

EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A, - NUCLEBRÁS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO E APOIO AO LICENCIAMENTO

AUTORES

Rubens Martins Moreira
Maria Léa Machado B. Condessa
Amenônia Maria Ferreira Pinto

EDIÇÃO

Luiz Raphael Aun
Jacinta Maria de Souza
Eliane Alves Ferreira

DIFUSOR DO EMISSÁRIO SUBMARINO PARA OS
EFLUENTES DO TERMINAL ALMIRANTE
BARROSO (TEBAR) EM SÃO SEBASTIÃO, SP
PROJETO BÁSICO

Divisão de Engenharia Ambiental
DERL.CN-028/86

BELO HORIZONTE - BRASIL
Dezembro/1986



SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
I. INTRODUÇÃO	1.
II. CORPO RECEPTOR - USO DAS ÁGUAS	3.
III. CRITÉRIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	6.
IV. CARACTERÍSTICAS DA DESCARGA	8.
V. DEFINIÇÃO DOS FATORES DE DILUIÇÃO REQUE <u>R</u> RIDOS	10.
VI. PROCESSOS CONTROLADORES NO CORPO RECEPTOR	13.
VII. LEVANTAMENTO DOS DADOS DISPONÍVEIS	15.
VII.1 Marés	16.
VII.2 Ventos	16.
VII.3 Correntes	21.
VII.4 Temperatura, Condutividade e Salinidade Estrutura Vertical de Densidade	34.

mu

	PÁGINA
VIII. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO E DECAIMENTO	37 .
VIII.1 Coeficiente de Dispersão	37 .
VIII.2 Constantes de Decaimento	40 .
VIII.2.1 - Decaimento da DBO	40 .
VIII.2.2 - Decaimento de fenóis e sulfetos	41 .
IX. DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO DO EMISSÁRIO	43 .
IX.1 Características e Parâmetros dos Jatos Densos	44 .
IX.2 Modelo Matemático	47 .
IX.3 Roteiro do Projeto	51 .
IX.4 Bases do Projeto do Difusor	52 .
IX.5 Projeto dos Orifícios	55 .
IX.6 Prevenção do Afogamento	61 .
IX.7 Desempenho para Vazões Máximas	66 .
IX.8 Desempenho no Caso de Baixas Salinidades	67 .
IX.9 Diluições em Função das Correntes	69 .

RUU

	PÁGINA
X. DILUIÇÃO NO CAMPO AFASTADO DO EMISSÁRIO	71.
XI. DILUIÇÃO TOTAL E TEORES RESULTANTES	77.
XI.1 Fatores de Diluição Física Total	77.
XI.2 Diluição da DBO, Fenóis e Sulfetos	79.
XI.3 Interpretação e Avaliação	83.
XII. PROJETO DO DIFUSOR	89.
XII.1 Dimensões e "Lay-out"	89.
XII.1.1 - Diâmetro	89.
XII.1.2 - Comprimento	89.
XII.1.3 - Diâmetro, orientação e espaçamento dos Orifícios	90.
XII.1.4 - Posição e alinhamento do difusor	92.
XII.2 Parâmetros Hidráulicos do Difusor	92.
XII.3 Recomendações Finais	106.

REFERÊNCIAS

Amey

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
II.1	Mapa Geral da Região de São Sebastião (Carta Náutica DHN nº 1600)	4.
VII.1	Rosa dos Ventos em São Sebastião (1 nó = 0,515 m/s)	17.
VII.2	Variação das Frequências de Ocorrência dos Ventos mais Fracos (0-2m/s)	19.
VII.3	Curvas de Excedência para a Somatória dos Componentes do Vento Perpendiculares à Costa: a) Convergentes para a Ilha; b) Convergentes para o Continente	20.
VII.4	Rosa das Correntes; 1,5m de Profundidade	28.
VII.5	Rosa das Correntes; 10m de Profundidade	29.
VII.6	Rosa das Correntes; 0,5m acima do Fundo	30.
VIII.1	Variação do Coeficiente de Dispersão Horizontal com a Expansão da Pluma (Retirado da Referência 10)	39.
IX.1	Vistas Esquemáticas das Regiões da Descarga de um Efluente Denso por um Difusor	45.

FIGURA		PÁGINA
IX.2	Esquema dos Parâmetros de um Jato Simples	48.
IX.3	Esquema dos Parâmetros de um Difusor com Múltiplos Orifícios	49.
IX.4	Esquema de um Jato Denso Circular	50.
IX.5	Esquema da Cunha a Juzante do Ponto de Impacto do Jato no Fundo	59.
IX.6	Espaçamento dos Orifícios em Função da Cota da Descarga	60.
IX.7	Esquema da Montagem do Difusor, Corte Transversal	64.
IX.8	Comprimento Total do Difusor em Função da Cota da Descarga	65.
IX.9	Gráfico para a Diluição Inicial de Acordo com o Modelo de Roberts (Retirado da Ref. 18)	68.
IX.10	Fatores de Diluição no C.P. em Função das Correntes	70.
X.1	Taxas de Diluição no Campo Afastado (Superfície)	75.

Reu

FIGURA		PÁGINA
X.2	Taxas de Diluição no Campo Afastado (Fundo)	76.
XI.1	Diluição Total em Função do Afastamento do Difusor	78.
XI.2	Esquema das Curvas de Iso-Concentração de Poluentes no C.A.	80.
XI.3	Variação das Concentrações no C.A. ($V_a = 0,02$ m/s)	86.
XI.4	Variação das Concentrações no C.A. ($V_a = 0,6$ m/s)	87.
XII.1	Secção Transversal do Difusor	91.
XII.2	Corte Vertical do Difusor (Escala Distorcida)	93.
XII.3	Esquema do Afastamento do Difusor em Relação ao Fundo	93.
XII.4	Localização do Difusor sob o Braço Sul do Pier (Batimetria retirada da Ref. 23)	94.
XII.5	Coefficiente de Descarga para Orifícios Laterais Pequenos em uma Tubulação (Retirado da Ref. 22)	96.
XII.6	Pressão Requerida na Entrada do Difusor, em Função da Vazão Bombeada	97.

uu

RELAÇÃO DE TABELAS

TABELAS		PÁGINA
V.1	Fatores de Diluição Requeridos (unidades: mg/l)	11.
VII.1	Observações do Correntôgrafo Próximo à Superfície	22.
VII.2	Observações do Correntôgrafo a Meia Profundidade	23.
VII.3	Observações do Correntôgrafo Situado Próximo ao Fundo	24.
VII.4	Quadro de Frequência de Correntes Próximas à Superfície	25.
VII.5	Quadro de Frequência de Correntes a Meia Profundidade	26.
VII.6	Quadro de Frequência de Correntes Próximas ao Fundo	27.
XI.1	Concentrações de Fenóis no Final do C.A.	82.
XI.2	Comparação entre Valores Recomendados e Calculados, a 600m do Difusor	84.
XI.3	Distâncias do Difusor a partir das quais os Limites de Concentração são Observados	85.

TABELAS		PÁGINA
XII.1	Cálculo Hidráulico para Vazão de 500m ³ /h	101.
XII.2	Cálculo Hidráulico para Vazão de 900m ³ /h	102.
XII.3	Pressão na Entrada do Difusor em Função da Vazão do Efluente	105.

DIFUSOR DO EMISSÁRIO SUBMARINO PARA OS EFLUENTES
DO TERMINAL ALMIRANTE BARROSO (TEBAR)
EM SÃO SEBASTIÃO, SP - PROJETO BÁSICO

I. INTRODUÇÃO

A SEEBLA - Serviços de Engenharia Emílio Baumgart Ltda. solicitou à NUCLEBRÁS os estudos referentes à execução do projeto básico para o difusor do emissário submarino para o descarte dos efluentes do TEBAR, da PETROBRÁS, no estreito entre o continente e a Ilha de São Sebastião.

O CDTN/NUCLEBRÁS apresentou, para este fim a Proposta de Prestação de Serviços nº DERL.CN-005/86 de 06/10/1986.

A SEEBLA encomendou os serviços previstos nesta proposta, através da Ordem de Serviço nº 045/86-B (Obra nº BH-048/86).

A SEEBLA obteve junto à PETROBRÁS os dados referentes às medições hidráulicas efetuadas no local e à monitoração da qualidade físico-química dos efluentes a serem descartados.

Em reuniões na sede da SEEBLA em Belo Horizonte e em visita ao local (em 19/11/1986) foram discutidas e definidas as bases do projeto, entre técnicos da NUCLEBRÁS, SEEBLA e PETROBRÁS (DETRAN E DESEMA).

O estudo ora apresentado pode ser ordenado nos seguintes itens básicos:

Allen

2.

- levantamento, análise e interpretação das in formações disponíveis sobre o corpo receptor e os efluentes
- definição dos critérios de qualidade do corpo receptor a serem preservados
- definição das taxas de diluição e dos valores de projeto
- estimativa das diluições primária, secundária e global
- dimensionamento e cálculo hidráulico do difu sor
- conclusões e recomendações.

A implantação de um emissário submarino, defini tivamente resultará em uma melhoria nas atuais condições de descarte, que se dão por simples descarga superficial em uma praia da cidade (Praia do Porto Grande), onde as barreiras físicas do fundo e da costa limitam a dispersão e onde é menor a taxa de renovação da água. Trata-se por tanto de otimizar racionalmente o descarte sub-superfi cial afastado, através da escolha judiciousa dos parâme tros que o controlam.

Muy

II. CORPO RECEPTOR - USOS DAS ÁGUAS

O Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR) situa-se na cidade de São Sebastião, no litoral norte do estado de São Paulo. São Sebastião fica aproximadamente no ponto médio do estreito entre o continente e a Ilha de São Sebastião (Fig. II.1).

Este estreito é percorrido por um canal natural com profundidades entre 20m e 40m e largura média de cerca de 1200m. A orientação é de NE-SW ao sul da cidade de São Sebastião e de NNE-SSW ao norte deste ponto. O estreito propriamente tem larguras superiores a 2000m e comprimento de cerca de 23 km. O relevo na Ilha de São Sebastião é muito montanhoso, com picos de até 1300m de altitude, enquanto que do lado do continente a Serra do Mar jaz rente ao litoral. O estreito é portanto um local abrigado dos ventos. Por conseguinte (e levando em conta a limitação do "fetch") as ondas são de reduzida amplitude.

O TEBAR é servido por um "pier" petroleiro em forma de Y, que penetra ca. 1350m pelo estreito. O braço sul do Y, que é o que mais interessa para os objetivos deste estudo, tem no início um alinhamento aproximadamente na direção N-S e chega a atingir profundidades de 23m antes de mudar novamente de direção.

As correntes são predominantemente bidirecionais, guiadas pela geometria no sistema físico estreito-canal.

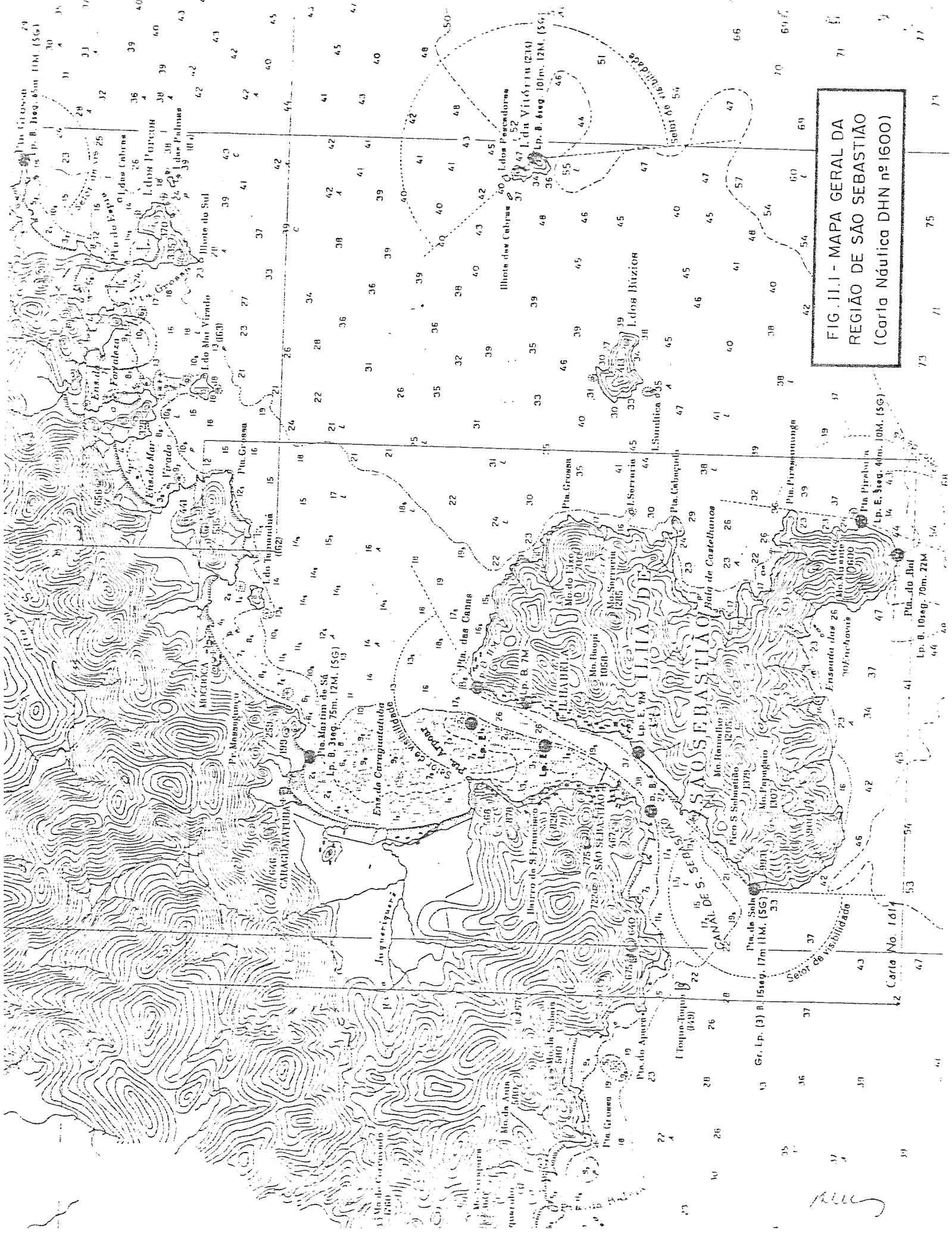


FIG. 11.1 - MAPA GERAL DA
REGIÃO DE SÃO SEBASTIÃO
(Carta Náutica DHN nº 1600)

Handwritten signature or initials.

A navegação é a utilização das águas com maior expressão econômica. Além do terminal de óleo, que serve a região de maior atividade econômica do país, a cidade de São Sebastião possui um porto a cerca de 1200m ao sul do Terminal.

A pesca é praticada no canal; porém ao que consta, sem expressão comercial. Nesta escala só é normalmente praticada em águas além do canal.

De conhecida importância no litoral caiçara é a atividade turística. Em função desta, as águas devem ter preservadas suas condições de harmonia paisagística e adequação à recreação de contacto primário.



III. CRITÉRIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Em conformidade com os usos levantados no capítulo anterior, as águas do corpo receptor devem ser consideradas, na classificação prevista pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, como sendo Águas Salinas - Classe 5.

De acordo com esta norma são estabelecidas as seguintes condições ou limites para os parâmetros que interessam ao efluente do TEBAR:

- a) óleos e graxas: virtualmente ausentes
- b) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes
- c) DBO₅ dias a 20°C: até 5 mg/l
- d) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l O₂
- e) pH: 6,5 a 8,5; não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades
- f) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes
- g) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos):
Amônia não ionizável: 0,4 mg/l NH₃



Índice de fenóis: 0,001 mg/l C_6H_5OH

Sulfetos como H_2S : 0,002 mg/l S

Outros importantes parâmetros fixados pela Resolução nº 20 do CONAMA, tais como coliformes e uma série de outras substâncias potencialmente prejudiciais, não são aqui considerados por não dizerem respeito à composição do efluente (cf. análise apresentada no Capítulo IV).

A respeito da alteração da salinidade a Resolução nº 20 é omissa. No entanto este é um importante parâmetro quando se trata de descarga de salmouras. Todas as espécies da biota só são capazes de tolerar uma certa faixa de variação de salinidade. Uma variação além destes limites ao provocar alterações significativas na pressão osmótica, induz à plasmólise das células vegetais e animais. A E.P.A. [2] fixa um critério de variação permitível, baseado na salinidade natural. No caso das águas consideradas neste estudo, vale:

Salinidade natural: 13,5% a 35%.

Variação permitida: 4%.

IV. CARACTERÍSTICAS DA DESCARGA

As características do efluente a ser descartado foram fornecidas pela SEEBLA e PETROBRÁS/DESEMA e constituem a base para o projeto.

a) Regimes de vazão

O emissário poderá operar com três regimes de vazão:

- i. vazão nula
- ii. vazão inferior: 500 m³/h
- iii. vazão superior: 900 m³/h

em função do nível de água no tanque de bombeamento. Ressalta-se que durante a maior parte do tempo não estará bombeando e somente durante uma fração pequena do período de bombeamento ocorrerá a vazão de 900 m³/h.

b) Características

pH: 7,5
temperatura: 26°C
sólidos sedimentáveis: traços
sólidos em suspensão: 80 mg/l
óleos e graxas: 100 mg/l
DBO: 450 mg/l
DQO: 700 mg/l
sulfetos: 2 mg/l
fenol: 1 mg/l
amônio: 10 mg/l

9.

A salinidade do efluente deverá variar entre os limites de

24800 mg/ℓ a 156000 mg/ℓ

dependendo das condições operacionais do
TEBAR.

duy

V. DEFINIÇÃO DOS FATORES DE DILUIÇÃO REQUERIDOS

Sendo o fator de diluição definido como:

$$S = \frac{C_0}{C}$$

onde:

C_0 = concentração do constituinte na descarga

C = concentração do constituinte após sofrer diluição (função da distância ao ponto de descarga),

os fatores requeridos para a diluição podem ser calculados comparando os valores fixados pela norma (Capítulo III) com os observados no efluente bruto (Capítulo IV).

Convém observar que a diluição após uma certa distância da descarga varia com o afastamento do ponto considerado em relação ao eixo do jato ou pluma. Portanto é necessário distinguir entre a diluição mínima:

$$S_m = \frac{C_0}{C_{\phi}}$$

e a diluição média:

$$\bar{S} = \frac{C_0}{\bar{C}}$$

onde:

C_{ξ} = concentração no eixo do jato

$$\bar{C} = \frac{\int_0^R 2\pi r C(r) dr}{\int_0^R 2\pi r dr} = \frac{C_{\xi}}{1,73}$$

Tendo em vista os teores permissíveis após a diluição (Cap. III) e as concentrações presentes no efluente (Cap. IV), as taxas de diluição acima definidas devem assumir os valores a seguir definidos:

CONSTITUINTE	C_0	C_{max}	S_m	\bar{S}
pH	7,5	6,5 - 8,5	1	1
Sólidos sediment.	traços	V.A.*	1	1
Sólidos suspens.	80	0,1 - 1**	92	160
Óleos e graxas	100	0,5	116	200
DBO	450	5	52	90
DQO	700	-	-	-
sulfetos	2	0,002	578	1000
fenol	1	0,001	578	1000
amônio	10	0,4	14	25
Cloreto sódio	256000	4000	37	64

TABELA V.1 - Fatores de Diluição Requeridos (unidades: mg/l)

* - V.A.: virtualmente ausentes

** - concentrações normalmente encontradas na superfície dos oceanos, longe da costa [1].

Observa-se claramente que os componentes críticos são os sulfetos e o fenol. Suas taxas de diluição é que determinarão o dimensionamento do emissário e difusor.

Observa-se ainda que as taxas de diluição de amônia na Tabela V.1 são muito conservativas. Na realidade, a um pH = 8 característico do oceano e temperatura de 20°C, a fração de amônia não ionizada é de somente 4% do total [2]. Como a amônia não é um constituinte crítico, isto tem importância secundária.

VI. PROCESSOS CONTROLADORES NO CORPO RECEPTOR

O objetivo a ser atingido é a redução daqueles índices que estejam acima dos critérios adotados em função dos usos previstos para as águas do local. Esta redução é operada pelo corpo receptor através de processos de tres naturezas: física, química e biológica.

No campo próximo da descarga a diluição se dá em consequência da turbulência introduzida em uma primeira fase pela quantidade de movimento ("momentum") do jato e subseqüentemente pela sua flutuabilidade ("boiância"). A diluição resulta exclusivamente de processos físicos. As instabilidades de fluxo no limiar do jato, que são devidas ao transporte de momentum do jato, à interferência das correntes e à diferença de densidades entre efluente e água do mar, resultam em turbulência que introduz a água do corpo receptor no interior do jato ou da pluma, desta forma provocando a sua diluição. Esta fase do processo é condicionada pela geometria da descarga (orientação e dimensão dos componentes do difusor), pelas correntes e pela estrutura vertical de densidade da coluna d'água, bem como pela altura desta.

Tendo atingido a superfície do corpo receptor (ou uma camada de flutuabilidade neutra caso haja estratificação na estrutura vertical de densidade deste corpo) o caminhamento dos efluentes sofre uma inflexão, passando a ser horizontal. Após uma curta região intermediária os efeitos da descarga já não são mais sentidos e a diluição fica totalmente à mercê das características do corpo re

ceptor. Começa então o campo afastado da descarga.

No campo afastado tres processos básicos intervêm: a) a advecção ou arraste dos efluentes pela movimentação natural do corpo receptor; b) a dispersão devida à turbulência natural e ao efeito de cizalhamento relacionado com os gradientes de velocidade no corpo receptor; c) processos que resultam no desaparecimento (eventualmente na formação) dos componentes não conservativos dos efluentes.

A advecção decorre da ação das correntes, que por sua vez está interrelacionada com as influências dos ventos (que também têm a ver com as ondas), marés, geometria do corpo receptor e topografia submarina. Outro parâmetro condicionado pela advecção é a taxa de renovação das águas do corpo receptor, a qual varia em uma ampla faixa caso se trate de um estuário, baía confinada ou mar aberto.

VII - LEVANTAMENTO DOS DADOS DISPONÍVEIS

A principal fonte de dados consultados para este estudo foi o relatório do trabalho de medições efetuado pelo CENPES/PETROBRÁS no local do descarte [2]. Um dos escopos deste levantamento foi justamente fornecer informações para o sistema de drenagem de efluentes para o canal de São Sebastião.

Além do relatório geral deste trabalho a PETROBRÁS passou à NUCLEBRÁS, via SEEBLA, as fitas magnéticas contendo o registro de todos os dados medidos. Este foi um instrumento importante para um processamento mais detalhado das informações atendendo à necessidade de estatística dos valores das variáveis hidro-meteorológicas.

As medições cobriram o período de 18/11/83 a 01/01/85, suficientemente longo para englobar todo um ciclo hidrológico.

Paralelamente a este levantamento foram efetuados um levantamento batimétrico pela firma GEOMAP e amostragens geotécnicas, pela firma Geomecânica. Os mapas batimétricos também foram repassados ao CDTN/NUCLEBRÁS, sendo utilizados no presente estudo para a decisão sobre a localização do difusor e a determinação das características do local que influem no desempenho do difusor (altura da lâmina d'água, declividade do fundo).

Outras fontes gerais de informação foram as Cartas Náuticas da DHN (Nºs 1600, 1614, 1616, 1643, 1644,

1700), as Tábuas de Marés 4 e o Atlas de Cartas Piloto da DHN [5] .

VII.1 Marés

No porto de São Sebastião, situado a uma latitude de $23^{\circ}48,7'S$ e longitude de $45^{\circ}23,9W$, ocorrem marés de desigualdades diurnas.

Informações disponíveis constam das Tábuas de maré 4 das Cartas Náuticas da DHN. Com os dados das Tábuas de Maré pode-se estimar, para o ano de 1986, que as amplitudes médias de sizígia são aproximadamente 1,2m. Este será considerado o valor de projeto para a estimativa da variação máxima representativa da altura da coluna d'água, devida ao efeito da maré.

VII.2 Ventos

As Tabelas IV a XVII da Referência 3 mostram as distribuições dos ventos em nove classes de velocidades (de 0 a 40 nós e acima de 40 nós) e oito classes de direção. Os resultados globais estão desenhados como rosa dos ventos na Figura VII.1.

Pode-se constatar a predominância dos ventos do norte (33%) seguidos pelos do sul (19%). Entretanto os ventos mais intensos são os de sudoeste. A intensidade máxima registrada durante todo o período de medições foi de 42 nós, da direção de 240° (no mês de Julho).

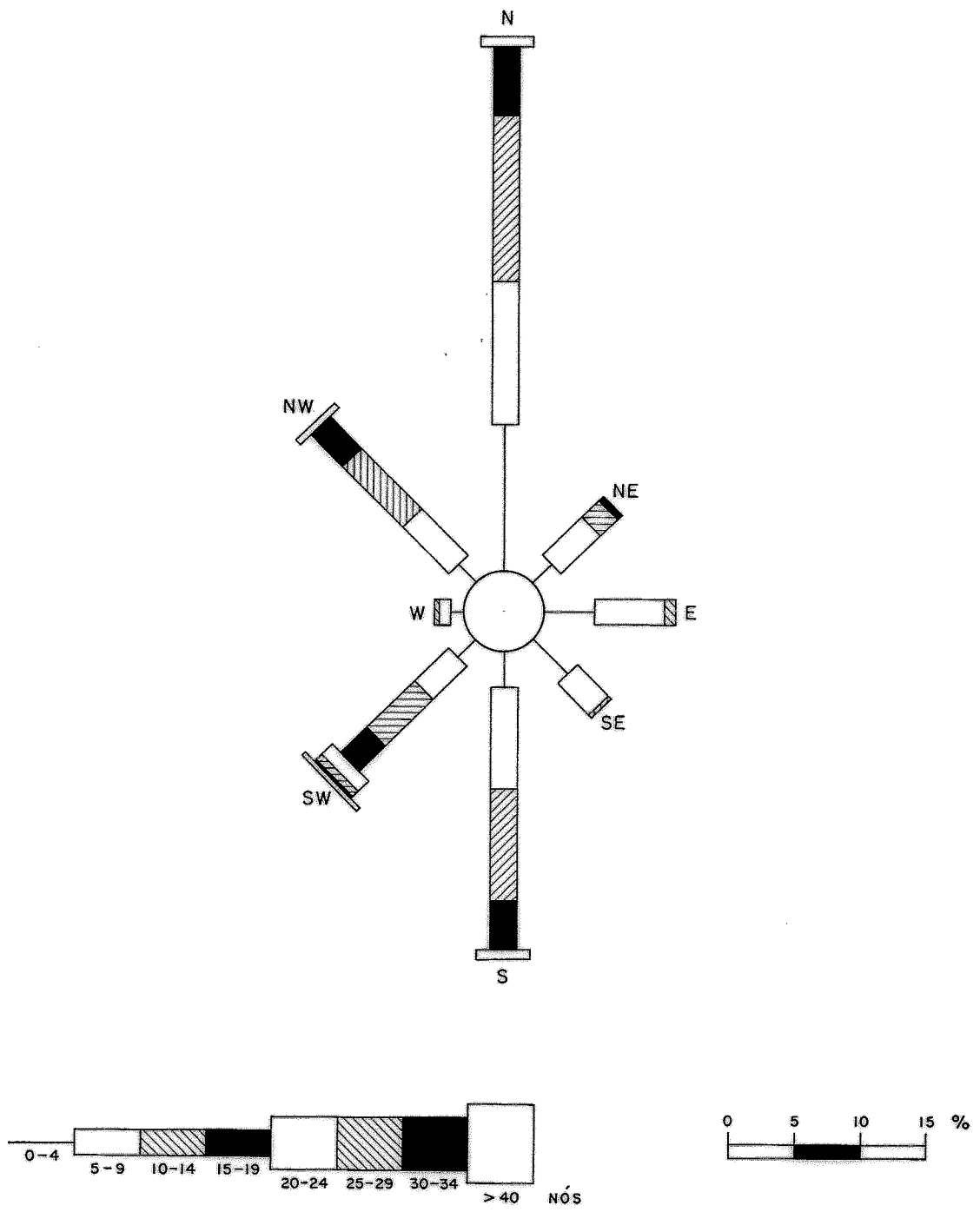


FIGURA VII.1 - Rosa dos Ventos em São Sebastião
 (1 nó = 0,515 m/s)

Muy

As velocidades de vento mais baixas são englobadas na Referência 3 dentro da classe 0-4 nós (0-2,06m/s) não havendo indicações mais precisas sobre a ocorrência de calmarias. Deste modo, e considerando que as situações de vento mais brando são as mais desfavoráveis para o incremento da turbulência do mar e conseqüentemente da dispersão dos efluentes, verifica-se que estas situações são mais frequentes no mes de abril, e de uma maneira geral no primeiro semestre. Isto pode ser apreciado na Figura VII.2.

Quanto às direções nota-se uma nítida coerência com as direções do canal, bem como as direções características dos ventos no litoral paulista [6]. É importante notar as baixas frequências e intensidades dos ventos transversais ao canal, aqueles cuja ação mais tendem a transportar os efluentes para as costas.

A Figura VII.3 mostra, dentro da precisão permitida pelos dados da Referência 3, as porcentagens de excedência de ventos convergentes para o continente e a ilha. As velocidades de vento são determinadas via soma vetorial de todos os componentes dos ventos perpendiculares ao alinhamento das costa. São indicadas nas curvas as velocidades de vento tais que a probabilidade de ocorrência de ventos mais suaves excede a 95% e 80%.

Estes limites são de interesse, no sentido de que normas de proteção ambiental mais modernas têm mostrado a tendência de fixar limites de excedência, ao invêz de máximos absolutos. Tal é o caso das normas da Comunidade Econômica Européia (1976) e da Organização

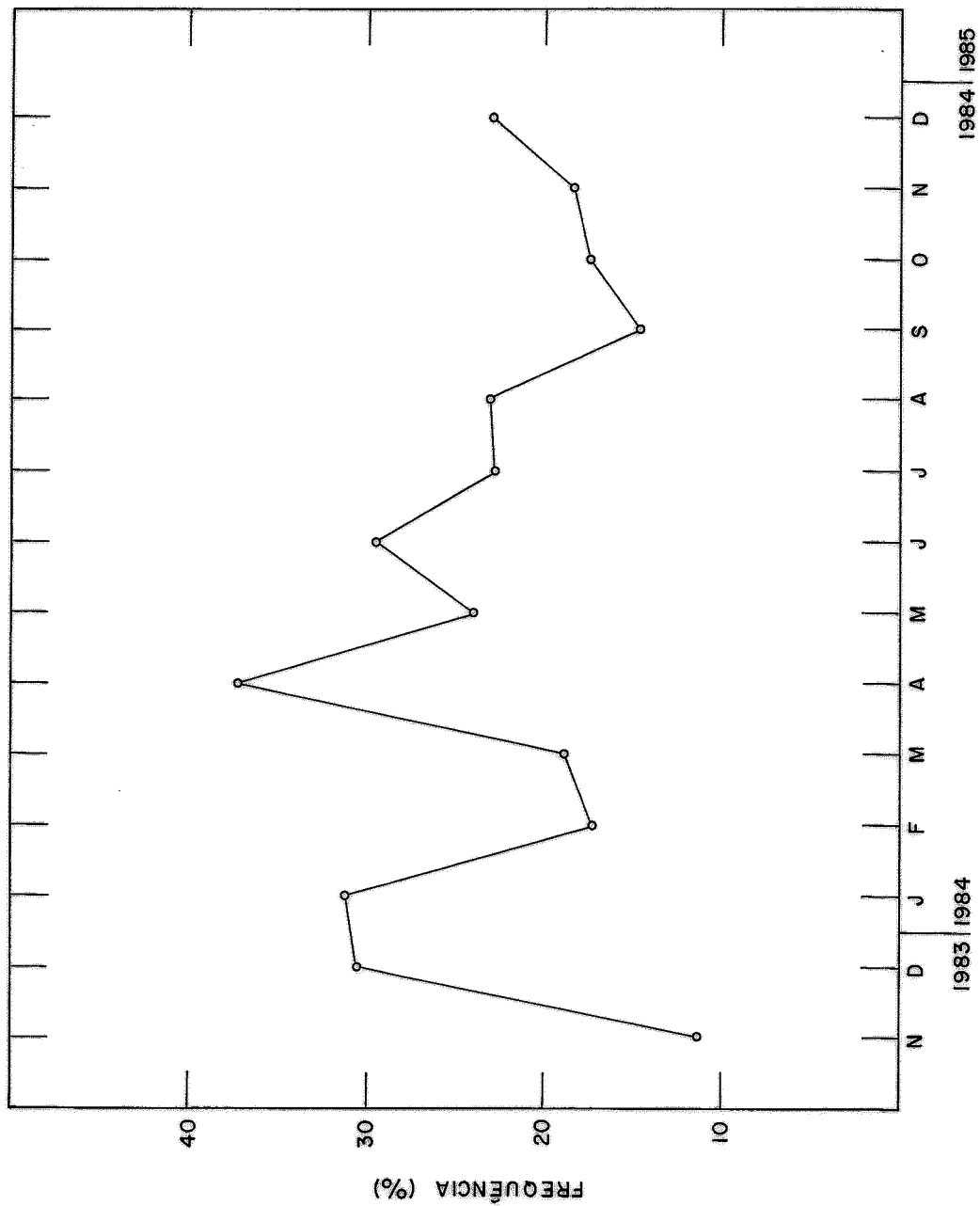


Fig. VII - 2 - VARIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA DOS VENTOS MAIS FRACOS (0 - 2 m/s)

Handwritten signature

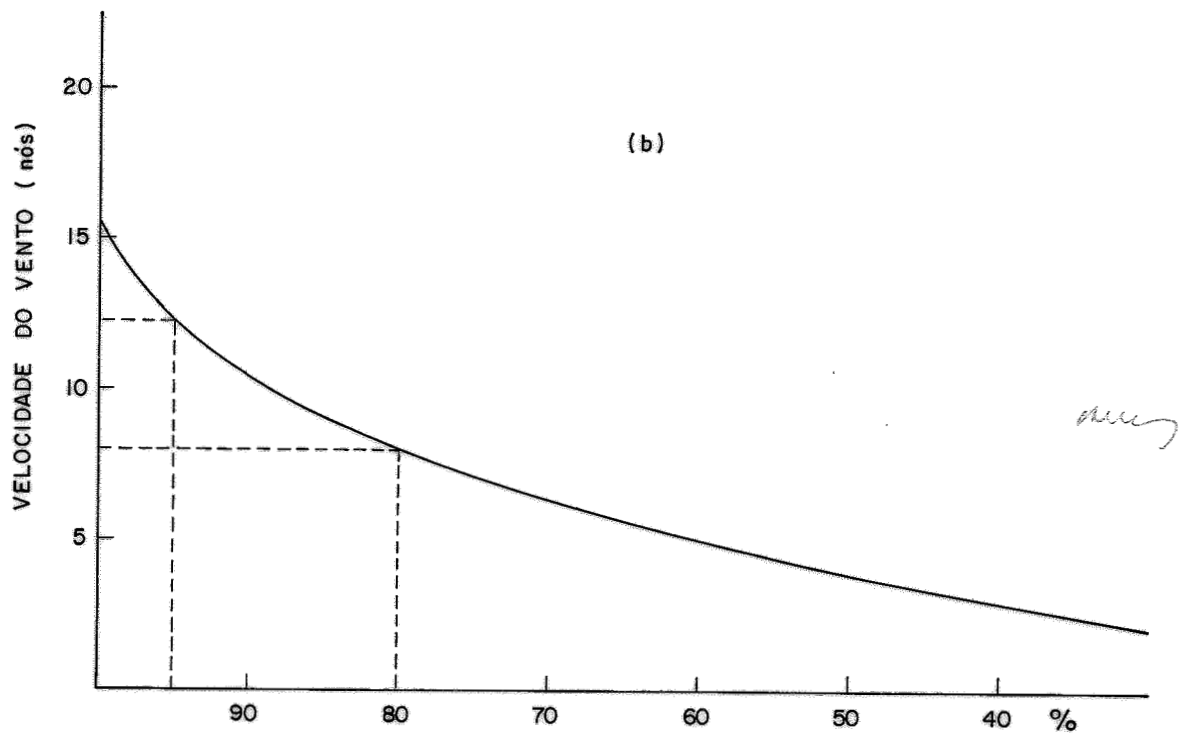
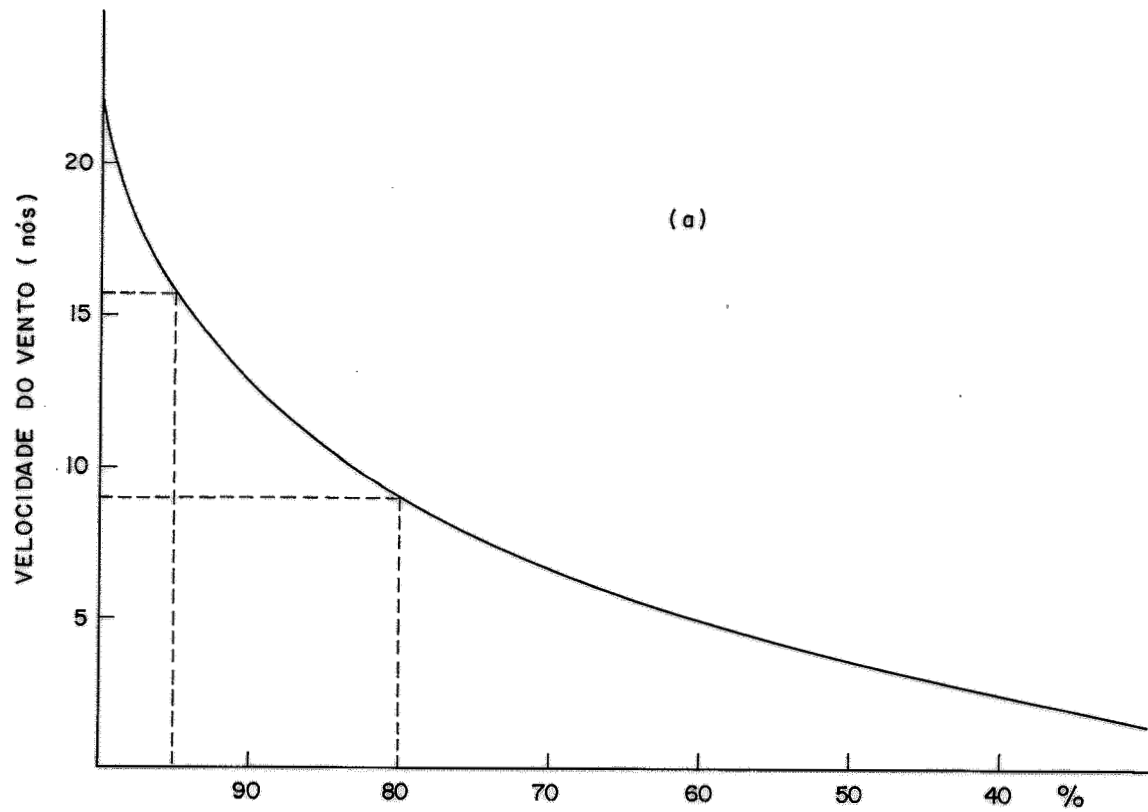


Fig. VII-3 - CURVAS DE EXCEDÊNCIA PARA A SOMATÓRIA DOS COMPONENTES DO VENTO PERPENDICULARES A COSTA: a) CONVERGENTES PARA A ILHA;

Mundial da Saúde (1977) [7] . No Caso da C.E.E., por exemplo, as concentrações de fenol, expressas como índice de fenol, devem ser:

Índice guia: < 0,005 mg/l, 80% do tempo

Índice mandatório: < 0,05 mg/l, 95% do tempo
para uma frequência de amostragem mínima quinzenal.

Assim, no caso do projeto de São Sebastião, para se garantir um dado nível de concentração 80% do tempo, deve-se supor um vento com velocidade máxima de 9 nós no caso da ilha e 8 nós no caso do continente; no caso de garantia a 95% estes valores passam para 16 nós (8 m/s) e 12 nós (6 m/s), respectivamente.

VII.3 Correntes

As correntes foram observadas durante um período de treze meses (nov., 1983 - dez., 1984) com apenas pequenas discontinuidades, por meio de correntógrafos instalados no vértice do Y do pier. De nov., 1984 a abr., 1985 foi operado um correntógrafo a meia profundidade (10m) e de mai., 1984 a dez., 1984 foram operados dois correntógrafos: um na superfície (1,5m abaixo da superfície - possivelmente do NM) e outro no fundo (0,5m acima do fundo).

A estatística dos dados medidos foi obtido por processamento em computador no CDTN e é mostrada nas Tabelas VII.1 a VII.6. A representação gráfica correspondente está dada nas rosas de correntes, Figuras VII.4 a VII.6.

NUMERO DE OBSERVACOES POR CATEGORIA

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTATISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	460	96	32	1	0	589
NE	1614	1097	3411	5374	311	11807
E	304	18	5	0	0	327
SE	187	8	2	1	0	198
S	679	319	86	9	0	1093
SW	1538	1625	1572	198	3	4936
W	249	21	2	0	0	272
NW	185	7	2	0	0	194
TOTAL	5216	3191	5112	5583	314	19416

Tabela VII.1 - Observações do Correntôgrafo Próximo à Superfície.

NUMERO DE OBSERVACOES POR CATEGORIA

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTATISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	81	12	2	5	0	100
NE	325	96	35	37	0	493
E	51	18	1	0	0	70
SE	22	1	0	0	0	23
S	88	26	1	1	0	116
SW	169	99	37	1	0	306
W	46	6	0	0	0	52
NW	63	8	0	0	0	71
TOTAL	845	266	76	44	0	1231

Tabela VII.2 - Observações do Correntôgrafo a Meia Profundidade.

NUMERO DE OBSERVACOES POR CATEGORIA

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTATISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	724	116	92	14	0	946
NE	2117	3020	4870	765	2	10774
E	355	44	3	0	0	402
SE	235	8	1	0	0	244
S	1195	423	240	17	0	1875
SW	1586	1232	998	91	1	3908
W	434	38	3	1	16	492
NW	554	30	1	1	0	586
TOTAL	7200	4911	6208	889	19	19227

Tabela VII.3 - Observações do Correntôgrafo Situado Próximo
ao Fundo.

PERCENTAGEM MEDIA DE OCORRENCIAS DE CORRENTES

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTATISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	2.37	.49	.16	.01	0.00	3.03
NE	8.31	5.65	17.57	27.68	1.60	60.81
E	1.57	.09	.03	0.00	0.00	1.68
SE	.96	.04	.01	.01	0.00	1.02
S	3.50	1.64	.44	.05	0.00	5.63
SW	7.92	8.37	8.10	1.02	.02	25.42
W	1.28	.11	.01	0.00	0.00	1.40
NW	.95	.04	.01	0.00	0.00	1.00
TOTAL	26.86	16.43	26.33	28.75	1.62	100.00

Tabela VII.4 - Quadro de Frequência de Correntes Próximas à Superfície.

PERCENTAGEM MEDIA DE OCORRENCIAS DE CORRENTES

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTATISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	6.58	.97	.16	.41	0.00	8.12
NE	26.40	7.80	2.84	3.01	0.00	40.05
E	4.14	1.46	.08	0.00	0.00	5.69
SE	1.79	.08	0.00	0.00	0.00	1.87
S	7.15	2.11	.08	.08	0.00	9.42
SW	13.73	8.04	3.01	.08	0.00	24.86
W	3.74	.49	0.00	0.00	0.00	4.22
NW	5.12	.65	0.00	0.00	0.00	5.77
TOTAL	68.64	21.61	6.17	3.57	0.00	100.00

Tabela VII.5 - Quadro de Frequência de Correntes a Meia Profundidade.

PERCENTAGEM MEDIA DE OCORRENCIAS DE CORRENTES

ESTACAO METEOROLOGICA DE S. SEBASTIAO/TEBAR

ESTADISTICA GERAL

DIRECAO	VELOCIDADE (CM/S)					TOTAL
	0-10	11-20	21-40	41-80	+80	
N	3.77	.60	.48	.07	0.00	4.92
NE	11.01	15.71	25.33	3.98	.01	56.04
E	1.85	.23	.02	0.00	0.00	2.09
SE	1.22	.04	.01	0.00	0.00	1.27
S	6.22	2.20	1.25	.09	0.00	9.75
SW	8.25	6.41	5.19	.47	.01	20.33
W	2.26	.20	.02	.01	.08	2.56
NW	2.88	.16	.01	.01	0.00	3.05
TOTAL	37.45	25.54	32.29	4.62	.10	100.00

Tabela VII.6 - Quadro de Frequência de Correntes Próximas
ao Fundo.

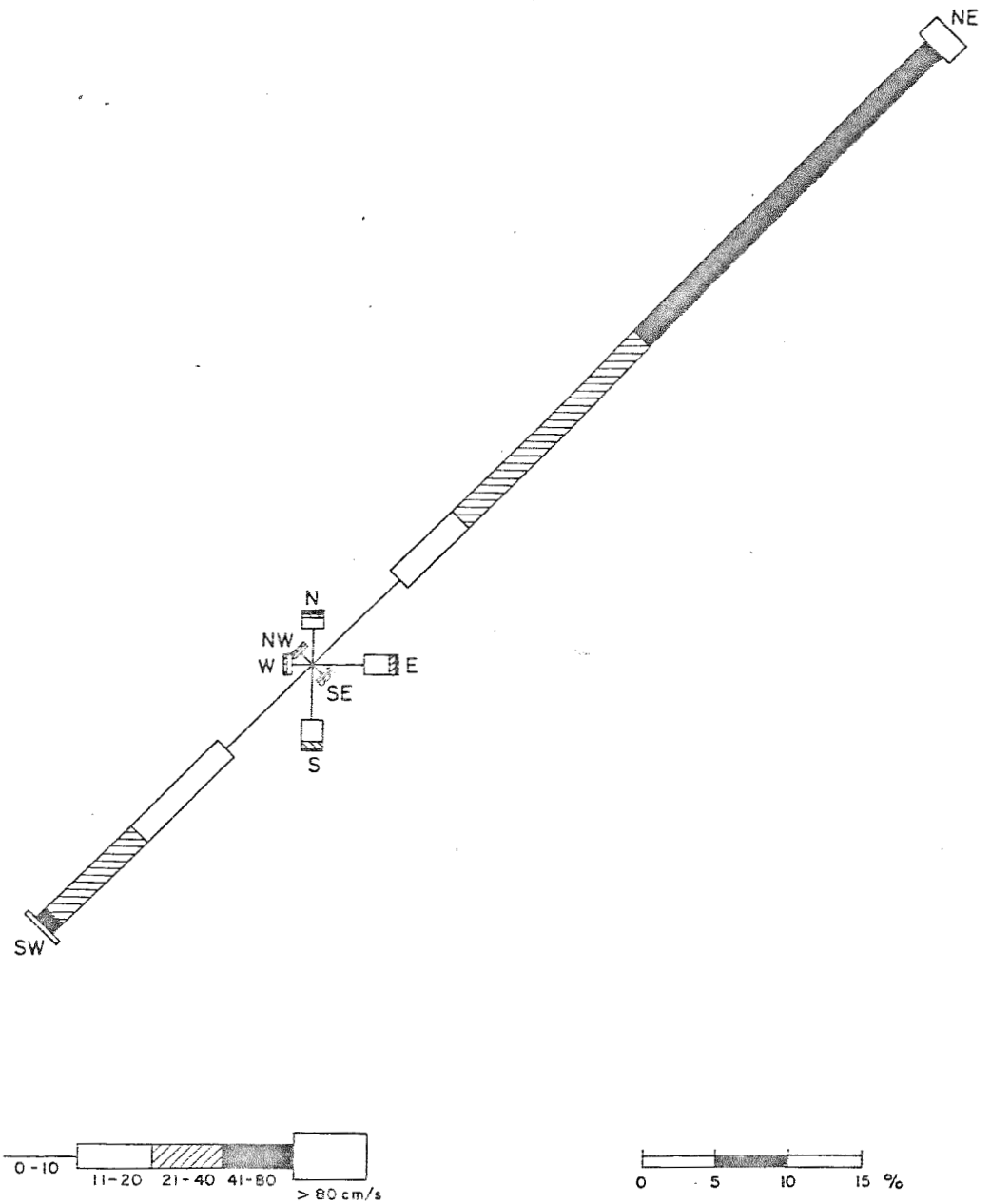


FIGURA VII.4 - Rosa das Correntes; 1,5m de Profundidade

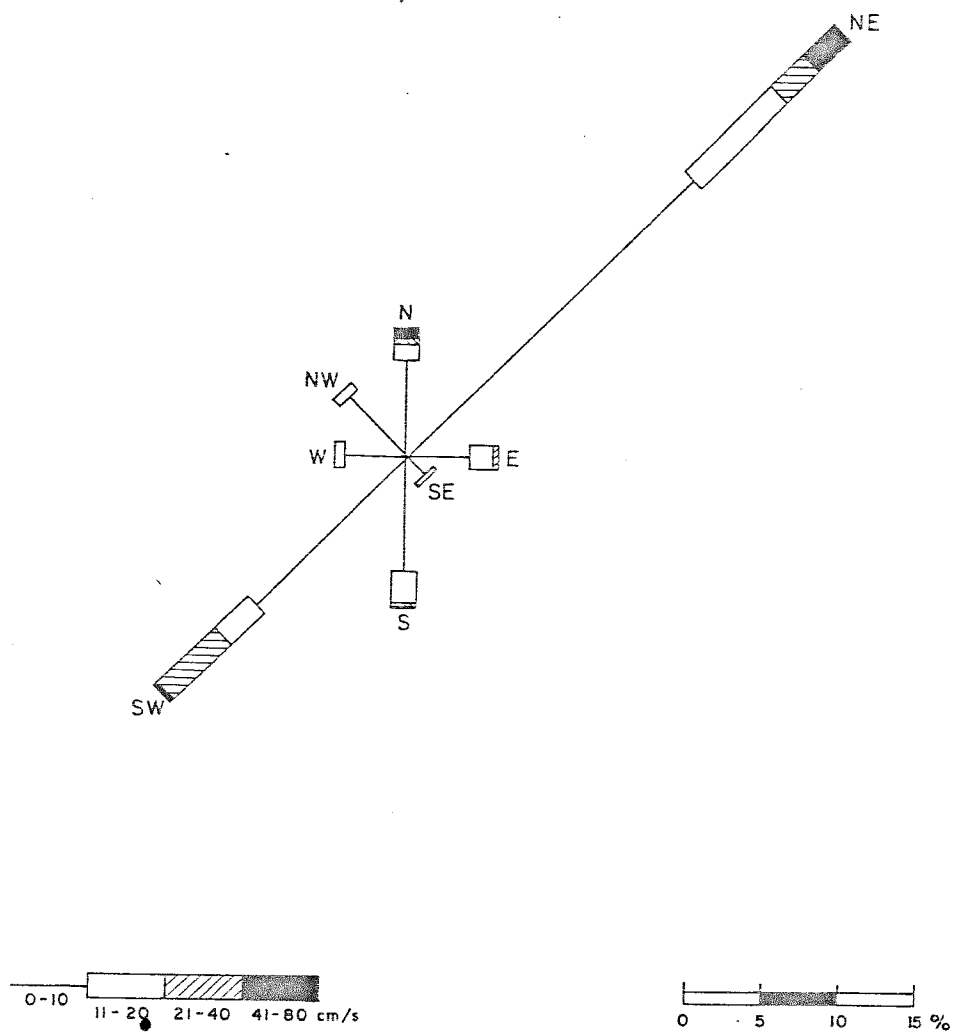


FIGURA VII.5 - Rosa das Correntes; 10m de Profundidade

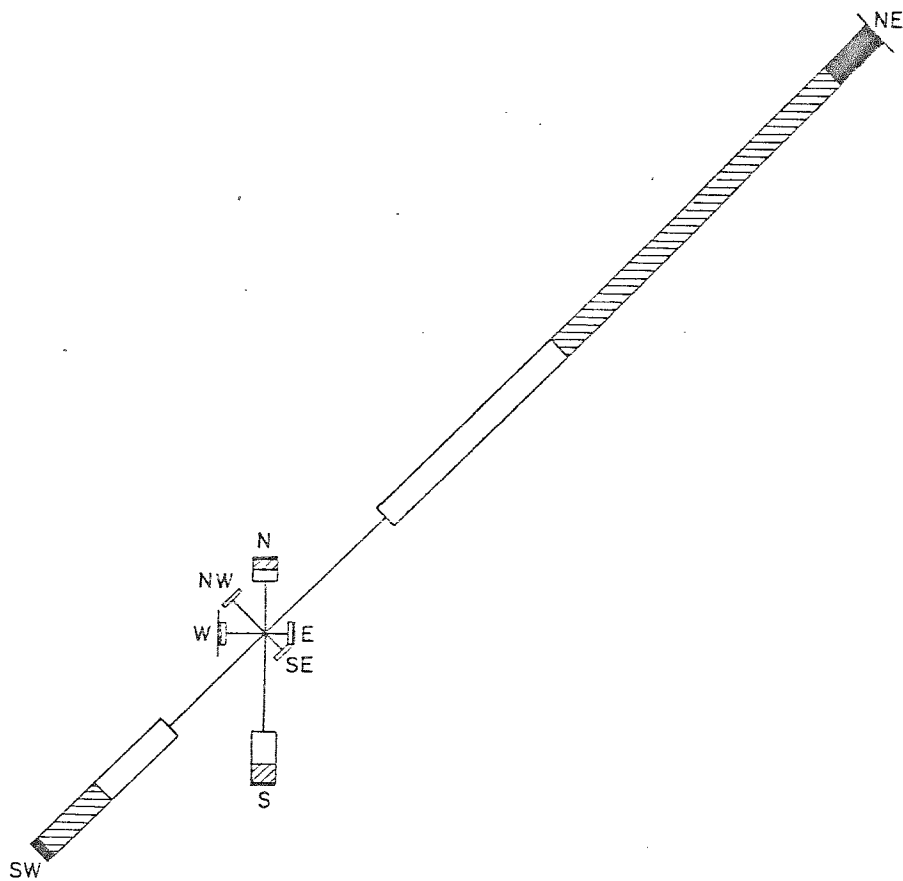


FIGURA VII.6 - Rosa das Correntes; 0,5m acima do Fundo

A corrente mais intensa observada no período foi de 1,65 m/s, em nov., 1984.

Nas rosas de correntes observa-se que

- a) as correntes NE e SW são, de longe, as predominantes. Correspondem, grosso modo, ao alinhamento do canal na região do pier.
- b) as correntes para NE são ainda mais frequentes do que as para SW, indicando que o transporte dar-se-á predominantemente em direção à abertura setentrional do canal.
- c) o padrão acima apontado é mais nítido na superfície do que à meia profundidade e fundo
- d) na superfície correntes razoavelmente fortes de 0,2 m/s a 0,8 m/s são frequentes. Correntes de 0,2m/s a 0,4 m/s ocorrem cerca de 26% do tempo; correntes de 0,4 m/s a 0,8 m/s ocorrem cerca de 29% do tempo e correntes superiores a 0,8 m/s ocorrem cerca de 2% do tempo.
- e) a meia profundidade as correntes são naturalmente menos intensas e a frequência de direções de corrente para N e para S aumenta. Correntes superiores a 0,10 m/s ocorrem apenas cerca de 30% do tempo.
- f) no fundo as intensidades são obviamente ainda mais fracas, mas o padrão de distribuição de direções permanece o mesmo. Interessantemente, correntes superiores a 0,10 m/s ocorrem com maior frequência (ca. 70%) do que à meia profundidade.

Deve ser frisado que as medições à meia profundidade e as medições na superfície e fundo foram efetua-

das em períodos não coincidentes.

As correntes médias (médias vetoriais) foram também calculadas, obtendo-se para a série de registros:

a) A meia profundidade:

Correntes dirigindo-se para a abertura setentrional do canal:

velocidade média: 9,23 cm/s

direção média: $38,3^{\circ}$

Correntes dirigindo-se para a abertura meridional do canal:

velocidade média: 8,22 cm/s

direção média: $218,7^{\circ}$

b) Na superfície

Correntes dirigindo-se para a abertura setentrional do canal:

velocidade média: 35,00 cm/s

direção média: $36,0^{\circ}$

Correntes dirigindo-se para a abertura meridional do canal:

velocidade média: 14,72 cm/s

direção média: $213,4^{\circ}$

any

As correntes à meia profundidade são as mais importantes para a diluição no jato (campo próximo). As suas magnitudes são as determinantes para a seleção dos valores de projeto.

As correntes mais intensas são mais eficientes para dispersão dos poluentes, porque:

- i) incrementam a turbulência
- ii) transportam os poluentes, por advecção, para regiões mais afastadas em menos tempo, de modo que a zona de misturamento ocupe um espaço menor.

Em vista destas considerações, tomou-se como valores de projeto:

- jatos densos : $0,02 \text{ m/s} < U_a < 0,60 \text{ m/s}$
- jatos boiantes: $U_a = 0$ (condição quiescente) sendo U_a a designação da corrente ambiente, que interage com o jato.

Neste sentido, a adoção de valores menores para o projeto corresponde à segurança, no caso de jatos boiantes. No caso de jatos densos, os modelos supõem corrente transversal ao jato, ainda que de baixa intensidade (em um ambiente estagnado o jato reflui sobre si mesmo, praticamente não ocorrendo diluição).

VII.4 Temperatura, Condutividade e Salinidade
Estrutura Vertical de Densidade

Os valores extremos obtidos durante todo o período de medição foram:

$$T_{\max} = 29,04^{\circ}\text{C} \quad (\text{jan.}, 1984)$$

$$T_{\min} = 15,07^{\circ}\text{C} \quad (\text{dez.}, 1983)$$

$$C_{\max} = 54,680 \quad \text{mmho/cm}$$

$$C_{\min} = 34,639 \quad \text{mmho/cm}$$

$$S_{\max} = 35,56 \text{ \%} \quad (\text{fev.}, 1984)$$

$$S_{\min} = 24,47 \text{ \%} \quad (\text{dez.}, 1984)$$

No que diz respeito à estratificação, a variável de interesse é a densidade, que por sua vez depende da salinidade e da temperatura. Observou-se que:

$$\rho_{\max} = 1.0255 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{fev.}, 1984)$$

$$\rho_{\min} = 1.0156 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{dez.}, 1984)$$

Quanto à estratificação propriamente, que pode ser quantificada por um índice como $\Delta\rho = \rho_{\text{sup}} - \rho_{\text{fundo}}$,

observou-se por inspeção da listagem dos valores medi
dos, que o seu extremo foi:

$$\rho \text{ sup} = 1,0157$$

$$\rho \text{ fundo} = 1,0202$$

gerando o gradiente:

$$\Delta\rho = 0,0045$$

$$\text{ou, } \Delta\sigma_t = 4,5$$

sendo $\sigma_t = (\rho - 1) \times 1000$, uma forma de expressão usual pa
ra a salinidade em estudos oceanográficos.

Esta situação ocorreu em 21/12/1984, ao mesmo tempo em que foi registrada a salinidade mínima na superfície (24,47‰). Muito provavelmente deve ter sido provocada por ocorrência de precipitação pluviométrica -- em bora não dispuséssemos de registros a respeito, que permitissem confirmar esta suposição. O gradiente de densidade começou a tornar-se acentuado por volta do dia 14/12/1984, tendo sido a duração mais longa de situação de estratificação observada na série. As densidades no fundo também foram diminuindo ao longo deste período (embora não tão rapidamente quanto as da superfície, de modo tal que o gradiente se acentuou). Isto indica que houve um misturamento vertical da água menos salgada ao longo do período. Em consequência, a cota da picnóclina (se é que ocorreu com nitidez) migrou para o fundo. Entretanto alguns fatores devem ser levados em consideração:

- i. como as medições de ρ foram efetuadas em apenas duas profundidades não é possível inferir sobre a forma do perfil de densidade; em particular, sobre a ocorrência de uma picnóclina que caracterizasse uma estratificação marcante
- ii. as durações de outras ocorrências de gradiente vertical de densidade foram curtas e pouco frequentes, relativamente à série de dados registrados
- iii. a ocorrência de estratificação tem pouca influência nas situações de jatos densos, que de qualquer maneira ficam confinados às camadas inferiores.
- iv. quando se tem jatos boiantes a estratificação atua vantajosamente, pois impede a afloração imediata dos efluentes, que contêm óleos e graxas, e minimiza o impacto visual.

Levando em conta todas estas considerações optou-se por trabalhar na modelagem da diluição pelo jato supondo uma coluna d'água homogênea, o que corresponde a uma suposição conservativa.

Em vista da escassez de estatísticas sobre as ondas no local, as quais habitualmente apresentam amplitudes reduzidas, este fator hidráulico não foi levado em conta nos cálculos de diluição e dispersão. De resto, isto representa uma suposição conservativa.

mmj

VIII. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO E DECAIMENTO

Em função de limitações independentes do CDTN/NUCLEBRÁS, os parâmetros de dispersão não puderam ser medidos no campo. Para eles, bem como para as constantes de decaimento (de importância secundária no problema em foco), foram definidos valores numéricos levando em conta as características hidráulicas, hidrográficas e físico-químicas do campo receptor, tomando-se a precaução de quantificá-los conservativamente.

VIII.1 Coeficiente de Dispersão

Este é o parâmetro que expressa a capacidade dispersora devido à turbulência natural do corpo receptor e ao efeito de cisalhamento ligado aos gradientes de velocidade das correntes (conforme Capítulo VI). Este parâmetro é instrumental para o cálculo da diluição no campo afastado da descarga.

O coeficiente de dispersão cresce à medida que a pluma de efluente se afasta da descarga e se expande, justamente porque a pluma abrange vórtices turbulentos cada vez maiores e um número crescente de gradiente de velocidade. Esta variação espacial conforma-se à expressão:

$$K = AL^n \quad (\text{VIII.1})$$

onde:

K = coeficiente de dispersão

mu

L = dimensão característica da pluma

A, n = parâmetros constantes em cada situação de descarga.

Um grande número de medições no oceano, nos mais diversos locais e situações, efetuados com o emprego de traçadores radioativos, corantes ou químicos e de flutuadores, mostrou que os valores de A e n variam dentro de uma faixa bastante reduzida. A Figura VIII.1, extraída da Referência 10, mostra um conjunto destes resultados.

Nota-se que via de regra $n = 4/3$ (embora em corpos receptores confinados este valor seja menor) e que $0,001 < A < 0,1$ no sistema CGS. Deste modo K pode aumentar em várias ordens de grandeza ao percorrer a nuvem uma distância de poucos quilômetros.

Koh e Brooks (8) indicam uma faixa aproximada para A de 0,0015 a 0,049, enquanto que Pearson (9) sugere $A = 0,001$, todos no sistema CGS. Todos estes autores supõem $n = 4/3$.

Entretanto, em processos de dispersão ocorrendo próximo à costa o expoente n pode não ser tão elevado, já que o obstáculo à dispersão representado pela barreira da costa impede um crescimento mais acelerado da pluma de efluentes. Grace (11) considera que num caso como este o espalhamento seja comandado por um coeficiente de dispersão que cresça a uma potência linear, $n = 1$. Em um corpo receptor ainda mais confinado, como uma baía, o crescimento do coeficiente de dispersão pode ser ainda mais lento.

Em vista das condições e valores considerados, bem como das características da região do emissário no Estreito de São Sebastião são escolhidos para o cálculo da dispersão no campo afastado (sistema MKS), conservativamente:

$$A = 0,005$$

$$n = 1$$

de onde:

$$K = 0,005 \text{ L}$$

VIII.2 Constantes de Decaimento

VIII.2.1 - Decaimento da DBO

A DBO é teoricamente satisfeita com uma cinética de desaparecimento de 1ª ordem, do tipo:

$$C = C_0 e^{-k_1 t} \quad (\text{VIII.2})$$

onde:

C = concentração ao tempo t após a introdução no oceano

C_0 = concentração na descarga

k_1 = constante de desoxigenação

e a demanda y , exercida após este tempo t :

Assy

$$y = C - C_0 = C_0 (1 - e^{-k_1 t})$$

Sem ter sido possível determinar k_1 para o efluente em questão será adotado o valor:

$$k_1 = 0,12 \text{ d}^{-1}$$

que corresponde à metade daquele tipicamente exercido por matéria orgânica em esgotos domésticos [3], sendo portanto conservativo.

VIII.2.2 - Decaimento de fenóis e sulfetos

Para o fenol, a Referência 14 cita para ambiente estuarino:

$$- \frac{dc}{dt} = 100 \text{ a } 600 \frac{\mu\text{g}/\ell}{\text{d}} \times 10^{-3}$$

Tomaremos como valor médio:

$$\frac{dc}{dt} = -0,3 \times 10^{-3} \frac{\text{mg}/\ell}{\text{d}}$$

que representa a taxa de degradação para o gás carbônico, por meio de bactérias e fungos.

O gás sulfídrico pode evoluir para a atmosfera ou ser oxidado a sulfato, seja quimicamente ou por bactérias (a menos que ocorram situações anaeróbicas). Na falta de dados e em função da variedade de possibilidades que não dependem da ação de microorganismos, consideraremos a taxa de desaparecimento dos sulfetos superior ao valor acima de 0,3 mg/l/d.

O desaparecimento (assaz complexo) dos óleos e graxas não será levado em conta uma vez que estes compostos são menos críticos que os fenóis e sulfetos; o mesmo valendo para a amônia.

ms

IX. DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO DO EMISSÁRIO

Os dados fundamentais para a análise conceitual dos processos no difusor e em seu campo próximo são:

- o duto do emissário deve passar pelo pier pe troleiro, que atinge zonas de profundidades su periores a 20m no seu braço sul.
- situações de estratificação marcante ocorrem com baixa frequência e curta duração. Foram desconsideradas, dado que a retenção do C.A. em um nível inferior à superfície do mar ("trapping") é, no caso em tela, favorável. Isto porque impede os óleos e graxas de aflo rar, minimizando assim o prejuízo estético.
- as correntes não são normalmente fortes, mor mente em camadas mais profundas. Somente du rante ca. 1/3 do tempo são superiores a 0,1m/s; e ca. 1/10 do tempo superiores a 0,2m/s.
- as densidades do efluente na descarga são nor malmente superiores à do corpo receptor; oca sionalmente podem diminuir, tornando o efluen te quase neutro e eventualmente boiante.
- as vazões variam em saltos discretos, mas du rante a maior parte do tempo o emissário fica rá fora de operação.

Os modelos utilizados para a descrição dos jatos densos e a avaliação das diluições relacionadas não são tão bem desenvolvidos e testados como os relativos aos jatos boiantes que ocorrem mais frequentemente. Um apanhado recente [15] do estado da arte indica um bom desempenho do modelo de Tong e Stolzenbach [16,17]. Por se tratar de um dos mais completos modelos, em termos de descrição das características intermediárias e finais do jato, será o escolhido para aplicação ao presente estudo.

IX.1 Características e Parâmetros dos Jatos Densos

A Figura IX.1 mostra a configuração esquemática de um emissário descartando um efluente mais denso do que a água do corpo receptor. Distingue-se:

- a) um campo próximo (CP) em que a dinâmica do fluxo é determinada pela quantidade de movimento do fluido emergente
- b) um campo intermediário, onde sobressai a expansão lateral da pluma em função de sua densidade superior ao ambiente
- c) um campo afastado (CA) em que a dinâmica do fluxo é determinada pelas condições do ambiente, dado que a quantidade de movimento descarregada com o jato já se diluiu o suficiente.

Esta dissipação da quantidade de movimento decorre justamente do entranhamento de água ambiente nos limi

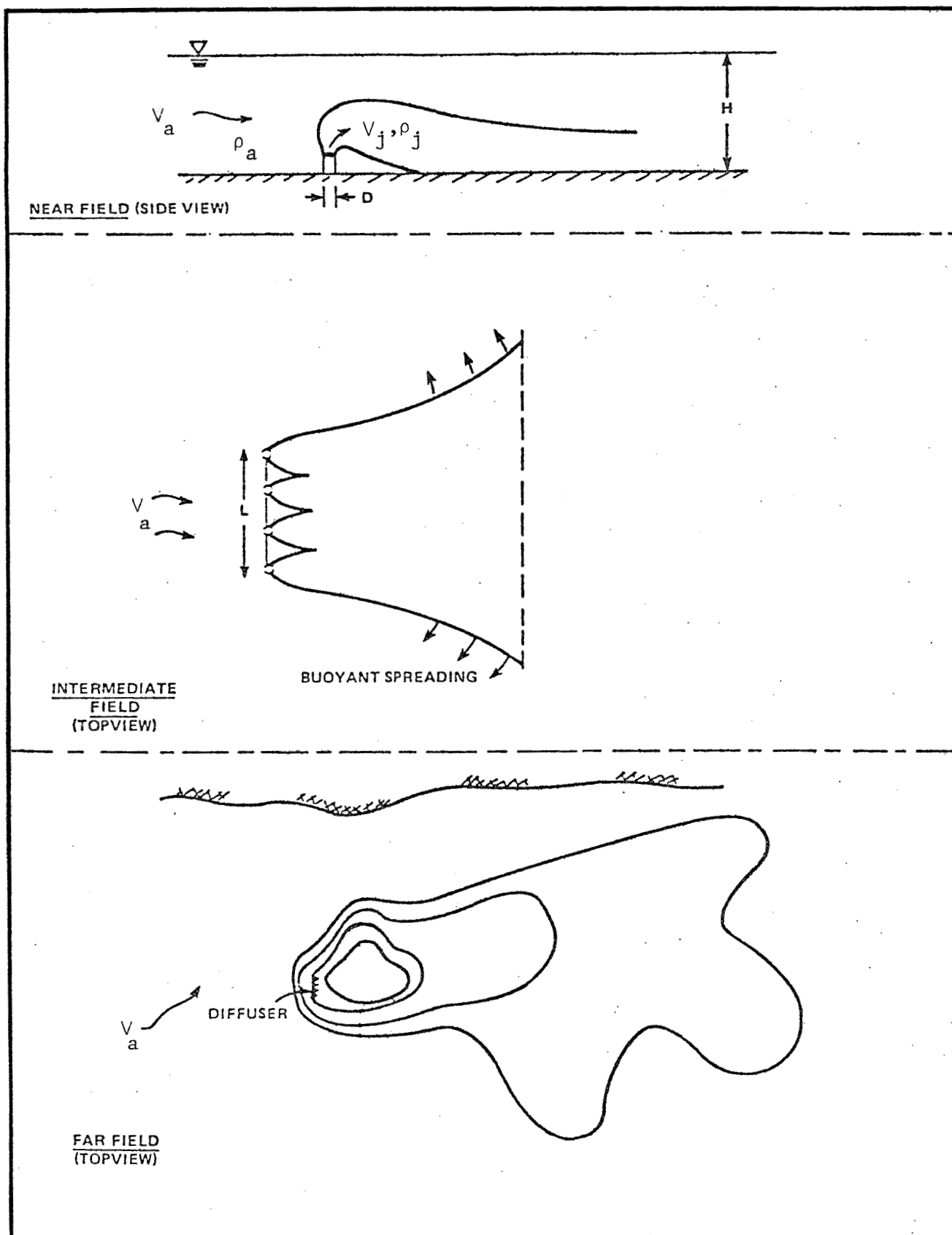


Figura IX.1 - Vistas Esquemáticas das Regiões da Descarga de um Efluente Denso por um Difusor.

tes do jato, água esta que será a responsável pela diluição do efluente.

As figuras IX.2, IX.3 e IX.4 esquematizam os principais parâmetros do jato denso. Estes são:

H : altura da lâmina d'água no local

V_a : velocidade do fluido ambiente

Z_j : cota do ponto de descarga

V_j : velocidade da descarga

q_j : vazão através do orifício de descarga

D_j : diâmetro do orifício

l : distância dos orifícios entre si

X_I : distância do orifício ao ponto de impacto

ρ_j : densidade do efluente na descarga

ρ_a : densidade do fluido ambiente

g'_j : aceleração gravitacional inicial reduzida =

$$= g \frac{\rho_j - \rho_a}{\rho_a} = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a}$$

z_p : cota da altura máxima da trajetória do jato

θ_I : ângulo de impacto

S_I : diluição média no ponto de impacto (= fluxo volumétrico no ponto de impacto ÷ fluxo volumétrico na descarga).

Duas variáveis adimensionais controlam as características do jato e da diluição:

Número de Froude da descarga:

$$F_j = \frac{V_j}{\sqrt{g'_j D_j}} \quad (\text{IX.1})$$

Número de Froude "ambiental":

$$F_{aj} = \frac{V_a}{\sqrt{g'_j D_j}} \quad (\text{IX.2})$$

IX.2 Modelo Matemático

Através de uma análise dimensional do problema e de calibração em modelos reduzidos, Tong e Stolzenbach chegaram aos seguintes resultados:

$$S_I = 4 \frac{V_j}{V_a} F_{aj}^{4/3} \quad (\text{IX.3})$$

$$X_I = 2,8 \frac{D_j V_j}{V_a} F_{aj}^2 \quad (\text{IX.4})$$

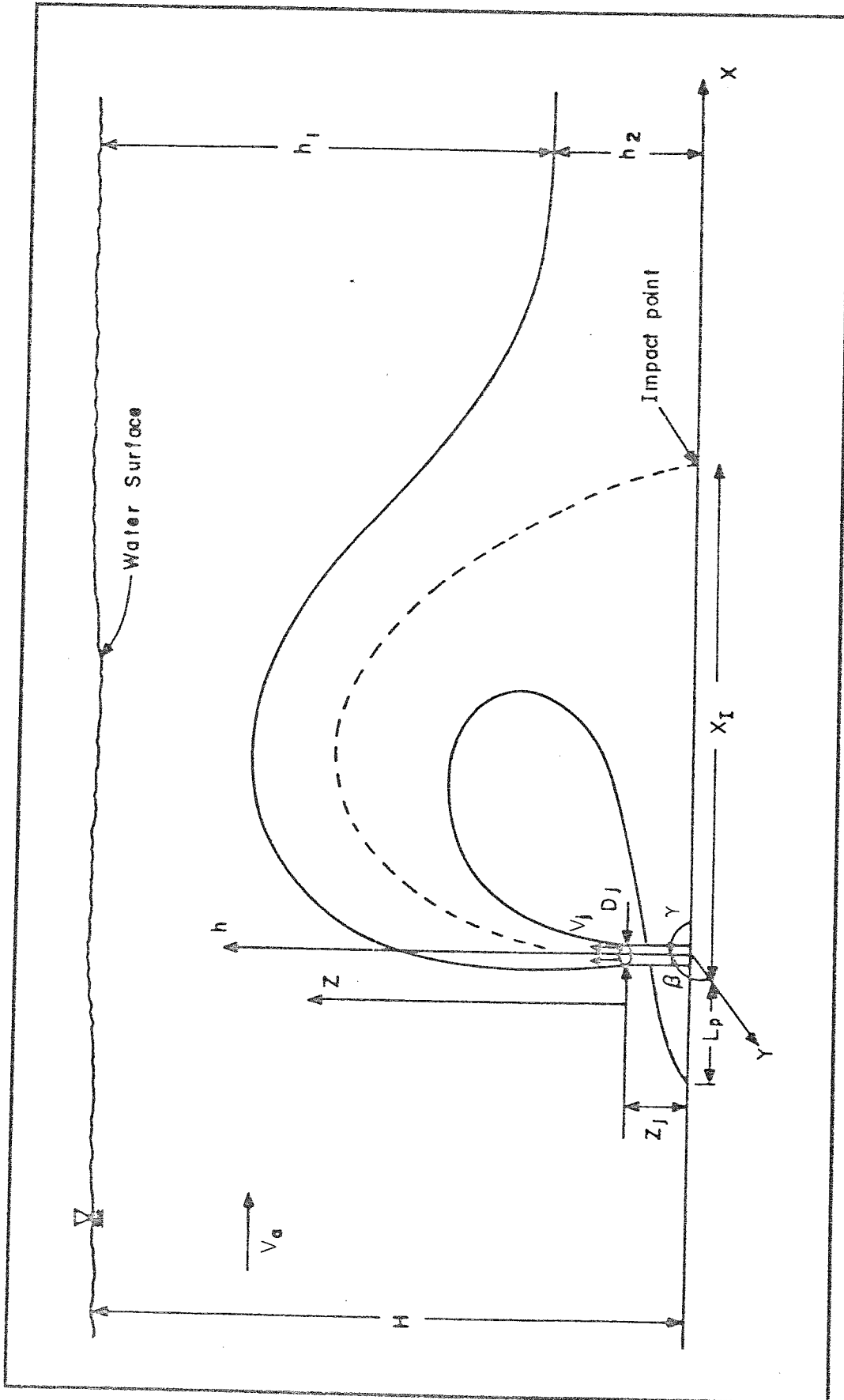


Figura IX.2 - Esquema dos Parâmetros de um Jato Simples

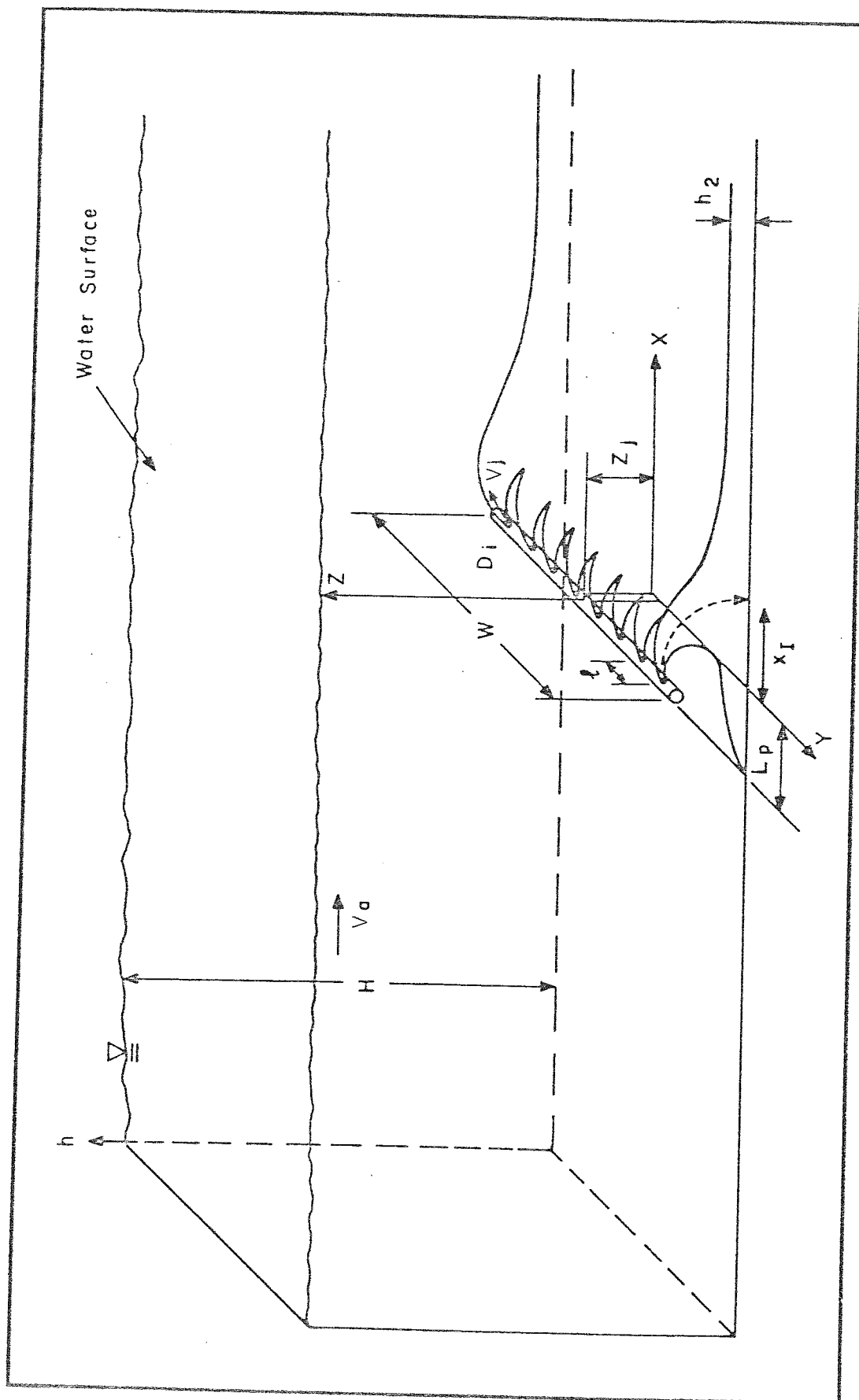


Figura IX.3 - Esquema dos Parâmetros de um Difusor com Múltiplos Orifícios.

$$z_p = 1,7 \frac{D_j V_j}{V_a} F_{aj} \quad (\text{IX.5})$$

$$\theta_I = \tan^{-1} (1,3 F_{aj}^{-4/3}) \quad (\text{IX.6})$$

Uma contribuição importante dos autores para a análise do fenômeno, com repercussão direta para o projeto, consistiu na análise hidráulica do campo na região de impacto. Conforme indicado na Figura IX.2, parte dos efluentes se expandem para montante, formando uma cunha que é contida pela contraposição da corrente ambiental. Dependendo da magnitude desta e das condições da descarga, a cunha pode avançar até um ponto em que afogue o orifício da descarga. Se isto acontecer o jato ascendente irá entranhar água já contaminada e a expressão IX.3 não mais será válida, posto que supõe um jato livre.

A formulação referente à região de impacto, que deve ser utilizada para projetar Z_j , de modo a evitar o afogamento, será vista mais adiante.

IX.3 Roteiro do Projeto

a) Especificação do local e da descarga:

São supostos conhecidos a profundidade H , a faixa de magnitudes das correntes V_a , o excesso de densidade na descarga em termos de g'_j e a vazão total do efluente Q_T .

b) Requisito de desempenho:

Para uma dada corrente mínima $V_a \text{ min}$, a concentração do jato denso ao atingir o fundo deve ser inferior a um valor especificado; ou seja sua diluição deve ultrapassar uma magnitude S_I equivalente. Além disto, o jato não deve atingir a superfície da água, i.é:

$$Z_p < H.$$

c) Variáveis de projeto fixadas:

A velocidade de descarga V_j máxima é condicionada pela potência das bombas disponíveis.

d) Variáveis de projeto a determinar:

As variáveis restantes, a serem determinadas de modo a satisfazer as condições (a) e (c) e os requisitos de desempenho (b) são: o diâmetro dos orifícios D_j , a cota da descarga Z_j , o número de orifícios N e o espaçamento destes l .

IX.4 Bases do Projeto do Difusor

Para os parâmetros básicos apontados no item (a), (b) e (c) do parágrafo anterior são conferidos os valores abaixo, definidos em função das características do local, do corpo receptor e do efluente:

- i. profundidade média do local: $H = 22\text{m}$
- ii. faixa de variação das velocidades da corrente:

$$V_{a \text{ min}} = 0,02\text{m/s}$$

$$V_{a \text{ max}} = 0,6 \text{ m/s}$$

- iii. excesso de densidade na descarga:

a densidade da mistura descarregada, em função da sua concentração de sais (NaCl) pode ser obtida em tabelas constantes de manuais especializados [19].

Obtem-se:

$$C_0 = 0,156 \text{ g/cm}^3$$

$$C_0 = 140\%$$

$$\rho_j = 1,101$$

onde:

C_0 = concentração no efluente

ρ_j = peso específico do efluente

e deste modo

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{1,101 - 1,024}{1,024} = 0,075$$

mmj

$$g'_j = 9,81 \times 0,074 = 0,738 \text{ m/s}^2$$

iv. vazão total do efluente:

$$\text{mínima: } Q_T = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{máxima: } Q_T = 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$$

v. requisito de desempenho, em termos de uma concentração máxima no ponto de impacto no fundo:

considera-se que a salinidade em excesso deve ser de 2% , equivalente a

$$C_I - C_a = 2000 \text{ ppm} = 2\%$$

o que corresponde a um fator de diluição médio:

$$S = \frac{C_j - C_a}{C_I - C_a} = \frac{156 - 35}{2} = 61$$

sendo:

C_j = concentração na descarga

C_I = concentração no ponto de impacto

C_a = concentração ambiental

my

vi. Definição da velocidade de descarga:

Dado que o jato, para maior eficiência do entranhamento, deverá ser inicialmente apontado verticalmente para cima, compete não imprimir-lhe velocidade excessivamente elevada. Isto porque nas situações em que se operar com descargas mais diluídas (eventualmente menos densas do que a água do mar) a trajetória dos efluentes até a superfície diminuiria e, em consequência, a diluição inicial. É escolhida, para a vazão de descarga mínima,

$$V_j = 5,7 \text{ m/s}$$

IX.5 Projeto dos Orifícios

i. Determinação dos diâmetros dos orifícios:

em função da Equação (IX.3) deduz-se que:

$$D_j = 8 \left[\frac{V_a \min(C_I - C_a)^3 V_j^3}{g^2 (\Delta\rho/\rho)^5} \right]^{1/2}$$

$$D_j = 8 \left[\frac{0,02 \times 0,002^3 \times 5,7^3}{9,81^2 \times 0,074^5} \right]^{1/2} = 0,09\text{m}$$

mm

ii. Teste da perda de carga

sendo a perda de carga relacionada com a velocidade de descarga pela expressão

$$V_j = C_D \sqrt{2gE}$$

onde C_D é o coeficiente de descarga, éle próprio função de V_j . Como estimativa preliminar toma-se $C_D = 0,67$, valor que será melhor precisado no Capítulo XI.

$$E = \frac{5,7^2}{2 \times 9,81 \times 0,67^2} \approx 3,7 \text{ mCA}$$

valor razoável para as bombas disponíveis.

iii. Teste da altura máxima alcançada:

usando a Equação (IX.5) obtem-se

$$z_p = 1,7 \times \frac{0,09 \times 5,7}{0,02} \times \left[\frac{0,02}{\sqrt{0,738 \times 0,09}} \right] =$$

$$= 3,4\text{m}$$

sendo a espessura da lâmina d'água sobre o emissário ca. 21m (descontada a cota do emissário sobre o fundo), conclui-se que o jato não aflorará.

iv. Determinação do número de orifícios:

em função da vazão total do efluente e da velocidade de descarga, tem-se:

$$N = \frac{Q_T}{\frac{\pi}{4} D_z^2 V_z}$$

$$N = \frac{4 \times 0,139}{\pi \times 0,09^2 \times 5,7} = 4$$

v. Número de Froude ambiental:

da equação (IX.2) obtém-se

$$F_{aj \max} = \frac{0,6}{(0,738 \times 0,09)^{1/2}} = 2,3$$

$$F_{aj \min} = \frac{0,02}{(0,738 \times 0,09)^{1/2}} = 0,08$$

vi. Determinação do espaçamento entre orifícios:

Critério 1: espaçamento superior ao diâmetro dos jatos no ponto de impacto, de modo a impedir sua superposição

$$l > 5 \frac{D_j V_j}{V_a \max} (F_{aj \max})^{2/3} \left[1 + 1,7 (F_{aj \max})^{-8/3} \right]^{-1/4}$$

donde

$$\ell > 7,1\text{m}$$

Critério 2: previsão para pequenas razões entre fluxo ambiental e fluxo do jato diluido

$$\ell > 10 \frac{D_j V_j^2}{V_a^2 \min} \times \frac{D_j}{H} (F_{aj \min})^{4/3}$$

$$\ell > 10,8\text{m}$$

devendo ℓ ser da ordem de

$$\ell = 11\text{m}$$

aplicando uma correção para a inclinação da corrente em relação ao alinhamento do difusor, fixado pelo pier, que é suposta sendo 45° , vem

$$\ell = \frac{11}{\text{sen } 45^\circ} = 16\text{m}$$

vii. Determinação do ângulo de impacto:

aplicando a Equação (IX.6),

$$\theta_{I \min} = \tan^{-1}(1,3 \times 2,3^{-4/3}) = 23^\circ$$

ans

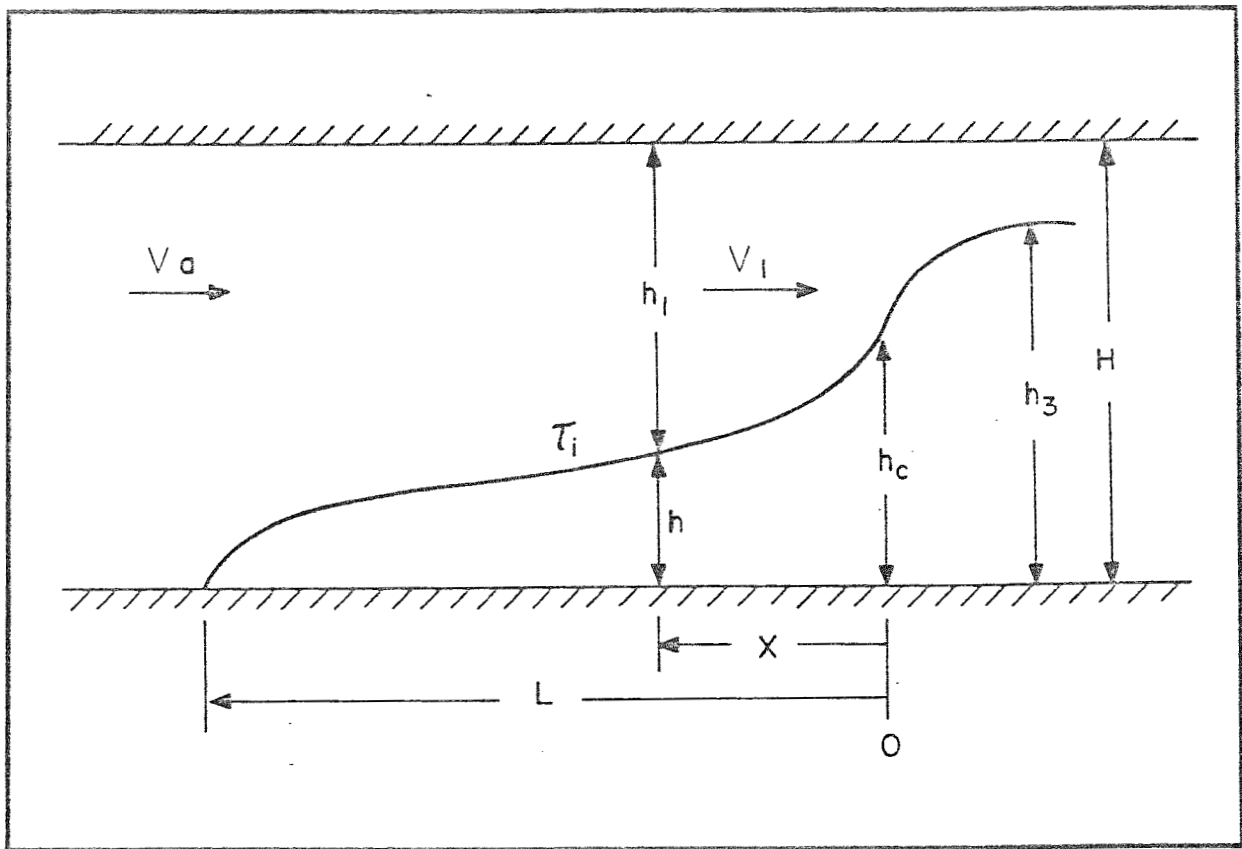


Figura IX.5 - Esquema da Cunha a Juzante do Ponto de Impacto do Jato no Fundo.

Handwritten signature

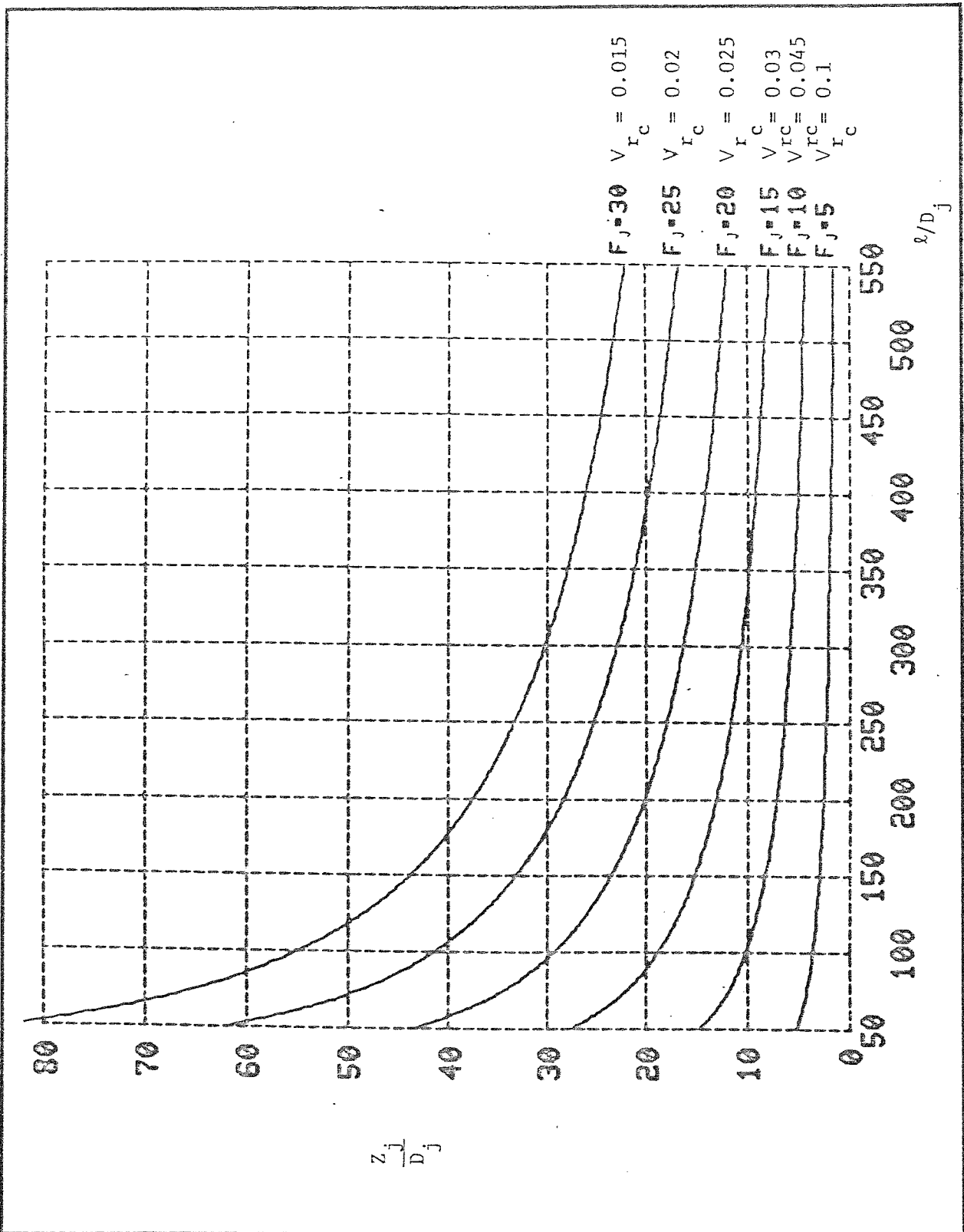


Figura IX.6 - Espaçamento dos Orifícios em Função da Cota da Descarga.

Handwritten mark

$$\theta_{I \max} = \tan^{-1}(1,3 \times 0,08^{-4/3}) = 88,5^\circ$$

IX.6 Prevenção do Afogamento

A Figura IX.5 mostra esquematicamente as características da cunha que avança para montante quando o jato atinge o fundo, h_c é a altura crítica, semelhante à que ocorre em fluxo de superfície livre com camada única, observável sempre que a altura a jusante do ponto de impacto for igual ou maior do que h_c . h_3 é a altura da camada densa imediatamente a montante do ponto de impacto. Sendo Z_j a altura da descarga, para que não haja afogamento, faz-se:

$$\text{se } h_3 \geq h_c \quad , \quad Z_j = h_c$$

$$\text{se } h_3 < h_c \quad , \quad Z_j = h_3$$

i. Número de Froude na descarga:

$$F_j = \frac{V_j}{(g'_j D_j)^{1/2}} = \frac{5,7}{(0,738 \times 0,09)^{1/2}} = 22$$

ii. Estimativa de h_2/D_j :

pode ser feita utilizando a Figura IX.6, retirada da Referência 16, que corresponde a

valores computados da expressão

$$\left(\frac{h_3}{D_j}\right)^2 = \Pi^2 \left(\frac{D_j}{\ell}\right)^2 \left(\frac{V_a}{V_j}\right)^{-4/3} F_j^{8/3} \left(\frac{2\cos\theta_I}{1+\cos\theta_I}\right)^2 +$$

$$+ 8\Pi \frac{D_j}{\ell} \left(\frac{V_a}{V_j}\right)^{5/3} F_j^{14/3} \left(\frac{1-\cos\theta_I}{2\cos\theta_I}\right)$$

com

$$\frac{\ell}{D_j} = \frac{16}{0,09} = 178$$

obtem-se da figura:

$$\frac{h_3}{D_j} \approx 24$$

ou seja, para $\ell/D_j > 178$, vem $h_3/D_j < 24$.

iii. Estimativa de h_c/D_j :

é feita através da expressão

$$\frac{h_c}{D_j} = \frac{H}{D_j} - \left(\frac{H}{D_j}\right)^{2/3} \left(\frac{4 V_j}{V_{a \min}}\right)^{1/3} (F_{aj \min})^{10/9}$$

substituindo os devidos valores obtem-se

$$\frac{h_c}{D_j} = 210$$

iv. Escolha de Z_j :

de ii e iii, ve-se que

$$h_c > h_3$$

e portanto,

$$Z_j = h_3$$

$$Z_j = 24D_j = 24 \times 0,09 = 2,1\text{m}$$

Como $h_c/D_j = 210$ está fora da faixa de $Z_j/D_j < 24$ dada para $l/D_j = 178$ na Figura IX.6, resulta que não existe profundidade crítica com este arranjo.

Como o emissário terá um diâmetro externo de 0,35m, será necessário colocá-lo sobre um suporte com altura de 1,80m para que se evite o afogamento sem ser necessário recorrer a um "riser", conforme esquematizado na Figura IX.7:

$$H_{\text{suporte}} + D_{\text{ext}} \geq Z_j$$

$$H_{\text{suporte}} \geq 2,15 - 0,36 \approx 1,8\text{m}$$

ally

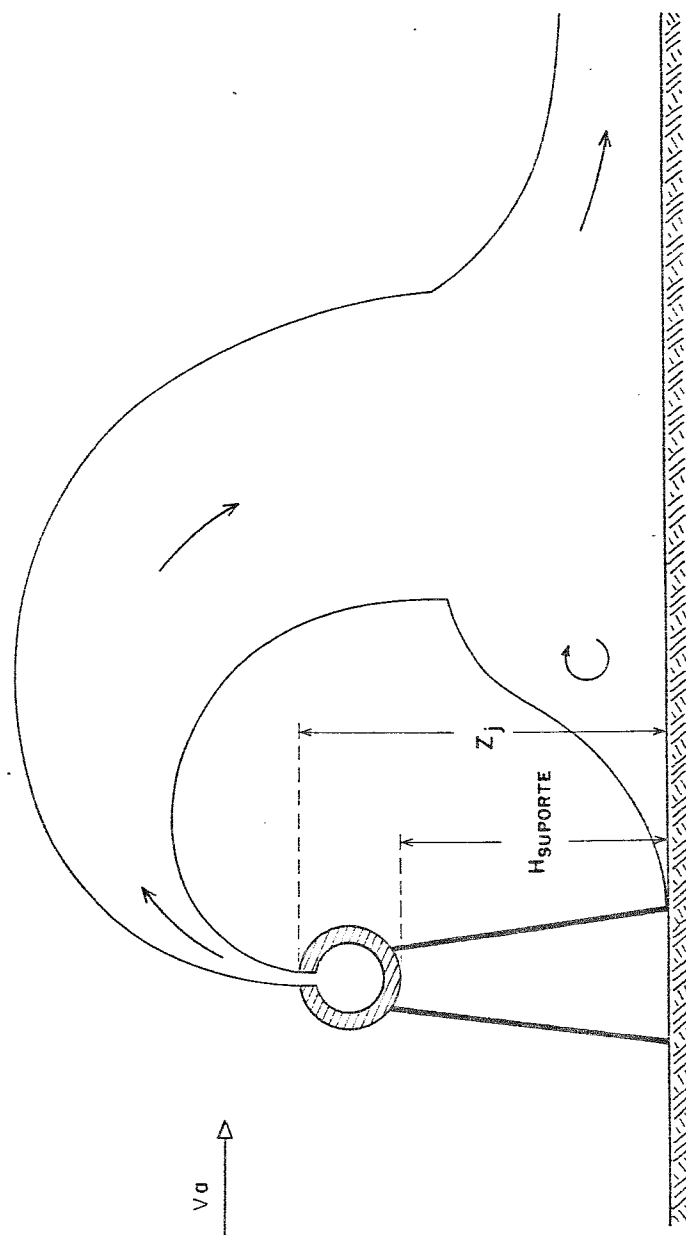


Fig. IX . 7 - ESQUEMA DA MONTAGEM DO DIFUSOR , CORTE TRANSVERSAL

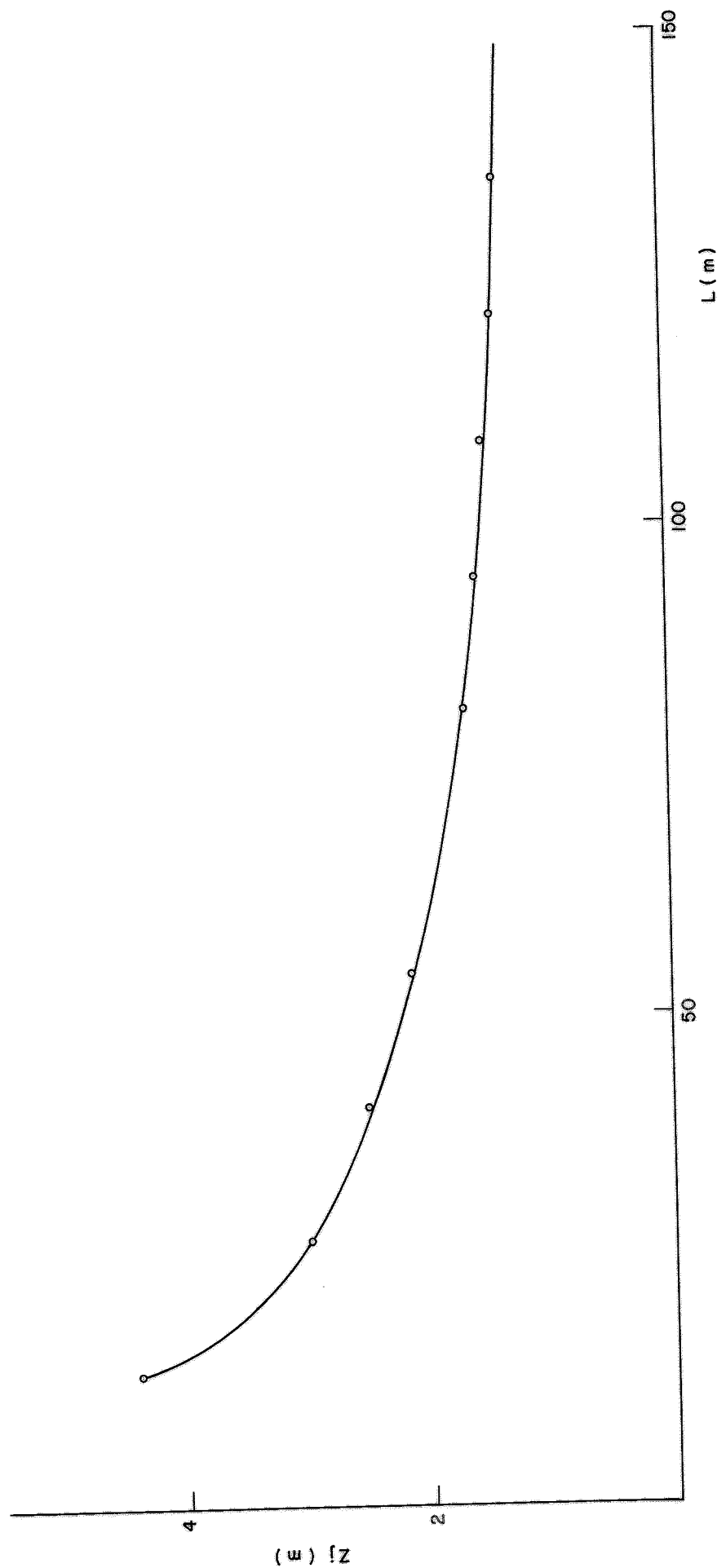


Fig. IX - 8 COMPRIMENTO TOTAL DO DIFUSOR EM FUNÇÃO DA COTA DA DESCARGA.

Handwritten signature

A Figura IX.8, que é construída a partir da Figura IX.6, levando em conta o número de orifícios $N = 4$, indica como varia o comprimento total do difusor $L = (N - 1)\ell$, em função da altura da descarga Z_j . Pode-se verificar que uma redução apreciável em Z_j requer um aumento desproporcional do comprimento do difusor. Uma altura $Z_j = 1,86\text{m}$ (equivalente a $H_{\text{suporte}} = 1,5\text{m}$) requer $L = 67,5\text{m}$

altura do suporte = 1,5m
 comprimento do difusor = 70m
 espaçamento entre orifícios = 23m

IX.7 Desempenho para Vazões Máximas

Garantida a diluição na situação hidráulica mais desfavorável de vazão mínima: $Q = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$; trata-se de verificar os teores a serem obtidos com $Q = 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V_j = \frac{4 \times 0,250}{4 \times \pi \times (0,09)^2} = 9,8 \text{ m/s}$$

$$S_{I \text{ min}} = 4 \times \frac{5,7}{0,02} \times 0,08^{4/3} = 39$$

$$C_I - C_a = \frac{156 - 35}{41} = 3\%$$

RMJ

IX.8 Desempenho no Caso de Baixas Salinidades

Quando a salinidade cai para 25% (dessalgadora desativada coincidindo com episódios de chuva) a densidade do efluente passa a ser [19]:

$$\rho_j = 1,015$$

e o jato se torna boiante. Nestas condições, aplica-se o modelo de Roberts [18] que é mostrado em forma gráfica na Figura IX.9. Os parâmetros intervenientes são:

$$g'_j = \frac{\rho_a - \rho_j}{\rho_a} g = \frac{1,025 - 1,015}{1,025} \times 9,81 = 0,0957$$

$$F = \frac{V_a^3 L}{g'_j Q} = \frac{0,02^3 \times 70}{0,738 \times 0,139} = 0,0055$$

para valores tão baixos do número de Froude ambiental, vale a equação abaixo, independente do ângulo θ entre corrente e difusor:

$$S = \frac{0,47 V_a HL}{Q F^{1/3}}$$

onde o fator 0,47 já leva em conta a razão entre a diluição no eixo do jato e a diluição média.

mmj

$$S = \frac{0,47 \times 0,02 \times 21,5 \times 70}{0,139 \times 0,005^{1/3}} = 577$$

que representa, como se era de esperar, uma diluição muito mais intensa do que no caso do jato denso.

IX.9 Diluições em Função das Correntes

As seções precedentes contemplaram as situações de correntes ambientais mais desfavoráveis. Intensidades de correntes mais altas, $V_a > 0,02$ m/s provocarão maior diluição.

Os cálculos nestas novas situações são feitos com os mesmos modelos para jatos densos ou boiantes apresentados anteriormente. Os resultados obtidos são apresentados na Figura IX.10.

mu

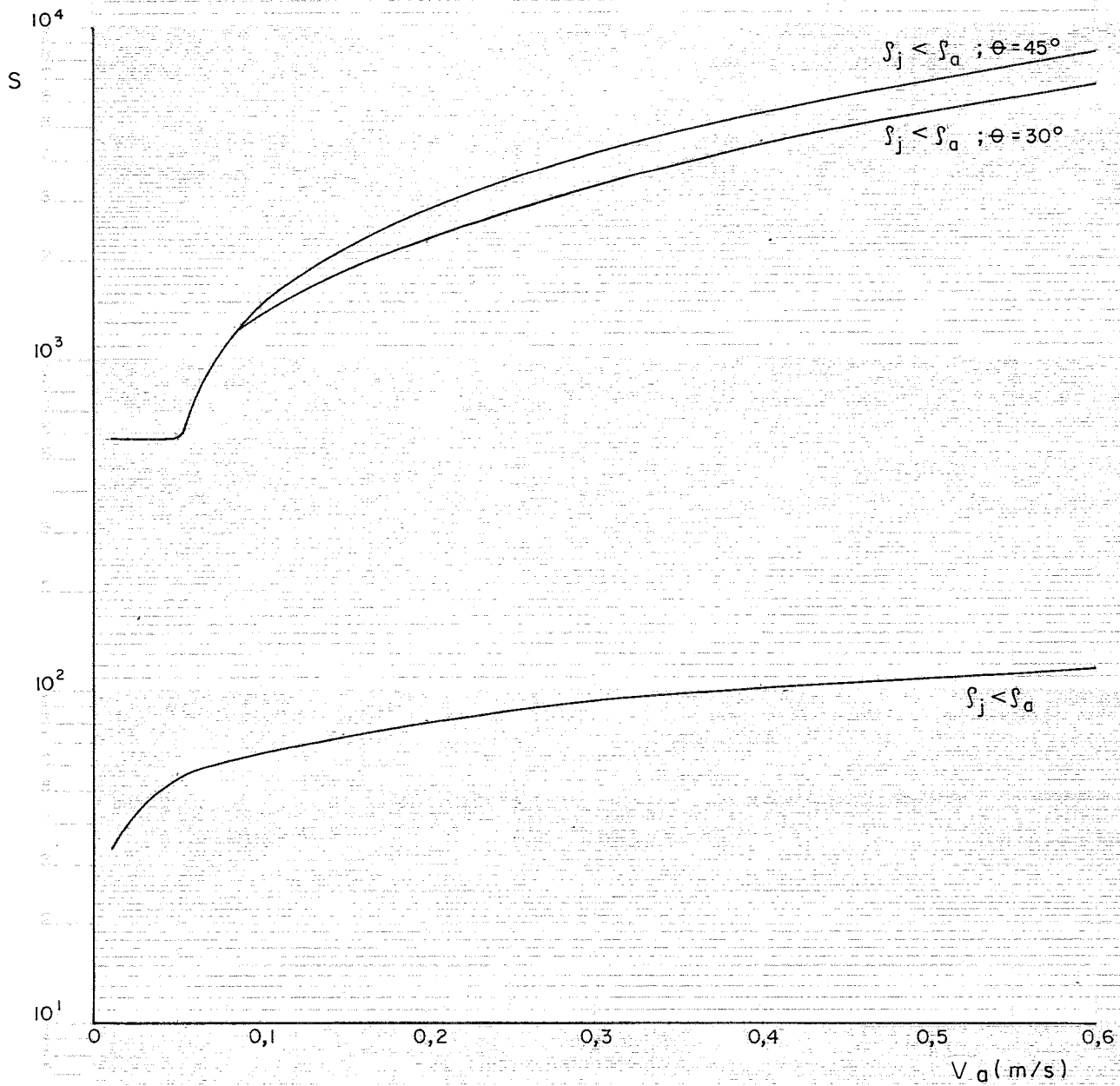


FIGURA IX.10 - Fatores de Diluição no C.P. em Função das Correntes.

X. DILUIÇÃO NO CAMPO AFASTADO DO EMISSÁRIO

Após diluir seu fluxo de momentum inicial a pluma passa a dispersar ao sabor das condições da turbulência e correntes ambientais. Aplica-se nestas condições o modelo de Brooks [20].

A análise de Brooks depende dos valores dos coeficientes da Equação VII.1, $K = AL^n$. Foi visto no Capítulo VIII que estes são $A = 0,005$ e $n = 1$. Para tais valores, a equação do modelo de Brooks a ser usada é:

$$\frac{1}{S} = \frac{C(x)}{C_I} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{erf} \left[\frac{1,5}{(1 + \beta x/B^2 - 1)} \right]^{1/2} \quad (\text{X.1})$$

onde:

S = diluição média na pluma

$C(x)$ = concentração média na pluma

C_I = concentração no início do campo afastado
(C.A.)

x = distância do ponto considerado em relação ao início do C.A. (medida ao longo da trajetória da pluma).

e onde erf designa a função erro:

$$\operatorname{erf} (a) = \frac{2}{\Pi} \int_0^a \exp(-t^2) dt$$

e

$$\beta = \frac{12 K_I}{V_a B}$$

em que:

K_I = coeficiente de dispersão no início do C.A.

V_a = velocidade da corrente

B = largura da pluma no início do C.A.

Tendo-se:

$$K_I = A\beta^n$$

$$\beta = \frac{\sigma_I}{2\sqrt{3}}$$

onde σ_I é o desvio padrão da distribuição transversal de concentrações dos componentes do efluente no início do C.A. O fator $2\sqrt{3}$ é introduzido para fazer a equivalência entre um perfil gaussiano e um perfil retangular de concentrações. β é tomado, conservativamente, como:

$$\beta = L \text{ sen } 45^\circ$$

i.é: a projeção do comprimento do emissário no sentido perpendicular ao da corrente.

A Figura X.1 mostra o crescimento do fator de di

mm

lução S no C.A., com o afastamento do local da descarga. É importante ter em conta que o modelo que gerou estes resultados supõe uma corrente estacionária.

Supos-se ainda que as condições hidrodinâmicas para a dispersão são idênticas no fundo (C.A. do jatos densos) e na superfície (C.A. dos jatos boiantes). Existe na literatura uma referência ao espalhamento de jatos densos no C.A. [21], mas em termos totalmente empíricos. O modelo obtido por simples correlação de dados medidos em modelo reduzido é:

$$S = \left(\frac{x}{x_I} \right)^{0,68} \quad (X.2)$$

em que:

x = distância em relação ao ponto de impacto

x_I = distância (horizontal) do ponto de impacto ao ponto de descarga.

x_I é previsto no modelo de Tong & Stolzenbach, conforme a Equação (IX.4). Substituindo a expressão de F_{aj} e considerando que $V_j = 5,7$ m/s e $g'_j = 0,738$ m/s², encontra-se:

$$x_I = 21,6 V_a$$

Os valores correspondentes calculados para S estão indicados na Figura X.2, na mesma escala da Figura

amg

X.1. Verifica-se que as taxas de diluição obtidas são ligeiramente superiores às calculadas com o modelo de Brooks. Uma possível explicação poderia ser o efeito do espalhamento gravitacional. Entretanto, como este modelo (Equação X.2) não foi testado em protótipo, consideramos mais seguros os cálculos com o modelo de Brooks (Figura X.1), que inclusive é mais conservativo.

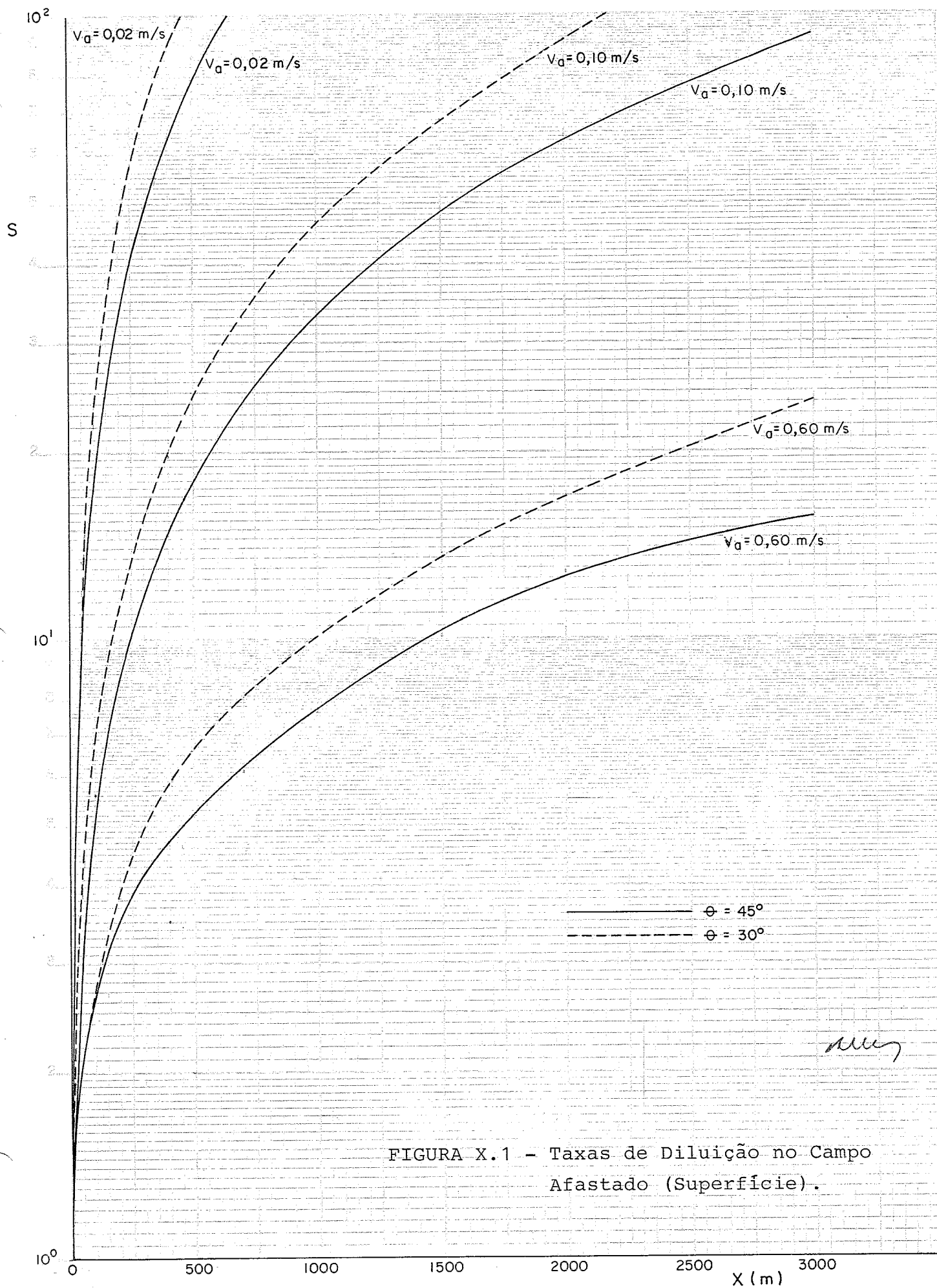


FIGURA X.1 - Taxas de Diluição no Campo Afastado (Superfície).

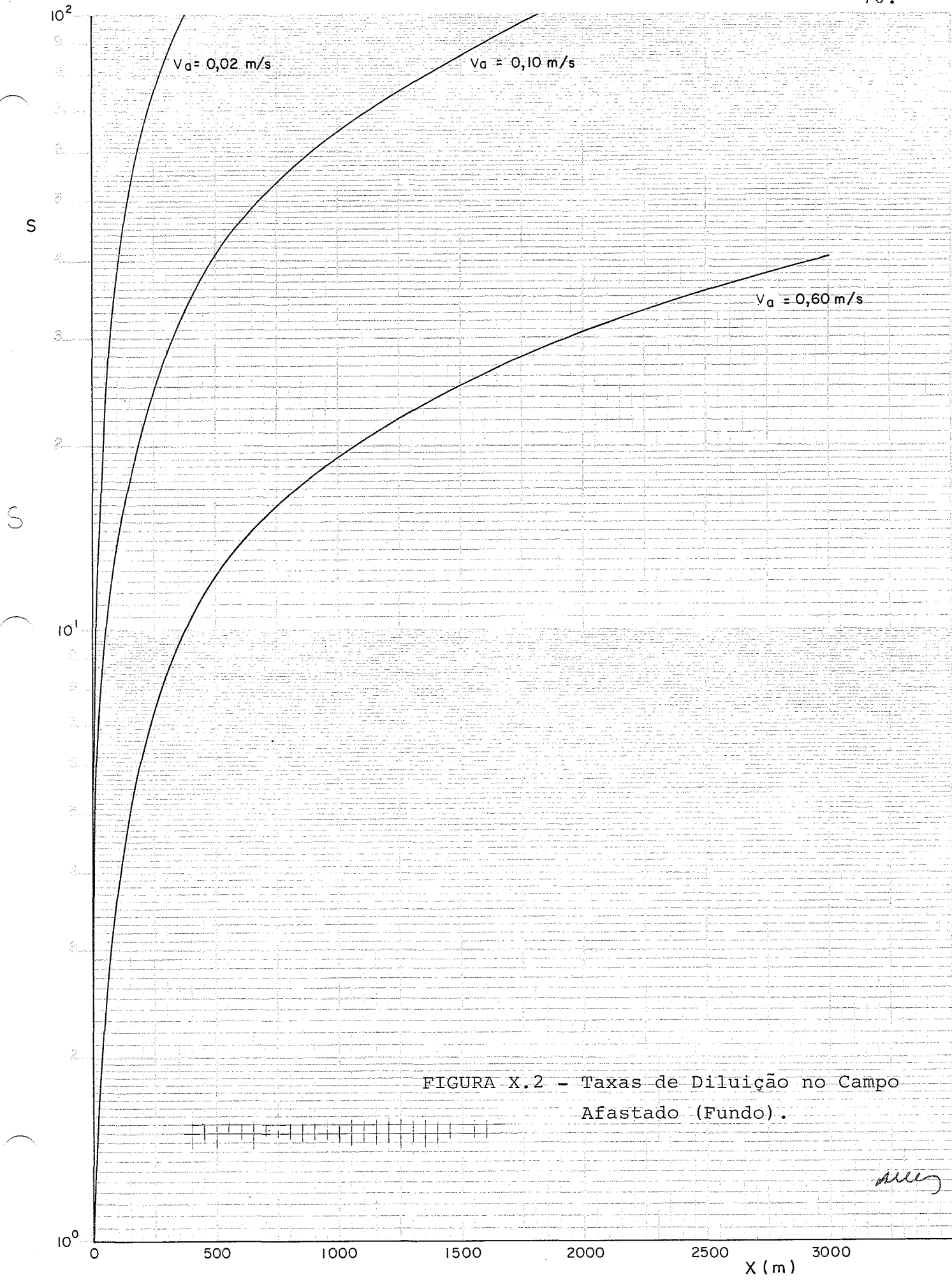


FIGURA X.2 - Taxas de Diluição no Campo Afastado (Fundo).

XI. DILUIÇÃO TOTAL E TEORES RESULTANTES

XI.1 Fatores de Diluição Física Total

A diluição física total - sem levar em conta o decaimento das concentrações por reação, precipitação, transferência de fase, etc - é o produto das diluições no campo próximo e afastado:

$$S_T = S_{CP} \times S_{CA}$$

Os fatores S_{CP} e S_{CA} estão plotados nas Figuras IX.10 (S_{CP}), X.1 e X.2 (S_{CA}) para as diferentes condições e a várias distâncias. Com estes elementos a diluição total pode ser avaliada. Os resultados dos cálculos estão plotados na Figura XI.1 (no caso dos jatos boiantes, $\rho_j < \rho_a$, com correntes de 0,6 m/s; os valores de S_T para $\theta = 30^\circ$ e $\theta = 45^\circ$ são muito próximos; só foram plotados os últimos, para não confundir muito a figura).

Aparentemente os resultados indicam uma situação paradoxal: as correntes mais altas produzem menor diluição. Contudo, há que se lembrar que no caso de correntes mais fracas a pluma se expande muito mais lateralmente. Isto resulta em poluição muito maior no sentido transversal. O crescimento lateral da pluma, no caso de uma expressão para o coeficiente de dispersão como a Equação (VIII.1) com $n = 1$, é dado por:

$$W = W_0 + 2\sqrt{3} \frac{A}{V_a} x$$

RMU

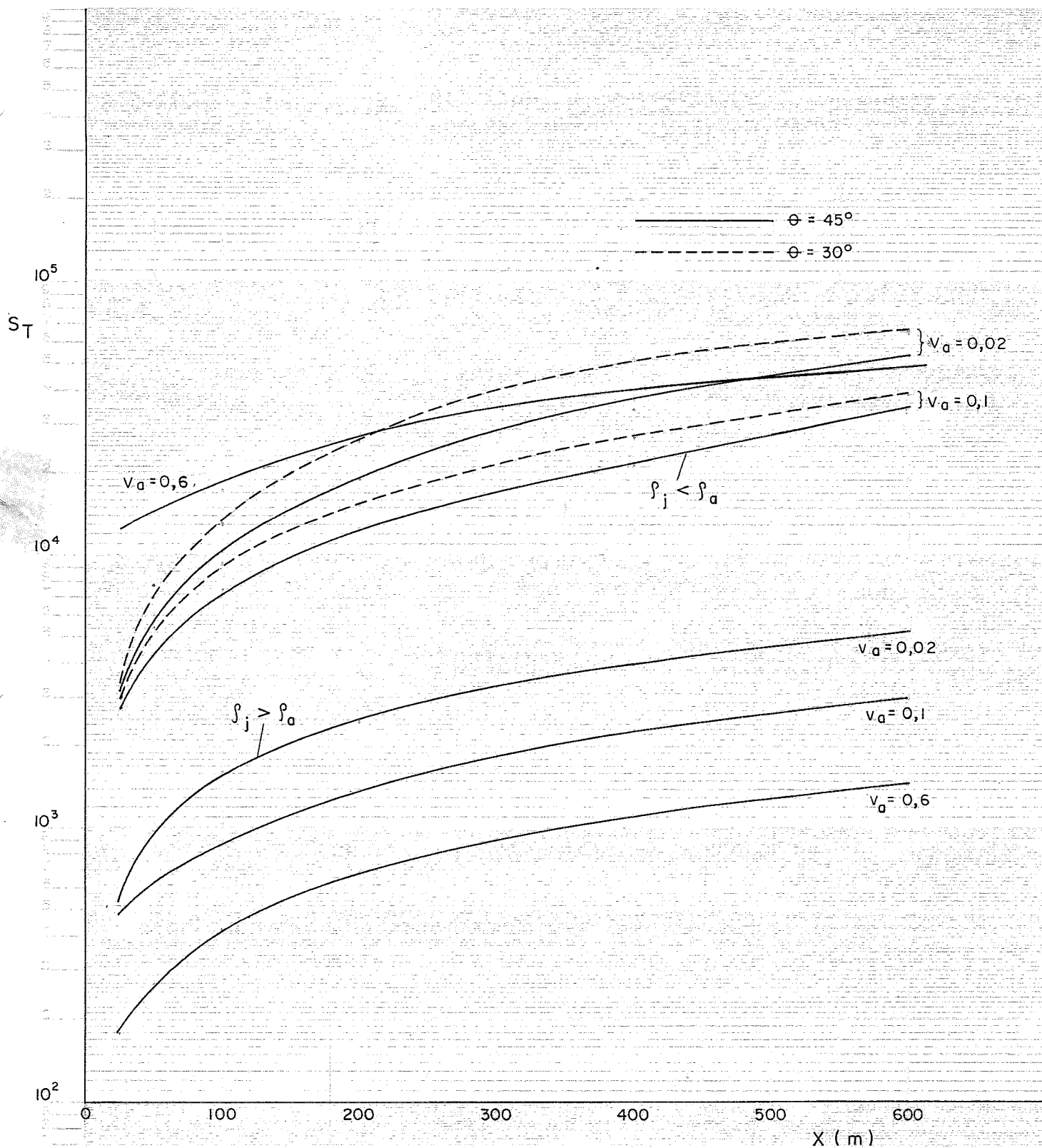


FIGURA XI.1 - Diluição Total em Função do Afastamento do Difusor

Handwritten signature

onde

W = largura da pluma à distância x do início do C.A.

W_0 = ídem, no início do C.A.

V_a = velocidade da corrente.

Supondo $W_0 = L \text{ sen } \theta$ onde L é o comprimento do emissário e θ o ângulo deste com as correntes, vem

$$W = 50 + \frac{0,017}{V_a} x$$

portanto, quanto maior V_a , mais lento o crescimento de W . A Figura XI.2 mostra esquematicamente como ficariam as curvas de isoconcentração a jusante do difusor nos casos das velocidades extremas consideradas neste trabalho: $V_a = 0,02 \text{ m/s}$ e $V_a = 0,60 \text{ m/s}$. As retas envoltórias representam os limites da pluma, dados pela expressão acima.

XI.2 Diluição da DBO, Fenóis e Sulfetos

Supõe-se a DBO decaindo conforme a Equação (VIII.2) e a demanda sendo exercida conforme a Equação (VIII.3).

Como $t = V_a/x$, vem que a diluição total (física e bioquímica) da DBO é:

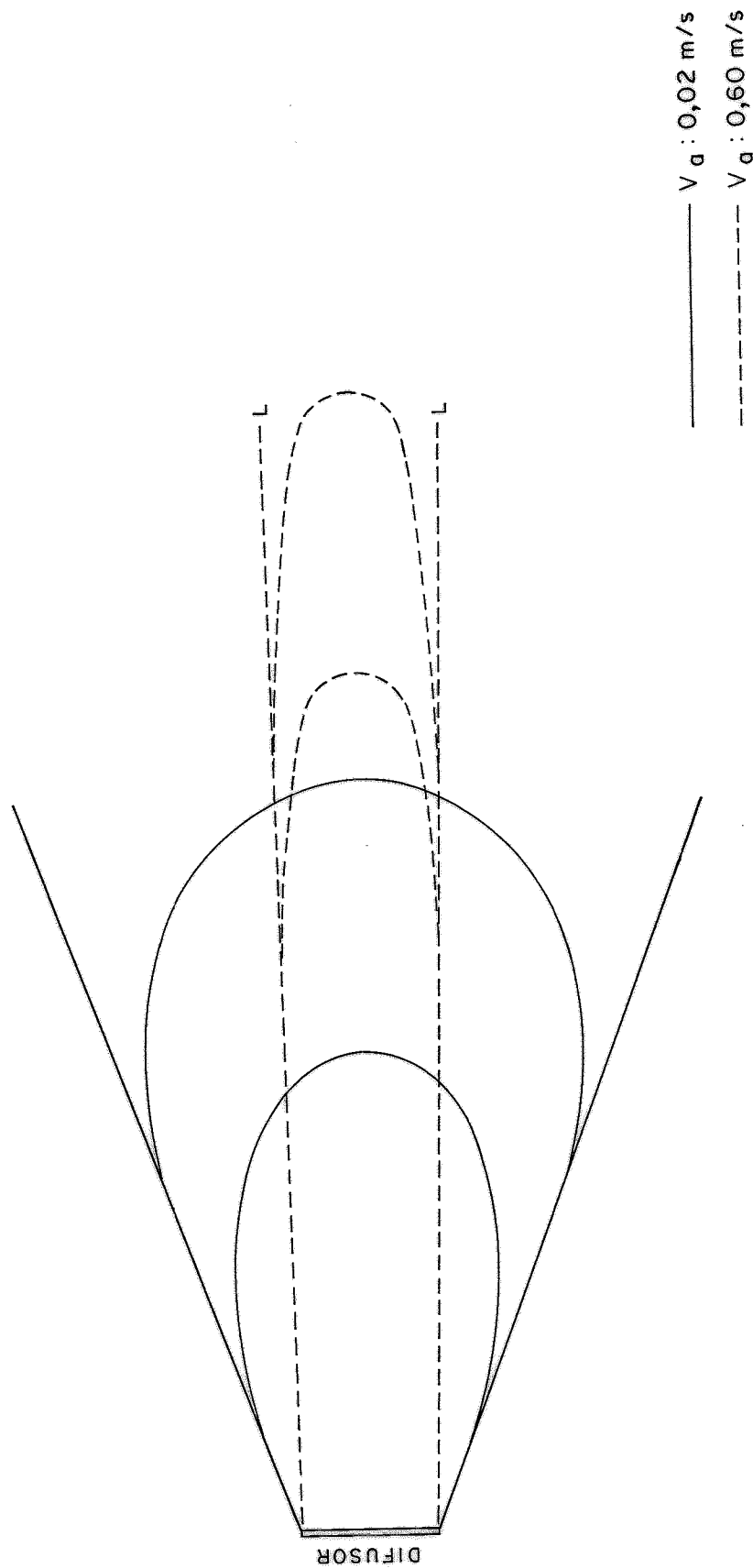


FIGURA XI.2 - Esquema das Curvas de Iso-Concentração de Poluentes no C.A.

$$S_T = S_{CP} S_{CA} \left[\exp \left(\frac{0,12}{86400} \right) \right] \cdot \left(\frac{x}{V_a} \right)$$

No caso mais crítico do jato denso, para as correntes mais fracas, $V_a = 0,02$ m/s, isto indica que S_T cresce 1,007 vezes a 100m e 1,04 vezes a 600m, em relação à diluição puramente física. Deste modo, no curto intervalo de tempo em que os poluentes são transportados para regiões de alta diluição (i.é: para fora da zona de impacto), a DBO exercida praticamente não faz diferença sobre a diluição física.

Quanto aos fenóis e sulfetos, adotando a formulação e os parâmetros do Parágrafo VIII.2.2:

$$\frac{dc}{dt} = -0,3 \times 10^{-3} \frac{\text{mg}/\ell}{d}$$

$$c = C_I - 0,3 \times 10^{-3} t = C_I - \frac{3 \times 10^{-4}}{86400} \frac{x}{V_a}$$

sendo C_I a concentração no início do C.A.

Verifica-se claramente a desprezível contribuição do decaimento: após percorrer a distância de 600m sob a ação de correntes fracas de 0,02 m/s a concentração ainda seria:

$$c = \frac{C_I}{S_{CA}} - 0,0001 = \left(\frac{C_0}{S_T} - 0,0001 \right) \frac{\text{mg}}{\ell}$$

o que indica uma contribuição não desprezível para a diluição total. Os resultados não levando em conta e levando em conta o efeito deste decaimento, para o caso dos fenóis, são dados na Tabela XI.1. Considera-se tão somente a situação de jatos densos, $\rho_j > \rho_a$, por ser mais crítica. Os valores referem-se às concentrações a 600m do emissário. C designa a concentração resultante apenas da diluição física e C* aquela levando em conta o decaimento do fenol.

V_a (m/s)	C ($\mu\text{g}/\ell$)	C* ($\mu\text{g}/\ell$)
0,02	0,19	0,09
0,1	0,40	0,30
0,6	0,69	0,59

TABELA XI.1 - Concentrações de Fenóis no Final do C.A.

Estes valores devem ser considerados com as devidas reservas, pois tanto a magnitude da taxa de decaimento como, principalmente, a cinética (de ordem zero) utilizadas, podem não corresponder à realidade nas condições dos efluentes e do corpo receptor do TEBAR.

XI.3 Interpretação e Avaliação

Nos cálculos e simulações das seções anteriores procurou-se sempre utilizar hipóteses e valores numéricos conservativos. É possível que um esforço de levantamento de dados mais abrangentes permita uma otimização dos parâmetros de cálculo e autorize o emprego de modelos mais sofisticados. No entanto é pouco provável que o projeto do difusor seja substancialmente alterado tendo em vista a rigidez dos contornos impostos à sua elaboração.

As condições de diluição, mesmo em presença de correntes desfavoráveis permitem o enquadramento da qualidade das águas a distâncias relativamente curtas do difusor. Assim, a Figura XI.1 mostra que na situação de desempenho mais crítico ($V_a = 0,6 \text{ m/s}$, $\rho_j > \rho_a$) a taxa de diluição total é atingida a 350m do emissário. Para comparação, nota-se que o braço menor do pier, o braço norte, tem cerca de 450m de comprimento.

Para uma avaliação mais precisa desta constatação é conveniente comparar as concentrações obtidas após a diluição total com os critérios de qualidade adotados. Os parâmetros são comparados na Tabela XI.2. Os dados valem para uma distância a 600m do difusor para o caso de jatos densos.

RMU

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR	
		RECOMENDADO	CALCULADO ($V_a = 0,02 \frac{m}{s}$) ($V_a = 0,6 \frac{m}{s}$)
Sólidos em suspensão	mg/l	0,5	0,02
Óleos e graxas	mg/l	0,5	0,02
DBO	mg/l	5	0,08
DQO	mg/l	-	0,13
Sulfetos	µg/l	2	0,4
Fenol	µg/l	1	0,2
Amônio	mg/l	0,4	0,002
Excesso de NaCl	%	4	0,05

TABELA XI.2 - Comparação entre Valores Recomendados e Calculados, a 600m do Difusor

any

Uma apreciação mais concreta é possibilitada pelas Figuras XI.3 e XI.4, onde é indicado a que distâncias do difusor os critérios de qualidade da água passam a ser satisfeitos. Distâncias menores do que as assim determinadas são consideradas como incluídas na "Zona de misturamento", prevista em determinados padrões [1]. Aplicando-se, conforme indicado os limites máximos permissíveis L_s , indicados pelas retas tracejadas nas Figuras XI.3 e XI.4, determina-se as distâncias atingidas pela zona de misturamento. Os valores numéricos obtidos são mostrados na Tabela XI.3. (Devido a imprecisões dos modelos e do traçado dos gráficos é aconselhável arredondar os valores para cifras superiores).

Parâmetro	$X_{\text{misturamento}}$	
	$V_a = 0,02\text{m/s}$	$V_a = 0,6\text{m/s}$
Sólidos em suspensão (SS)	~ 5m	23m
Óleos e graxas (O&G)	~ 8m	33m
DBO	~ 1m	8m
Fenol	55m	335m
Excesso de NaCl	~2m	5m

TABELA XI.3 - Distâncias do Difusor a partir das quais os Limites de Concentração são Observados.

any

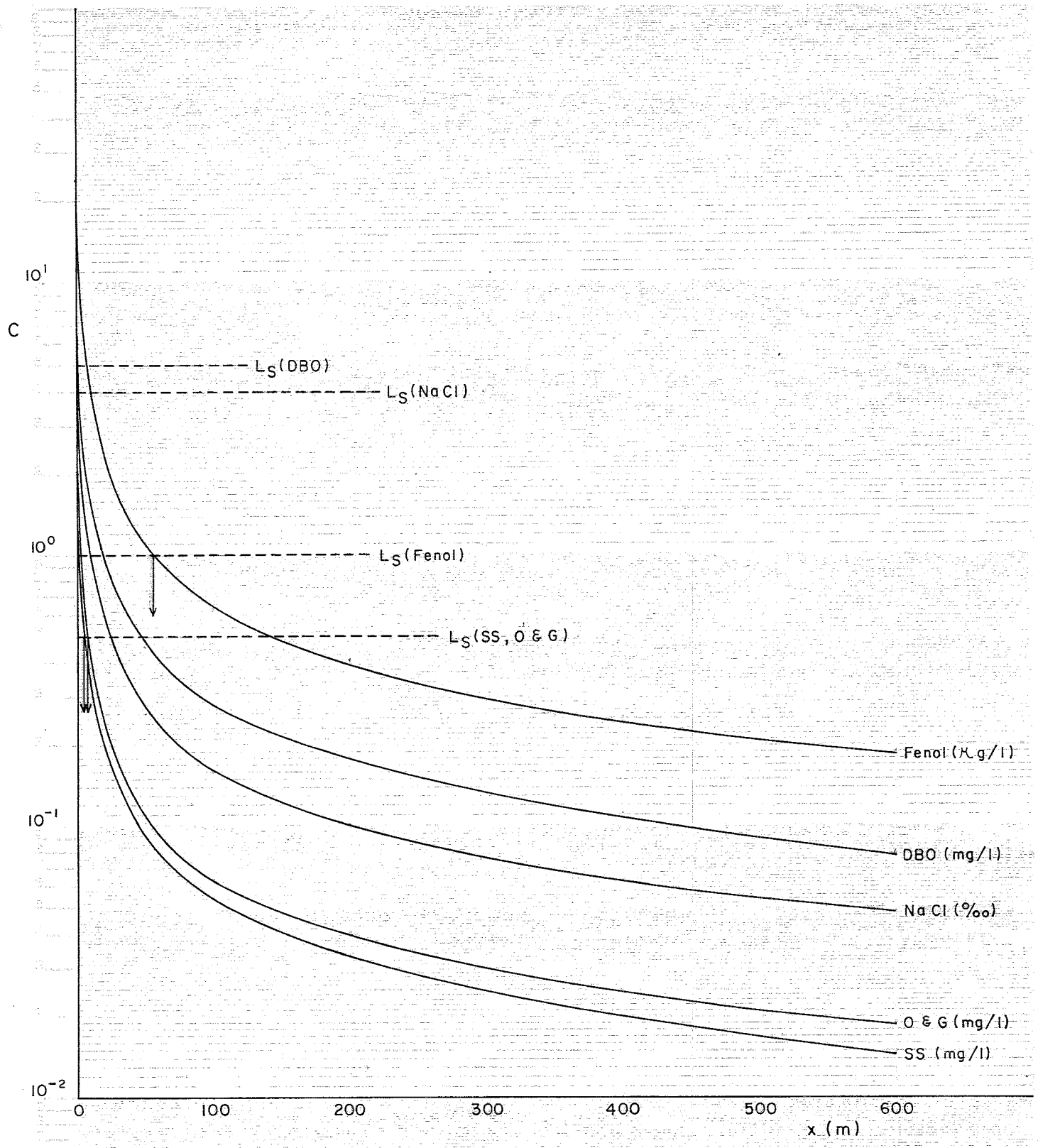


FIGURA XI.3 - Variação das Concentrações no C.A. ($V_a = 0,02 \text{ m/s}$)

Handwritten signature

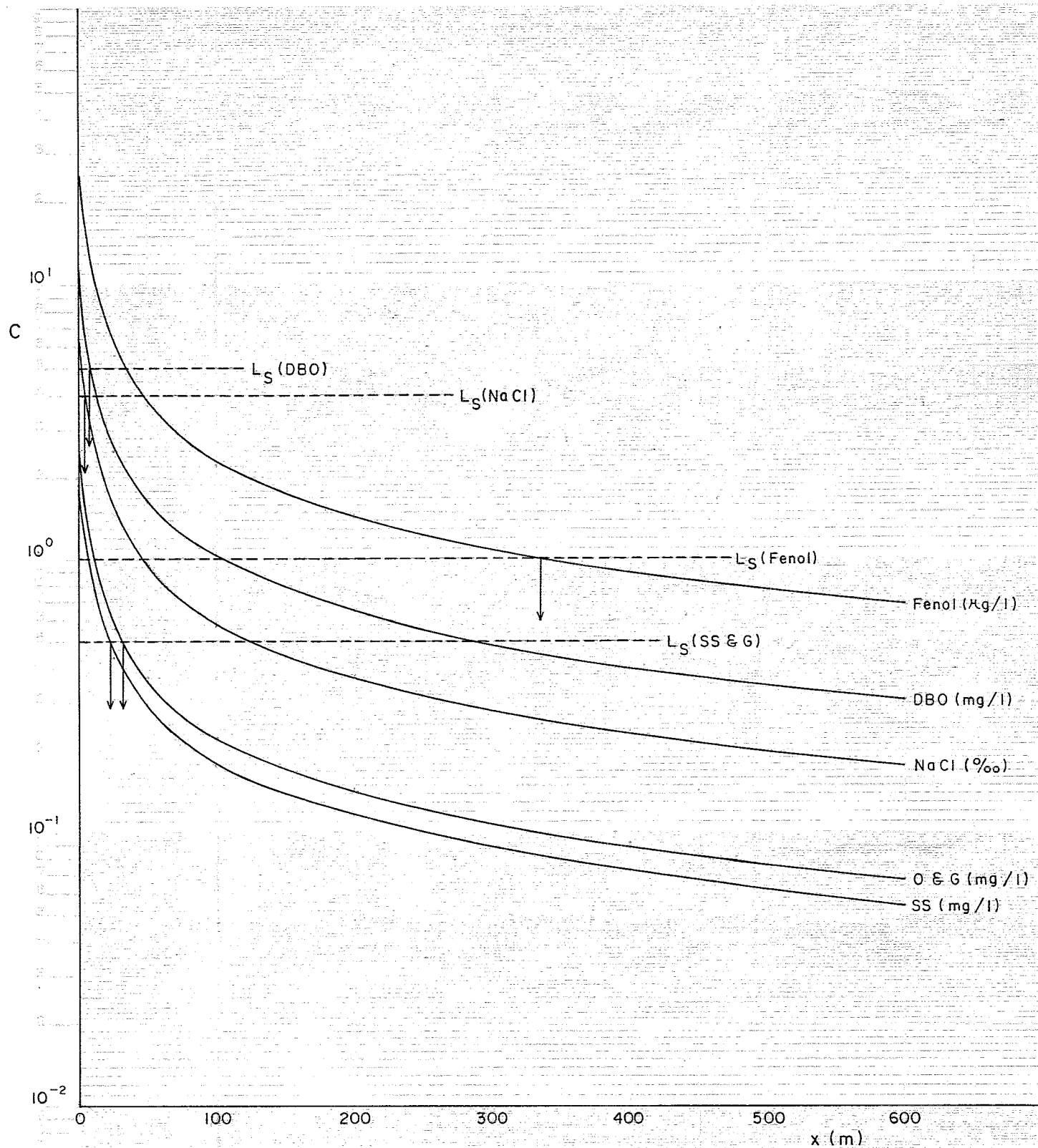


FIGURA XI.4 - Variação das Concentrações no C.A. ($V_a = 0,6$ m/s)

Handwritten signature

Verifica-se que, de uma maneira geral, as distâncias atingidas por concentrações superiores às da Resolução N^o 5 do CONAMA são muito reduzidas. Apenas no caso dos fenóis são requeridas maiores distâncias, em função dos exíguos limites permitidos para este componente. Mesmo assim os valores podem ser considerados satisfatórios.

Observa-se ainda que o limite máximo L_s para óleos e graxas foi mais ou menos arbitrariamente fixado em 0,5 mg/l, como uma tradução quantitativa da especificação relativamente imprecisa da Resolução N^o 5 nos termos "virtualmente ausentes". Fosse este limite baixado para 0,1 mg/l por exemplo, o que já seria assaz rigoroso, as distâncias requeridas para a diluição seriam equivalentes às do fenol.

Deve ser notado que em todas as simulações foi suposto uma descarga em estado estacionário. No caso de operação com vazões de 900 m³/h, de curta duração, a porcentagem de tempo correspondente aos transientes será significativa, contudo, modelos matemáticos para jatos transientes não estão tão bem desenvolvidos ou validados como aqueles dos jatos contínuos, mormente no que diz respeito a jatos densos. Além disto, o cálculo da diluição supondo contínuo um jato transiente, corresponde a uma suposição conservativa.



XII. PROJETO DO DIFUSOR

XII.1 Dimensões e "Lay-out"

XII.1.1 Diâmetro

Para facilidade de construção e montagem, e por requisitos de manutenção e limpeza, os diâmetros externo e interno e a espessura do difusor serão os mesmos do emissário. Tendo sido especificado o tubo de termoplástico Dutoflex (tubos de polietileno de baixa densidade, HDPE, ou polipropileno, PP, têm as mesmas especificações dimensionais):

diâmetro externo: $D_0 = 355\text{mm}$

espessura da parede: $e = 20,1\text{mm}$

diâmetro interno: $D_i = 314,8\text{mm}$

resultando em uma área da seção transversal:

$$S = 0,0778 \text{ m}^2$$

XII.1.2 Comprimento

Os cálculos da Seção IX.6 indicaram que o comprimento total do difusor deve ser:

$$L = 70\text{m}$$

XII.1.3 Diâmetro, orientação e Espaçamento dos Orifícios

Reportando à Seção IX.5 obtem-se para estas características:

número de orifícios: 4 (quatro)

diâmetro dos orifícios: 9cm

espaçamento entre orifícios: 23m

sendo este espaçamento medido como a distância entre os centros geométricos de orifícios contíguos.

Sendo o difusor um tubo (perfurado) com as mesmas características da tubulação do emissário, o seu início é contado a partir do primeiro orifício. Após o último orifício ainda sobra um comprimento de 1m até a extremidade final do difusor.

Os orifícios devem ser perfurados na geratriz superior do tubo do difusor, e seus eixos alinhados segundo a vertical, conforme indicado na Figura XII.1.

Os orifícios serão constituídos por simples furos nas paredes do tubo do difusor. Não se prevê tubos ejetores externos, "risers", ou quaisquer outros dispositivos auxiliares. Do lado interno não há necessidade de biselar as quinas; no entanto deve-se evitar a presença de fragmentos, rebarbas ou quaisquer outras irregularidades causadas pela furação nestes locais. Uma superfície interna lisa e regular é requerida para evitar irregularidades no fluxo interno, com aumento da perda de carga.

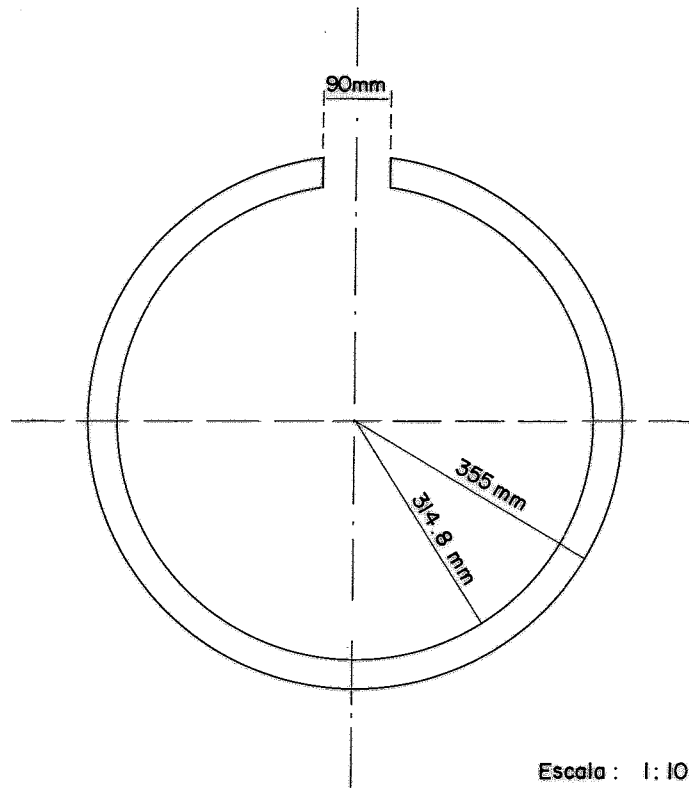


Fig. XII.1 - SECÇÃO TRANSVERSAL DO DIFUSOR

ms

A Figura XII.2 mostra o esquema (escala distorcida do difusor). A extremidade final deve prever um flange cego removível, que possibilite a passagem e recuperação de um raspador ("porco") para a limpeza interna do emissário.

XII.1.4 Posição e alinhamento do difusor

Quanto à orientação do difusor, esta fica fixada pelo pier. Para atingir profundidades maiores, o difusor deve ficar nos últimos 70m do trecho do braço sul do pier antes da sua inflexão, conforme indicado na Figura XII.4.

Finalmente é se observar que o tubo difusor deve ser montado sobre suportes que mantenham sua geratriz inferior a uma altura de 1,5m do fundo, tal como indicado na Figura XII.3. Como foi visto no Capítulo IX, esta medida é rigorosamente imprescindível para que o difusor não fique afogado pelo seu próprio jato, em decorrência do que diminuiria a taxa de diluição, e o desempenho previsto no capítulo anterior não se concretizaria.

XII.2 Parâmetros Hidráulicos do Difusor

O problema do fluxo em um difusor é o da hidráulica de um distribuidor. O método de cálculo para as perdas de carga e as distribuições de vazões internas e velocidades nos orifícios é descrito na Referência 22.

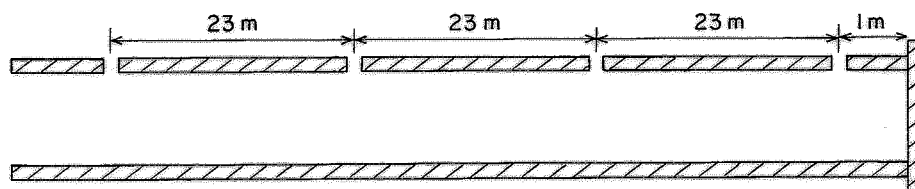


FIGURA XII.2 - Corte Vertical do Difusor (Escala Distorcida)

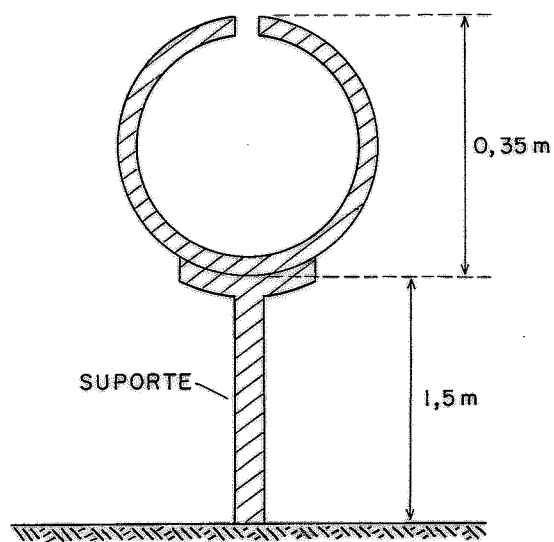


FIGURA XII.3 - Esquema do Afastamento do Difusor em Relação ao Fundo.

duy

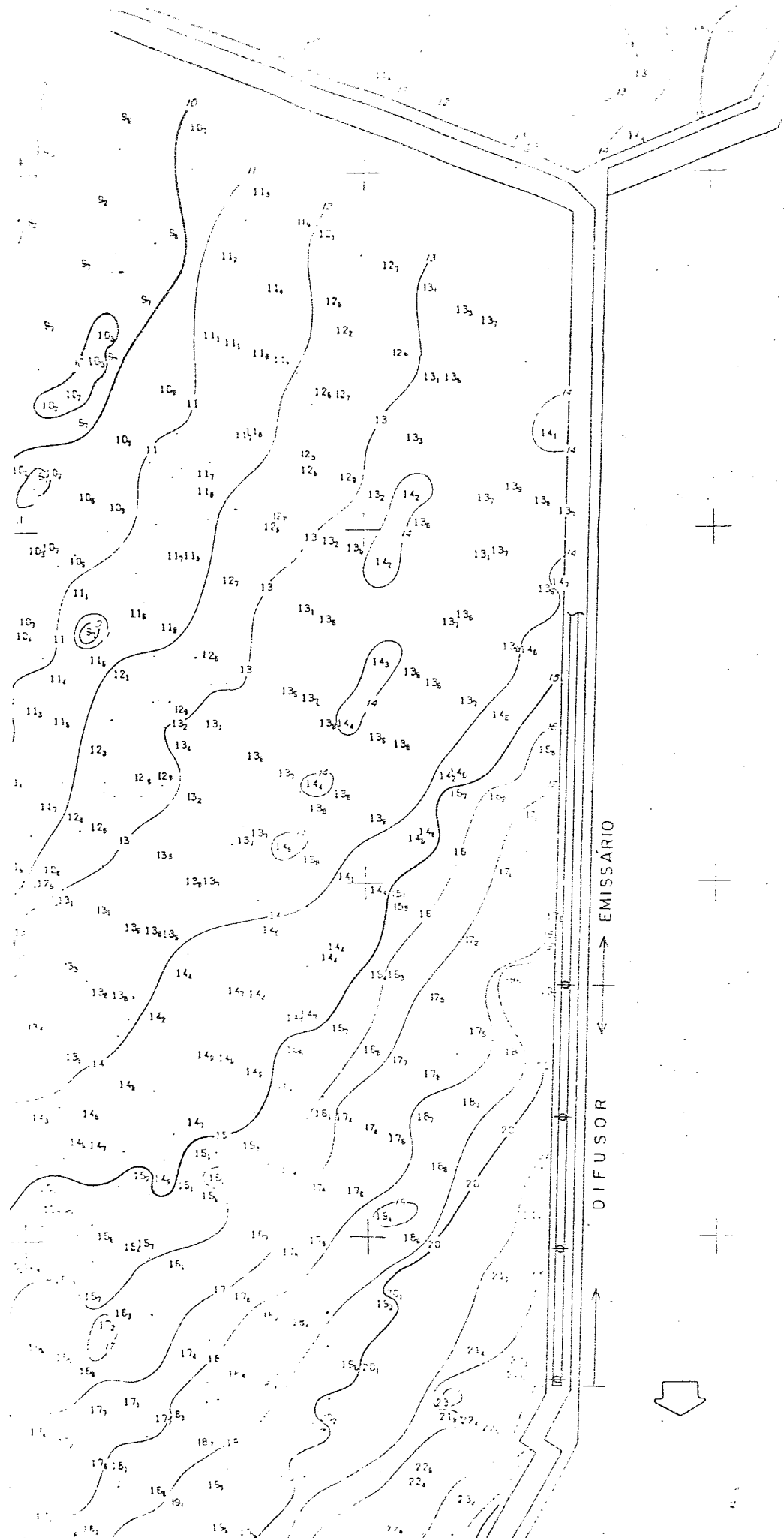


FIGURA XII.4 - Localização do Difusor sob o Braço Sul do Pier
(Batimetria retirada da Ref. 23).

meu

Basicamente supõe

D = diâmetro do difusor

d = diâmetro dos orifícios

a = área de cada orifício

V_n = velocidade no difusor entre o n -ésimo e o $(n+1)$ -ésimo orifício

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$$

h_n = diferença da carga de pressão externa e interna, justo a montante do n -ésimo orifício

E_n = carga total no n -ésimo orifício

C_D = coeficiente de descarga

q_n = vazão emergente do n -ésimo orifício

h_{fn} = perda de carga por atrito entre o n -ésimo e o $(n+1)$ -ésimo orifício

ΔL_d = espaçamento entre os orifícios

ΔZ_n = diferença de cotas entre orifícios contíguos.

Estima-se um valor para E_1 e relaciona-se esta carga com a vazão no primeiro orifício através da fórmula:

$$q_1 = C_D a_1 \sqrt{2gE_1} \quad (\text{XII.1})$$

Ally

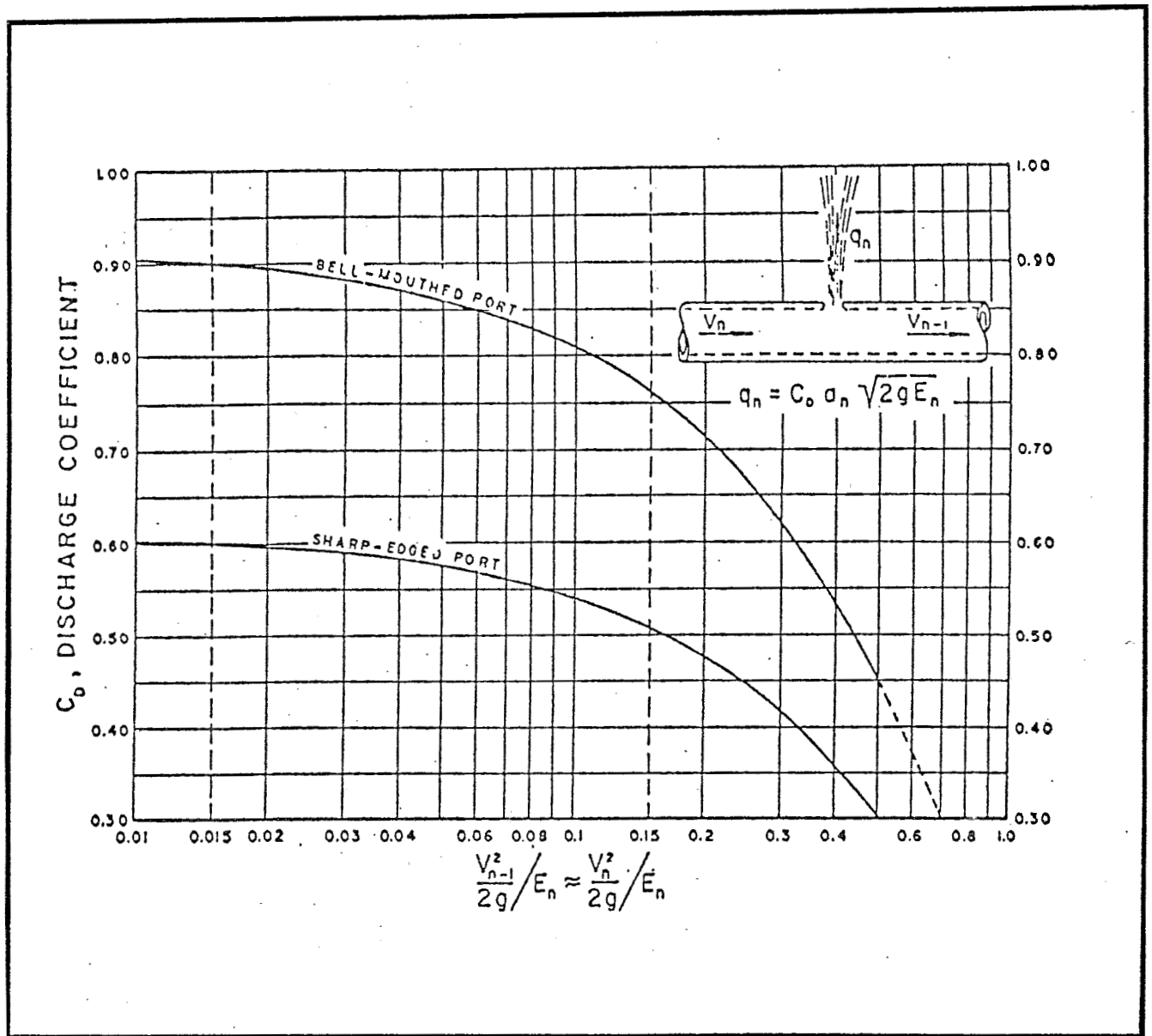


Fig. XII.5 - Coeficiente de Descarga para Orifícios Laterais Pequenos em uma Tubulação (Retirado da Ref.22).

Allen

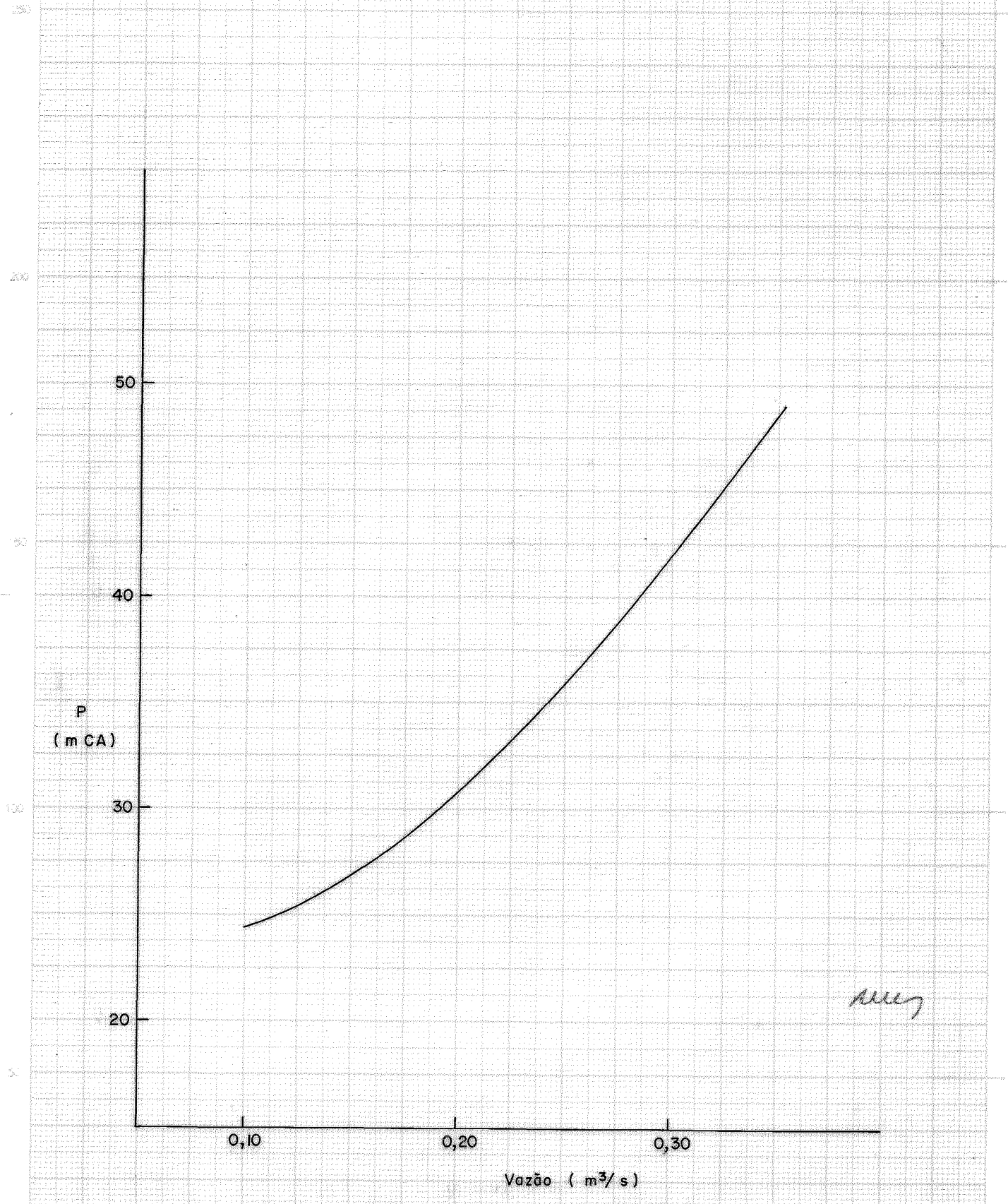


Fig. XII - 6 PRESSÃO REQUERIDA NA ENTRADA DO DIFUSOR, EM FUNÇÃO DA VAZÃO BOMBEADA

sendo

$$C_D = f \left(\frac{V_{n-1}^2}{2g}, E_n \right) \quad (\text{XII.2})$$

dado empiricamente pela correlação mostrada na Figura XII.5 (22). Logo:

$$V_1 = \Delta V_1 = \frac{4q_1}{\Pi D^2} \quad (\text{XII.3})$$

$$h_{f_1} = f \frac{\Delta L_d}{D} \frac{V_1^2}{2g} \quad (\text{XII.4})$$

$$E_2 = E_1 + h_{f_1} + [(\rho - \rho_a)/\rho_a] \Delta Z_1 \quad (\text{XII.5})$$

a partir daí repetindo-se os cálculos para valores crescentes de n até atingir $n = 4$. A somatória das vazões q_n é comparada com Q e o processo reiterado em caso de discrepância, continuando-se até que os valores convirãam.

$$E_{n+1} = E_n + h_{f_n} + (\Delta\rho/\rho_a)\Delta Z_n \quad (\text{XII.6})$$

Um programa de computador foi desenvolvido para agilizar este procedimento.

Allen

O coeficiente de atrito foi calculado pela fórmula de Manning usando o valor conservativo para o coeficiente de rugosidade do polipropileno ou polietileno:

$$n = 0,015$$

As Tabelas XII.1 e XII.2 mostram os resultados obtidos com o computador. Nestas tabelas os significados das variáveis listadas são, em ordem alfabética:

ALFA: ângulo de transição na redução do diâmetro do difusor (quando há)

AN: área do i-ésimo orifício

ATUB: área da secção transversal do tubo difusor à altura do i-ésimo orifício.

CD: coeficiente de descarga no i-ésimo orifício.

D: diâmetro do tubo difusor à altura do i-ésimo orifício

DELZ: diferença de elevação entre o i-ésimo e o (i + 1)-ésimo orifícios

DP: diâmetro do i-ésimo orifício

DSS: diferença entre as densidades da água do mar e do efluente/densidade da água do mar

DZN: $DZN(I) = DSS * DELZ(I)$

- E: perda de carga à altura do i -ésimo orifício
- GAMAL: peso específico da água do mar
- HFN: perda de carga por atrito, entre o i -ésimo e o $(i + 1)$ -ésimo orifícios
- I: numeração dos orifícios, começando da extremidade mais afastada
- LN: distância entre o i -ésimo e o $(i+1)$ - ésimos orifícios
- M: número de orifícios agrupados (quando o cálculo é feito para um número muito grande de orifícios)
- M. coeficiente de Manning
- PA: pressão da coluna de água
- Q: vazão total
- QN: vazão pelo i -ésimo orifício
- VARQ: indica a variação de vazões que justifica uma alteração no diâmetro do difusor para manter a homogeneidade dos diâmetros dos furos
- VHC: perda de carga devido a reduções no diâmetro do difusor

CALCULO EFETUADO CONSIDERANDO VARIACOES NO DIAMETRO DOS ORIFICIOS
 REDUÇAO GRADUAL NO DIAMETRO DO DIFUSOR
 ALFA = 0.00
 VARQ = .90

DAOS DE ENTRADA :

Q = .139 M3/SEG
 M1 = 1
 LN1 = 23.000 METROS
 LN = 23.000 METROS
 PA = 22.000 MCA

M = 1
 MAN = .01500
 DSS = .07500
 GAHAL = 10860.000 NEWTON/M3

I	DP (M)	AN (M2)	CD	QN (M3/S)	D (P)	ATUB (M2)	VN (M/S)	DELZ (M)	VHC (M)	HEN (M)	EZN (M)	E (M)
1	.0900	.0064	.630	.034	.315	.078	.438	.510	0.00000	.02940	.03825	3.68265
2	.0900	.0064	.628	.034	.315	.078	.878	.510	0.00000	.11838	.03825	3.75030
3	.0900	.0064	.624	.035	.315	.078	1.325	.510	0.00000	.26940	.03825	3.90694
4	.0900	.0064	.618	.036	.315	.078	1.784	.150	0.00000	.68454	.01125	4.21458

VAZAO TOTAL = .1389 M3/SEG
 ERRO = .0001 M3/SEG
 ERRO PERCENTUAL = -.10 %

Tabela XII.1 - Cálculo Hidráulico para Vazão de 500m³/h.

QMAX = 42500

DADOS DE ENTRADA :

Q = 250 M3/SEG
 M1 = 1
 LN1 = 23.000 METROS
 LN = 23.000 METROS
 PA = 22.000 MCA
 M = 1
 MAN = 0.01500
 DSS = 0.07500
 GAMAL = 10800.000 NEWTON/M3

I	DP (M)	AN (M2)	CD	QN (M3/S)	L (M)	ATUB (M2)	VN (M/S)	DELZ (M)	VHC (M)	RFN (M)	DZA (M)	E (M)
1	0900	0064	630	062	315	078	800	510	0.00000	05817	03825	12.29780
2	0900	0064	628	062	315	078	1.602	510	0.00000	35390	03825	12.43442
3	0900	0064	624	063	315	078	2.413	510	0.00000	185321	03825	12.86638
4	0900	0064	618	065	315	078	3.243	150	0.00000	21069	03125	13.79784

VAZAO TOTAL = 2524 M3/SEG
 ERRO = 0024 M3/SEG
 ERRO PERCENTUAL = 97 %

Tabela XII.2 - Cálculo Hidráulico para Vazão de 900m³/h.

Handwritten signature

VN: velocidade média do fluxo no difusor entre o i -ésimo e o $(i+1)$ - éximo orifícios

Observa-se que:

- a) As vazões são uniformemente distribuídas nos quatro orifícios: $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,062 \text{ m}^3/\text{s}$ por orifício, para vazões totais de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ e $900 \text{ m}^3/\text{h}$, respectivamente.
- b) A velocidade do fluxo no interior do difusor é inferior a $0,6 \text{ m/s}$ no último trecho (entre o terceiro e o quarto orifícios, a contar da entrada) no caso da vazão de $500 \text{ m}^3/\text{h}$. Este valor é inevitável em face do diâmetro interno do difusor especificado.
- c) No caso da vazão de $900 \text{ m}^3/\text{h}$ todas as velocidades no interior do difusor serão iguais ou superiores a $0,8 \text{ m/s}$; o que significa que material sedimentado na vazão inferior será ressuspensão e arrastado.

As cargas disponíveis à altura de cada orifício são listadas na última coluna das Tabelas XII.1 e XII.2. Estas são as cargas (em metros de coluna do efluente) que devem estar disponíveis nestes locais ("total available head") para que o efluente seja transportado pelo difusor, vencendo as perdas por atrito e por variação da secção nos orifícios, e ainda sendo expelido com a velocidade especificada no Capítulo IX, tal que o misturamento resul

tante da turbulência provocada, produza a diluição requerida pelos critérios de qualidade da água adotados. O cálculo destas cargas leva ainda em conta as diferenças de cota ao longo do difusor, que será instalado em um fundo inclinado.

A pressão requerida na entrada do difusor (imediatamente antes do primeiro orifício) para garantir a carga necessária, E_n , é:

$$p_n = p_a + \gamma \left[E_n - \frac{V_n^2}{2g} \right] \quad (\text{XII.7})$$

sendo p_a a pressão devido à lâmina de água do mar no primeiro orifício. Nas condições dos cálculos das tabelas XII.1 e XII.2, obtém-se:

Vazão (m ³ /h)	Pressão na entrada do difusor (mCA)
500	26,4
900	36,8

Foram também calculadas as perdas de carga e pressões requeridas na entrada do difusor, para incrementos de vazões a partir de 0,100 m³/s, com a finalidade de

levantar a curva de funcionamento das bombas. Os valores obtidos são indicados na Tabela XII.3 e plotados na Figura XII.6.

Vazão (m ³ /s)	Perda de Carga total no Difusor (mCA)	Pressão na Entrada do Difusor (mCA)
0,100	2,41	24,32
0,110	2,88	24,77
0,120	3,41	25,28
0,132	4,10	25,94
0,140	4,59	26,41
0,154	5,53	27,31
0,160	5,95	27,72
0,176	7,17	28,89
0,180	7,50	29,20
0,198	9,04	30,68
0,200	9,22	30,86
0,220	11,13	32,69
0,240	13,22	34,69
0,242	13,44	34,90
0,260	15,49	36,87
0,264	15,96	37,33
0,280	17,94	39,22
0,286	18,71	39,96
0,300	20,58	41,75
0,308	21,68	42,81
0,320	23,39	44,45
0,330	24,87	45,87
0,352	28,27	49,14

TABELA XII.3 - Pressão na Entrada do Difusor em Função da

XII.3 Recomendações Finais

1. O emissário e difusor devem ser periodicamente limpos por meio da passagem de um raspador ("porco"). A região mais propensa à deposição é aquela entre o penúltimo e o último orifícios, onde as velocidades médias do fluxo serão mais baixas.

2. Deve-se tomar as devidas precauções para que não entrem sólidos, detritos, folhas, etc., na tubulação na saída dos separadores de água e óleo para as bombas, justamente para impedir deposições e entupimento do difusor. Deve ser colocada uma malha suficientemente fina, ou outra proteção equivalente naquele ponto, para evitar estas intrusões.

3. O difusor deve ser montado sobre suportes de tal modo que sua geratriz inferior fique pelo menos a 1,50m do fundo do mar.

4. Os orifícios devem ficar rigorosamente alinhados na geratriz superior do tubo difusor; caso contrário a diluição dos jatos densos ficará abaixo do previsto.

5. Inspeções periódicas por mergulhadores devem ser feitas, prestando-se especial atenção para com a deobstrução dos orifícios.

6. Monitorações da qualidade da água, com um plano de amostragem convenientemente planejado, devem ser periodicamente praticadas.

7. Deve ser levado em conta que a precisão dos cálculos hidráulicos ficaram condicionados por duas suposições importantes com respeito a características não medidadas do efluente, que são:

- a) a(s) densidade(s) do efluente quando for elevado o teor de sal. Este parâmetro é fundamental para o cálculo da diluição pelo jato e para o cálculo hidráulico
- b) os teores precisos do efluente, dados estes que são necessários para a modelagem da dilução.

Em vista disto é recomendável que seja usado um fator de segurança de 10% nos valores das pressões na entrada do difusor, explicitados na Seção anterior.

Ally

REFERÊNCIAS

1. U.S. E.P.A. - "Water Quality Criteria", Washington (1972).
2. U.S.E.P.A. - "Quality Criteria for Water", Washington (1976).
3. SOUZA, J.M.C., "Relatório Geral do Levantamento O cenográfico e Meteorológico no Canal de São Sebastião na Área do TEBAR", PETROBRÁS, CENPES/DIPREX/SEGED, Rio de Janeiro (1984).
4. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil, "Tábuas de Marés para o Ano de 1986", Niterói (1985).
5. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil, "Atlas de Cartas Piloto - Oceano Atlântico, de Trinidad ao Rio da Prata", Rio de Janeiro (sem data).
6. Levantamentos hidro-meteorológicos na região de Iguape, pelo CDTN/NUCLEBRÁS (1982-1983).
7. P. Novak (ed.), "Developments in Hydraulic Engineering - 3", Elsevier, London (1985).
8. R.C.Y.Koh, N.H. Brooks, in: "Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 7", Annual Reviews Inc. Palo Alto, Calif. (1975).

MU

9. E.A. Pearson, in: "75th. Annual General Meeting of the Engineering Institute of Canada", Vancouver, B.C. (1961).
10. J.M. Gudelson, "A Survey of Ocean Diffusion Data", California Institute of Technology, Tech. Memo. 67-2, Pasadena, Calif. (1975).
11. R.A. Grace, "Marine Outfall Systems", Prentice-Hall Inc., Englewood - Cliffs, N.Y. (1978).
12. C. Officer, J. Ryther, Science, 197: 1056 (1977).
13. L.V. Rich, "Environmental Systems Engineering", McGraw-Hill-Kogakusha, Ltd., Tokyo (1973).
14. CONCAWE, "The Environmental Impact of Refinery Effluents", Report n^o 5/79, Den Haag (1979).
15. T.N. McLellan, R.E. Randall, J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 112 (2): 200 (1986).
16. S.S. Tong, K.D. Stolzenbach, "Submerged Discharges of Dense Effluent", Tech. Report N^o 243, R.M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T., Cambridge, Mass. (1979).
17. K.D. Stolzenbach, E.E. Adams, Second International Symposium on Stratified Flows, Trondheim Norway, 24-27 June (1980)

duy

18. P.J.W. Roberts, J. of the Hydr. Div. - ASCE, 105 (HY4): 313 (1979).
19. C.D. Hodgman (ed.), "Handbook of Chemistry and Physics", Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio (1945).
20. R.C.Y. Koh, N.H. Brooks, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 7, Annual Reviews Inc. Palo Alto, Calif. (1975).
21. F.M. Holly, Jr., J.C. Grace, Jr., J. of the Hydr. Div. ASCE, 98 (HY11): 1921 (1972).
22. A.M. Rawn, et.al., J. of the Sanitary Eng. Div., ASCE, 86 (SA2): 65 (1969).
23. SEGEN, DEMPRO, SEGDAD, "Mapa de Batimetria e Isóbatas - Terminal Marítimo de São Sebastião, TEBAR-SP Levantamento Sísmico, Batimétrico e Amostragens de Fundo", Geomap S.A., Contrato 2 570 367 0 85 As-002, A e B, Folha 06 a de 34 (1986).

mmj