

**CDTA**

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

Cidade Universitária - Pampulha  
Caixa Postal nº 1941  
30161 Belo Horizonte - MG  
BRASIL  
Telefone (031) 441-5422(PABX)  
Telex (031) 1173 CNEN BR  
Fac-símile (031) 443-4744  
Telegrama REATOMICO

PRESTAÇÃO DE SERVIÇO

REESTUDO DO EMISSÁRIO DE CABIUNAS-MACAÉ-RIO DE JANEIRO

Proposta: DERL.CN 001/89

Contrato: Carta de Autorização 4-186-108-0-90

Cliente: PETROBRÁS Serviço de Engenharia (SEGEN)  
Empreendimento para a Construção do Gasoduto  
Enchova-Cabiūnas e da Plataforma Enchova Oeste (EMPEC)

fevereiro de 1991

*mu*

SUMARIO

pág./58

1.	INTRODUÇÃO	4
2.	CARACTERISTICAS DO EFLUENTE	6
2.1	Vazão de Descarga	6
2.2	Concentração dos Componentes do Efluente	6
3.	ALTERNATIVAS DE LOCAÇÃO DO DIFUSOR	8
4.	FATORES DE DILUIÇÃO	11
5.	PROJETO BASICO DO EMISSARIO	14
5.1	Critérios do Projeto	14
5.2	Fundamentos Teóricos	15
5.3	Definição da Velocidade de Descarga e da Profundidade	17
5.4	Localização e Dimensionamento do Emissário e Difusor	30
5.4.1	Localização e Alinhamento do Difusor - Comprimento do Emissário	30
5.4.2	Dimensionamento do Emissário e do Difusor	32
5.4.3	Número de Orifícios do Difusor	36
5.4.4	Espaçamento entre os Orifícios	37
5.4.5	Orientação dos Orifícios	38
5.4.6	Comprimento do Difusor	39
5.5	Cálculo Hidráulico do Emissário e Difusor	40

5.5.1	Perda de Carga no Difusor	40
5.5.2	Perdas de Carga no Emissário	46
5.5.3	Perdas de Carga Totais e Potência de Bombeamento	47
5.6	Sumário do Dimensionamento	50
6.	CONCLUSÃO FINAL	56
7.	REFERÊNCIAS	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

3.1	-	AREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E ALTERNATIVAS DE DESCARTE CONSIDERADAS	9
5.1	-	ESQUEMA DE DEFINIÇÕES DE UM JATO DENSO	16
5.2	-	PARAMETROS BÁSICOS DO JATO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESCARGA	21
5.3	-	APLICAÇÃO DO MODELO DE CHIN (referência 6)	24
5.4	-	LOCALIZAÇÃO E ALINHAMENTO DO EMISSÁRIO E DIFUSOR	31
5.5	-	ESQUEMA DO DIFUSOR	41
5.6A	-	CONTRAÇÃO NA TUBULAÇÃO DO DIFUSOR	52
5.6B	-	CONTRAÇÃO NA TUBULAÇÃO DO DIFUSOR	52
5.7	-	ESQUEMA DO BOCAL EJETOR SUGERIDO	54

## REESTUDO DO EMISSARIO DE CABIUNAS-MACAE-RIO DE JANEIRO

### 1. INTRODUÇÃO

A PETROBRAS pretende implantar em Cabiúnas, município de Macaé, um emissário submarino para o descarte dos efluentes líquidos de uma E.T.O.

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) apresentou ao EMPEC - Empreendimento para a Construção do Gasoduto Enchova-Cabiúnas e da Plataforma Enchova Oeste - em atendimento à Carta-Contrato nº 3-824-078-0-89, um primeiro relatório intitulado "ESTUDO PARA O DESCARTE DE EFLUENTES DA E.T.O. DE CABIUNAS (MACAE, RJ) ATRAVES DE EMISSARIO SUBMARINO" em 11.01.89 [1]. Neste documento, além dos estudos para a implantação do emissário, foi apresentado o projeto conceitual do emissário prevendo uma vazão média inicial de 865 m<sup>3</sup>/h em 1991 e vazão média final de 2165 m<sup>3</sup>/h em 1997.

Posteriormente tanto a vazão como a composição dos efluentes foram alteradas e a PETROBRAS solicitou ao CDTN uma reformulação dos cálculos e projeto para atender a estas modificações. O presente Relatório atende esta solicitação, em conformidade com a Carta de Autorização nº 4-186-108-0-90.



Posto que o corpo receptor e a região do descarte são os mesmos do primeiro estudo acima mencionado, os dados e conclusões obtidos com as medições de campo nele reportadas são válidos para o presente trabalho.

*Handwritten signature*

## 2. CARACTERISTICAS DO EFLUENTE

### 2.1. Vazão de Descarga

A vazão de descarga do efluente foi fornecida pela PETROBRAS (correspondência SEGEN - 220253/90):

$$Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$$

É portanto um valor um pouco inferior à metade (49%) da vazão prevista para a primeira fase do estudo anterior.

### 2.2. Concentração dos Componentes do Efluente

Os valores estipulados pela correspondência acima assinalada são mostrados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Composição dos efluentes (mg/l)

Parâmetro	Valor esperado
Oleo max.	20
Sol. susp. max.	50
Fenol max.	0,5
Sulfeto max.	1,0
DBO média	900
DQO média	1000
Cloreto max.	85000
Sulfato médio	800
Cobre max.	0,28
Niquel max.	1,0
pH	7 - 8

*sum*

### 3. ALTERNATIVAS DE LOCAÇÃO DO DIFUSOR

São consideradas três alternativas para o local de descarga. Isto se deve à necessidade de observar a legislação municipal que estabeleceu uma Área de Proteção Ambiental (APA) do Parque Municipal do Arquipélago de Santana, centrada no ponto de latitude  $22^{\circ} 24' 33,4'' S$  e longitude  $41^{\circ} 42' 07,7'' W$  e dentro de um arco de 16 km de raio, excluindo o quadrante E-S. Esta APA é mostrada na Figura 3.1.

As alternativas são:

Alternativa 1: emissário no mesmo alinhamento da concepção original do estudo (antes da instituição da APA); difusor na profundidade requerida para a diluição.

Alternativa 2: emissário no alinhamento mais curto para vencer a APA; difusor na profundidade resultante.

Alternativa 3: emissário com um trecho terrestre para contornar a APA por NE, de modo a minimizar o trecho submarino; difusor na profundidade requerida pela diluição.

Com a criação da APA a Alternativa 1 fica prejudicada; mas de qualquer maneira os cálculos pertinentes e os correspondentes resultados são indicados neste trabalho, para fins comparativos.

*Muz*



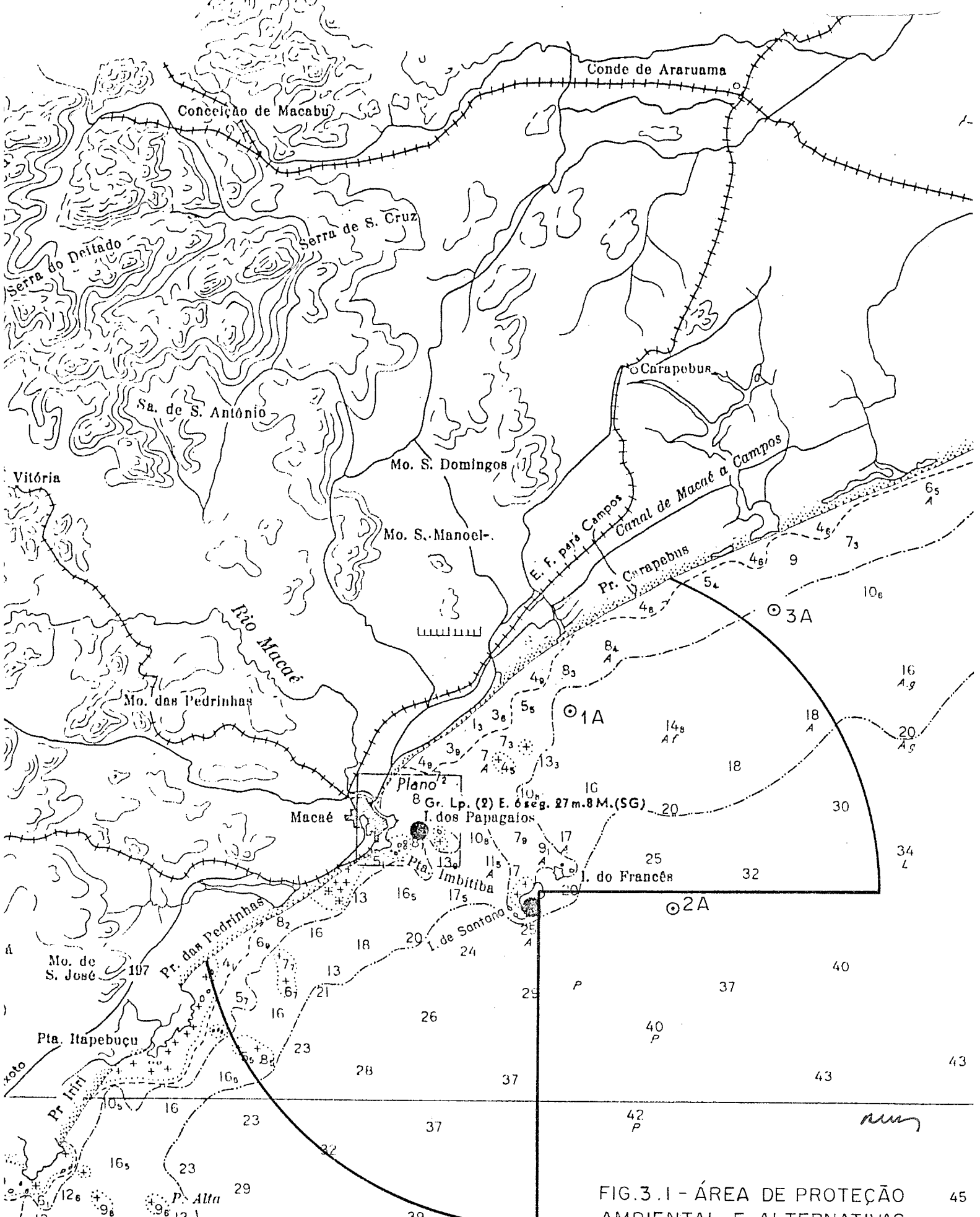


FIG.3.1 - ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E ALTERNATIVAS

A definição do posicionamento do difusor levou em conta a profundidade mínima requerida para a diluição, que nas condições do 1º estudo foi estimada em  $H = 10$  m. A correspondência SEGEN - 220253/90 solicitou que fosse verificado se as condições correspondentes às novas vazão e composição do efluente alterariam os comprimentos do emissário estimados no 1º estudo.

Como resultado dos novos cálculos (v. Seção 5.3 do presente relatório), os comprimentos foram mantidos: para a Alternativa 2 o comprimento é fixado pela APA e para as Alternativas 1 e 3 conclui-se que as profundidades requeridas para a diluição permanecem invariáveis. Sobre isto, a profundidade de 10 m definida no 1º estudo configura uma lâmina de água que pode ser considerada como limite mínimo para o seguro desempenho do emissário.

Os locais da descarga (posição do difusor) nas três alternativas são indicados na Figura 3.1 pelos pontos 1A, 2A e 3A, respectivamente.

*mm*

#### 4. FATORES DE DILUIÇÃO

Com base nas concentrações toleradas, definidas pela Resolução nº 20 do CONAMA, são calculados os fatores de diluição  $S$  que o sistema deve garantir :

$$S = C_0 / CMP$$

onde  $C_0$  é a vazão do constituinte crítico na descarga e  $CMP$  é a concentração máxima permitida pela norma.

O constituinte crítico é aquele que requer a maior taxa de diluição para se adequar ao limite estabelecido pela norma, em função dos teores no efluente e da  $CMP$  no corpo receptor (no caso água de Classe 5). A identificação deste constituinte fixará o critério de desempenho a ser adotado no projeto do sistema.

Os valores de  $S$  foram calculados usando os dados de composição do efluente (Tabela 2.1) e os valores da  $CMP$  previstos na Resolução nº 20 do CONAMA. Estas informações estão contidas na Tabela 4.1.

O fator de diluição para os cloretos foi calculado com base na recomendação da E.P.A. [2]. Para uma salinidade natural entre 13500 mg/l e 35000 mg/l é permitida uma alteração de até 4000 mg/l. Seguindo o raciocínio formulado na Referência [1], chega-se aos valores de  $S$  apresentados na Tabela 4.1.



Tabela 4.1 - Fatores de diluição para os efluentes

Constituinte	C <sub>o</sub> (mg/l)	CMP (mg/l)	S
O&G	20	1	20
DBO <sub>5</sub>	900	5	180
Fenóis	0,5	0,001	500
S <sup>-2</sup>	1,0	0,002	500
Cl <sup>-2</sup>	86000	39000	30
Cu	0,28	0,05	6
Ni	1,0	0,1	10

A Tabela 4.1. evidencia que os constituintes críticos são os fenóis e os sulfetos. Isto define a tarefa básica a que deve atender o projeto do emissário, ou seja: garantir uma diluição dos efluentes de um fator de 500.

Para efeito de comparação com a situação originalmente considerada [1], observamos que:

- 1) os constituintes críticos continuam sendo os mesmos: fenóis e sulfetos (sendo os primeiros mais refratários nas condições do meio receptor [1]).

*mm*

- 2) houve uma redução da vazão de 51% em relação ao projeto original:  $Q_{ix}/Q_i = 0,49$ .
- 3) houve uma redução da diluição de 33% em relação àquela requerida no projeto inicial:  $S_{ix} = 2/3 S_i$ .

*Handwritten signature*

## 5) PROJETO BASICO DO EMISSARIO

### 5.1. Critérios de Projeto

Tendo em conta as considerações do Capítulo 4, os critérios básicos de projeto podem ser sumarizados como a seguir:

- 1) efetuar uma diluição de um fator  $S = 500$ ;
- 2) maximizar a diluição no campo próximo da descarga;
- 3) otimizar o processo para um jato de efluente mais denso do que a água do mar.

Estes três critérios fundamentais conduzem à mesma concepção de projeto empregada no estudo original [1], obviamente com uma redução do difusor. A possibilidade de redução no comprimento do emissário deve também ser verificada.

Para atender ao terceiro critério acima será perseguido o máximo de diluição ainda na fase ascendente do jato denso. Para tanto é necessário descarregar o jato com uma velocidade inicial elevada. Isto acarreta reduzir os diâmetros dos orifícios de descarga e adotar um desenho do difusor que minimize as perdas de carga e, conseqüentemente, a potência necessária para a operação do emissário.

Um esquema do jato denso, juntamente com a notação a ser

empregada neste capítulo, é apresentado na Figura 5.1.

Posto que a diluição na fase ascendente demanda uma trajetória suficientemente longa nesta fase ascendente (para que seja entranhada bastante água no jato), torna-se necessário garantir uma lâmina de água capaz de afogar o dito jato. Este condicionamento define o comprimento mínimo do emissário.

## 5.2. Fundamentos Teóricos

Resumiremos aqui o já exposto na Seção 9.3 do 1º Relatório [1] com referência às relações válidas para os jatos densos:

Os modelos estabelecidos por Roberts e Toms [3] cristalizam-se nas seguintes expressões:

Para ambientes estagnados (situações de calmaria):

$$S_{m,t} = 0,38 F_j \quad (F_j > 25) \quad (5.1)$$

$$S_{m,b} = 1,03 F_j \quad (F_j > 12) \quad (5.2)$$

$$Z_m = 2,08 F_j d_j \quad (F_j > 20) \quad (5.3)$$

Para ambientes não estagnados (em presença de correntes):

$$S_{m,t} = 0,8 u_r^{1/2} F_j^{3/2} \quad (5.4)$$

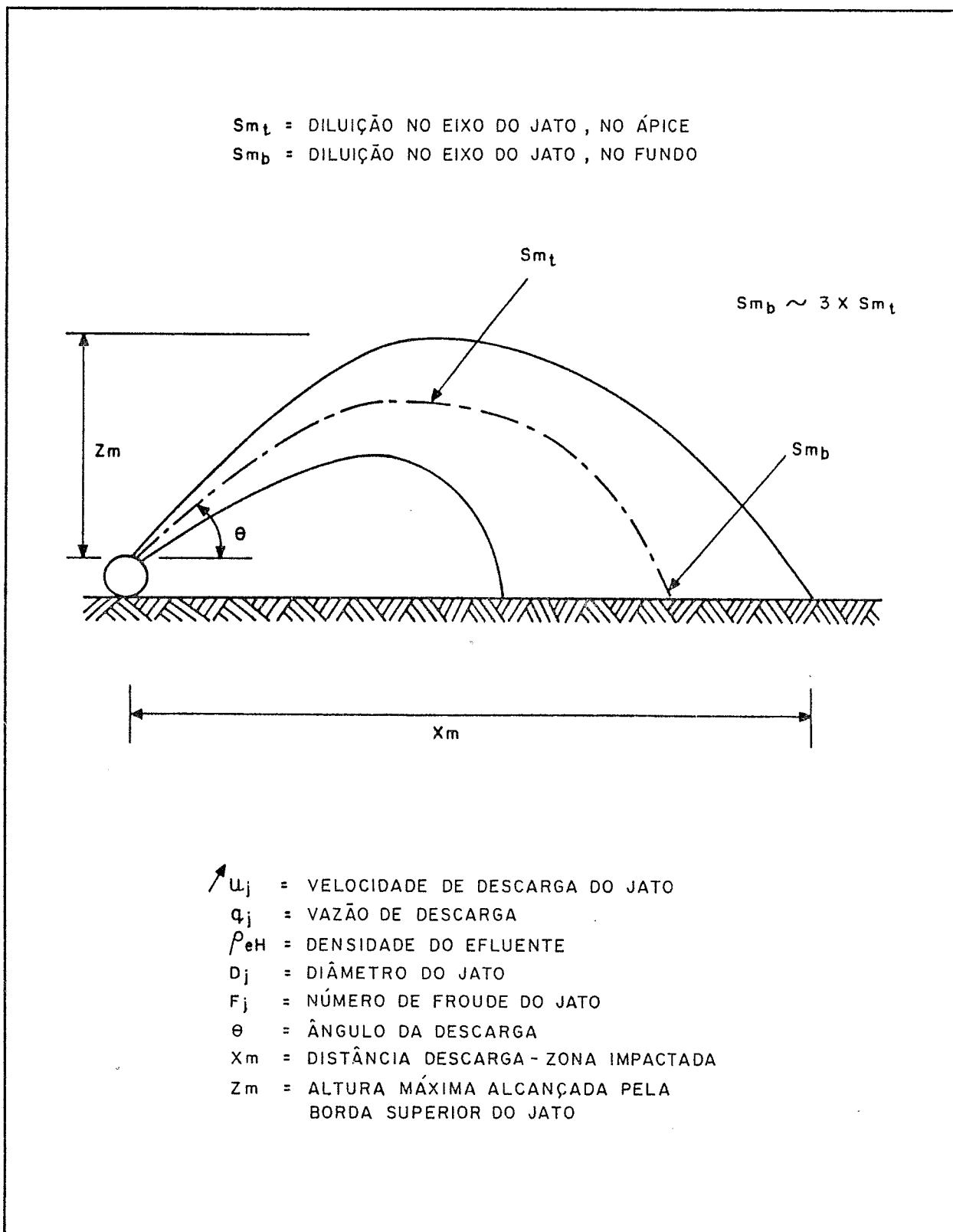


FIG.5.1 - ESQUEMA DE DEFINIÇÕES DE UM JATO DENSO



$$S_{mb} = 2,0 u_m^{1/2} F_J^{3/2} \quad (5.5)$$

$$Z_m = 2,5 d_J u_m^{-1/3} F_J^{2/3} \quad (u_J F_J > 0,8) \quad (5.6)$$

onde o número de Froude densimétrico é expresso por:

$$F_J = u_J / (g p_m d_J / p_m)^{1/2} \quad (5.7)$$

sendo:

$d_J$  = diâmetro do orifício de descarga

$p_A$  = densidade do líquido no corpo receptor

$p_J$  = densidade do jato na descarga = densidade do efluente

$p_m$  = deficit de densidade =  $p_J - p_A$

$S_{mb}$  = diluição no eixo do jato ao impactar o fundo

$S_{mt}$  = diluição no eixo do jato ao atingir o apogeu

$u_A$  = velocidade da corrente

$u_J$  = velocidade do jato na descarga

$u_m$  = razão de velocidades =  $u_A / u_J$

$Z_m$  = cota da borda superior do jato no apogeu (v. Fig. 9.1)

Relembramos que a ocorrência de calmarias em Macaé (caso menos favorável para a diluição) é pouco frequente, conforme indicaram as medições de correntes [1].

*mmj*

### 5.3. Definição da Velocidade de Descarga e da Profundidade

Empregando as equações 5.1 a 5.6 é estabelecida uma correspondência entre as velocidades de descarga e as correspondentes diluições e cotas máximas atingidas pelo jato ascendente em seu apogeu. Como a velocidade da corrente, as densidades do corpo receptor e do efluente são parâmetros incluídos nestas expressões, torna-se necessário definir seus valores para o caso em estudo.

- Velocidades da corrente:

são testados dois casos: um conservativo, supondo situação de calmaria, e outro realista, supondo o valor médio das correntes medidas pelo CDTN [1]:

$$u_c = 0 \text{ m/s}$$

$$u_c = 0,25 \text{ m/s}$$

- Densidade do corpo receptor:

é usado o valor médio medido pelo CDTN [1]:

$$\rho_c = 1,0245 \text{ t/m}^3$$

- Densidade do efluente:

*nuu*

sendo a densidade do efluente controlada pela concentração do seu soluto largamente majoritário:  
 $[NaCl] = 86000 \times (58,5 / 35,5) = 141720 \text{ mg/l}$  e sendo a densidade do NaCl = 2,165 g/ml, obtem-se:

$$\begin{aligned} \rho_j &= (\text{massa}_{NaCl} + \text{massa}_{\text{água}}) / \text{vol}_{\text{total}} = \\ &= [0,14172 + (1 - 0,14172/2,165)] / 1 = \\ &= 1,076 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

Para os cálculos foi definido o valor de  $d_j = 0,075 \text{ m}$ , por otimizar a velocidade de descarga e a operação do emissário [1]. Com estes valores é construída a Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Parâmetros do jato denso em função da velocidade de descarga

$u_j$	$u_A = 0$				$u_A = 0,25$		
	$F_j$	$S_{mt}$	$S_{mb}$	$Z_m$	$S_{mt}$	$S_{mb}$	$Z_m$
5	26,6	10,1	27,4	4,2	24,6	61,5	4,5
6	32,0	12,1	32,9	5,0	29,5	73,8	5,4
7	37,3	14,2	38,4	5,8	34,4	86,1	6,4
8	42,9	16,2	43,9	6,7	39,4	98,4	7,3
9	48,0	18,2	49,4	7,5	44,3	110,7	8,2
10	53,3	20,2	54,9	8,3	49,2	123,0	9,1
11	58,6	22,3	60,4	9,1	54,1	135,3	10,0
12	63,9	24,3	65,9	10,0	59,0	147,6	10,9

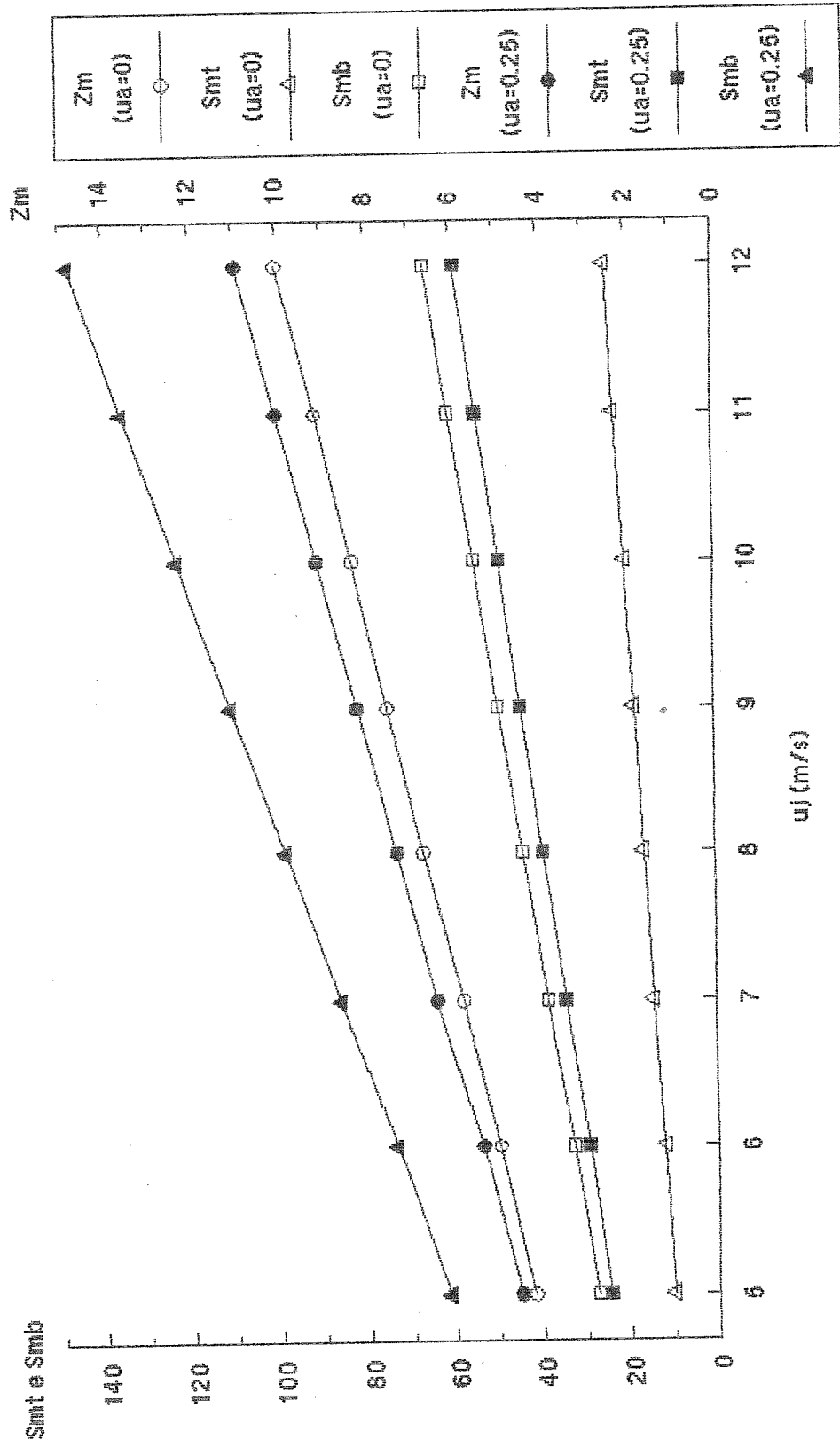
As informações desta tabela são traduzidas em forma gráfica na Figura 5.2. Observa-se que, para velocidades de descarga superiores a 12 m/s, o jato atinge a superfície em locais com lâmina de água de 11 m.

Incidentalmente, este valor ( $Z_m$  máximo) é superior em 1 m ao obtido no projeto original, que envolvia vazões maiores e efluente mais concentrado. A explicação disto está ligada ao número de Froude densimétrico. Este número adimensional representa a relação entre as forças de inércia e as forças gravitacionais. No presente caso  $F_r$  indica o balanço entre as ações opostas da corrente induzida pelo jato (que contribui para a diluição) e da tendência à sedimentação do jato denso (quanto mais rapidamente o jato sedimentar-se, menor será a sua possibilidade de sofrer diluição). Os fatores de diluição  $S_{m,t}$  e  $S_{m,b}$  para uma mesma velocidade de descarga  $u_j$  são efetivamente superiores na atual configuração. Mas o jato, por ser mais leve ( $\rho_A/\rho_j$  da atual configuração menor do que aquele do projeto original), atinge cotas mais elevadas na sua trajetória ascendente, requerendo lâminas de água mais espessas para não aflorar.

A esta diluição devida à ação do jato deve ser adicionada a diluição devida às ondas, a qual pode ser estimada com base nos modelos desenvolvidos por Chin [5,6]:

*mm*

Fig.5.2: Parametros basicos do jato em funcao da velocidade de descarga



*Handwritten signature*

$$z_m = M^{1/2} / u_w \quad (5.8)$$

$$L_m / L_0 = M^{3/4} B^{-1/2} Q^{-1} \quad (5.9)$$

$$L_0 / z_m = u_w Q M^{-1} = u_w / u_j \quad (5.10)$$

sendo:

$$u_w = a g k [s \cosh(hk)]^{-1} \quad (5.11)$$

onde:

$$A = \text{área do orifício de descarga} = \pi \times (0,075)^2 / 4 = 0,004 \text{ m}^2$$

$$a = \text{amplitude da onda} = 0,5 \text{ m [1]}$$

$$B = \text{fluxo de boiância no jato} = g (p_s / p_j) Q = 9,81 \times [(1,076 - 1,0245) / 1,076] \times 0,031 = 0,023 \text{ m}^4 / \text{s}^2$$

$$d_j = \text{diâmetro do orifício de descarga} = 0,075 \text{ m}$$

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

$$h = \text{profundidade} = 10 \text{ m}$$

$$k = \text{número de onda} = 2 \pi / L_w = (2 \pi / T)^2 g^{-1} = 0,06 \text{ m}^{-1}$$

$$L_m = \text{comprimento característico (transição do regime dominado pelo momentum para o regime dominado pela boiância, no jato)} = M^{3/4} B^{-1/2} = (0,22)^{3/4} (0,015)^{-1/2} = 4,1 \text{ m}$$

$$L_0 = \text{comprimento característico (transição do regime dominado pela vazão para o regime dominado pelo momentum, no jato)} = Q M^{-1/2} = A^{1/2} = 0,07 \text{ m}$$

$$L_w = \text{comprimento da onda}$$

*new*

$$M = \text{fluxo de momentum no jato} = u_j Q = 11 \times 0,049 = \\ = 0,53 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$\pi$  = o número 3,14159...

$$Q = \text{fluxo de volume (vazão), no jato} = u_j \pi (d_j)^2 / 4 = \\ = 11 \times 3,14159 \times (0,075)^2 / 4 = 0,049 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s = \text{frequência da onda} = 2 \pi / T = 0,79 \text{ s}^{-1}$$

$$T = \text{período da onda} = 8 \text{ s [1]}$$

$$u_j = \text{velocidade de descarga} = 11 \text{ m/s (arbitrada)}$$

$u_w$  = velocidade horizontal máxima induzida pela onda no orifício de descarga

$z_m$  = distância necessária para que o momentum do jato seja da ordem do momentum induzido pela onda.

Com os valores aplicáveis ao presente estudo obtém-se:

$$u_w = (0,5 \times 9,81 \times 0,06) / [0,79 \cosh(0,06 \times 10)] = \\ = 0,31 \text{ m/s}$$

$$z_m = (0,53)^{1/2} / 0,31 = 2,35 \text{ m}$$

$$L_w / z_m = u_w / u_j = 0,03$$

$$L_m / L_w = 58,6$$

A Figura 5.3, copiada da Referência 6, fornece para o par de relações  $L_m/L_w$  e  $L_w/z_m$  acima (conservativamente, tendo em conta as limitações do modelo):

*mu*

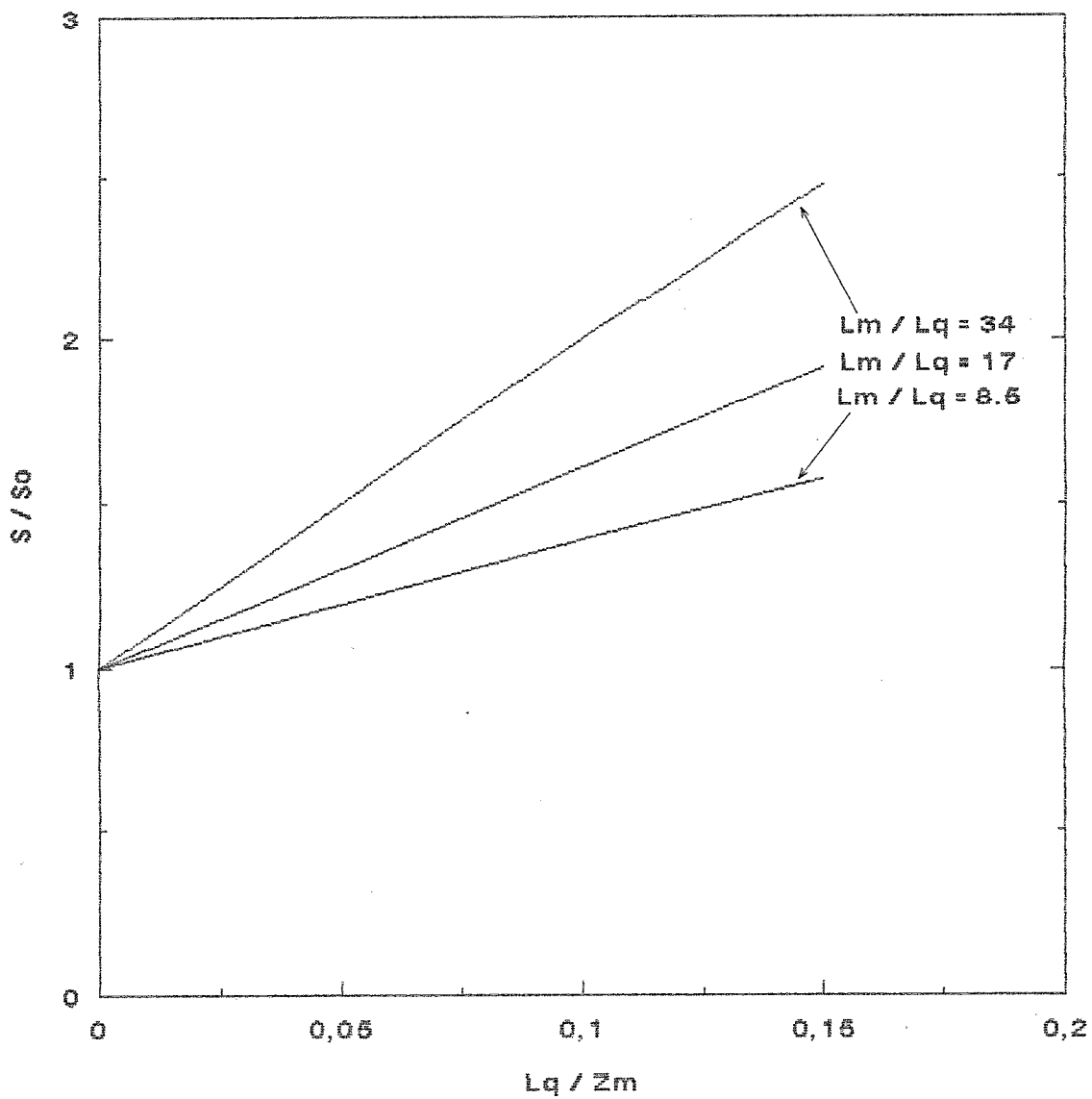


FIG. 5-3: Aplicação do modelo de CHIN  
( referência 6 )

*mm*



$$S_{\text{efetivo}} = 1,2 S_0 \quad (5.12)$$

ou seja: a influência da onda induz uma diluição adicional de ca. 20% sobre a diluição do jato.

Os modelos de Roberts & Toms facultam dois critérios para o projeto:

- 1) garantir a diluição requerida já na fase ascensional do jato denso; i.é:  $S_{mt} > S_{REQ}$ ;
- 2) garantir a diluição requerida no campo próximo da descarga, ou seja antes do jato incidir sobre o fundo; i.é:  $S_{mb} > S_{REQ}$ ;

o primeiro critério sendo mais restritivo, porém excessivamente rigoroso, posto que a fase descendente provê ca. 60% da diluição total no campo próximo e se situa a uma curta distância do ponto de descarga. Deste modo, mesmo contando com sua contribuição, o impacto ambiental da zona de misturamento ainda é muito puntual e desprezar sua contribuição acarretaria um superdimensionamento do emissário.

Como o jato ascendente aproximar-se-á da superfície da água, a fase descendente "marcará" praticamente toda a coluna de água. Atendendo a esta característica da arquitetura do jato, consideramos que o critério mais realista (e mais rigoroso que o critério 2 acima) é o seguinte:

$$(S_{mt} + S_{mb}) / 2 > S_{REQ} \quad (5.13)$$

o qual foi também adotado no projeto original [1]. Assim, necessitamos de uma correspondência entre a velocidade de descarga  $u_j$  e a diluição média acima. Esta pode ser obtida da Figura 5.2 e está expressa pelos valores da Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Diluições médias na fase descendente do jato em função da velocidade de descarga

$u_j$ (m/s)	$(S_{m+} + S_{m-})/2$
5	34,4
6	41,7
7	48,7
8	55,5
9	62,3
10	69,3
11	76,3
12	83,2

Com estes dados podem ser correlacionadas as diluições necessárias para cada um dos constituintes do efluente em questão e as velocidades de descarga capazes de provocar estas diluições. Isto está feito na Tabela 5.3.

*mu*

As diluições requeridas são determinadas cotejando as Tabelas 2.1 e 4.1 (coluna CMP). Isto é feito na Tabela 5.3 mostrada mais adiante.

Nesta tabela já se leva em conta o efeito diluidor das ondas (Equação 5.12 acima):

$$S_{REQ} = S_T = S_{CP} S_{CA} = 1,2 S_0 S_{CA} \quad (5.14)$$

onde:

$S_{REQ}$  = diluição requerida

$S_T$  = diluição total (levando em conta as diluições no campo próximo e no campo afastado)

$S_{CP}$  = diluição no campo próximo

$S_{CA}$  = diluição no campo afastado

$S_0$  = diluição sem levar em conta o efeito das ondas (calculada pelas Equações 5.1 a 5.6)

Como é habitualmente verificado na prática:  $S_{CA} = 10$  (aproximadamente). O posicionamento do ponto de descarga deve inclusive garantir este fator.

Como  $S_0$  refere-se à diluição no eixo do jato (uma ficção, posto que o jato está em contínuo serpenteamento ao sabor da ação do oceano), é mais realista tomar o valor da diluição média na secção transversal do dito jato:

$$S_{AVG} = 1,4 S_0 \quad (5.15)$$

e assim, da Equação 5.14:

$$S_{REQ} = 1,2 (S_{REQ} / 1,4) \times 10 = 8,57 S_{AVG}$$

logo:

$$S_{AVG} = 0,117 S_{REQ} \quad (5.16)$$

que é o valor indicado na terceira coluna da Tabela 5.3. A quarta e quinta colunas desta tabela indicam:

$U_{J1}$  = velocidade que garante  $S_{AVG}$  no apogeu do jato

$U_{J2}$  = velocidade que garante  $S_0$  na média da fase descendente do jato.

Tabela 5.3 - Definição da velocidade de descarga em função da diluição requerida

Parâmetro	$C_j$ (mg/L)	$C_{norma}$ (mg/L)	$S_{REQ}$	$S_{AVG}$	$U_{J1}$ (m/s)	$U_{J2}$ (m/s)
O&G	20	1	20	2,5	<5	<5
Fenóis	0,5	0,001	500	60	>12	9
Sulfetos	1	0,002	500	60	>12	9
DBO <sub>5</sub>	900	5	180	21	6	<5
Cu	0,28	0,05	5,6	1	<5	<5
Ni	1,0	0,1	10	1,2	<5	<5

$u_{j0}$  é a velocidade de descarga a ser adotada para satisfazer o critério adotado neste trabalho (cf. Equação 5.13). Teoricamente  $u_j = 9$  m/s seria capaz de produzir o efeito desejado. Como o jato é menos denso em relação ao do projeto original, optamos por manter a velocidade de descarga então adotada, 11 m/s, para ganhar em segurança ambiental com a redução da densidade. Portanto:

$$u_j = 11 \text{ m/s}$$

e pela Tabela 5.1:  $Z_m = 10$  m. Isto significa que o difusor deve ser posicionado sob uma lâmina de água correspondente:

$$H = 10 \text{ m}$$

É importante ressaltar que, devido à manutenção das condições de velocidade de descarga, diluição e profundidade do ponto de descarga, os resultantes fatores de diluição no campo afastado são iguais aos calculados no 1º estudo. Portanto permanecem válidos todos os resultados e conclusões no Capítulo 8 do 1º Relatório [1].



#### 5.4. Localização e Dimensionamento do Emissário e Difusor

##### 5.4.1. Localização e Alinhamento do Difusor - Comprimento do Emissário

Conforme mencionado no Capítulo 3, estudam-se três alternativas. A Figura 5.4 mostra em detalhe estas alternativas.

O alinhamento do emissário, nas Alternativas 1 e 3, é definido pelo percurso mais curto entre o ponto de mergulho e a profundidade requerida pela diluição. Já no caso da Alternativa 2, o alinhamento é definido pela trajetória que mais rapidamente conduz à ultrapassagem da APA.

O alinhamento do difusor deve posicioná-lo perpendicularmente à direção mais frequente de correntes no local de descarga. Este dado foi levantado em campo, conforme relatado no Capítulo 7 do 1º Relatório [1]. A Tabela 5.4 indica estas orientações.

*Handwritten signature*

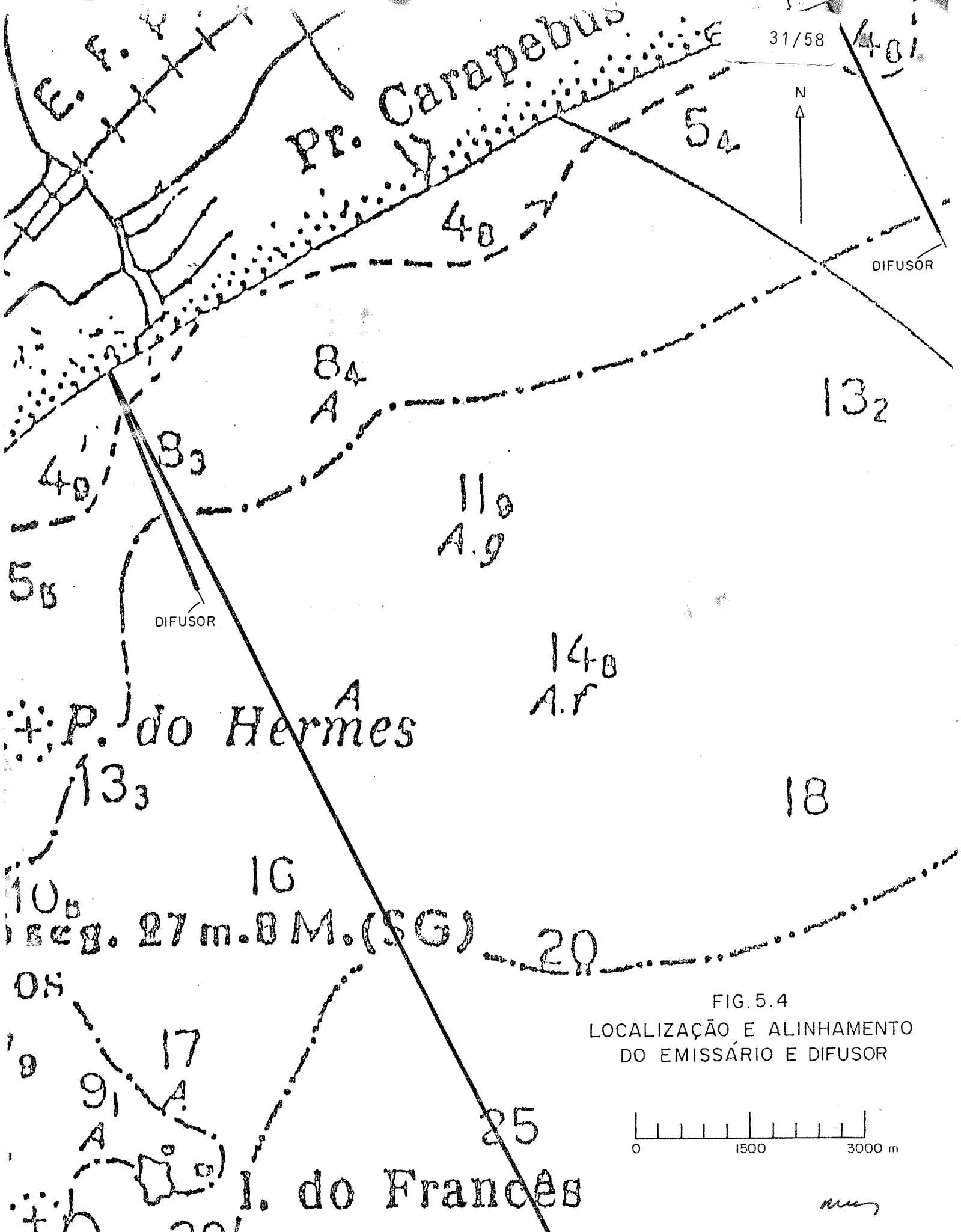
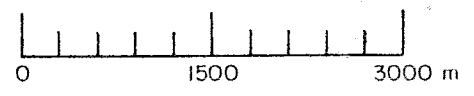


FIG. 5.4  
 LOCALIZAÇÃO E ALINHAMENTO  
 DO EMISSÁRIO E DIFUSOR



*mm*

Tabela 5.4 - Alinhamento e posição do emissário e difusor

Alternativa	L* (m)	Alinhamento (c/ o N <sub>0</sub> )		Coordenadas UTM da descarga**
		emissário	difusor	
1a	3000	158°	155°	7.528.010 N 223.265 E
2a	13200	155°	190°	7.518.823 N 228.015 E
3a	3300	155°	155°	7.532.630 N 233.070 E

\* - comprimento do emissário (exclusive o difusor)

\*\* - posição do primeiro orifício do difusor

Como nas Alternativas 1 e 2 o difusor faz um ângulo com o emissário, é indicado que a mudança na direção da tubulação seja feita a ca. 20m a montante do 1º orifício, para garantir um fluxo tranquilizado no difusor.

#### 5.4.2. Dimensionamento do Emissário e do Difusor

O emissário e o difusor são tubulações de mesmo diâmetro e espessura (com eventuais reduções de diâmetro do difusor para manter a velocidade interna de fluxo).

*Handwritten signature*



Os parâmetros condicionantes do dimensionamento são:

- vazão de projeto:  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{h} = 0,097 \text{ m}^3/\text{s}$
- viscosidade do efluente:  $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- rugosidade da tubulação:  $k = 4 \times 10^{-4} \text{ m}$

Empregando-se a fórmula de Colebrook-White colocada na seguinte forma:

$$(D_{n+1})^{5/2} = -2Q/\pi(2gJ)^{1/2} \log^{-1}[k/3,7D_n + 2,54\nu/D_n(2gJD_n)^{1/2}]$$

onde J é a perda de carga unitária:  $J = h_L/L$  (incluindo as perdas localizadas), é possível estabelecer a correlação entre o diâmetro e a correspondente perda de carga.

O exame desta correspondência é particularmente importante no caso da Alternativa 2 que, por conta de seu grande comprimento, consumirá significativa fração da potência total de bombeamento para vencer a resistência ao fluxo no emissário (a outra fração sendo utilizada para expelir o efluente pelos orifícios à velocidade requerida para a diluição). Isto demanda atenção com a otimização do diâmetro. A Tabela 5.5, mostra as correspondências entre diâmetro, potência e correspondentes perdas de carga.

Tabela 5.5 - Variação do diâmetro e potência com a perda de carga  
(Alternativa 2)

$h_L$ (mCA)	J (m/m)	D (m)	V (m/s)	Pot. (kW)
20	0,0015	0,4027	0,76	20,5
30	0,0023	0,3723	0,89	30,8
40	0,0030	0,3522	1,00	41,0
50	0,0038	0,3373	1,09	51,3
60	0,0045	0,3257	1,17	61,6

Foi efetuado um estudo de otimização simples para definir a perda de carga disponível tal que reduza o diâmetro da tubulação ao mínimo sem penalizar o consumo de energia. Com os valores da Tabela 5.5 foram ajustadas curvas relacionando a perda de carga à potência e ao diâmetro:

$$W = 1,03 h_L$$

$$D = -8,75 \times 10^{-4} (h_L)^2 + 0,0173 h_L = 0,45$$

O custo total foi expresso em função das contribuições de W e D:

$$C = W C_w + D C_D$$

sendo  $C_w$  e  $C_D$  os custos por unidade de potência e de tamanho (diâmetro) do tubo. Esta expressão foi minimizada resolvendo-se

para  $dC/dh_c = 0$ . Foi calculado desta forma o valor  $D = 0,313$  m.

Esta solução indica como tubulação comercial (API/SPEC - 5L) mais adequada a de 10". As considerações de resistência estrutural e trabalho em meio agressivo (v. Referência 1) definem a espessura mínima de 9,52 mm (prevendo revestimento de proteção).

No caso das Alternativas 1 e 3 o comprimento no trecho submarino é muito mais reduzido e a otimização do diâmetro deixa de ser crítica : a perda de carga no difusor domina. Para uma carga disponível de 20 mCA a fórmula conduz a  $D = 0,308$  m e o valor comercial mais próximo é exatamente o mesmo da alternativa 2.

Resumindo, para qualquer das alternativas, recomenda-se:

- . Tubo de 10" (API/SPEC-5L)
- Diâmetro interno = 0,3048 m
- Diâmetro externo = 0,3238
- Espessura = 9,52 mm (3/8")

Observa-se que, para este diâmetro e com a vazão de projeto, obtém-se uma velocidade de fluxo interno  $v = 1,33$  m/s, que é adequada para impedir a deposição de sedimentos no interior do tubo.

### 5.4.3. Número de Orifícios do Difusor

É adotado o diâmetro mínimo recomendável para evitar obstruções, garantindo elevadas velocidades de descarga:

$$d_j = 0,075 \text{ m}$$

Para se obter a velocidade de descarga de 11 m/s fixada na Seção 5.3, com a vazão de projeto  $Q_{TOT} = 0,0972 \text{ m}^3/\text{s}$ , é preciso que o número de difusores N seja :

$$\begin{aligned} N &= Q_{TOT} / u_j \pi (d_j)^2 \\ &= 4 \times 0,0972 / 11 \times 3,14159 \times (0,075)^2 = 2,00 \end{aligned}$$

Conclui-se que a nova vazão, na proporção em que foi reduzida com relação ao projeto inicial, conduz a um difusor com apenas dois orifícios

$$N = 2 \text{ orifícios}$$

A área total de descarga representada pelos N orifícios de secção individual  $a_j$  é:

$$\begin{aligned} a_j &= 3,14159 \times (0,075)^2 / 4 = 0,0044 \text{ m}^2 \\ N a_j &= 2 \times 0,0044 = 0,009 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

A secção transversal da tubulação é:

$$A_{tub} = 3,14159 \times (0,3048)^2 / 4 = 0,073 \text{ m}^2$$

E assim, como:

$$N a_j \ll A_{tub}$$

não há possibilidade de se ter orifícios em que o fluxo não ocupe toda sua secção.

#### 5.4.4. Espaçamento entre os Orifícios

O espaçamento  $l_d$  é determinado de modo que se tenha a distância mínima necessária para que não ocorra interpenetração dos jatos, com a decorrente redução da diluição inicial:

$$l_d = 51 \cdot Q_{TOT} / N \cdot u_A \cdot Z_m$$

Supondo correntes perpendiculares ao difusor:

$$l_d = 54,1 \times 0,097 / 2 \times 0,25 \times 10,0 = 1,05 \text{ m}$$

Para se precaver contra a eventualidade (menos provável) de correntes paralelas ao alinhamento do difusor, pode ser empregado o modelo de Tong e Stolzenbach [7] que determina a distância

*mm*

$x_i$  entre o orifício e o ponto de impacto do jato no retorno ao fundo:

$$F_{AJ} = F u_A / u_J$$

$$x_i = 2,8 (F_{AJ})^2 d_J u_J / u_A$$

que resulta:

$$F_{AJ} = 58,6 \times 0,25 / 11 = 1,33$$

$$x_i = 2,8 \times (1,33)^2 \times 0,075 \times 11 / 0,25 = 16,4 \text{ m}$$

O espaçamento a ser adotado entre os orifícios será então:

$$L_d = 20 \text{ m}$$

que garante uma folga adicional para o jato se espalhar ao impactar o fundo.

#### 5.4.5. Orientação dos Orifícios

O jato deve fazer um ângulo inicial de  $60^\circ$  com a horizontal. Portanto, o eixo dos orifícios deve formar este ângulo com a horizontal.

Os orifícios devem apontar para o mesmo lado do difusor de modo a criar um fluxo integrado no campo afastado. Este lado deve corresponder aquele para onde se dirigem as correntes com maior

frequência. Levando em conta o alinhamento do difusor, dado na Tabela 5.4, conclui-se que os orifícios deverão estar apontados para:

245° nas Alternativas 1 e 3

280° na Alternativa 2

sendo estes ângulos medidos em relação ao norte verdadeiro ( $N_v$ ), em planta.

Ou seja: os orifícios nas Alternativas 1 e 3 descarregam para WSW e na Alternativa 2 descarregam para WNW.

A Figura 5.6-A mostra a disposição dos orifícios em relação à horizontal.

#### 5.4.6. Comprimento do Difusor

Sendo o número de orifícios  $N = 2$ , o espaçamento entre êles  $l_d = 20$  m, e adicionando 1 m a jusante do último orifício até o flange cego que arremata o difusor (v. Figura 5.4), o comprimento total do difusor é:

$$L_d = 21 \text{ m}$$

contado entre o primeiro orifício e o flange terminal.

*run*

Por necessidade de manutenção de velocidades de fluxo adequadas no interior do difusor, este sofrerá uma redução de diâmetro de 10" para 6", conforme será definido na Seção 5.5 a seguir. O início da constricção deverá ficar 1 m a jusante do orifício mais a montante. A Figura 5.5 ilustra este esquema.

### 5.5. Cálculo Hidráulico do Emissário e Difusor

Como notificado no 1º Relatório [1], os cálculos levam em conta as informações disponíveis sobre a morfologia do local, que carecem de refinamento. Os resultados obtidos (perdas de carga e potências de bombeamento) também deverão ser refinados de posse dos levantamentos de campo detalhados (batimetrias e definição do exato traçado do emissário).

#### 5.5.1. Perda de Carga no Difusor

Serão feitos cálculos considerando tanto orifícios com quinas vivas (com a parede interna do difusor) como com quinas suavizadas. A metodologia de cálculo é a mesma usada no projeto original [1].

Os valores de projeto são:

diâmetro interno do emissário:  $D = 0,3048 \text{ m}$

vazão total:  $Q_{TOT} = 350 \text{ m}^3/\text{h}$



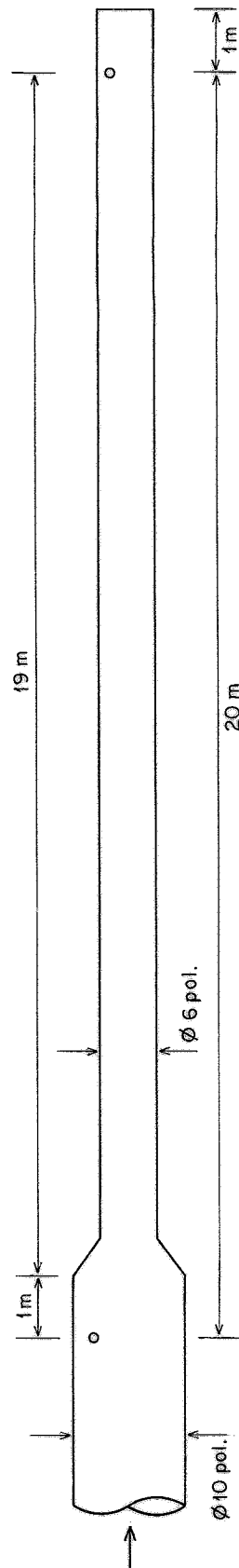


FIG. 5.5 - ESQUEMA DO DIFUSOR

viscosidade cinemática:  $\nu = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

secção do orifício:  $a_j = 0,0044 \text{ m}^2$

rugosidade:  $k = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$

Supondo coeficientes de descarga:

quinas vivas:  $C_D = 0,63$

quinas suavizadas:  $C_D = 0,975$

vem:

quinas suavizadas:

$$\begin{aligned} E_1 &= (q_1)^2 / 2g (C_D a_j)^2 = \\ &= (0,5 \times 350/3600)^2 / 2 \times 9,81 \times (0,975 \times 0,0044)^2 = \\ &= 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$q_1 = 0,975 \times 0,0044 \times (2g \times 6,5)^{1/2} = 0,0486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} V_1 &= (Q_{TOT} - q_1) / A_1 = Q_{TOT} / 2A_1 = \\ &= (350/3600) / [2 \times \pi/4 \times (0,3048)^2] = 0,67 \text{ m/s} \end{aligned}$$

quinas vivas:

$$E_1 = 15,7 \text{ m}$$

$$q_1 = 0,0486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_1 = 0,67 \text{ m/s}$$

*any*

O valor da velocidade do fluxo interno no difusor  $V_i = 0,67$  m/s é muito baixo e torna-se necessária uma redução do diâmetro:

$$\text{para } V_i = 1,33 \text{ m/s} \quad \rightarrow \quad D = 0,216$$

Tubo comercial (API-SPEC 5L) de 6":

$$D_i = 0,2001 \text{ m}$$

$$D_o = 0,2191 \text{ m}$$

$$e = 9,52 \text{ mm} \quad (3/8")$$

Logo:

$$V_i = (350/3600) / [2 \times \pi/4 \times (0,2001)^2] = 1,55 \text{ m/s}$$

$$(V_i)^2 / 2g = 0,1218 \text{ m}$$

$$Re = 0,2001 \times 1,55 / 10^{-4} = 3,1 \times 10^6$$

$$k / D = 5 \times 10^{-4} / 0,2001 = 0,0025$$

$$f = 0,0253$$

$$h_{f1} = 0,0253 \times (20/0,2001) \times 0,1218 = 0,3080 \text{ m}$$

quinas suavizadas:

$$E_2 = E_1 + h_{f1} = 6,5 + 0,3 = 6,8 \text{ m}$$

$$C_{d2} = 0,975 (1 - 0,0788/6,7)^{3/2} = 0,968$$

$$q_2 = 0,968 \times 0,044 \times (2g \times 6,8)^{1/2} = 0,0492 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_1 + q_2 = 0,0978 \text{ m}^3/\text{s} = 352 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{OK (convergiu)}$$

quinas vivas:

$$E_2 = 15,7 + 0,2 = 15,9 \text{ m}$$

$$C_{d2} = 0,69 - 0,58 \times [(1,55)^2 / 2g \times 15,7] = 0,625$$

$$q_2 = 0,625 \times 0,0044 \times (2g \times 15,9)^{1/2} = 0,0486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_1 + q_2 = 0,0972 \text{ m}^3/\text{s} = 349,8 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{OK (convergiu)}$$

Prevendo não uniformidades de vazão, foi estabelecida uma faixa de variação da vazão fixando-se um teto na mesma proporção de projeto original:  $Q_{\text{MAX}} = 1,2 Q_{\text{TOT}} = 420 \text{ m}^3/\text{h}$ . Repetindo os cálculos com essa vazão, vem:

quinas suavizadas:

$$E_1 = 9,4 \text{ m}$$

$$q_1 = 0,0583 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$V_1 = 1,86 \text{ m/s}$$

$$Re = 3,7 \times 10^5$$

$$f = 0,0251$$

$$h_{f1} = 0,4400$$

$$E_2 = 9,8 \text{ m}$$

$$C_{D2} = 0,968$$

$$q_2 = 0,0591 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_1 + q_2 = 422,6 \text{ m}^3/\text{h} \quad \rightarrow \text{OK}$$

quinas vivas:

$$E_1 = 22,6 \text{ m}$$

$$q_1 = 0,0583 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$E_2 = 23,0 \text{ m}$$

$$C_{D2} = 0,626$$

$$q_2 = 0,0585 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_1 + q_2 = 420,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad \rightarrow \text{OK}$$

Os cálculos acima dão conta das perdas relacionadas com a descarga e o atrito do fluxo interno ao difusor. Resta atentar para a perda sofrida na redução do diâmetro do difusor.

Supondo o ângulo alfa = 30° (v. Figura 5.6.A), vem:

$$k_e = 0,32$$

$$h_e = k_e \times [(V_1)^2 - (V_2)^2] / 2g =$$

*meu*

$$= 0,0163 \times [(V_1)^2 - (V_2)^2]$$

$$V_n = 4 \times (Q_{TOT}/n) / [\pi \times (D_n)^2]$$

$$(V_1)^2 - (V_2)^2 = (2 \times Q_{TOT} / \pi)^2 [(D_1)^{-2} - (D_2)^{-2}] =$$

$$= 5,76 \times (Q_{TOT})^2$$

D que conduz a:

vazão média (350 m<sup>3</sup>/h):  $h_c = 0,05$  m

vazão máxima (420 m<sup>3</sup>/h):  $h_c = 0,08$  m

#### 5.5.2. Perdas de Carga no Emissário

Com os valores anteriores e os comprimentos do emissário (parte submarina):

Alternativa 1: L = 3000 m

Alternativa 2: L = 13200 m

Alternativa 3: L = 3300 m

calcula-se as perdas de carga extra-difusor.

Para a vazão média, Q = 350 m<sup>3</sup>/h:

*ruy*

$$V = 4 \times (350/3600) / [\pi \times (0,3048)^2] = 1,33 \text{ m/s}$$

$$V^2/2g = 0,0905 \text{ m}$$

$$Re = 4,1 \times 10^6$$

$$k/D = 0,0016$$

$$f = 0,0225$$

$$\text{Alternativa 1: } h_L = 0,0225 \times (3000/0,3048) \times 0,0905 = 20,0 \text{ m}$$

$$\text{Alternativa 2: } h_L = 20,0 \times (13200/3000) = 88,2 \text{ m}$$

$$\text{Alternativa 3: } h_L = 20,0 \times (3300/3000) = 22,0 \text{ m}$$

Para a vazão máxima,  $Q = 420 \text{ m}^3/\text{h}$ :

$$V = 1,33 \times 1,2 = 1,60 \text{ m/s}$$

$$V^2/2g = 0,1298 \text{ m}$$

$$Re = 4,9 \times 10^6$$

$$k/D = 0,0016$$

$$f = 0,0222$$

$$\text{Alternativa 1: } h_L = 0,0222 \times (3000/0,3048) \times 0,1298 = 28,4 \text{ m}$$

$$\text{Alternativa 2: } h_L = 28,4 \times (13200/3000) = 124,8 \text{ m}$$

$$\text{Alternativa 3: } h_L = 28,4 \times (3300/3000) = 31,2 \text{ m}$$

### 5.5.3. Perdas de Carga Totais e Potência de Bombeamento

Somando as perdas por atrito e descarga, no difusor e emissário, obtém-se as perdas totais, e com elas estima-se a potência necessária.

$$h_{TOT} = E_2 + h_c + h_L$$

$$P = \rho g Q h_{TOT}$$

Os resultados dos cálculos estão mostrados na Tabela 5.7. A somatória das perdas de carga é abaixo indicada:

Quinas suavizadas:

Vazão média (350 m<sup>3</sup>/h):

$$\text{Alt. 1: } h_{TOT} = 6,8 + 0,05 + 20,0 = 26,9 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 2: } h_{TOT} = 6,8 + 0,05 + 88,2 = 95,1 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 3: } h_{TOT} = 6,8 + 0,05 + 22,0 = 28,9 \text{ m}$$

Vazão máxima (420 m<sup>3</sup>/h):

$$\text{Alt. 1: } h_{TOT} = 9,8 + 0,08 + 28,4 = 38,3 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 2: } h_{TOT} = 9,8 + 0,08 + 124,8 = 134,7 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 3: } h_{TOT} = 9,8 + 0,08 + 31,2 = 41,1 \text{ m}$$

Quinas vivas:

Vazão média (350 m<sup>3</sup>/h):

$$\text{Alt. 1: } h_{TOT} = 15,9 + 0,05 + 20,0 = 36,0 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 2: } h_{TOT} = 15,9 + 0,05 + 88,2 = 104,2 \text{ m}$$

$$\text{Alt. 3: } h_{TOT} = 15,9 + 0,05 + 22,0 = 38,0 \text{ m}$$

Vazão máxima (420 m<sup>3</sup>/h):

$$\text{Alt. 1: } h_{TOT} = 32,0 + 0,08 + 28,4 = 60,5 \text{ m}$$

*run*



Alt. 2:  $h_{TOT} = 32,0 + 0,08 + 124,8 = 156,9 \text{ m}$

Alt. 3:  $h_{TOT} = 32,0 + 0,08 + 31,2 = 63,3 \text{ m}$

Tabela 5.7. Perdas de Carga Totais e Potências de Bombeamento

Alternativa	Q (m <sup>3</sup> /h)	tipo de quina	h <sub>TOT</sub> (mCA)	P (kW)
1	350	doce	26,9	27,6
		viva	36,0	36,9
	420	doce	38,3	47,2
		viva	60,5	74,5
2	350	doce	95,1	97,6
		viva	104,2	106,9
	420	doce	134,7	165,9
		viva	156,9	193,2
3	350	doce	28,9	29,7
		viva	38,0	39,0
	420	doce	41,1	50,6
		viva	63,3	78,0

*Handwritten signature*

### 5.6. Sumário do Dimensionamento

#### i) Posicionamento e alinhamento do difusor

Estão indicados na Figura 5.4 e reescritos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Alinhamento e posição do difusor

Alternativa	Alinhamento (c/ o N <sub>v</sub> )	Coordenadas UTM da descarga (*)
1	155°	7.528.010 N 223.780 E
2	190°	7.519.710 N 228.040 E
3	155°	7.532.630 N 223.070 E

\* - posição do orifício mais a montante

#### ii) Comprimento do emissário (trecho submarino, exclusive o difusor):

Alternativa 1: 3000 m

Alternativa 2: 13200 m

Alternativa 3: 3300 m

*mm*

iii) Diâmetro e espessura da tubulação do emissário:

Norma API/SPEC-5L:

diâmetro nominal: 10"  
diâmetro interno: 0,3048 m  
diâmetro externo: 0,3238 m  
espessura: 9,52 mm (3/8")

iv) Diâmetro e espessura da tubulação do difusor:

O difusor inicia na posição do orifício mais a montante e sofre uma contração 1m a jusante deste ponto. A secção do trecho introdutório tem as mesmas dimensões do emissário (item iii) e o trecho final tem:

Norma API/SPEC-5L:

diâmetro nominal: 6"  
diâmetro interno: 0,2001 m  
diâmetro externo: 0,2191 m  
espessura: 9,52 mm (3/8")

A conexão entre os dois trechos é feita por meio de uma secção tronco-cônica cuja geratriz faz um ângulo de 30° com a horizontal (v. Figura 5.6-B).

v) Comprimento do difusor (v. Figura 5.5):

distância do orifício mais a montante ao flange cego: 21 m  
distância do orifício mais a jusante ao flange cego: 1 m

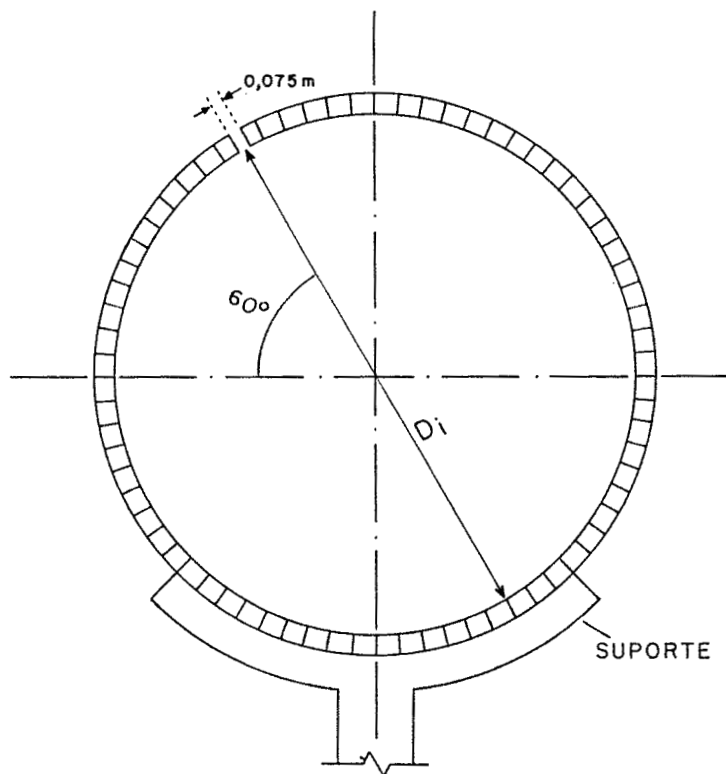


FIG. 5.6. A - ESQUEMA DO DIFUSOR - CORTE TRANSVERSAL

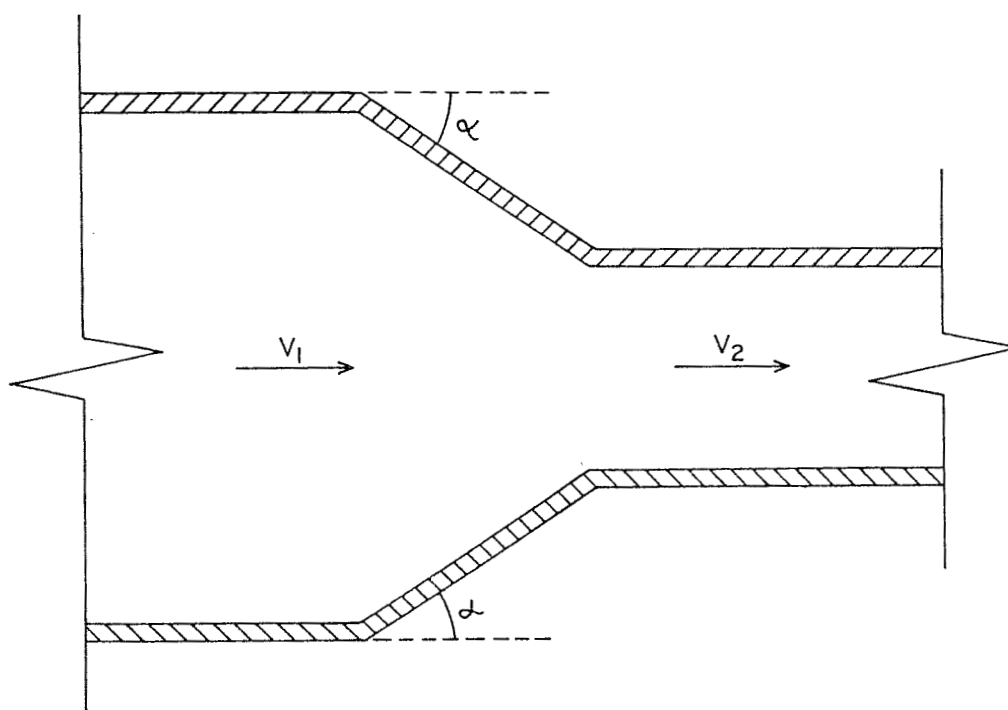


FIG. 5.6. B - CONTRAÇÃO NA TUBULAÇÃO DO DIFUSOR

distância do orifício mais a montante à constricção: 1 m

vi) Número de orifícios:  $N = 2$ .

vii) Diâmetro dos orifícios:  $d_j = 7,5$  cm.

viii) Espaçamento entre orifícios: 20m.

ix) Natureza e orientação dos orifícios:

Quinas vivas: são simples perfurações na parede da tubulação; aparas e irregularidades sendo eliminadas.

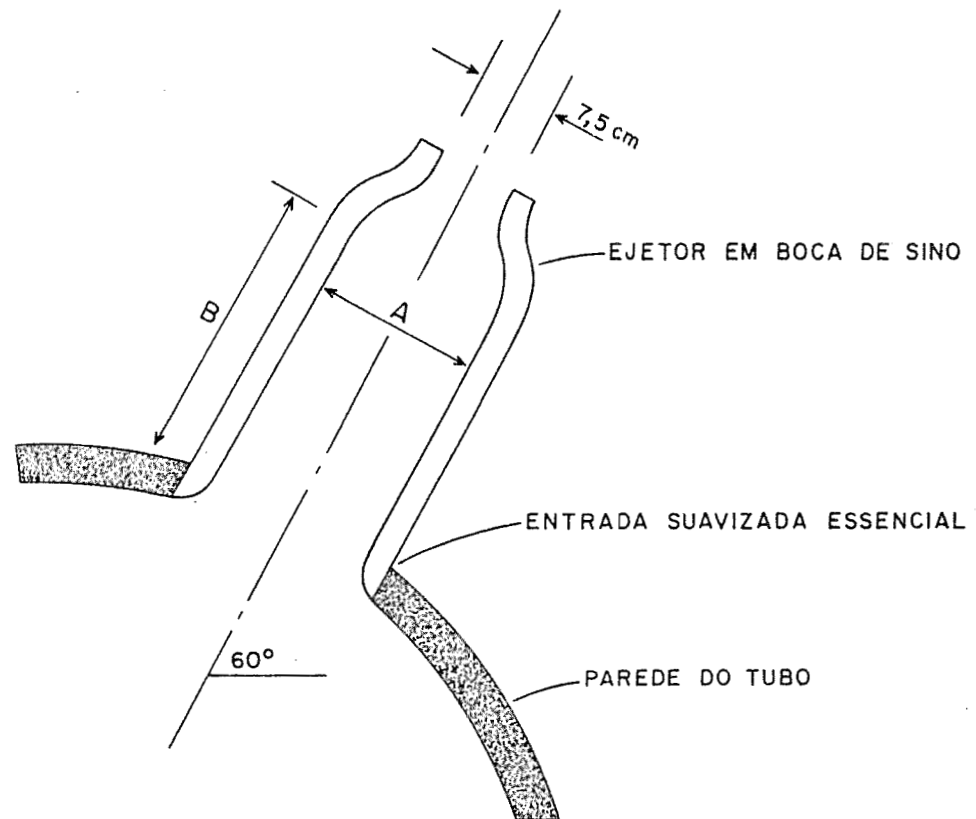
Quinas suavizadas (doces): a aresta interna formada pelas geratrizes do orifício e da tubulação é suavizada. Esta conformação é ilustrada na Figura 5.7, onde se inclui um bocal externo para aumentar a eficiência hidráulica da descarga.

Os orifícios devem ficar todos do lado do difusor voltado para SW se adotadas a Alternativa 1 ou 3, ou do lado voltado para W se adotada a Alternativa 2.

Os orifícios devem apontar para uma direção de descarga fazendo um ângulo de  $60^\circ$  com a horizontal (v. Figura 5.6-A).

x) Perdas de carga e potências de bombeamento

*um*



B = 30 cm  
A = 12 cm  
(B ~ 2,5 x A)

FIG. 5.7 - ESQUEMA DO BOCAL EJETOR SUGERIDO

*Handwritten signature*

As perdas de carga relativas ao trecho submarino variam de 30 mCA a 157 mCA em função de: a) vazão; b) alternativa de caminhamento; c) tipo de quina interna do orifício. As potências variam entre 28 kW e 193 kW.

*mu*

## 8. CONCLUSÃO FINAL

Todas as recomendações ao final do 1º Relatório [1] são, em princípio, válidas para o presente estudo.

Deve ser enfatizado que no Capítulo 5 foram feitos os cálculos para orifícios com quinas suavizadas e com quinas vivas, à diferença do 1º Relatório onde somente esta última configuração foi considerada.

A vantagem da suavização das quinas internas fica patente na Tabela 5.7, de onde pode-se verificar a considerável economia em potência de bombeamento obtida com a suavização.

Isto se explica pela elevada participação das perdas de carga nos orifícios (para se obter as altas velocidades de descarga requeridas para a diluição do jato denso) nas perdas totais.

No caso das Alternativas 1 e 3, a potência requerida trabalhando-se com quinas vivas é da ordem de 30 % superior àquela requerida pelo difusor com quinas suavizadas, para a vazão média de 350 m<sup>3</sup>/h. Com a vazão máxima de 420 m<sup>3</sup>/h, o gasto adicional se eleva para ca. 60%.

No caso da Alternativa 2 as diferenças são menores pois, em função de seu grande comprimento, as perdas por atrito no emissário passam a ter uma participação considerável nas perdas



totais. Neste caso o incremento de potência devido à não suavização das quinas é de 10% (350 m<sup>3</sup>/h) a 16% (420 m<sup>3</sup>/h).

Por ter o difusor na presente concepção apenas dois orifícios, o investimento em um refinamento do orifício pode compensar. Este refinamento é de dois níveis:

- 1) simples adoçamento das quinas internas dos orifícios
- 2) inclusão de um ejeter, como sugerido na Figura 5.7.

O ejeter tem por função apurar o controle sobre as linhas de fluxo do jato na saída, otimizando tanto quanto possível o valor do coeficiente de descarga. O valor  $C_D = 0,975$  usado nos cálculos hidráulicos (Seção 5.6) supõe esta otimização.

Na prática o processo mais confiável de se definir um valor para  $C_D$  é por meio de testes de bancada em modelo. Caso a PETROBRAS decida efetuar estes testes, deverão ser repetidos os cálculos da Seção 5.6, levando em conta os valores de  $C_D$  obtidos nos ensaios.

Da mesma maneira, quaisquer alterações ou precisões que vierem a ocorrer na fase de detalhamento, deverão realimentar os cálculos hidráulicos.

7. REFERENCIAS

- 1 - R.M.MOREIRA, et.al., "Estudo para o Descarte de Efluentes da E.T.O. de Cabiúnas (Macaé,R.J.) através de Emissário Submarino - Relatório Final", CDTN/CNEN, Belo Horizonte (1990)
- 2 - "Quality Criteria for Water", US E.P.A. (1978)
- 3 - P.J.W.ROBERTS, G.TOMS, "Inclined Dense Jets in Flowing Currents", J. of Hydr. Eng. ASCE, 113(3): 323-341 (1987)
- 5 - D.A.CHIN, "Influence of Surface Waves on Outfall Dilution", J. of Hydr. Eng. ASCE, 113(8): 1006-1018 (1987)
- 6 - D.A.CHIN, "Model of Buoyant-Jet-Surface-Wave Interaction", J. of Hydr. Eng. ASCE, 114(3): 331-345 (1988)
- 7 - S.S.TONG, K.D.STOLZENBACH, "Submerged Discharges of Dense Effluents", Rep. No. 243, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T., Cambridge, Mass. (1979)

*any*