupam apenas aproximadamente 15% da área necessária para um sistema eficiente de flotação por ar dissolvido; (b) o custo das estruturas e dos equipamentos bem como de operação e manutenção são consideravelmente mais reduzidos; (c) a quantidade do lodo a ser manuseado é muito menor.

Parâmetros específicos de descarga: normas de saúde pública, de organismos patogênicos e de coliformes

A preocupação da Saúde Pública a respeito das exigências bacteriológicas em águas próprias para banho foi amplamente debatida na Conferência de Londres de 1975 (1, págs. 95 a 114). Essa preocupação é baseada na prevenção do contato entre pessoas que usam as águas para atividades recreacionais e os organismos patogênicos que possam estar presentes em tais águas quando afetadas por quantidades significantes de matéria de esgotos. No entanto, muito pouca ou talvez nenhuma evidência existe para justificar um padrão bacteriológico baseado na incidência de doenças. A bem conhecida norma da Califórnia durante os anos de 1940 foi determinada totalmente à base de considerações estéticas. Os pesquisadores têm verificado que, quando o número de coliformes permaneceu de maneira consistente (em mais de 80% dos casos) abaixo de 1.000 MPN por 100 ml, então as praias ficaram esteticamente satisfatórias, sem evidência visual de poluição por esgotos.

Um grupo de trabalho convocado pelo Escritório Regional para a Europa, da Organização Mundial de Saúde, recentemente apresentou um relatório com o título "Diretrizes e critérios para a qualidade recreacional de praias e águas costeiras" (27), em que se diz que "limites superiores recomendados para organismos indicadores devem ser expressos em amplos termos de ordem de grandeza, em vez de números específicos rigidamente estipulados".

Entretanto, áreas balneárias altamente satisfatórias devem acusar contagens de **E. Coli** consistentemen-

te inferiores a 100 por 100 ml e, para serem consideradas aceitáveis, as águas para banho não devem acusar contagens consistentemente superiores a 1.000 E. Coli por 100 ml.

Pode-se criticar os padrões de coliformes de serem não-científicos, porém na verdade eles têm servido a suas finalidades no planejamento e projeto de sistemas de emissários submarinos para a proteção de praias de banho por várias décadas. Desconhecemos um único sistema projetado à base de apropriados padrões de coliformes que não tenha resultado em praias esteticamente aceitáveis. E de igual importância é o fato de que a aplicação de tais padrões resulta em projetos de custo razoável.

Deve-se enfatizar neste contexto que as considerações de saúde pública têm importância muito maior em águas onde se cultiva a pesca de crustáceos. Em contraste com a falta de evidência a respeito de relações entre altas contagens microbianas e a transmissão de doenças em águas poluídas de banho, existe evidência conclusiva de que há transmissão de doenças pelos crustáceos criados em águas poluídas por esgotos. Os crustáceos concentram micróbios por meio de sua filtração natural de grandes quantidades de água do mar e, além disso, oferecem ambiente favorável ao crescimento subsequente de tais micróbios. Portanto, águas que contêm relativamente poucos micróbios nocivos podem produzir crustáceos com concentrações que transmitam doenças.

Normas físicas, diluição, submergência

Num sistema de lançamento corretamente projetado, valores de diluição inicial de pelo menos 100 a 1 são facilmente obtidos e sob tais condições os parâmetros de águas servidas, como DBO, sólidos suspensos, nutrientes, etc., não importam. Por exemplo, se um efluente com uma DBO de 200 mg/l for sujeito continuamente à diluição na água do mar na taxa de 100 a 1, a concentração resultante da DBO na mistura é em torno de 2 mg/l, o que corresponde a uma eficiência de tratamento de 99%. A palavra-chave na afirmação é "continuamente", o que implica que um fluxo contínuo de água fresca de mar esteja sempre disponível para proporcionar continuamente a diluição exigida. Esse é o motivo pelo qual as grandes descargas de efluen-

tes de esgotos devem ser transportadas ao oceano aberto.

Em estuários ou baías, a alta taxa de diluição inicial que seria proporcionada por um difusor eficiente é reduzida pelo volume limitado da água de diluição disponível.

As correntes oceânicas estão sempre variando, tanto em velocidade como em direção, de modo que se torna necessário coletar informações suficientes para permitir uma análise estatística dos regimes de correntes. Durante a reversão poderá haver momentos de correntes de intensidade mínima no ponto de disposição. Portanto, torna-se necessária a formulação das exigências de diluição em termos estatísticos. Por exemplo, o Estado da Califórnia (11) atualmente exige que a diluição inicial exceda a razão de 100 a 1 pelo menos em 50% do tempo e exceda a razão de 80 a 1 pelo menos em 90% do tempo. Isso parece uma norma praticável e razoável para a diluição inicial.

Parâmetros de projeto de emissários — Resumo:

Um conjunto prático de parâmetros de projeto para disposição oceânica em países em desenvolvimento pode ser resumido de forma seguinte:

- a) Substâncias tóxicas (DDT, PCB): a serem eliminadas dos sistemas de esgotos por meio do controle na fonte;
- b) Instalações de tratamento: remoção da matéria fluatável persistente;
- c) Exigências quanto ao projeto do emissário:

— Proteção adequada das áreas recreacionais pela aplicação de um padrão conveniente de coliformes. O padrão da Califórnia, de 100 MPN/100 ml, pode ser considerado satisfatório.

— Projeto de difusor de modo a proporcionar uma diluição de 100:1 pelo menos em 50% do tempo e de 80:1 pelo menos em 90% do tempo.

Nomenclatura usada nas seções seguintes do relatório

- a — Coeficiente de difusividade horizontal, m²/h
- b — Largura inicial do campo de esgoto, m
- C_o — Concentração inicial de coliformes, MPN/100 ml
- C_T — Concentração de coliformes no momento T, MPN/100 ml

d — Profundidade de água do mar no ponto de descarga, m

D — Diâmetro do orifício do difusor, m

F — Número de Froude

g — Aceleração gravitacional = 9,806 m/s²

g' — Aceleração gravitacional aparente

$$= g (P_1 - P_s) / P_1 = 0,251 \text{ m/s}^2$$

h — Espessura do campo, m

P₁ — Densidade da água do mar = 1,0258 (valor médio)

P_s — Densidade do esgoto = 0,9995 (valor médio)

Q_o — Descarga unitária do orifício, m³/s

Q_s — Descarga total de efluentes de esgoto, m³/s

g — Descarga unitária linear, m³/s por metro de difusor

R — Raio de topo da pluma para orifícios circulares, m

S_o — Valor de diluição inicial

S_t — Valor de diluição inicial, na linha central, no topo

S_y — Diluição inicial na linha central, na altura y

S_a — Diluição média no campo

σ — Densidade na terminologia oceanográfica, σ = (P-1) (1000)

U — Velocidade da corrente oceânica, m/s

V_o — Velocidade de descarga no orifício, m/s

w — Comprimento unitário do difusor, metros por m³/s

Y_{max} — Altura máxima da ascendência da pluma de esgoto, m

y — Altura até o fundo do campo de esgoto m, = Y_{max} - h

T — Tempo de percurso do campo de esgoto, horas

erf — Função de erro padrão

$$\text{erf } x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2!} \frac{x^5}{5} - \frac{1}{3!} \frac{x^7}{7} + \dots \right)$$

B — Largura equivalente de jato de fenda = área total de orifícios/comprimento do difusor

E — Energia total, inclusive energia crítica e diferença das alturas de carga

Diluição inicial

A diluição inicial pode ser definida como a diluição do efluente de esgoto com a água do ambiente marinho causada tanto pelo momento da descarga como pelas ascendências resultando da menor densidade do

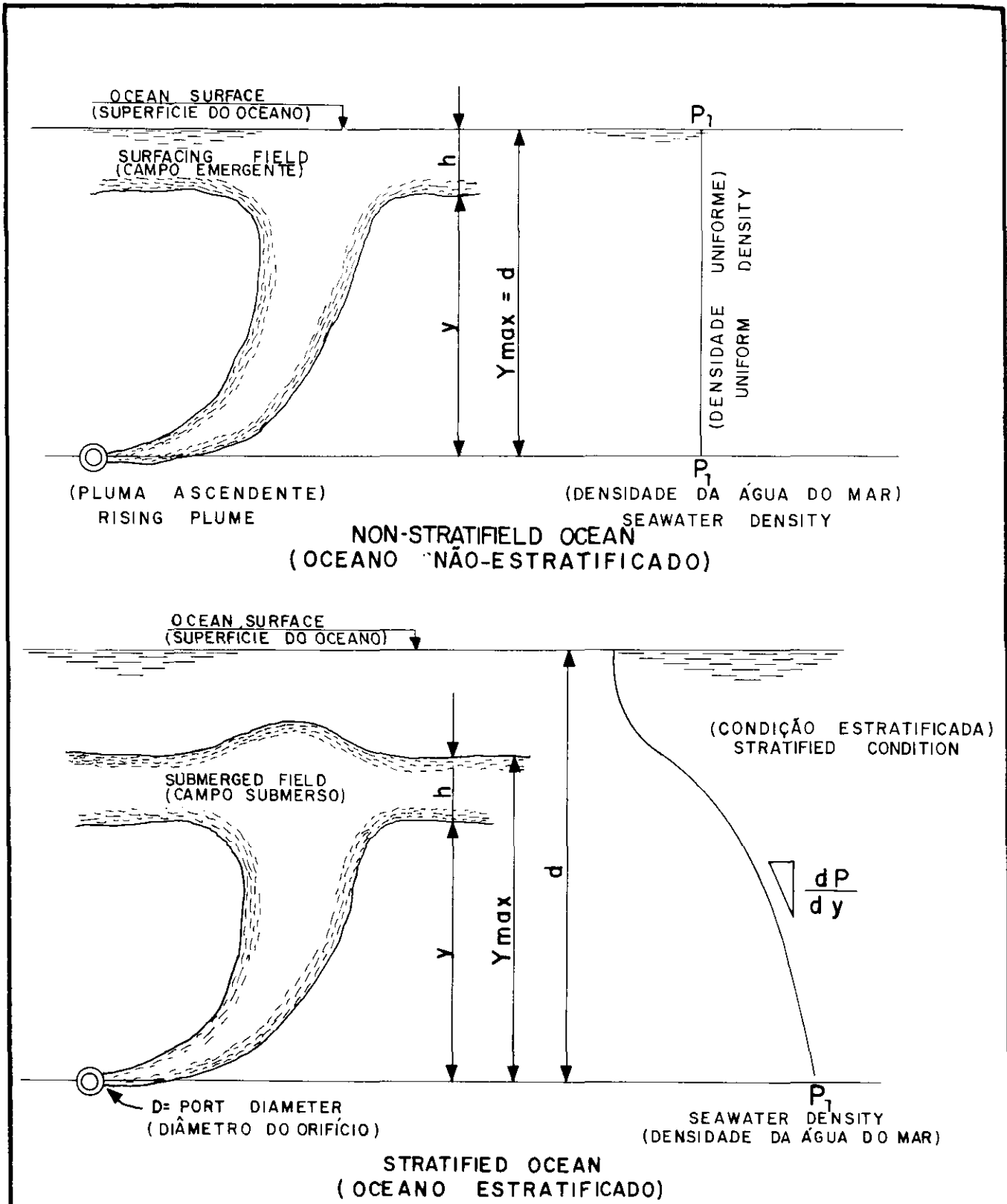


FIGURE 1
 RISING SEWAGE/SEAWATER PLUMES UNDER
 STRATIFIED AND NON-STRATIFIED CONDITIONS

FIGURA 1
 PLUMAS ASCENDENTES DE ESGOTO/ÁGUA DO MAR SOB
 CONDIÇÕES ESTRATIFICADAS E NÃO ESTRATIFICADAS

efluente. Essa diluição pode ser alcançada na superfície do oceano ou, se existir estratificação suficiente no ambiente oceânico, a certa altura máxima de ascendência. As duas condições são apresentadas na Figura 1. A densidade do esgoto é normalmente menor (0,9995) do que a densidade de água do mar (1,0258) e, quando lançado num ambiente oceânico não-estratificado, o efluente ascenderá à superfície para formar um campo superficial. No entanto, no oceano, de um modo geral, prevalecem condições de estratificação, especificamente durante o verão, e, se o efluente menos denso for rapidamente misturado com água mais fria e mais densa do fundo do mar, a mistura resultante será menos densa do que a água do fundo do mar, porém mais densa do que a camada da superfície do oceano. Sob tais condições, em certo ponto na coluna da água do mar, a mistura de esgoto e de água do mar encontrará uma água de igual densidade e não terá mais tendência de ascender. Esta última condição é extremamente desejável, pois se ela ocorrer não haverá manchas superficiais e muito material que de outra maneira subiria à superfície diretamente acima da seção de difusor ficará submerso, por tempo indefinido ou então por um período suficiente para resultar em concentrações superficiais muito menores.

Ambientes não-estratificados/fontes pontiformes

A diluição ao longo da linha central de jatos únicos ascendentes de seção circular lançados na água não-estratificada do mar é apresentada para o caso geral na Figura 2, de acordo com Fan e Brooks (12). Para o uso do gráfico é necessário determinar valores para Y/D e para o número de Froude da fonte, F_d ; sendo Y/D a razão da profundidade da água do mar para o diâmetro do orifício, e

$$F_d = \frac{V_o}{g \cdot D} \quad (1)$$

Usando os valores médios de densidade, anteriormente indicados, a equação (1) acima pode ser simplificada para

$$F_d = \frac{2 V_o}{D^{1/2}} \quad (2)$$

Sendo V_o em m/s, e D em m.

EXEMPLOS

a) Diâmetro do orifício, $D = 0,15$ m
Velocidade de descarga, $V_o = 4$ m/s
Profundidade de descarga, $Y_{\max} = 21$ m

$$Y/D = 140 \text{ e } F_d = 20,7$$

Da Figura 2 temos $S_o = 70$. Entretanto, no caso de jatos de seção circular o valor de S_o se refere ao fim da zona de estabelecimento de escoamento e deve ser aumentado por um fator de 1,15 para obter a diluição verdadeira ao longo da linha central em relação à descarga inicial, S_t . Portanto, teremos:

$$S_t = 1,15 \times 70 = 80,5$$

A diluição média para jatos de seção circular, admitindo inexistência de interferência entre jatos adjacentes, é igual a:

$$S_a = 1,74 S_t \quad (3)$$

$$S_a = 1,74 \times 80,5 = 140$$

b) Diâmetro do orifício, $D = 0,40$ m; Área do orifício = $0,7854 \times 0,16 = 0,1256$ m²; Velocidade de descarga, $V_o = 1,0$ m/s; Descarga pelo orifício = $1,0 \times 0,1256 = 0,1256$ m³/s; Profundidade de descarga $Y_{\max} = 64$ m; $Y/D = 160$ e $F_d = 3,2$.

Da Figura 2 temos: $S_o = 200$, $S_t = 1,15 \times 200 = 230$ e $S_a = 1,74 \times 230 = 400$.

A Figura 3 apresenta valores aproximados dos raios de pluma resultando de descargas de jato horizontal em ambientes não-estratificados. As curvas foram preparadas com os dados de Fan e Brooks (12).

Para o Exemplo (a) acima $Y/D = 140$ e $F_d = 20,7$, a Figura 3 fornece $R/D = 27$.

O diâmetro da pluma no topo da trajetória é aproximadamente igual a $2R$, ou seja $2 \times 27 \times 0,15 = 8,1$ m.

Para o Exemplo (b) de maneira similar, $Y/D = 160$ e $F_d = 3,2$; a Figura 3 fornece $R/D = 24$. O diâmetro do topo da pluma é $2R$, ou $2 \times 24 \times 0,4 = 19,2$ m.

Para evitar a interferência de jatos adjacentes, o espaçamento dos orifícios será necessariamente igual a 8,1 m e 19,2 m, respectivamente para as condições dos dois exemplos.

No caso realizado em que um difusor é utilizado com muitos orifícios de espaçamento reduzido, os jatos mutuamente interferem e criam fontes "lineares". Essas condições serão expostas em seções subsequentes deste relatório.

Ambiente não-estratificado/descargas em águas profundas/fontes pontiformes

A diluição inicial no caso geral é o resultado tanto do momento da descarga como da ascendência. Quando o efeito do momento for menor, por causa de baixa velocidade de descarga ou por uma proporção mais alta da profundidade para o diâmetro do orifício, então a diluição para uma dada profundidade de descarga depende somente da descarga unitária de orifício e pode ser calculada por uma fórmula simplificada (conforme Brooks, 12):

$$S_t = 0,089 g^{1/3} Y_{\max}^{5/3} Q_o^{-2/3} \quad (4)$$

Esta fórmula fornecerá resultados iguais aos da Figura 2, enquanto o valor de $(Y/D)/F$ for maior que 30. A fórmula pode ser usada com resultados satisfatórios (dentro de 5% da Figura 2) se $(Y/D)/F$ for maior que 20.

Usando os valores de densidade indicados anteriormente, a fórmula pode ser expressa como:

$$S_t = 0,056 g^{1/3} Y_{\max}^{-2/3} Q_o \quad (5)$$

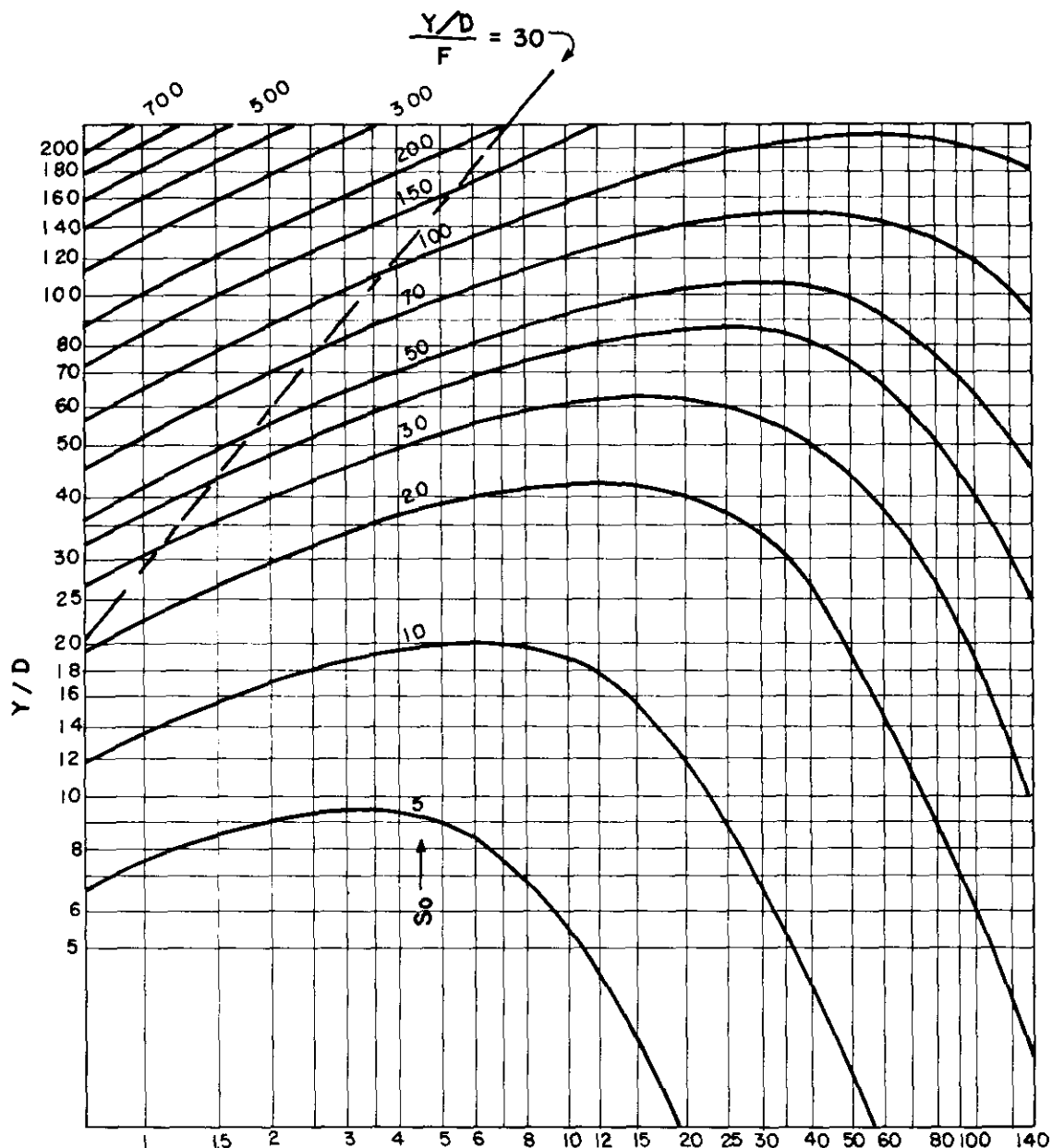
No exemplo (b) acima, com $(Y/D)/F = 160/3,2 = 50$, a fórmula simplificada é aplicável e $S_t = 0,056 \times 64^{5/3} \times (0,1256)^{2/3} = 229$ que está em ótimo acordo com o valor de 230, determinado anteriormente.

Ambientes não-estratificados/fontes lineares

Um sistema difusor eficiente utilizará muitos orifícios de pequeno diâmetro em espaçamento relativamente reduzido, de modo que os jatos se reúnem a pouca distância acima do difusor, formando fontes lineares. Curvas para a determinação de valores de diluição de jatos para estes jatos lineares ou "jatos de fenda", inclusive os efeitos do momento e da ascendência. A descarga resultante pode ser considerada como sendo equivalente a uma fenda proporcionando um jato de largura inicial B , sendo:

$$B = \frac{\text{AREA TOTAL DOS ORIFÍCIOS}}{\text{COMPRIMENTO DO DIFUSOR}}$$

A Figura 3A apresenta os valores da diluição inicial para jatos de fen-



(NÚMERO DE FROUDE DA FONTE)
SOURCE FROUDE NUMBER

$$F_d = \frac{V}{\sqrt{g' D}} \quad , \quad g' = g \left(\frac{P_1 - P_s}{P_1} \right)$$

FIGURE 2

CENTERLINE DILUTION VALUES, S_o , ROUND JETS
NON STRATIFIED ENVIRONMENT, HORIZONTAL DISCHARGE
(AFTER FAN & BROOKS, 12)

(Curves adjusted to use F_d in Place of F)

FIGURA 2

VALORES DE DILUIÇÃO AO LONGO DA LINHA CENTRAL,
 S_o , JATOS DE SEÇÃO CIRCULAR, AMBIENTE NÃO-ESTRATIFICADO, DESCARGA
HORIZONTAL (CONFORME FAN E BROOKS, 12)

(Curvas ajustadas p/o uso de F_d em vez de F)

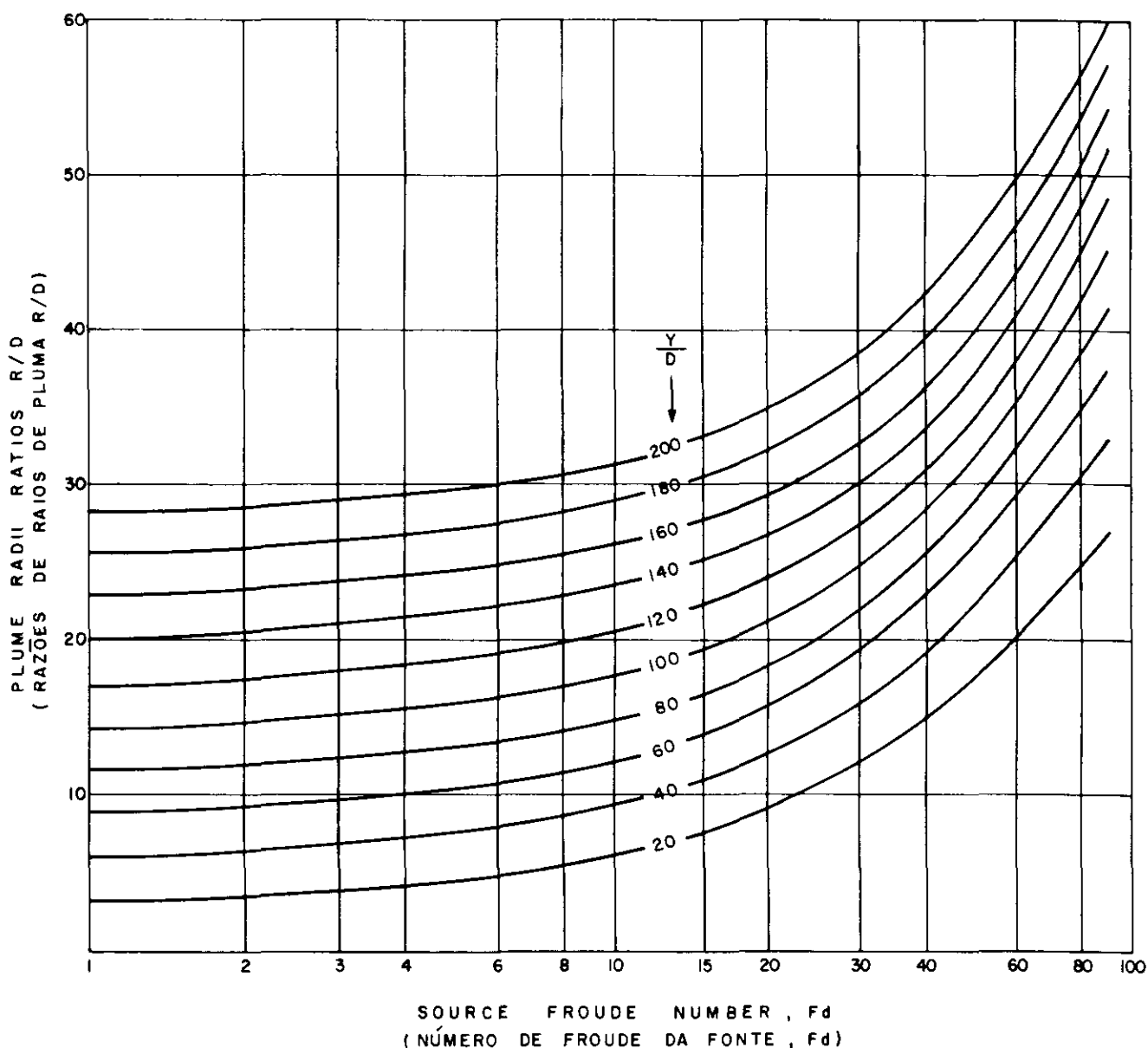
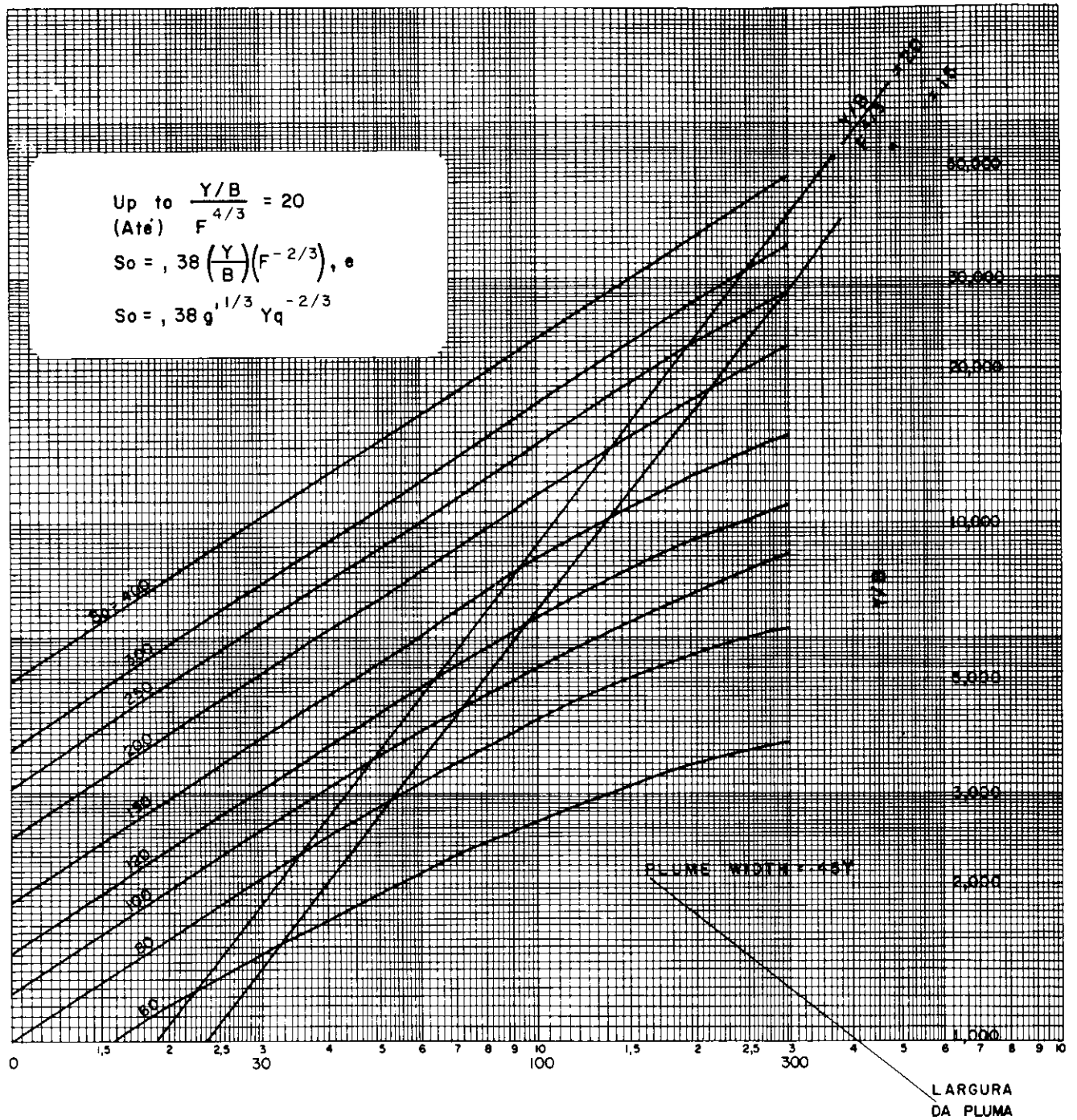


FIGURE 3
 RADII RATIOS FOR ROUND JETS AT TOP OF PLUME
 NON STRATIFIED ENVIRONMENT-HORIZONTAL DISCHARGE
 (AFTER FAN AND BROOKS, 12)
 (Curves adjusted to use F_d in place of F)

FIGURA 3
 RAZÕES DE RAIOS PARA JATOS DE SEÇÃO CIRCULAR NO TOPO DA PLUMA,
 AMBIENTE NÃO-ESTRATIFICADO, DESCARGA HORIZONTAL
 (CONFORME FAN E BROOKS, 12)
 (Curvas ajustadas para o uso de F_d em vez de F)

FIGURE 3A
 SLOT JET DILUTION
 FIGURA 3A
 DILUIÇÃO DE "JATO DE FENDA"



$$F = \frac{V}{\sqrt{g' B}} , B = \frac{\text{TOTAL PORT AREA (ÁREA TOTAL DOS ORIFÍCIOS)}}{\text{DIFFUSER LENGTH (COMPRIMENTO DO DIFUSOR)}}$$

da como função da razão Y/D e do número de Froude que neste caso é igual a:

$$F = \frac{V}{g \cdot B}$$

No entanto, a maioria dos casos práticos que envolvem fontes lineares caem na faixa de valores em que o momento é mínimo ($Y/B/F^{4/3}$ maior de 20) e os cálculos podem ser feitos com uso de uma fórmula simplificada, como a indicada acima para jatos únicos de seção circular. Neste caso, a diluição para uma profundidade especificada de descarga depende apenas da descarga linear unitária, q :

$$S_t = 0,38 g^{1/3} Y_{max}^{-2/3} q \quad (6)$$

$$S_t = 0,24 Y_{max}^{-2/3} q$$

Para fontes lineares a fórmula fornece a diluição com respeito ao jato original e não é necessária a aplicação de correção para a zona de estabelecimento de escoamento.

A diluição média para fontes lineares, S_a é igual a:

$$S_a = 2 S_t \quad (7)$$

As fórmulas acima não incluem o efeito da própria pluma, como isto será exposto numa seção subsequente deste relatório.

Ambientes estratificados/submergência

Temos à nossa disposição um método eficiente para estimar a altura máxima da ascensão de uma pluma de esgoto num ambiente oceânico estratificado, seja de fonte pontiforme ou linear, por meio das fórmulas seguintes. As fórmulas foram adaptadas de dados apresentados por Brooks (13) e aplicam os valores de densidade anteriormente indicados bem como a terminologia adicional seguinte:

ρ = densidade da água do mar ou de efluente em terminologia oceanográfica

$$\sigma_1 = (P_1 - 1) (1000) = 25,8$$

$$\sigma_S = (P_S - 1) (1000) = 0,5$$

A altura máxima de ascensão se calcula de maneira seguinte:

Para fontes pontiformes:

$$Y_{max} = \frac{85 Q_o^{2/5}}{\Delta \sigma^{3/5}} \quad (8)$$

Para fontes lineares:

$$Y_{max} = \frac{260 q^{2/3}}{\Delta \sigma} \quad (9)$$

As figuras 4 e 5 apresentam essas figuras em forma gráfica. Quando curvas representando os perfis medidos da densidade da água do mar são sobrepostas aos gráficos, as alturas de ascensão podem ser facilmente determinadas para condições variadas de descarga. Usando gráficos em folhas transparentes, é fácil estudar várias profundidades possíveis de descarga e várias taxas de descarga para uma faixa de perfis de densidade que possam ocorrer durante o ano. As determinações de Y_{max} devem ser feitas usando tanto a descarga unitária de orifício (Figura 4) como a descarga unitária linear (Figura 5) e aceitar o valor mais alto de ascensão para as estimativas.

Os valores de diluição final ao longo da linha central, S_t em Y_{max} também são apresentados nas figuras 4 e 5, determinados pelas fórmulas seguintes:

Para fontes pontiformes:

$$S_t = 73/\Delta \sigma \quad (10)$$

Para fontes lineares:

$$S_t = 59/\Delta \sigma \quad (11)$$

Muito embora os gráficos tenham sido preparados usando-se o valor de 26,3 para a diferença de densidades da água de mar e de esgoto, os mesmos são aplicáveis para todos os valores normais destes parâmetros. Uma variação de uma unidade de densidade implicará um efeito máximo de 3%, aproximadamente, nos valores de Y_{max} e de S_t .

É importante levar em consideração que, na existência de uma forte estrutura de densidade no oceano, a altura de ascensão da pluma de esgoto é menor e a diluição terminal resultante é reduzida. Portanto, o desejo de manter um campo de efluentes de esgoto em submersão deve ser considerado juntamente com a necessidade de uma diluição suficiente visando à obtenção de um projeto global otimizado.

Esse procedimento oferece uma base racional para a seleção de uma taxa de descarga conveniente de modo a obter a submergência durante a mais alta porcentagem de tempo.

Ele foi usado com sucesso por Brooks no projeto do sistema de emissário do Condado de Orange, na Califórnia (13), e foi usado também pelo autor deste relatório no planejamento inicial do emissário de Honolulu (5, Área de Trabalho 8/9).

EXEMPLO

Planejar um sistema de difusor para descarga a 40 m de profundidade usando pequenos orifícios resultando em descarga por fonte linear. Os perfis de densidade para as condições de verão e de inverno são apresentados em forma sobreposta nas curvas da Figura 5, na Figura 6. Ao selecionar-se um comprimento de difusor de modo a produzir uma descarga unitária se fonte linear de 0,01 m³/s por metro, no verão o campo ascenderia a uma altura máxima de 21 m, aproximadamente. A diluição terminal ao longo da linha central no topo da pluma seria aproximadamente 100 a 1. Para a condição de inverno, prevê-se que o campo justamente alcance a superfície com uma diluição terminal de 200 a 1.

Diluição inicial limitada pelo fluxo de correntes oceânicas

Todos os cálculos anteriores da diluição do jato ignoram o efeito do fluxo limitante da corrente oceânica. Enquanto o campo resultante se estrutura, a diluição resultante com a água fresca do mar é reduzida pela redução da altura efetiva de ascensão. Ao se alcançarem as condições de equilíbrio para uma dada condição de correntes oceânicas, o volume total de água fresca do mar estará justamente em equilíbrio com o volume da mistura de esgoto e de água de mar, oriunda da pluma. Com referência à Figura 1, a diluição corrigida ao longo da linha central será aquela produzida na altura de ascensão, y .

A condição de equilíbrio depende da descarga total de esgotos, da largura do campo de esgoto e da velocidade da corrente oceânica em sentido normal ao difusor e pode ser expressa por meio da equação de continuidade:

$$S_2 Q_2 = U b h$$

Se a largura efetiva do campo de esgoto, b , for posta igual ao comprimento do difusor (uma afirmação ligeiramente conservadora) e se w for

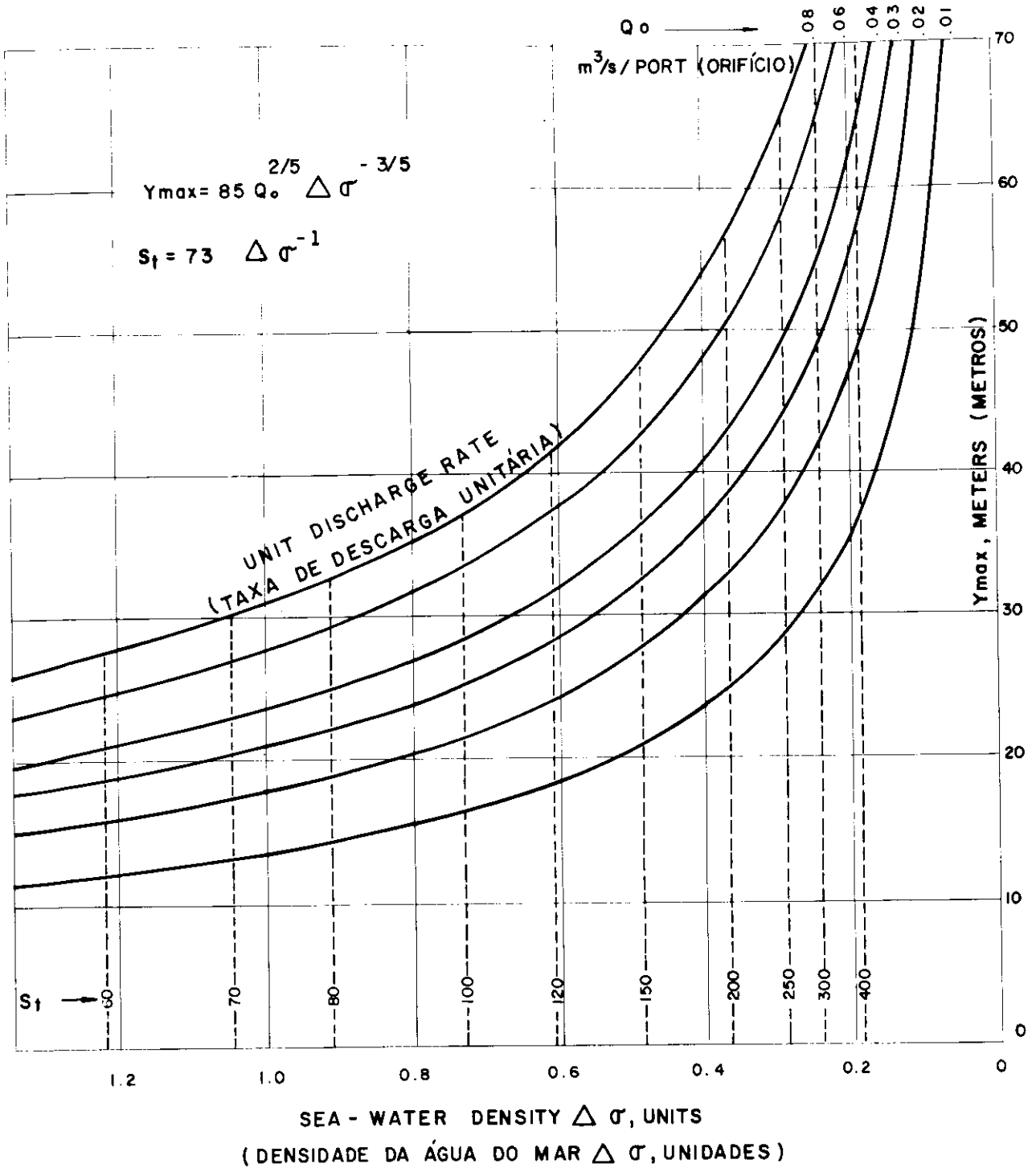


FIGURE 4
MAXIMUM HEIGHT OF RISE, Y_{max} AND TERMINAL DILUTION, S_t .
POINT SOURCE DISCHARGE - STRATIFIED ENVIRONMENT

FIGURA 4
ALTURA MÁXIMA DE ASCENSÃO, Y_{max} , E DILUIÇÃO TERMINAL S_t ;
FONTE DE DESCARGA PONTIFORME, AMBIENTE ESTRATIFICADO

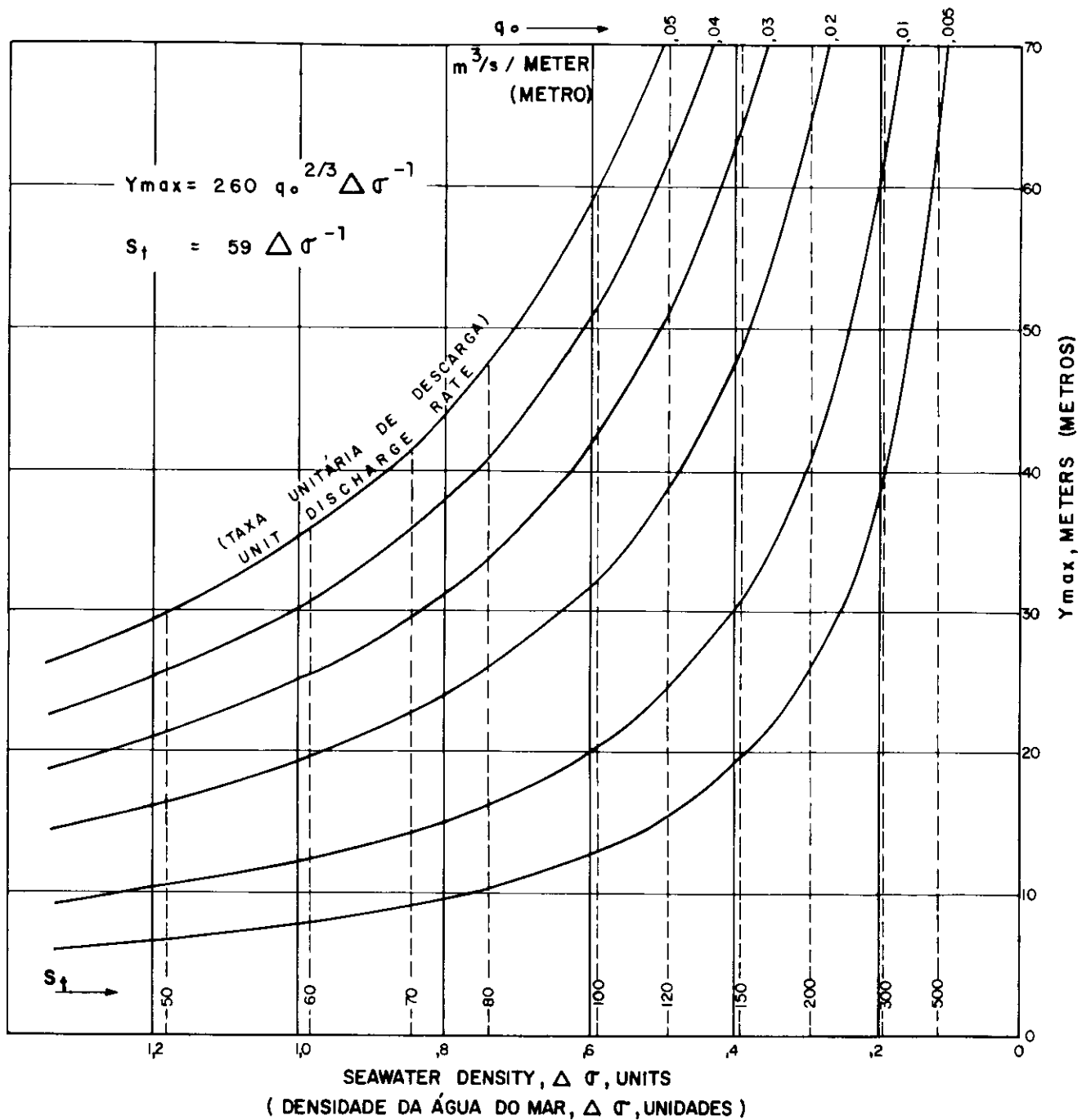


FIGURE 5
 MAXIMUM HEIGHT OF RISE, Y_{max} AND TERMINAL DILUTION, S_t
 LINE SOURCE DISCHARGE - STRATIFIED ENVIRONMENT

FIGURA 5
 ALTURA MÁXIMA DE ASCENSÃO Y_{max} E DILUIÇÃO TERMINAL S_t ;
 FONTE LINEAR DE DESCARGA-AMBIENTE ESTRATIFICADO

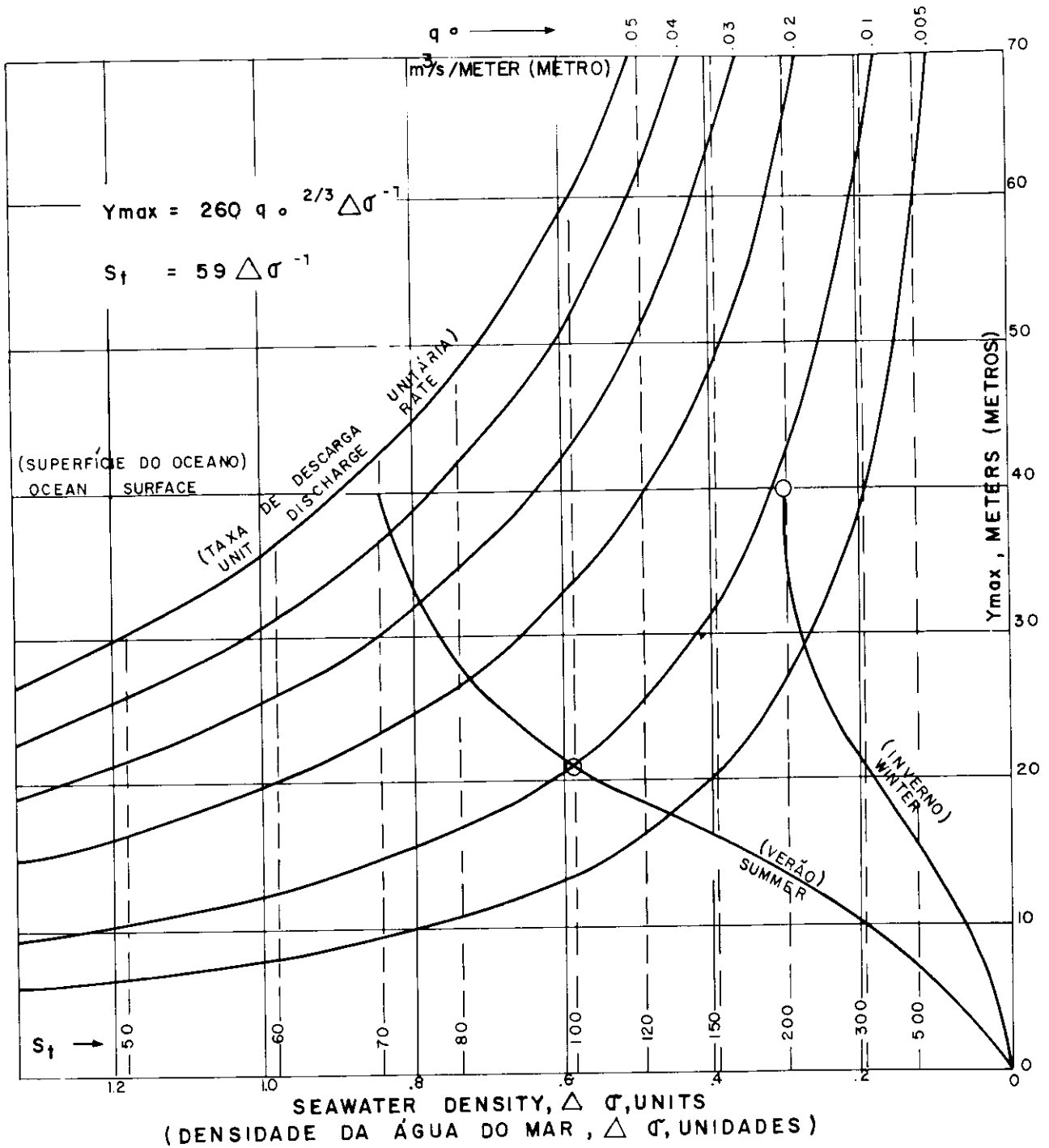


FIGURE 6

MAXIMUM HEIGHT OF RISE, Y_{max} AND TERMINAL DILUTION, S_t
 LINE SOURCE DISCHARGE-STRAFIFIED ENVIRONMENT

FIGURA 6

ALTURA MÁXIMA DE ASCENSÃO Y_{max}
 E DILUIÇÃO TERMINAL S_t , DESCARGA DE
 FONTE LINEAR, AMBIENTE ESTRATIFICADO

o comprimento unitário do difusor, com $w = 1/q$, então teremos:

$$q = Q_s/b, e \quad (12)$$

$$S_a = U h/q \text{ ou } S_a = U h w$$

Combinando as equações de diluição de fonte linear (6) e (7) com a equação de continuidade (12) teremos:

$$S_y = 0,38 q^{1/3} y q^{-2/3} \text{ ou } S_y = 0,38 q^{1/3} y w^{2/3}$$

$$S_a = \sqrt{2} S_y \text{ ou } S_a = 0,38 \sqrt{2} q^{1/3} y w^{2/3}$$

$$Y_{\max} = y + h$$

$$Y_{\max} = \frac{S_a}{0,38 \sqrt{2} q^{1/3} w^{2/3}} + \frac{S_a}{U w}$$

$$S_a = \frac{0,38 \sqrt{2} q^{1/3} U w Y_{\max}}{U w^{1/3} + 0,38 \sqrt{2} q^{1/3}} \quad (13)$$

Usando os valores anteriormente indicados para a densidade:

$$S_a = \frac{0,34 U w Y_{\max}}{U w^{1/3} + 0,34} \quad (14)$$

$$W(Y_{\max}) - w \frac{S_a}{0,34} - \frac{S_a}{U} = 0 \quad (15)$$

Para facilitar a determinação dos comprimentos de difusores para um certo conjunto de dados, a fórmula (15) foi resolvida para taxas de diluição S_a de 100 a 1 e 150 a 1, usando valores de Y_{\max} de 15 a 60 m e velocidades de correntes oceânicas de 0,1 a 0,6 m/s. As curvas restantes são apresentadas na Figura 7.

Exemplos

1) Com aplicação da fórmula (14):

Admite-se a descarga de um fluxo de esgotos de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, através de um difusor de 400 mm de comprimento, a uma profundidade de 40 m. A altura máxima de ascensão foi determinada como sendo $Y_{\max} = 30 \text{ m}$. A corrente oceânica em sentido normal ao difusor tem velocidade de $U = 0,3 \text{ m/s}$. O comprimento unitário do difusor é igual a $w = 400/5$, ou 80 metros por m^3/s :

$$S_a = \frac{(0,34) (0,3) (80) (30)}{(0,3) (80)^{1/3} + (0,34)} = 150$$

$$h = \frac{S_a}{U w} = \frac{150}{(0,3) (80)} = 6,25 \text{ m}$$

$$y = Y_{\max} - h = 23,75 \text{ m}$$

Verificar pelas equações (6) e (7):

$$S_a = (\sqrt{2}) 0,24 Y_{\max} w^{2/3}$$

$$S_a = (1,414) (0,24) (23,75) (80)^{2/3} = 150$$

2) Com uso da Figura 7:

Admite-se a descarga de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ a uma profundidade de água de 40 m.

Estudos prévios de estratificação têm indicado ser possível produzir submergência e que um valor estimado de Y_{\max} seja 30 m. A velocidade da corrente oceânica em sentido normal ao difusor proposto é $0,3 \text{ m/s}$. Pretende-se escolher um comprimento de difusão tal que resulte em uma diluição média do campo de 150 a 1.

Da Figura 7, para $U = 0,3 \text{ m/s}$ e $Y_{\max} = 30 \text{ m}$, para $S_a = 150$ exige-se um comprimento unitário de difusor, $w = 80$ metros por m^3/s :

$$\text{Comprimento do difusor} = 80 Q_s = (80) (5) = 400 \text{ m.}$$

Diluição por difusão horizontal

Subseqüente à diluição inicial, a pluma mista de efluente/água de mar é transportada para fora da zona inicial de mistura, por causa das correntes oceânicas, e enquanto isto sofre diluição adicional, geralmente chamada de difusão horizontal ou lateral. Este processo de diluição é apresentado na Figura 8 para uma corrente em direção à costa.

A diluição mínima devida à difusão horizontal foi expressa por Brooks (14) como sendo uma função do tempo de percurso T , da largura inicial do campo, b e de um coeficiente de difusividade, a :

$$\frac{C_0}{C_T} = \left[\text{erf} \left(\frac{1,5}{\left[1 + \frac{8 a T}{b^{2/3}} \right]^{3/2}} \right) \right]^{-1} \quad (16)$$

sendo erf a função de erro padrão.

Para facilitar a aplicação desta fórmula, foram preparadas curvas na base de um valor médio para o coeficiente de difusividade igual a $0,01 \text{ cm}^2/\text{s}$ ($1,67 \text{ m}^2/\text{h}$), apresentadas na Figura 9.

Por exemplo, para uma largura inicial do campo de 100 m e um tempo de percurso de 3 horas, a diluição por difusão horizontal será igual a 3,5 a 1.

Como se pode observar pela Figura 9, para um difusor relativamente comprido, que produz grande largura inicial do campo, a diluição por difusão horizontal é relativamente pequena. Pode-se discutir que a vantagem da maior diluição inicial obtida por um difusor comprido seja parcialmente perdida por causa da menor difusão horizontal resultante. Entretanto, um difusor comprido produz uma diluição total significativamente maior. Ainda mais importante é, no caso do difusor comprido, o fato de que uma proporção muito maior da mistura total foi posta sob o controle do projetista, proporcionando proteção definitiva contra a possibilidade de uma deriva rápida, fora do comum, do esgoto de baixa diluição inicial em direção à costa. Além disso, o difusor comprido pode criar de maneira eficiente um campo submerso de esgotos, o que não ocorreria com o uso de um difusor curto.

Desaparecimento de coliformes/valores de T_{90}

Dos três mecanismos que produzem redução nos organismos coliformes, ou seja, diluição inicial, difusão horizontal e desaparecimento real de coliformes, este último tem, de longe, o maior efeito sobre os cálculos.

Portanto, é muito importante prestar devida atenção à determinação da taxa de desaparecimento que possa ser aplicada à área de descarga. A taxa de desaparecimento de coliformes é usualmente expressa em termos de valor T_{90} , definido como o intervalo de tempo necessário para o desaparecimento de 90% dos organismos coliformes restantes, além da redução devida à diluição e/ou difusão. Desta maneira, com um valor de T_{90} de 1,0 hora, depois de 3 horas de tempo de permanência haverá uma redução de $10^{3/1}$, isto é, de 1.000.

A sobrevivência das bactérias no oceano foi estudada por muitos pesquisadores, concluindo-se que o seu desaparecimento pode ser o resultado de qualquer um ou de uma combinação de diversos fatores físico-químicos e biológicos inter-relacionados, incluindo: a) a presença de substâncias tóxicas na água do mar; b) adsorção de bactérias e sua floculação e/ou sedimentação; c) ação destrutiva da luz do sol; d) falta de nutrientes necessários; e) presença de bacteriófagos; f) utilização das

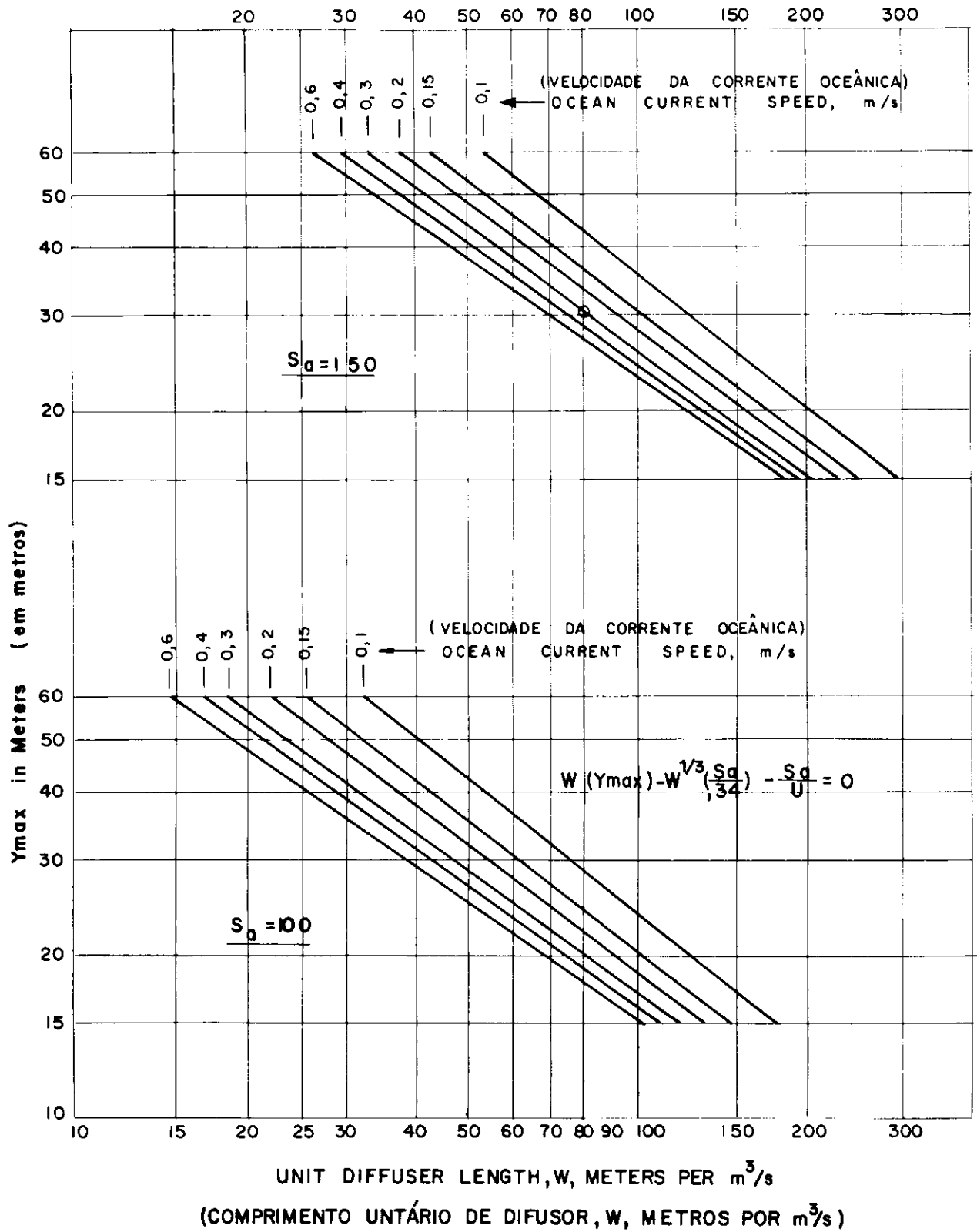
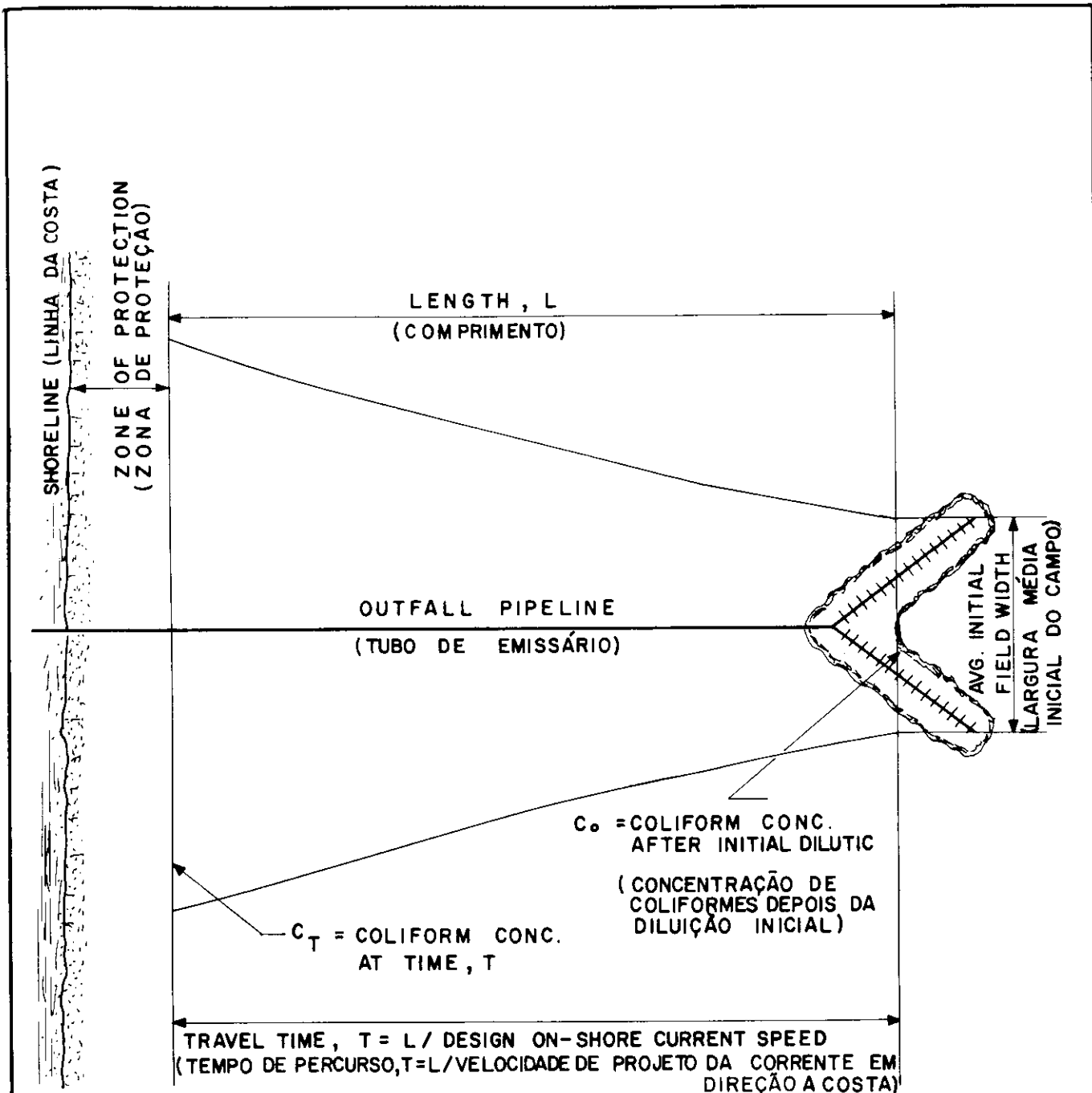


FIGURE 7

UNIT DIFFUSER LENGTHS FOR VARIOUS OCEAN CURRENT SPEEDS AND DILUTION RATIOS OF 100/1 AND 150/1

FIGURA 7

COMPRIMENTOS UNITÁRIOS DE DIFUSOR PARA VÁRIAS VELOCIDADES DE CORRENTE OCEÂNICA E TAXAS DE DILUIÇÃO DE 100/1 E 150/1



$$\frac{C_o}{C_T} = \text{REDUCTION OR DILUTION (REDUÇÃO OU DILUIÇÃO)}$$

FIGURE 8
 DILUTION DUE TO HORIZONTAL DIFFUSION
 FIGURA 8
 DILUIÇÃO DEVIDA À DIFUSÃO HORIZONTAL

bactérias como alimento por protozoários e outros predadores; g) efeitos competitivos e antagonísticos de outros microrganismos. Os pesquisadores anotaram que todos os fatores acima podem ser significantes, mas que o efeito individual de cada um é muito variável, de modo que nenhum fator individual possa ser apontado de maneira consistente como o de maior importância.

A interação e a complexidade resultante dos fatores que produzem o desaparecimento total das bactérias explicam a necessidade de observações empíricas da taxa de desaparecimento.

Podem ser conduzidos estudos de laboratório para verificar ou avaliar métodos ou fatores que contribuem para o desaparecimento de bactérias, mas não devem ser usados no desenvolvimento de valores de T_{90} a serem utilizados em projetos de emissários oceânicos. Tais valores, de maneira correta, devem ser determinados por estudos "in situ" conduzidos no local geral da descarga proposta, de preferência com uso de descargas existentes de esgotos.

Foram feitas tentativas visando à determinação dos valores de T_{90} no oceano pelo uso de tubos ou sacos de diálise ou por outros meios similares. Reduções de coliformes têm sido notadas em certas medições

deste tipo, mas a maioria dos especialistas chegou à conclusão de que os valores tirados de tais experiências têm pouca ou nenhuma significância quando aplicados para projetos de emissários.

O valor de T_{90} é influenciado de maneira considerável pela temperatura da água do oceano.

Valores determinados para águas relativamente quentes têm sido achados como sendo consistentemente menores do que os para águas mais frias, como pode ser verificado pela tabela abaixo.

Planejamento e projeto de sistemas de lançamento

O planejamento e o projeto de sistemas de disposição oceânica exigem um esforço conjunto multidisciplinar compreendendo áreas de engenharia, biologia e oceanografia. O desenvolvimento de um projeto otimizado encarece levantamentos oceanográficos extensivos. Na Conferência de Sorrento de 1975 foram apresentadas excelentes discussões descrevendo métodos de estudos, dados a serem coletados e instrumentos disponíveis para medições [16, 17, 18]. Os dados devem ser obtidos para a seleção do sítio, para o planejamento e projeto do sistema bem como para uso posterior na avaliação

e ao acompanhamento de seu desempenho.

Um projeto completo de um emissário é um processo complexo e apresenta o resultado de muitas tentativas baseadas no uso de dados extensivos de entrada. Apresentamos a seguir algumas considerações gerais sobre o projeto.

Seleção do local

O melhor local para um sistema de lançamento depende, naturalmente, das condições locais específicas. Onde existem alternativas, deverá ser escolhido o sítio que garanta o lançamento ao oceano aberto, longe de baías e estuários. Idealmente, é desejável um fundo de declividade uniforme até uma profundidade adequada, dentro de uma distância razoável da costa. Praticamente, o problema se resolve em evitar-se eflorescências rochosas ou elevações submarinas ao longo do alinhamento escolhido. A natureza do fundo oceânico é de importância considerável com respeito aos custos de construção, especificamente na zona de praia onde o tubo deve ser assentado numa valeta. Para a zona fora da área costeira é necessário apenas verificar a capacidade adequada do fundo oceânico de suportar a carga, de modo a garantir-se a estabilidade do tubo assentado no fundo do mar.

TAXAS DE DESAPARECIMENTO DE COLIFORMES; VALORES DE T_{90}

(Tiradas de medições "in situ" em campos existentes de oceano/esgotos)

Local	Valor observado de T_{90} , horas	Esgoto
Gotemburgo, Suécia	5	Primário
Los Angeles, Califórnia	(média) 4	Primário
Califórnia Central	4	Primário
4 outros emissários da Califórnia	(média) 3,2	Primário
Reino Unido	0,8 a 3,5	Bruto
Dacar, Senegal	2,1	Bruto
Orange Country, Calif.	1,5 a 1,7	Primário
Santos, Brasil	0,8 a 1,7	Bruto
Montevideu, Uruguai	1,5	Bruto
Accra, Gana	1,3	Bruto
Nice, França	1,1	Bruto
Rio, Brasil	1,0	Bruto
Mayaguez Bay, Porto Rico	1,0	Bruto
Tihahi Bay, Nova Zelândia	0,7	Bruto
Honolulu, Havaí	0,75 ou menos	Bruto
Tel-Aviv, Israel	1,0	Bruto
Trieste, Itália	0,5 a 1,5	Bruto

Os dados indicam, por exemplo, que a faixa mais provável para os valores de T_{90} nas águas oceânicas brasileiras está entre 1,0 e 1,5 hora, sendo que o valor mais alto se aplica para a região mais sulina.

Comprimento do emissário

Usualmente, o comprimento do emissário é determinado pela análise de desaparecimento de coliformes. São feitas soluções tentativas com descargas a várias distâncias (e a profundidades correspondentes) da costa, ou da zona a ser protegida, e calculadas as reduções de coliformes devido à diluição inicial, à difusão, horizontal e ao desaparecimento de coliformes, para determinar-se o comprimento específico que resulte em estimativas de contagem de coliformes de acordo com os padrões prescritos.

Exemplos

Admitem-se os seguintes dados de entrada:

Contagem inicial de coliforme 3×10^7 MPN/100 ml (valor típico para efluentes de esgotos tratados ape-

$$\frac{C_o}{C_T} = \frac{1}{\text{erf} \sqrt{\frac{1,5}{\left[1 + \frac{8aT}{b^{2/3}}\right]^3 - 1}}}$$

$$a = ,01 \text{ cm}^{2/3}/\text{sec} = 1,67 \text{ m}^{2/3}/\text{hr.}$$

T in hours (em horas)

b in meters (em metros)

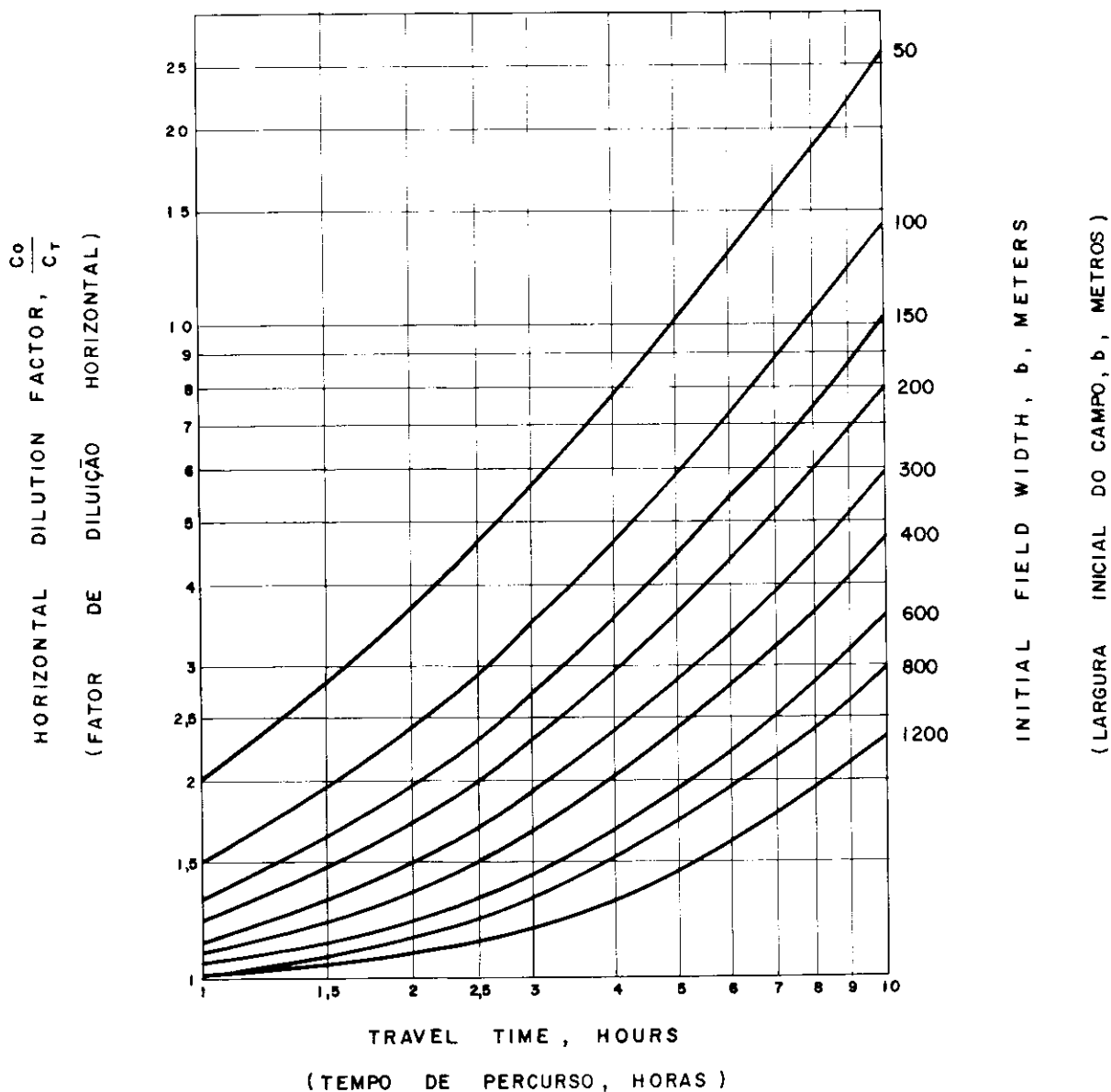


FIGURE 9
DILUTION RESULTING FROM HORIZONTAL DIFFUSION
(AFTER BROOKS)

FIGURA 9
DILUIÇÃO DEVIDA À DIFUSÃO HORIZONTAL
(CONFORME BROOKS)

nas visando à remoção da matéria fluviável).

Padrão de coliformes: 1.000 MPN/100 ml não excedido em mais de 20% do tempo.

Valor de T_{90} : 1,33 hora.

Velocidade de projeto de corrente oceânica em direção à costa: 0,5 nó (927 m/h); este componente de velocidade em direção à costa não é excedido em mais de 20% do tempo.

Diluição inicial, valor assumido: 150 a 1.

Diluição horizontal, valor assumido: 2,0.

Cálculos

Para reduzir-se a contagem de coliformes de $3 \times 10^7/100$ ml para $1 \times 10^3/100$ ml é necessária uma redução total de 3×10^4 . A diluição e a difusão proporcionam uma redução de 3×10^2 , de modo que haja necessidade de um desaparecimento de coliformes para a redução restante de 10^2 .

Em outras palavras, será necessário providenciar um tempo de percurso suficiente para proporcionar um desaparecimento de coliformes de três ordens de grandeza, ou seja:

$$\frac{C_0}{C_T} = 10 \frac{(\text{tempo de percurso})}{T_{90}} = 1.000, \quad (17)$$

e tempo de percurso = $3 T_{90} = 4$ h.

Portanto, o comprimento do emissário deve ser igual a:

$L = 4,0 \times 927 = 3.700$ m, aproximadamente.

Em certos casos, os comprimentos de emissários podem ser regidos por outras considerações que não sejam o desaparecimento de coliformes. Por exemplo, em Honolulu, Havaí, para satisfazer a padrões predeterminados de qualidade de água, era imprescindível ter um campo submerso de esgoto. O comprimento do emissário necessário para satisfazer a esta imposição tem excedido o valor necessário para o padrão de coliformes, de modo que se tem tornado fator decisivo.

Orientação do difusor

Damos muita ênfase ao planejamento e ao projeto de difusores de emissários pois estes representam o elemento principal sobre o qual o projetista tem controle. O sistema de difusor de um dado emissário deve ser projetado para que:

a) proporcione diluição inicial máxima pela maior porcentagem do tempo;

b) resulte em diluição inicial suficiente durante períodos de correntes em direção à costa, que, combinada com a difusão horizontal e o desaparecimento de coliformes, possa proporcionar reduções totais adequadas da contagem de coliformes, e

c) se viável, produza submergência do campo.

Análise das Correntes Oceânicas:

Para chegar-se a um projeto eficiente, deve-se dispor de conhecimentos adequados a respeito das correntes oceânicas vigentes no ponto proposto de descarga. As correntes podem ser medidas por meio de correntômetros instalados "in situ", de corpos à deriva e de cartões à deriva.

Todos os três tipos de medição têm sua utilidade no planejamento de emissários. Quando os emissários são previstos para colocação em áreas costeiras abertas, onde existe grau razoável de uniformidade espacial das correntes de água ou uso de correntômetros registradores em pontos fixos, é o mais produtivo. Devem ser coletados dados suficientes para permitir uma análise estatística de velocidades de correntes em todos os setores, de modo a determinar a orientação correta do difusor. As figuras 10a e 10b apresentam dois tipos de projeto de difusores, um usando um difusor típico em forma de "Y" e outro com difusor curvado, cuja vantagem é na eliminação da construção em "Y", relativamente cara.

Um "layout" escolhido para o difusor deve ser verificado quanto à diluição inicial em todas as direções para as quais as análises têm indicado incidência de correntes oceânicas significantes. O comprimento e a orientação do difusor podem sofrer modificações, para produzirem um projeto que satisfaça ao padrão prescrito de diluição como o mencionado acima, maior que 100 a 1, pelo menos em 50% do tempo, e maior que 80 a 1, pelo menos em 90% do tempo.

No caso prático, o projetista deverá fazer soluções tentativas de difusores a várias profundidades, usando as condições medidas de estratificação para estimar a altura máxima de ascensão, bem como os regimes de correntes oceânicas para estabelecer o comprimento adequado do difusor. A solução ótima será aquela para a qual as taxas de descarga unitária exigidas são aproximadamente iguais.

Projeto hidráulico de sistemas de lançamento

Comentários gerais

O projeto de tubulações oceânicas se faz pela aplicação de qualquer das fórmulas hidráulicas usuais. Deve-se cuidar de incluir nos cálculos de altura manométrica a diferença da água saibroa resultante da diferença de densidade do efluente lançado e do corpo recipiente de água de mar. As velocidades devem ser adequadas para minimizar a deposição de sólidos residuais, especialmente durante os primeiros anos de operação. Para dar certa margem a alguma sedimentação e/ou acumulação de gordura, costuma-se usar um coeficiente de atrito de $n = 0,015$ ou $C = 100$.

Projeto do difusor

A análise hidráulica do difusor de orifícios múltiplos é um problema de escoamento múltiplo de certa complexidade. O método de análise visando a uma distribuição uniforme de escoamento foi apresentado por Rawn et al. (19) e Brooks (20). Existem também programas de computador disponíveis. O projeto se faz pelo cálculo das descargas de orifícios, uma de cada vez, a partir de ponta externa. O coeficiente de descarga de orifício é uma função variável da razão da altura manométrica de velocidade para a altura manométrica total no tubo principal. Brook (20) indica a fórmula seguinte, baseada em experiências de laboratório conduzidas no California Institute of Technology:

$$C_D = 0,975 \left[1 - \frac{V^2/2g}{E} \right]^{3/8}$$

Uma distribuição equilibrada pode ser obtida pela variação do diâmetro do orifício.

Isso é especialmente necessário quando se usam pequenos orifícios e o difusor é assentado num declive.

Projeto do orifício

Aberturas circulares nos lados do tubo principal proporcionam orifícios adequados. Os cantos vivos internos devem ser quebrados para evitar o entupimento e para minimizar as perdas de altura manométrica. Os jatos são usualmente projetados para descarga horizontal (ou ligeiramente dirigidos para baixo) para proporcionar efeito máximo de diluição.

Tem-se proposto a inclusão de tubos misturadores ou de outros dispositivos nas descargas de jatos, para aumentar a diluição inicial. Muito embora tais dispositivos possam proporcionar mistura um tanto mais rápida do que os orifícios simples, prevalece a opinião de que para a obtenção de um resultado específico o uso de um grande número de orifícios simples é mais conveniente e também facilita a manutenção.

Número e tamanho dos orifícios

Orifícios de difusor, de pequeno diâmetro e espaçados próximos um ao outro, proporcionarão mais altos valores de diluição inicial do que orifícios maiores dispostos a maiores distâncias. Ao se projetar um difusor que no início possa receber esgotos não-tratados é conveniente usar diâmetro de orifício não inferior a 0,15 m, para evitar entupimentos. Onde foram tomadas medidas para garantir a remoção de todos os sólidos de maiores dimensões têm-se usado orifícios com diâmetros pequenos, de até 0,051 m, com bons resultados. No entanto, quando a descarga se faz em águas profundas e o diâmetro dos orifícios é escolhido de maneira que o valor da razão de $(Y/D)/F$ fique acima de 30, a diluição inicial resultante é função da descarga unitária e a maior redução do diâmetro dos orifícios não afetará o resultado em grau significativa. Por esse motivo, diâmetros de orifícios abaixo de 0,08 m não são recomendados, pois pouca ou nenhuma vantagem é ganha quanto à diluição e as possibilidades de entupimento são muito maiores.

No entanto, onde a descarga do efluente deverá ser, necessariamente, em água de pouca profundidade (menos de 15 metros), o uso de orifícios difusores de diâmetro bem pequeno, produzindo jatos de descarga de alta velocidade, provoca uma diluição inicial de excelentes valores e, em muitos casos, até campo de esgotos submerso.

Num projeto otimizado, o diâmetro médio dos orifícios escolhido será aquele para o qual a diluição resultante das fontes individuais pontiformes será equivalente àquela da fonte linear resultante. Uma vez determinado o comprimento do difusor, b , e a altura máxima de ascensão, Y_{max} , na base de considerações de submergência e de fluxos de correntes

oceânicas, o número e o tamanho dos orifícios do difusor podem ser calculados da seguinte maneira:

a) Número e espaçamento dos orifícios.

Usando as fórmulas (4) e (5) e considerando certa margem de interferência entre os jatos individuais, foram desenvolvidas as seguintes fórmulas aproximadas:

$$N = \frac{12 b}{Y_{max}} \quad (19)$$

sendo N = número de orifícios de difusor, ou em termos de espaçamento de orifícios:

Espaçamento de orifícios:

$$b/N = \frac{Y_{max}}{12}$$

b) Tamanho e área dos orifícios.

A experiência em projetos de difusores indica que a área total de orifícios deve ser menor do que a área do tubo principal do emissário. Caso contrário, não é possível manter escoamento pleno através de todos os orifícios de difusor, pois isso significaria velocidade média de descarga menor do que a velocidade de escoamento no tubo. Aconselha-se manter a área total de orifícios abaixo de 70% da área do tubo. De fato, os quatro emissários de águas profundas em Los Angeles, Condado de Orange e Honolulu, todos foram projetados com uma razão de (área de orifício)/(área de tubo) 0,43 a 0,50.

Uma vez determinado o número de orifícios conforme item a) acima, e fixada a área total de orifícios como indicamos, pode ser calculado então o diâmetro médio dos orifícios. A faixa real dos diâmetros usados para os orifícios, naturalmente, será determinada durante a análise hidráulica.

Exemplo

Uma descarga de efluentes de 10 m³/s deve ser feita através de um emissário de 2,5 m de diâmetro, a uma profundidade de água de 60 m. Optou-se por um comprimento de difusor de 1.000 m, que providenciará um campo submerso de esgoto a $Y_{max} = 45$.

Número de orifícios:

$$N = \frac{(12) (1.000)}{45} = 267$$

Área total de orifícios escolhida em 60% da área do tubo:

$$A = (0,60) (0,7854) (2,5)^2 = 2,945 \text{ m}^2$$

Área média dos orifícios:

$$a = 2,945/267 = 0,011 \text{ m}^2$$

Diâmetro médio dos orifícios:

$$D = (0,011/0,7854)^{1/2} = 0,12 \text{ m}$$

DETALHES DO PROJETO

Seleção dos materiais

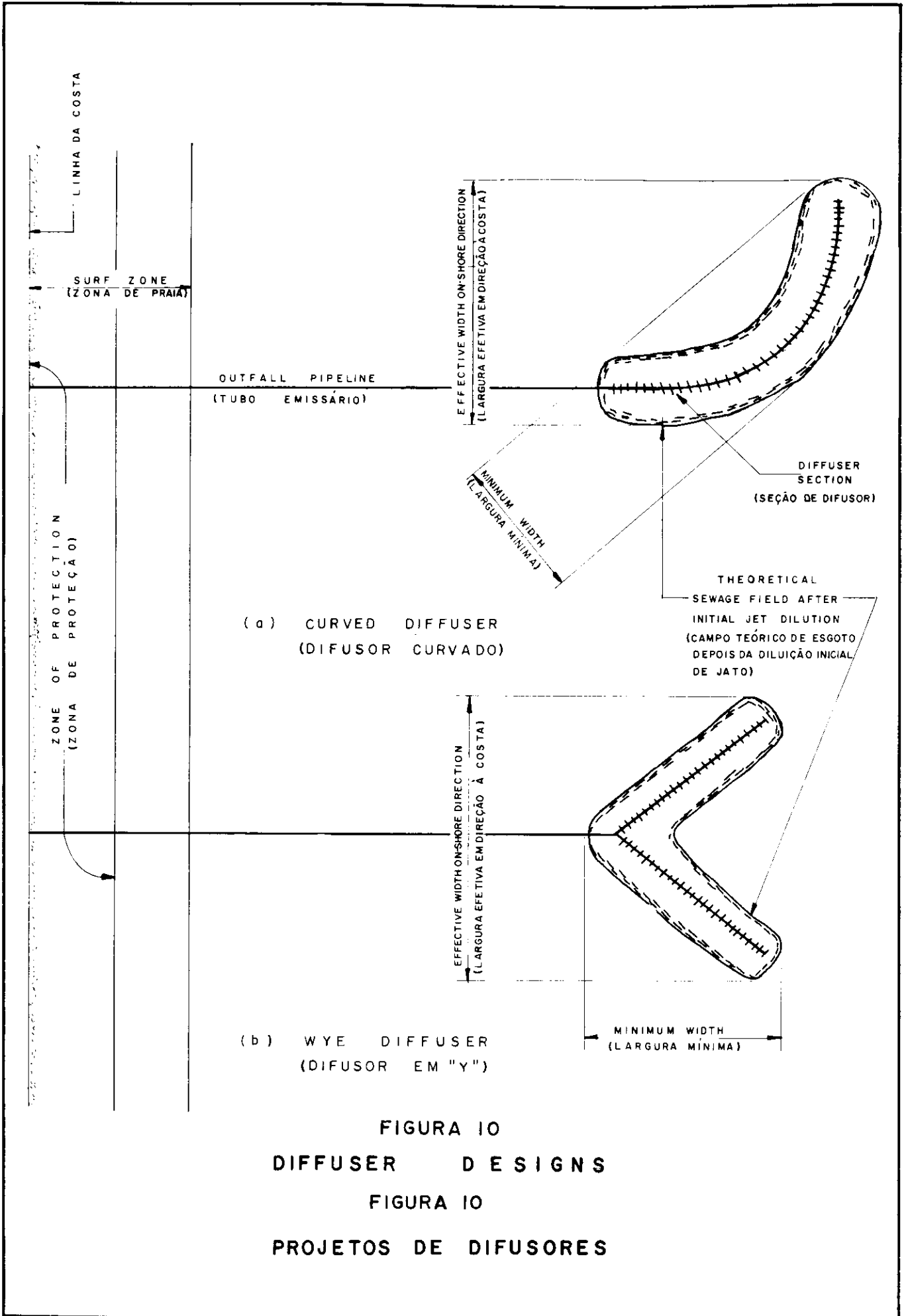
O projetista do emissário deve considerar cuidadosamente o caráter do ambiente oceânico ao escolher o tipo de tubo para o emissário. Concreto armado, ferro fundido, ferro dúctil, aço protegido, "fiberglass", plástico reforçado e plásticos, todos foram aplicados sob várias condições do sítio. Os tubos plásticos são leves e exigem peso adicional para sua colocação. Para emissários de grande diâmetro a serem assentados no oceano aberto, usualmente o concreto armado oferece a alternativa mais econômica.

Projeto de juntas

A junta adotada para tubulações oceânicas deve ser escolhida com todo o cuidado, para garantir um emissário sólido e estanque. O projeto, naturalmente, depende do tipo do material usado para a tubulação e do método de construção aplicado no assentamento. Para grandes emissários em concreto armado, assentados por meio de um dispositivo submarino de assentamento, podem ser usadas juntas de gaxeta dupla de borracha. O espaço anular entre as gaxetas pode ser posto sob pressão ao assentar-se a seção de tubo para verificar a integridade de cada junta.

Espaçamento das entradas de visita

Todos os emissários de grande diâmetro devem ser equipados com entradas de visita para facilitar os reparos e a limpeza dos tubos. As entradas de visita devem ser espaçadas de maneira que o mergulhador possa entrar no tubo e trabalhar pelo menos a meio caminho entre entradas adjacentes. Espaçamentos de 120 a 200 m são geralmente aplicados.



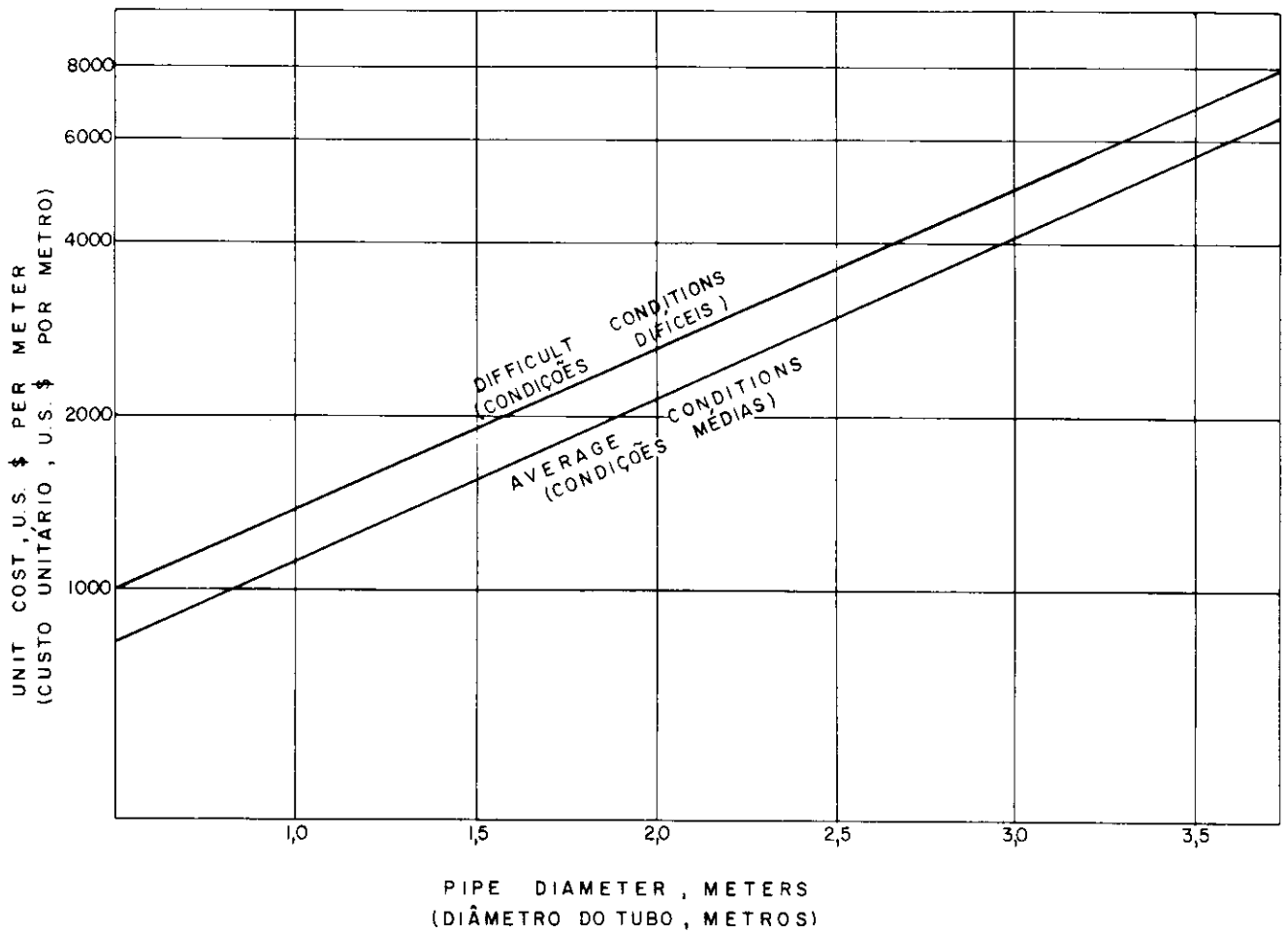


FIGURE 11

OCEAN OUTFALL CONSTRUCTION COSTS
(FOR PRELIMINARY ESTIMATING PURPOSES)

Based on Outfalls Constructed in California & Hawaii with costs adjusted to E.N.R. INDEX = 2500.

FIGURA 11

CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE EMISSÁRIOS OCEÂNICOS
(PARA FINS DE ESTIMATIVAS PRELIMINARES)

Base: Emissários construídos, na Califórnia e no Havaí, com custos reajustados ao índice E.N.R. = 2500

Estrutura terminal

Na ponta do emissário é necessário instalar uma estrutura terminal em forma de comporta ou chapeleta, que possa ser facilmente aberta por meios mergulhadores quando for necessária a lavagem do emissário com jato.

Limpeza

Durante a fase de projeto deve-se considerar os possíveis procedimentos de lavagem, especialmente no caso de lançamento de esgotos não tratados, havendo possibilidade de acúmulo de areia e gordura. Se for viável o aumento temporário da taxa de escapamento, a lavagem hidráulica pode ser eficiente.

Estão sendo usados vários tipos de dispositivo de limpeza, como a bola de corrente e o pára-quedas. Ao se considerar a aplicação de tais dispositivos, devem ser tomadas providências no projeto para sua introdução e retirada.

Emissários para o lançamento de efluentes dos quais a areia e a gordura foram removidas, como os dos distritos de saneamento de Los Angeles onde há completo tratamento primário, exigem pouca ou nenhuma manutenção. Depois de dez anos de operação de um emissário de 120 polegadas (3,0 m), as inspeções anuais ainda não têm indicado qualquer necessidade de limpeza.

O custo de emissários oceânicos

Uma discussão pormenorizada dos métodos e custos de construção de emissários foge ao escopo deste trabalho. Os custos de construção de emissários oceânicos podem variar dentro de amplos limites, dependendo da natureza do fundo do mar (especialmente na seção costeira), da natureza do próprio oceano (ondas, vagas, frequência de tempestades), da profundidade da seção de difusor, bem como dos detalhes das plantas e especificações do projeto em questão.

Uma discussão excelente sobre "Projeto do emissário oceânico visando à economia de construção" foi apresentada por Parkhurst et al (21). Uma descrição completa dos métodos de construção de tubulações submarinas foi apresentada à Conferência de Sorrento por Snook (22).

Como guia no planejamento preliminar de sistemas de lançamento, apresentamos os custos de emissários na Figura 11. As curvas são baseadas em custos reais de grandes emissários na Califórnia e no Havai desde 1940, com seus preços reajustados para um índice de 2.500 do Engineering News-Record. Todos os tubos são de concreto armado com juntas de gaxeta dupla de borracha.

Observamos que o custo unitário de construção pode variar de aproximadamente US\$ 1.300 por metro, para um tubo de 0,9 m de diâmetro, até aproximadamente US\$ 7 mil por metro por uma linha de 3,5 m de diâmetro, sob condições difíceis de construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **Proceedings**, International Symposium on Discharge of Sewage From Sea Outfalls, Edited by A.L.H. Gameson, London, England, Sept. 1974 Pergamon Pres, 1975.
- (2) **U.S. Environmental Protection Agency, Rules and Regulations**, Chapter I, Subchapter D, Part 133, Secondary Treatment Informations, E.S. Federal Register, 1973.
- (3) **Rawn, A.M. and Palmer, H.K.**, "Predetermining the Extent of a Sewage Field in Seawater", *Proc. A.S.C.E.*, 1929,55.
- (4) **State Water Pollution Control Board, California, USA**, "An Investigation of the Efficacy of Submarine Outfall Disposal of Sewage and Sludge", (Prof. Erman A. Pearson), Publication n.º 14, 1956.
- (5) **Proceedings**, 1st International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment, Univ. of California, July 1959, Pergamon Press, London, 1960.
- (6) **Ludwig, Russel G.**, "Reclamation of Water from Sewage and Industrial Wastes in Los Angeles County", *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 22, N.º 3, March 1950.
- (7) **City and County of Honolulu, Hawaii**, "Water Quality Program for Oahu With Special Emphasis on Waste Disposal", *Engineering Science Inc. et al*, Eleven volumes, 1972.
- (8) **Southern California Coastal Water Research Project**, "The Ecology of the Southern California Bight", *SCCWRP*, El Segundo, California 1973, 1975, 1976.
- (9) **City of Rio de Janeiro, Brasil**, "Marine Sewage Disposal System for Rio de Janeiro", *Encibra S.A./Engineering Science Inc. for Sursan/DES*, Rio de Janeiro, 1969.
- (10) **Shelief, G. et al**, "The Use of Rotor Straining and Chlorination Prior to Marine Discharge of Wastewater," Third International Conference on Marine Disposal, Politécnico di Milano, Sorrento, Italy, June, 1975.
- (11) **State of California, State Water Resources Board**, "Water Quality Control Plan", July 1972.
- (12) **Fan, L.N. and Brooks, N.H.**, "Numerical Solutions of Turbulent Bouyant Jet Problems", *W. M. Keck Lab., Cal Tech.*, Report KH-R-18, Jan. 1969.
- (13) **U.S. Environmental Protection Agency**, "Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments", (N.H. Brooks), EPA-660/3-73-010, August 1973.
- (14) **Brooks, N.H.**, "Diffusion of Sewage Effluent in a Ocean Current," *Proc. First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment*, Univ. of California, July 1959, Pergamon Press, London, 1960.
- (15) **Ludwig, Russel G.**, "Lançamentos Submarinos. Desaparecimento de Coliformes", *Revista Saneamento, Rio de Janeiro, Brasil*, No. 46, Jan/Junho 1973.
- (16) **Klapow, L.A. and Lewis, R.H.**, "Receiving Water Studies for Preliminary Design", *Third International Conference on Marine Disposal*, Sorrento, Italy, June 1975.
- (17) **Storrs, Philip N.**, "Study Methodology and Data Evaluation", *Third International Conference on Marine Disposal*, Sorrento, Italy, June, 1975.
- (18) **Bascom, W.N.**, "Instruments for Measuring Pollution in the Sea", *Third International Conference on Marine Disposal*, Sorrento, Italy, June, 1975.
- (19) **Rawn, A.M., Bowerman, F.R., and Brooks, N.H.**, "Diffusers for Disposal of Sewage in Seawater," *Journal of the San. Eng. Div.*, ASCE, March 1960, Paper 2424.
- (20) **Brooks, N.H.**, "Conceptual Design of Submarine Outfalls, Hydraulic Design of Diffusers", *Program VII. Pollution of Coastal and Estuarine Waters*, Univ. of California, 1970.
- (21) **Parkhurst, J.D. et al**, "Ocean Outfall Design for Economy of Construction", *Journal WPCF*, Vol. 39, No. 6, June 1967.
- (22) **Snook, W.G.G.**, "Design and Construction of Submarine Pipelines and Diffusers", *Third International Conference on Marine Disposal*, Sorrento, June 1975.
- (23) **Ludwig, Russel G.**, "Critérios de Projeto para Disposição de Esgotos no Mar", *Revista Construção Pesada*, São Paulo, Brasil, Setembro de 1974.
- (24) **Ludwig, Russel G.**, "Ipanema Terá Seu Emissário No Início de 1975", *Revista Engenharia*, Instituto de Engenharia, São Paulo, Brasil, Agosto, 1974.
- (25) **Ludwig, Russel G., and Almeida, S.A.S.**, "Analysis of Ocean Current Velocity Data in Ocean Outfall Design to Satisfy Varying Beach Coliform Standards", *Third International Conference on Marine Disposal*, Sorrento, Italy, June 1975.
- (26) **Bascom, Willard**, "The Disposal of Waste in the Ocean", *Scientific American*, Vol. 231, No. 2, August 1974.
- (27) **World Health Organization, Regional Office for Europe**, "Guides and Criteria for Recreational Quality of Beaches and Coastal Waters", *EURD 3 125 (T)*, Copenhagen, Denmark 1975.
- (28) **Ludwig, H.F. et al**, "Characteristics of Oil and Grease Found in The Marine Environment, Water and Sewage Works", 486-491, November 1964.
- (29) **Ludwig, H.F. & Sherfig, J.**, "Determination of Floatables and Hexane Extractables in Sewage", *Third International Conference on Water Pollution Research*, Munich, September, 1967.