

5º Reunião do GT Lançamento de Efluentes

CONAMA

Subgrupo Emissários Submarinos

Brasília – D.F. – Junho 2009

Disposição Oceânica de Efluente Através de Emissários Submarinos

Prof^o Dr. Jayme Pinto Ortiz
jportiz@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Antecedentes

Tratamento Índice de atendimento por coleta e de esgoto (maio/1999)

Município	Atendimento por coleta ⁽¹⁾	Atendimento por tratamento ⁽²⁾
Praia Grande	46%	46%
Santos	96%	96%
São Vicente	48%	24%
Guarujá	52%	52%
São Sebastião	29%	29%

fonte: (1) Relatório de Gestão Empresarial da SABESP/julho/1999.

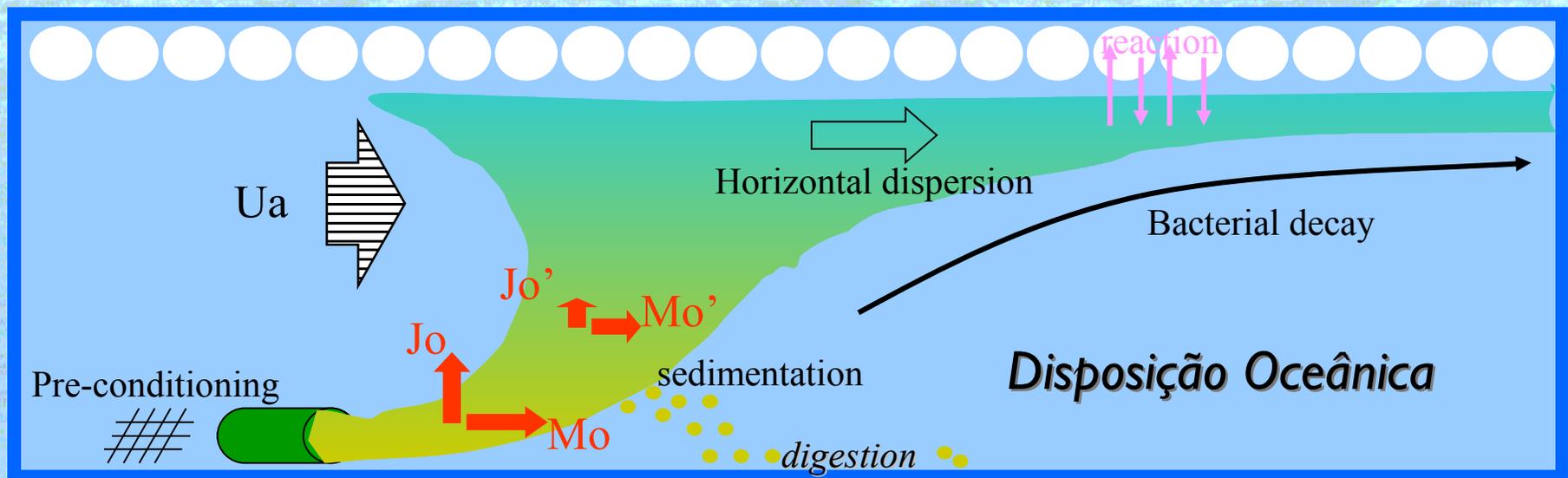
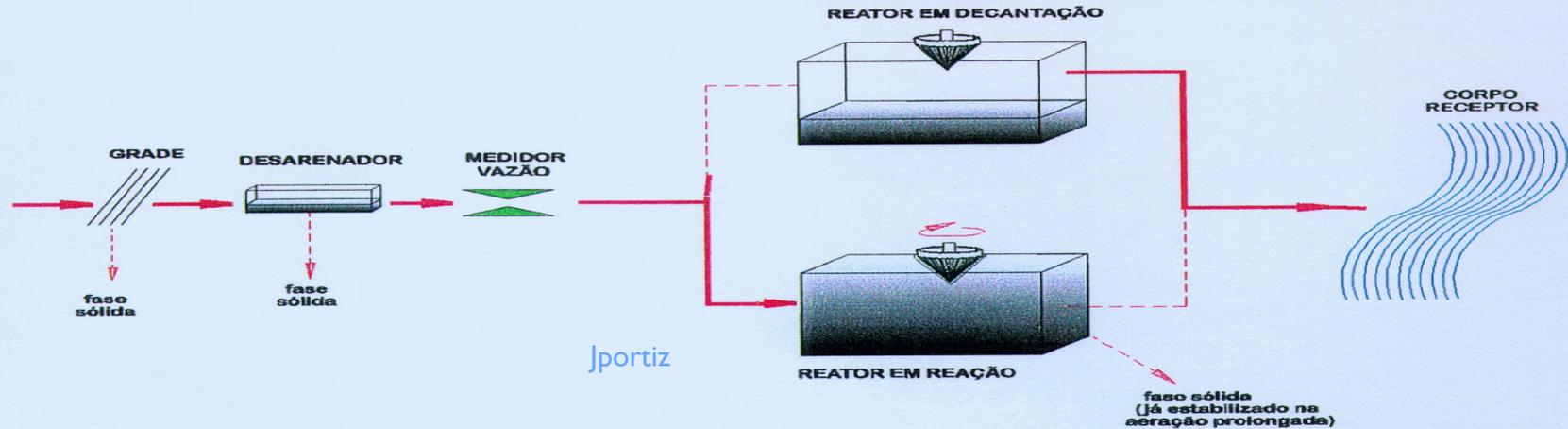
(2) Estimativa feita pela CG/SABESP, tratamento em estações de pré-condicionamento e disposição oceânica.

Antecedentes

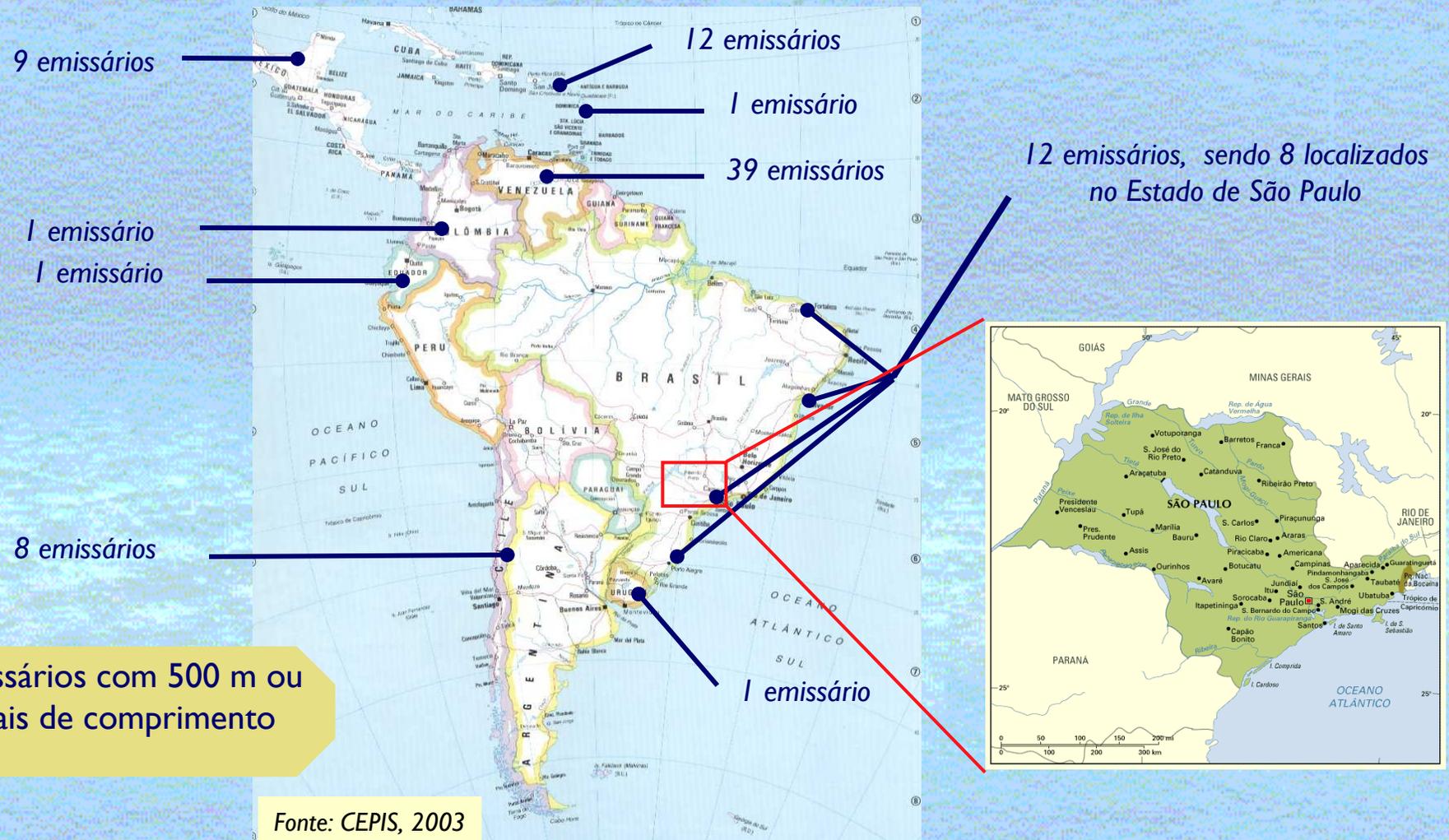
- Efluentes despejados através de emissários com deficiências no projeto, na construção, na operação e no monitoramento, podem causar problemas, apesar da grande capacidade do oceano em diluir tais efluentes.
- Lodo proveniente de ETEs (LAB) podem causar problemas sérios relacionados a sua disposição, cujas responsabilidades nem sempre estão bem definidas.

Representação esquemática da descarga de emissário submarino no mar

Lodos Ativados - Batelada



Disposição Oceânica na América Latina



Disposição Oceânica no Mundo

- Estados Unidos, Espanha (Cantabria), Portugal (Lisboa): diversos emissários na costa.
- Turquia: 8.000 km de costa; 30 emissários operando; 22 em construção; 4 planejados. Antalya: $L = 5072$ (2600 m submersos em PEAD), $H = 50$ m, $L_{\text{difusor}} = 315$ m.
- China: 18.000 km de costa; 5 emissários operando (excluindo Hong Kong); 6 em construção; 15 planejados.
- Havai-Mamala Bay: $Q = 3,1$ m³/s; $L = 3.811$ m; $L_D = 1.031$ m; $h = 67-72$ m; monitoramento através de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

Metas

1 →

Análise de custo para tomada de decisão na escolha entre ETE (LAB) e emissário submarino.

2 →

Sistematização de projetos, de técnicas construtivas e de operação de emissários submarinos com tratamento terrestre.

3 →

Modelagem computacional e física do processo de diluição de efluente na saída do emissário submarino.

4 →

Subsídios aos órgãos ambientais na regulamentação da zona de mistura e no monitoramento da pluma de efluente na saída de emissário submarino.

Meta I - Avaliação de custos

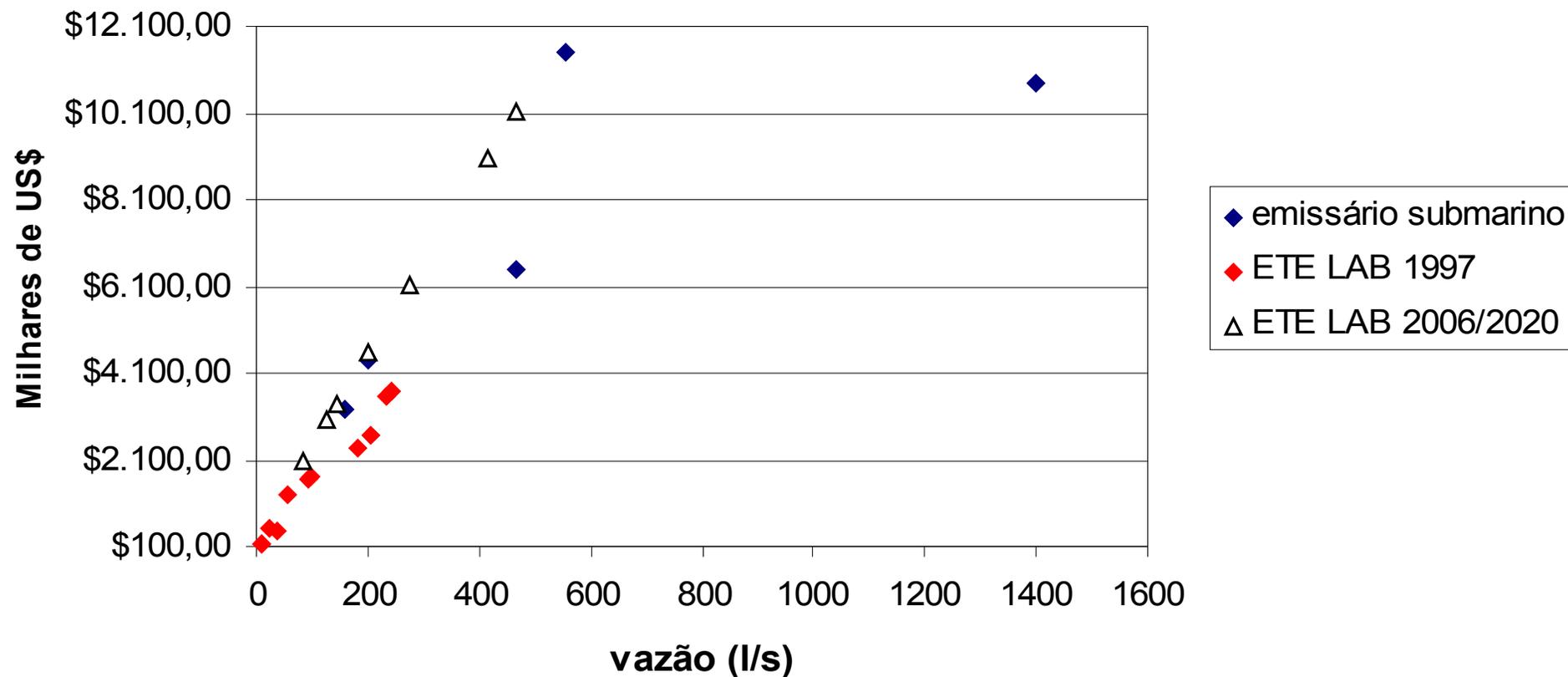
- Inclui:
 - ✓ Custos de capital (projeto e construção);
 - ✓ Custos de energia elétrica;
 - ✓ Custos de O & M.

Baseado em projetos planejados pela SABESP para 1997 (ETEs LAB) e 2020 (ETEs LAB e emissários).

- Japan Bank for International Cooperation (JBIC) para 2006 (ambos os sistemas).

Análise Comparativa de Custo

Comparação de custos- Emissários X ETE LAB



Análise Comparativa de Custo

Indicador (³)	Padrões de Eficiência para Tratamento de Esgotos (em níveis mínimos de abatimento das cargas poluidoras afluentes)							
	A	B	C	D	E	LAB	Emissário Com EPC	
DQO	50%	75%	80%	85%	85%	80-85%	-	
DBO	60%	80%	85%	90%	90%	80-95%	25-30%	
SS	60%	90%/60%(¹)	90%/60%(¹)	95%	95%	80-90%	25-30%	
CF	-	-	99,9999%	-	99,9999%	98%	99,9999%	
Pt	-	-	-	90%	90%	10-25%	-	
Nt	-	-	-	90%	90%	15-50%	-	
População Equivalente (²)	Hab	Valores per capita de referência (R\$/hab)						
	Até 10.000	35	70	85	110	115	168,89	-
	Até 20.000	30	65	80	105	110	165,65	-
	Até 50.000	30	60	75	100	105	158,28	-
	Até 100.000	25	55	70	95	100	153,43	135,35*
	Até 200.000	25	50	65	90	95	-	83,01**
	Mais de 200.000	25	50	65	90	95	141,66	75,16***

Fonte: modificado ANA (2001)

*Emissários de Peruíbe e Bertioga

** Emissário de Itanhaém – margem direita

*** Emissários de Mongaguá e Praia Grande 3

Meta 2 – Sistematização de projetos, construção e operação de emissários com tratamento terrestre



Meta 2 – Sistematização de projetos, construção e operação de emissários com tratamento terrestre



Características de projeto dos emissários do litoral paulista

Municípios	População máxima (n° hab.)	Vazão máxima (m3/s)	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Espessura (mm)	Profundidade (m)	Material	Comp. difusor (m)	N° de saídas	Distância saídas (m)	Diâmetro orifícios (cm)
Praia Grande I	253,755	1.041	3,300	1.00	38.5	12.5	HDPE	435	174	2.50	6.5 +13(final)
Praia Grande II	348,635	1.361	3,415	1.00	38.5	13	HDPE	570	228	2.50	6.5 +13(final)
Santos	1,322,100	7.267	4,000	1.75	19.0	10	Steel (lin. conc.23mm)	200	40	5.00	30
Guarujá	445,858	1.447	4,500	0.90	34.7	14	HDPE	300	150 (2 p/ riser)	4.00	6.0
São Sebastião Pta. Araçá	21,396	0.140	1,061	0.40	12.4	8	HDPE	10,1	17	0.60	7.5
São Sebastião Cigarras	1,600	0.0116	1,068	0.16	---	8.5	HDPE	3,5	7	0.50	5.0
Ilha Bela	4,848	0.030	220	0.25	22.8	24	HDPE	2,5	24	0.20	5.0

Critérios de Projeto

- **Tratamento Terrestre** (SABESP – EPC; gradeamento, peneiras, desarenador, desinfecção, torre de carga, disposição oceânica).
- **Emissário Submarino** (comprimento, profundidade de descarga, sistema difusor): equações da literatura, modelagem, dados de campo.

Critérios de Projeto

$$S = \frac{C_p}{C_e} = S_t * S_0 * S_m * S_{db}$$

- **Diluição por tratamento e desinfecção (S_t)** e que corresponde a relação entre a concentração de esgoto bruto C_b e a concentração de esgoto no lançamento do emissário submarino C_0 ;
- **Diluição inicial (S_0)**: influenciada predominantemente pelo projeto do sistema difusor e pelas condições ambientais e de descarga;

Misturação oceânica (S_m): a partir do final do campo próximo, é a diluição subsequente que ocorre devido às condições de turbulência ambiental;

- **Decaimento bacteriano (S_{db})** ocorre devido ao comportamento não-conservativo do componente do efluente (exemplo: coliforme).

$$S = \frac{C_i}{C_f} = S_t * S_0 * S_m * S_{db}$$

Projeto e Construção Novas Considerações

*Praia Grande – subsistema I, II,
III*



Projeto e Construção

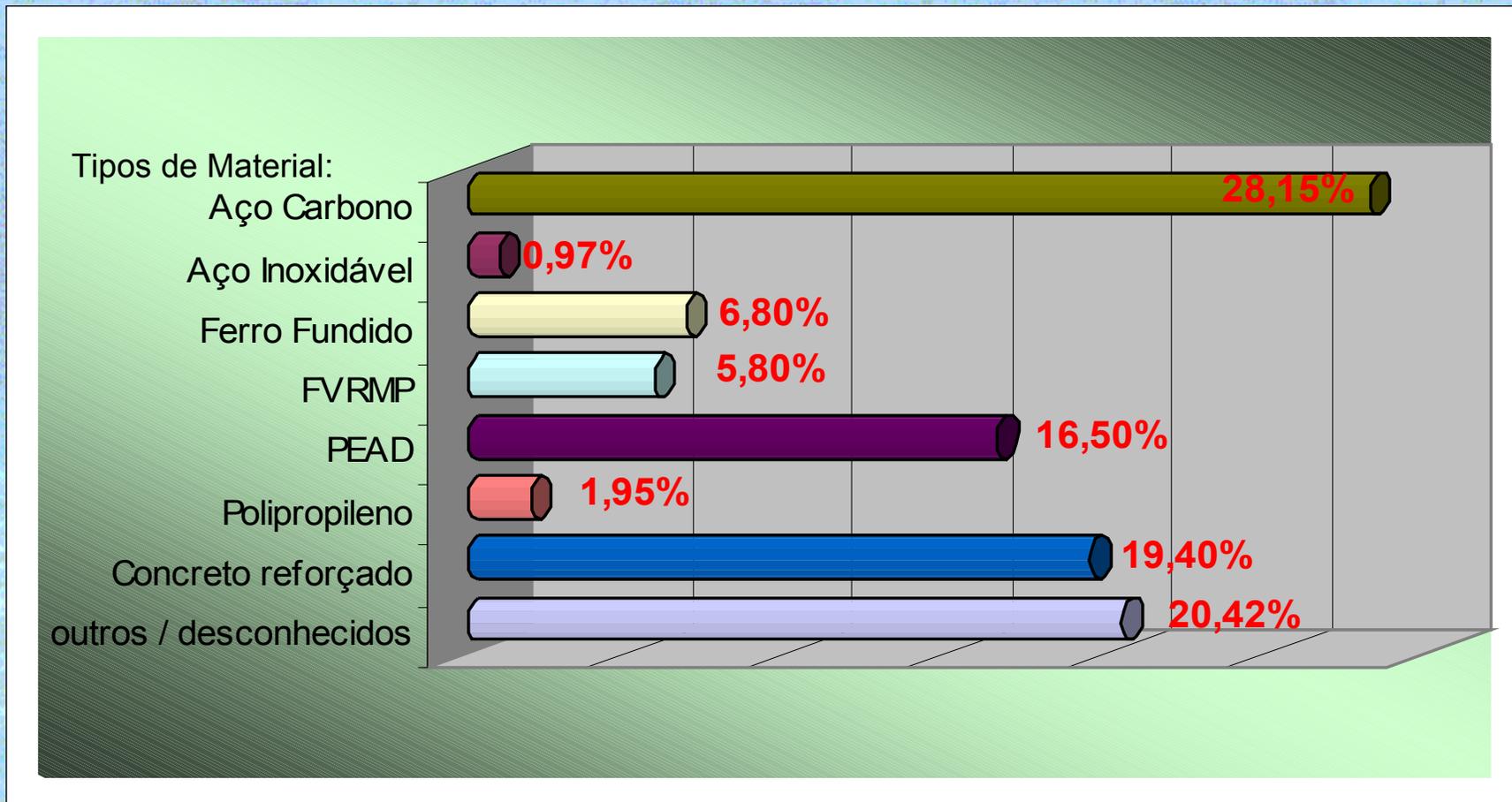
Novas Considerações

Praia Grande – Subsistema I - Características geométricas e de diluição dos sistemas difusores projetado e executado

	n°saídas	D ₀ (cm)	Esp. (m)	D _{chaminé} (cm)	L _D (m)	Profund. (m)	Y ₀ (m)	Y ₀ /D ₀
Projetado	174	6,5	2,5	13	435	12,5	11,2	172,3
Em operação	5	17,5	5	30	25	12,5	11,2	64

	U ₀ (m/s)	q ₀ (m ² /s)	Fd ₀	X ₁ (m)	Y ₁ (m)	Z ₁ (m)	C ₁ (NMP/100ml)	S ₁
Projetado	1,80	0,002393	14,74	58,80	0	11,20	1935,40	2326,20
Em operação	14,43	0,04164	71,86	58,80	0	11,20	36182,00	124,40

Emissários Submarinos por tipo de material de construção



Fonte: Instituto de Hidromecânica da Universidade de Karlsruhe (IFH, 2002)

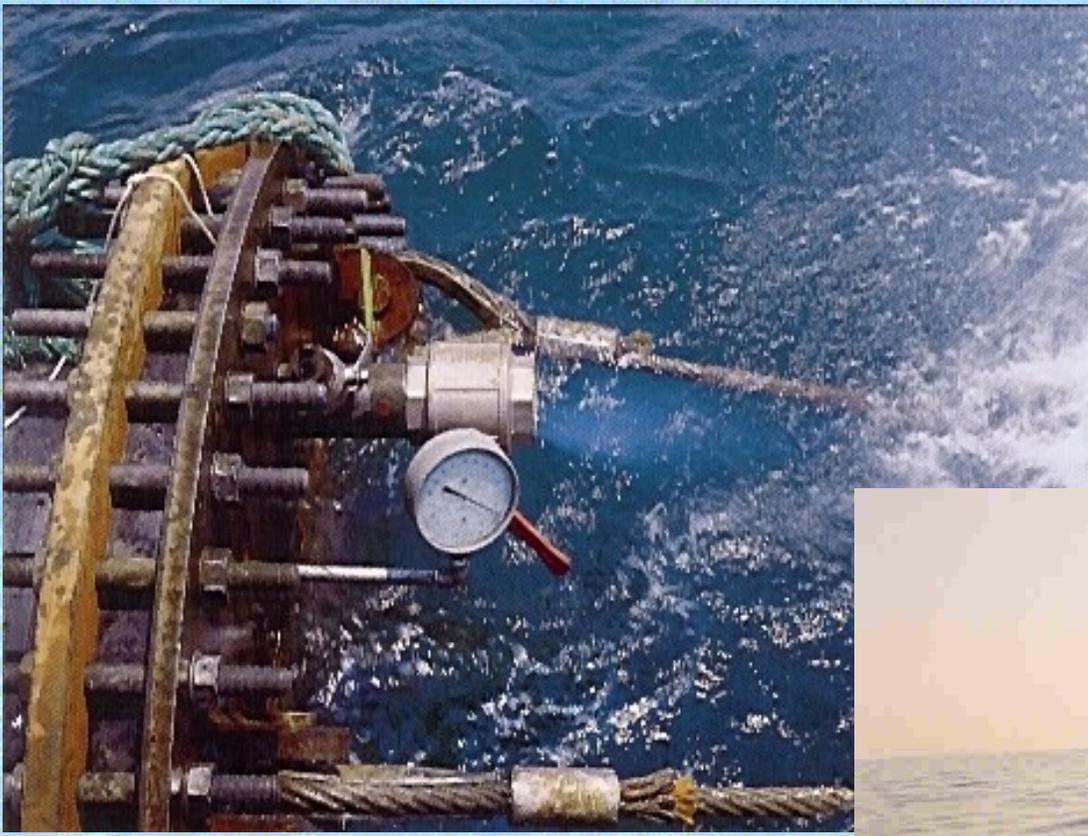
Obs: FVRMP – Fibra de Vidro Reforçada com Material Plástico

Emissários Submarinos por tipo de material de construção

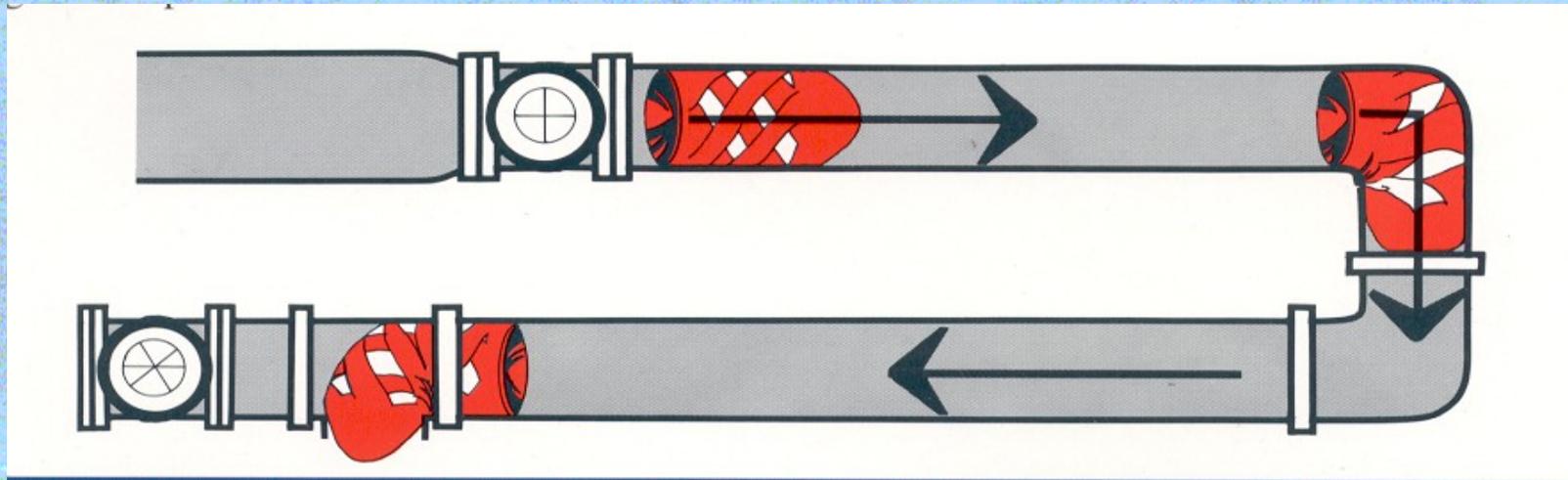


Modelo da tubulação do difusor (com bloco de ancoragem) com riser e orifícios

Técnicas de Instalação de Emissários Submarinos (float and sink)



Técnicas de limpeza interna: *Pigging*



Fonte: Pipeline Pigging Products, 1998

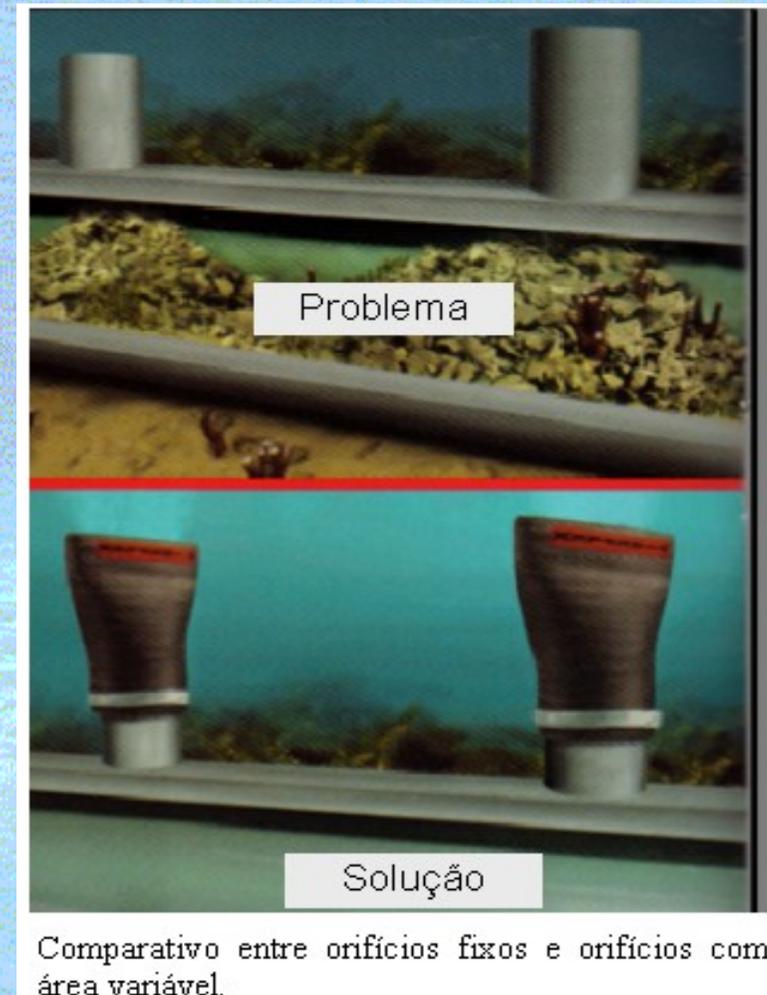
O *pigging* é um processo que utiliza limpadores internos de tubos, fabricados com espuma de poliuretano, flexível (lisa, áspera, granular, lisa revestida com dentes, etc...) e têm a habilidade de passar por curvas, cotovelos, “tes”, tubos de vários diâmetros e válvulas de orifício reduzido (Pipeline Pigging Products, 1998).

O emissário de Boston (1904) utilizou a operação de *pigging* para recuperar a capacidade hidráulica dos dois emissários submarinos, $D = 1,524\text{m}$, $L = 1,78\text{km}$ e $1,69\text{km}$, enterrados a uma profundidade entre 1m e 2m abaixo do leito de fundo do canal do porto de Boston (FRENCH, 1995).

Hidráulica Interna de Difusores com área variável:

➔ Tradicionalmente os sistemas de difusores com orifícios fixos consistem de aberturas na própria estrutura da tubulação, ou de tubulações verticais (*risers*) fixadas no tubo, enterrado ou entrincheirado, elevando o orifício acima do leito.

➔ As válvulas de orifício variável, chamadas de válvulas *duckbill*, também podem ser utilizadas. (DUER, 2000; LEE et al, 1997)



Hidráulica Interna de Difusores com área variável

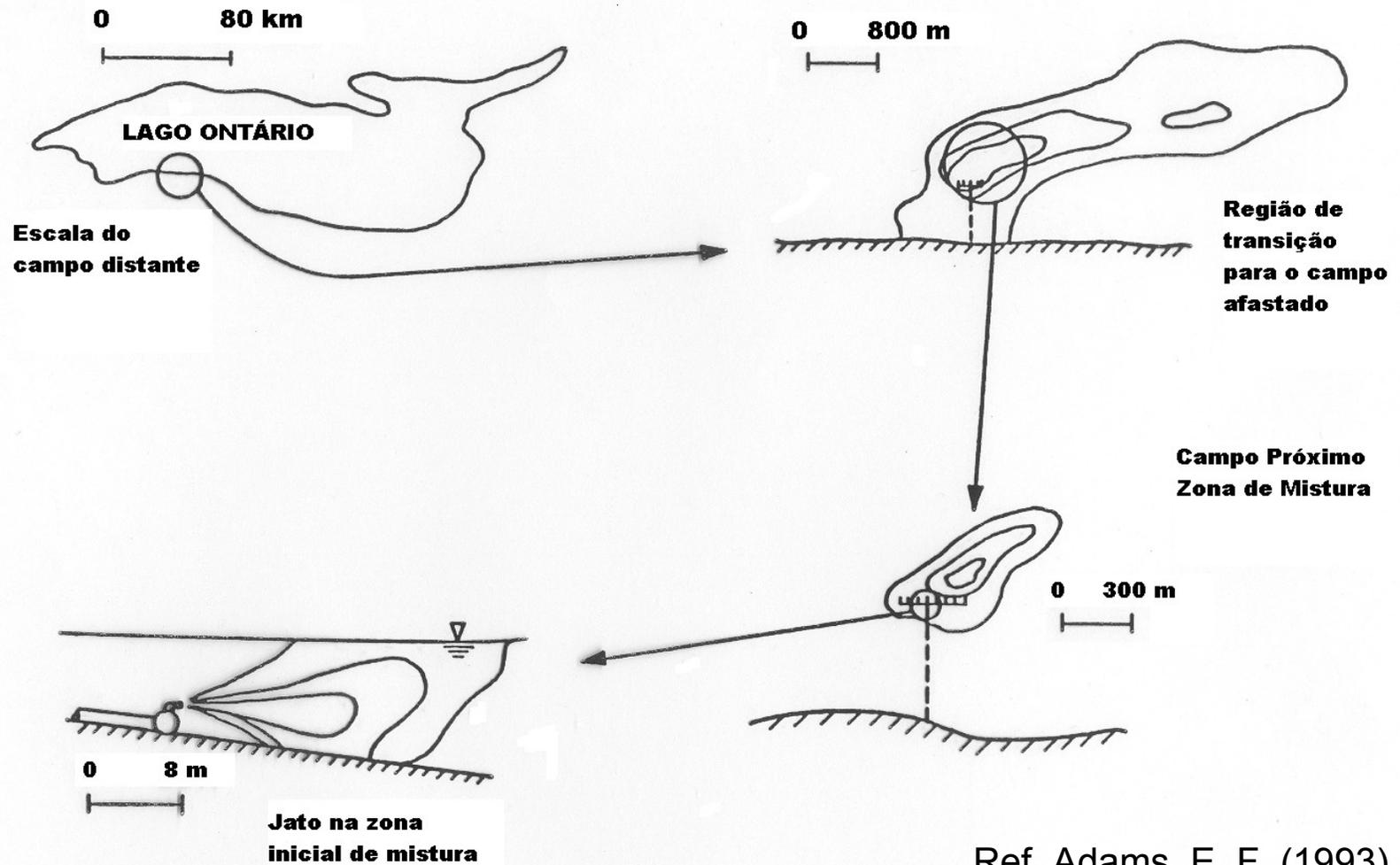
- Material: borracha vulcanizada reforçada com nylon ou poliéster;
- Tamanhos: $D = 25 \text{ mm}$ a 2400 mm , permitindo a conexão em tubos de concreto e em *risers* ou cotovelos do mesmo material.



Meta 3 - Modelos Físicos e Computacionais

A utilização de modelagem para a simulação do processo de dispersão da pluma de efluente em oceano, reproduzindo-se a zona de mistura, constitui-se hoje numa ferramenta poderosa para o processo de decisão, dos órgãos ambientais e das empresas que operam sistemas de emissários submarinos.

Escalas (campos próximo e distante)



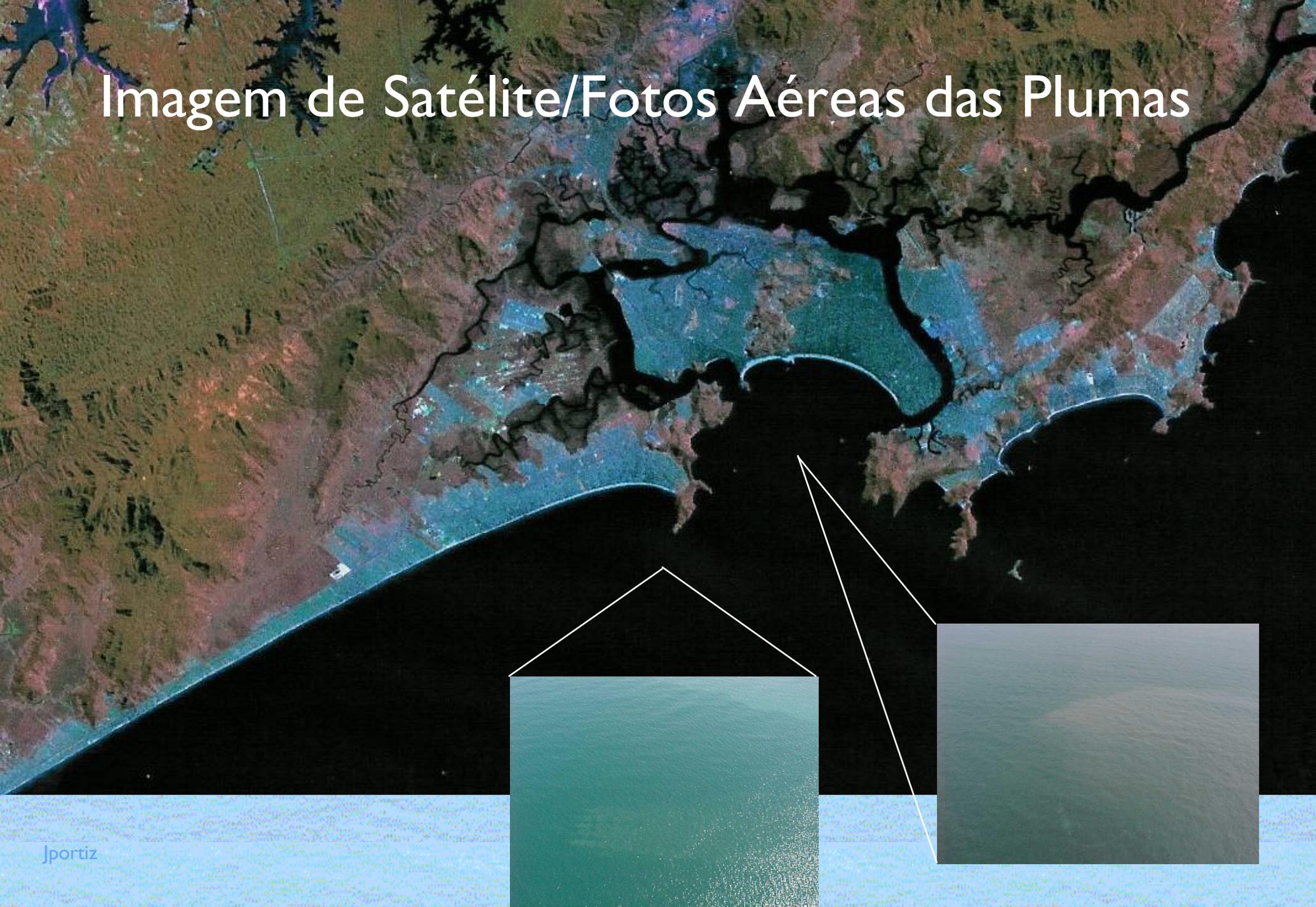
Ref. Adams, E. F. (1993)

Exemplos de Modelos Computacionais

- **Campo próximo: CORMIX; PLUMES; RSB etc**
- **Campo distante utilizando DFC: FLUENT; MIKE 2I; DELFT 3D etc**

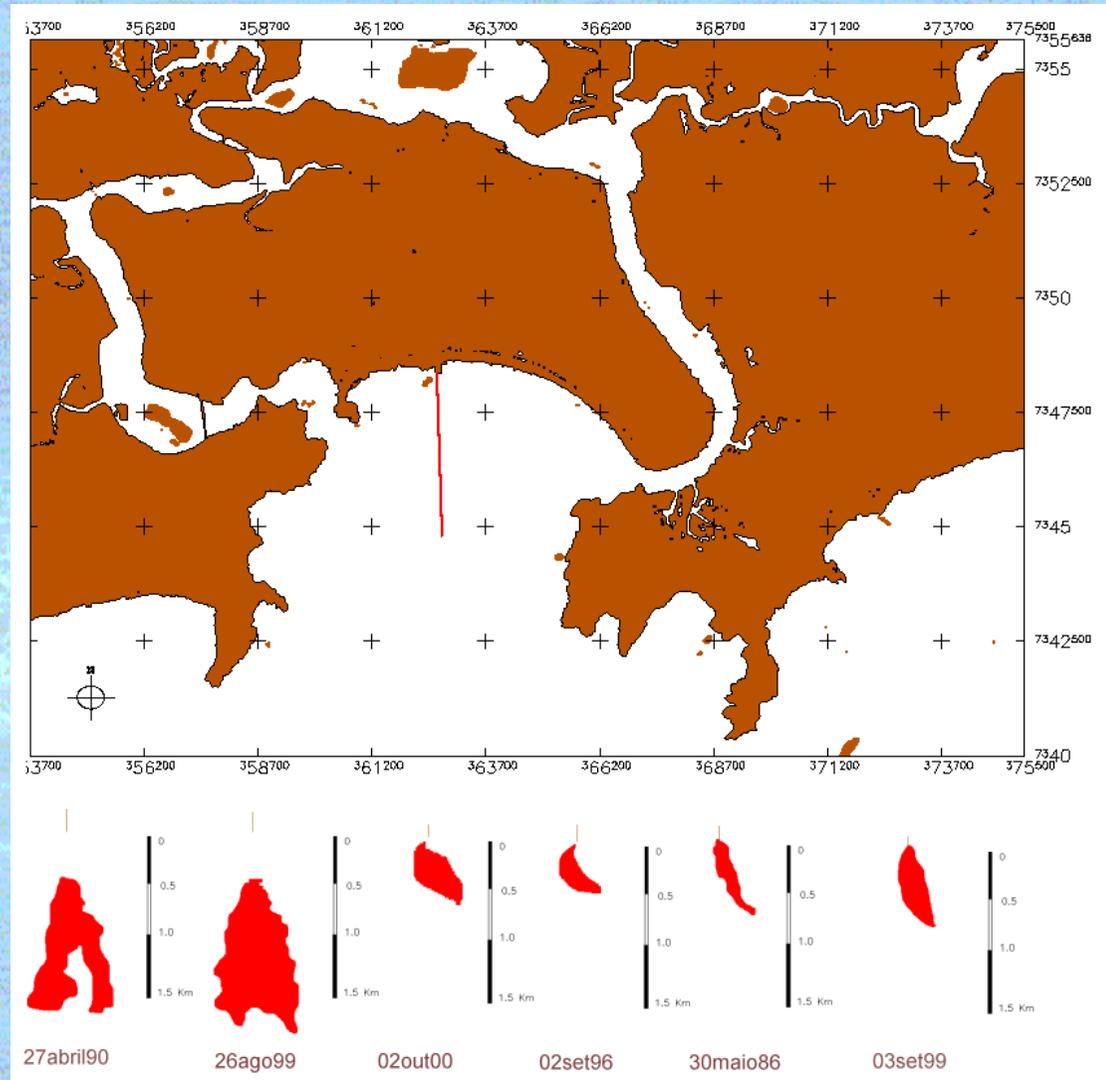
Acoplamento de modelos hidrodinâmicos e de qualidade da água

Imagem de Satélite/Fotos Aéreas das Plumias



Imagens de Satélite e CORMIX

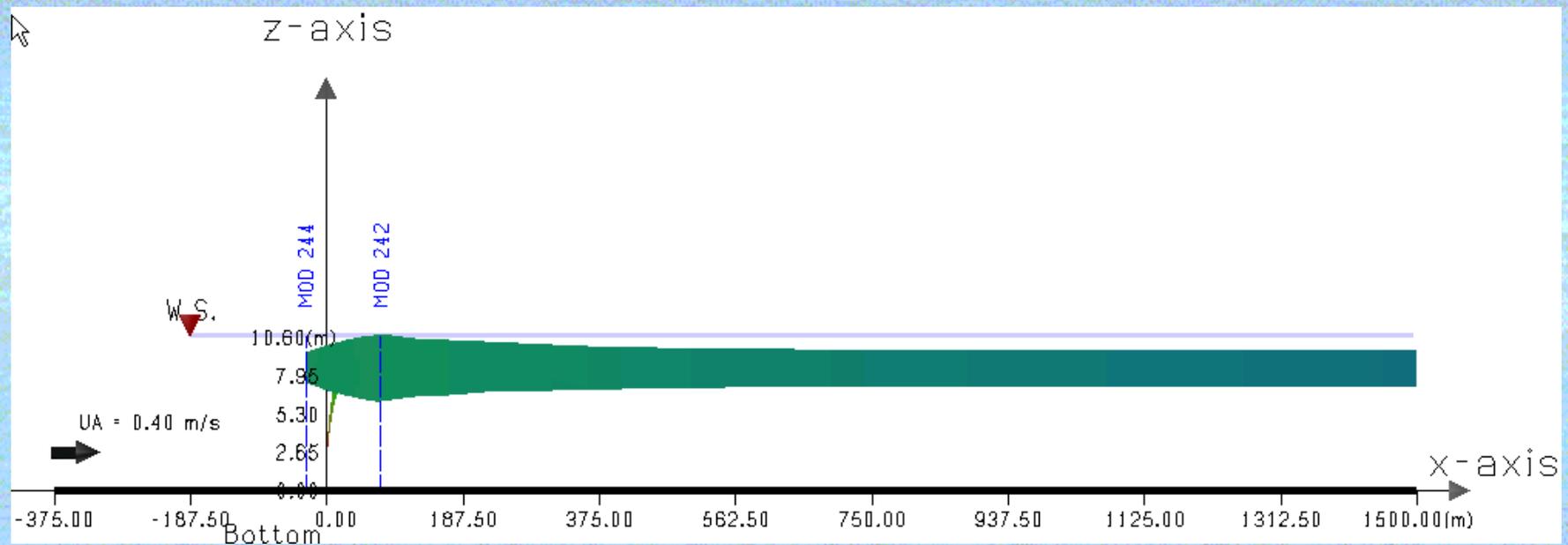
Delimitação das plumas mapeadas na Baía de Santos



Imagens de Satélite e CORMIX

Aplicação ao Emissário de Santos

Vista lateral da simulação da pluma, mostrando que a mesma chega à superfície mas em seguida “afunda” e permanece abaixo da superfície



Modelo Físico - Características

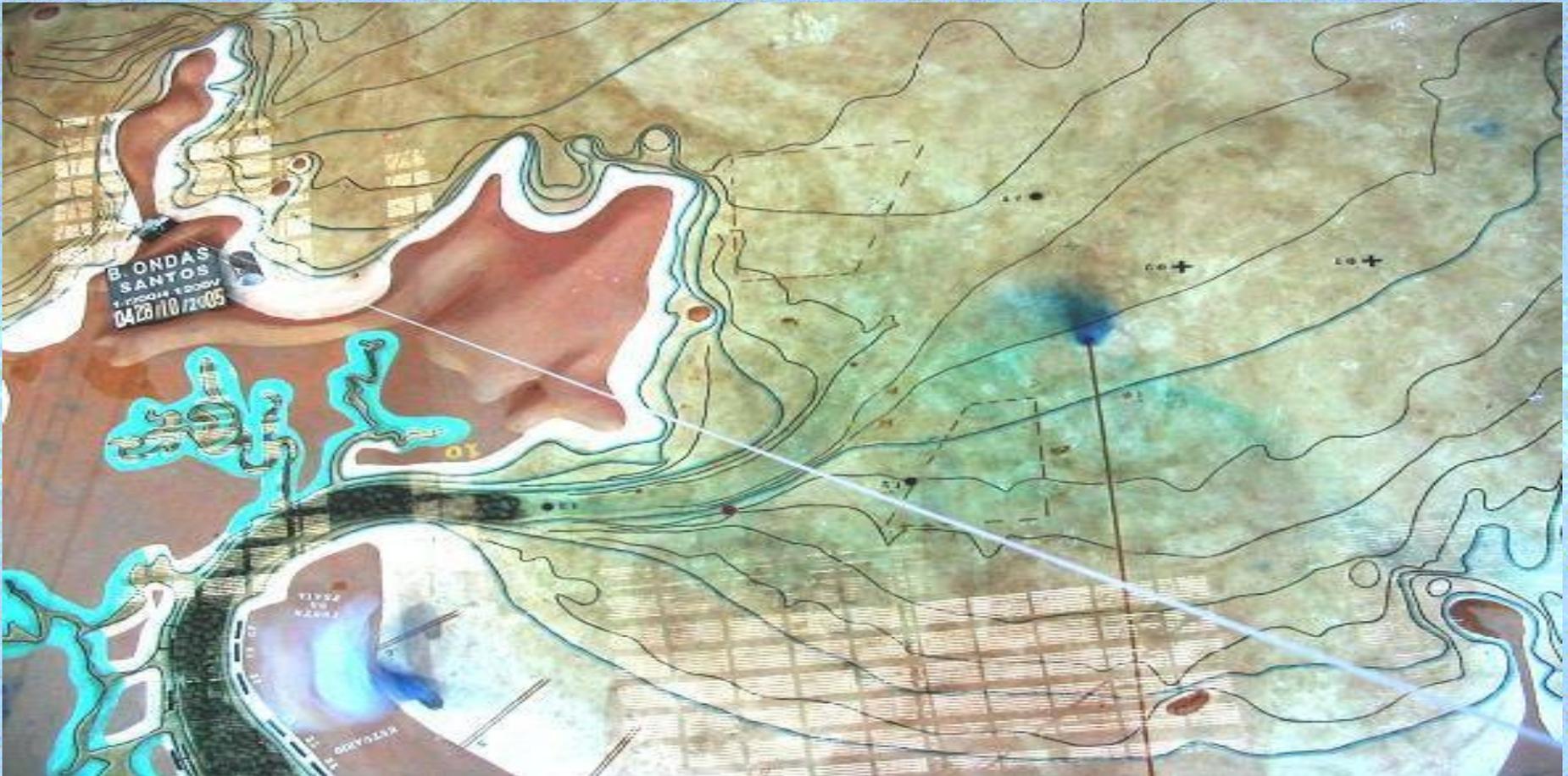
- Um modelo hidráulico distorcido foi construído no CTH;
- Escalas: horizontal 1:1200 e vertical 1:200;
- Emissários Submarinos representados: Santos, Guarujá e Praia Grande;
- Estuário de Santos e canal do porto de Santos representados;
- Simulações físicas feitas considerando diferentes comprimentos do Emissário de Santos: 4 km e 5 km.

Modelo Físico



Modelo Físico – Condição Atual (4 km)

- Pluma efluente após 5,5 ciclos e meio de maré



Modelo Físico – Testes com 5 km

- Pluma efluente após 6 ciclos de maré



Modelo Físico



Modelo Físico



Simulação Computacional usando DFC

Geração da Malha – Baía de Santos

Malha não-estruturada com elementos triangulares totalizando 44.063 nós e 85.138 faces.

Canal do Mar Pequeno

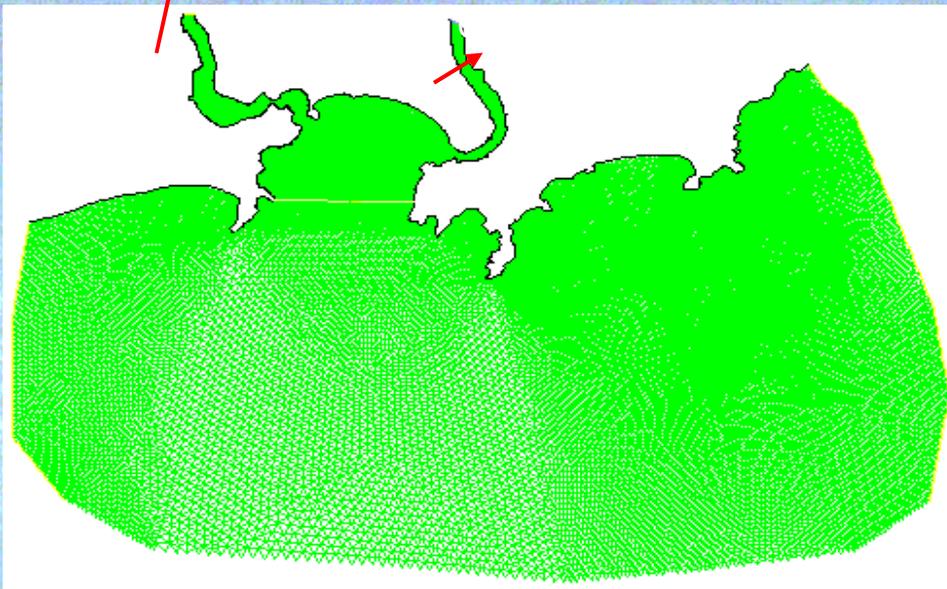


Figura 4. Malha computacional não-estruturada da Baía de Santos representando o Canal do Porto e o Canal do Mar Pequeno.

Canal do Porto

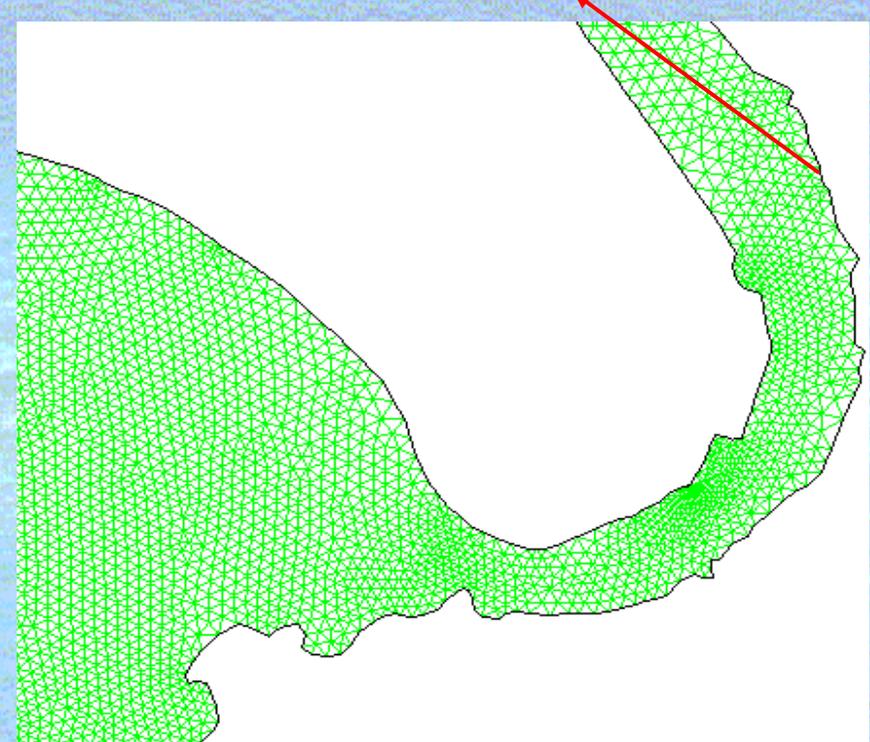


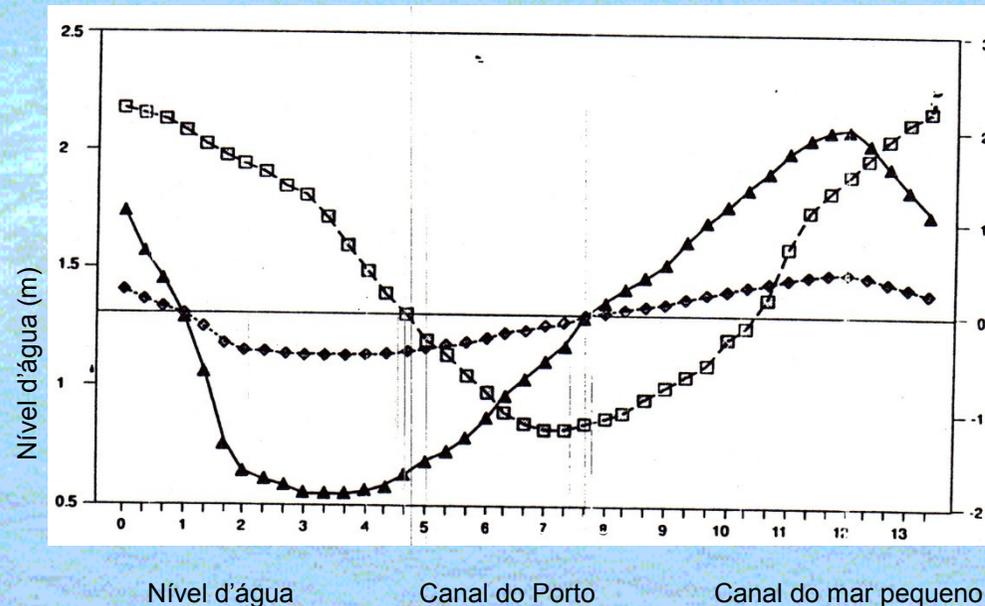
Figura 5. Elementos triangulares da malha no Canal do Porto.

Simulação Computacional usando DFC

Cenários de Análise e Condições de Contornos

Submarine Outfalls	C_o (mg/L)	C_{FNF} (mg/L)	S_{FNF}	Q (m^3/s)	U_c (m/s)	X (m)	Y (m)	Z (m)	B (m)
Santos	5.24	0.0837	62.6	5.3	0.15	112.26	0	11	100.69
Guarujá	5.24	0.005	1053.5	1.45	0.45	217.78	0	14	121.39
Praia Grande 1	5.24	0.0421	124.4	1.041	0.45	58.8	0	11.2	12.84

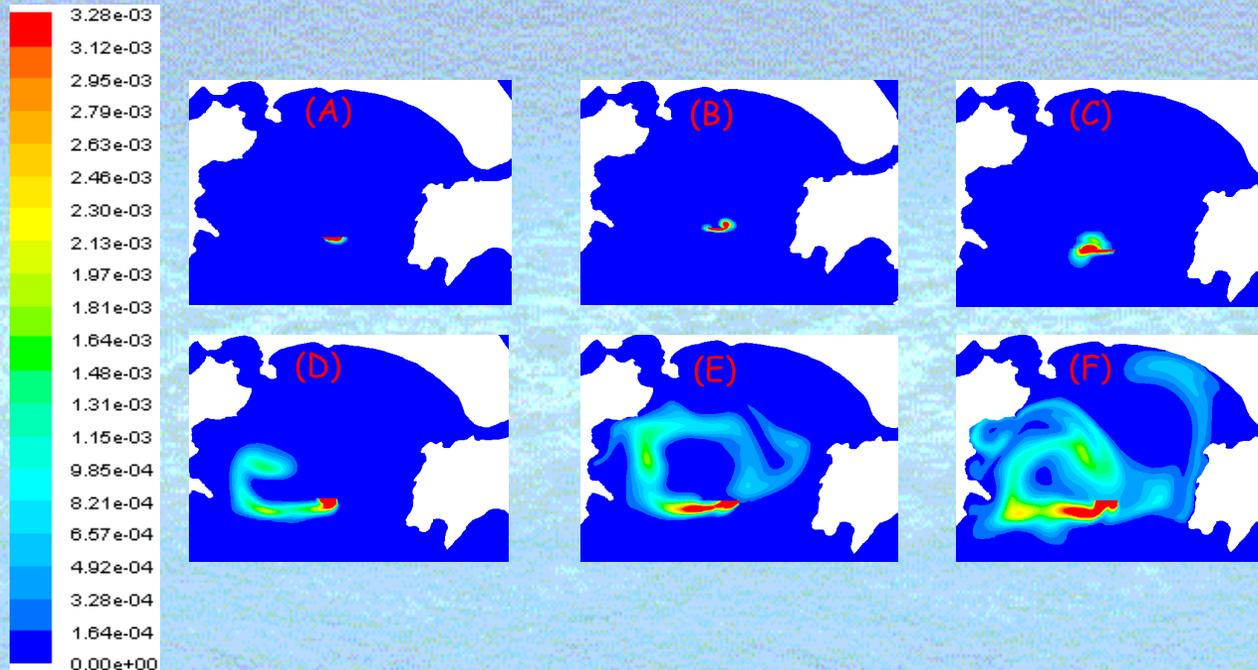
Figura 8. Variação do nível d'água junto com a vazão não-permanente nos Canais do Porto e do Mar Pequeno.



Simulação Computacional usando DFC

Resultados - Cenário

EMISSÁRIOS	Q (m ³ /s)	C _{FNF} (mg/L)	CANAL DO PORTO	CANAL DO MAR PEQUENO	VENTO (m/s)
Santos	5,3	0,0837	Transiente	Transiente	2
Guarujá	1,45	0,005	-----	-----	2
Praia Grande 1	1,04	0,0421	-----	-----	2



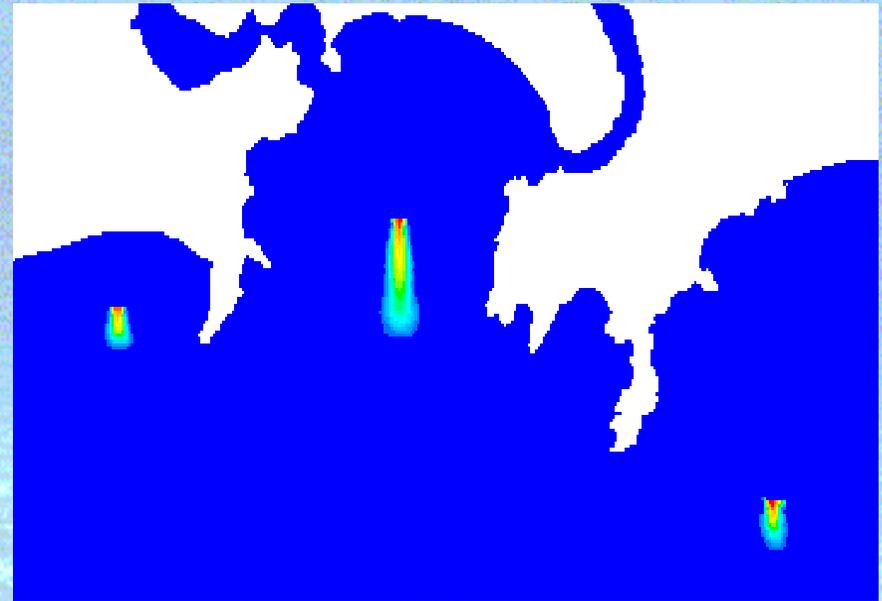
Contornos de concentração da pluma em mg/L com ação do vento nos seguintes instantes do tempo do ciclo de maré: (A) 1/4; (B) 1/2; (C) 1; (D) 3; (E) 6 e (F) 12.

Simulação Computacional usando DFC

Resultados – com ausência dos transientes e de vento



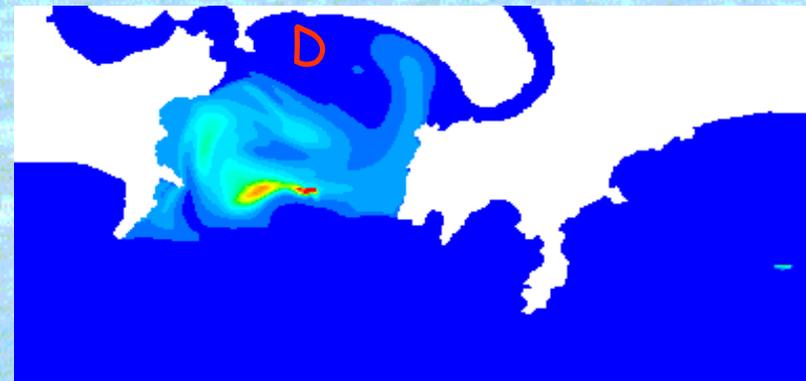
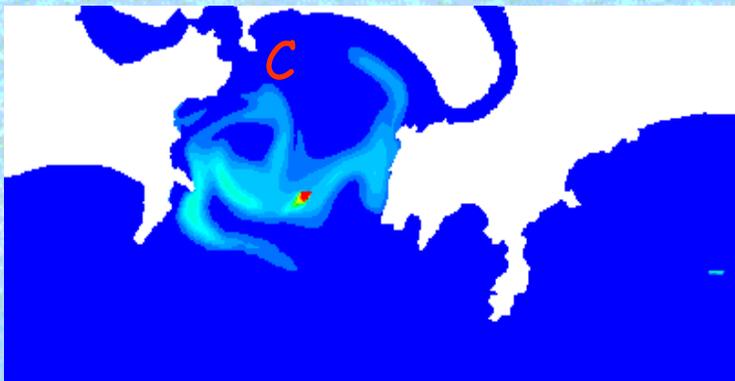
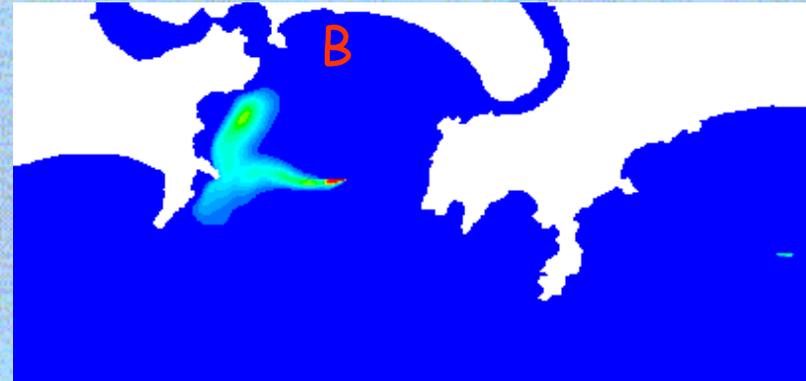
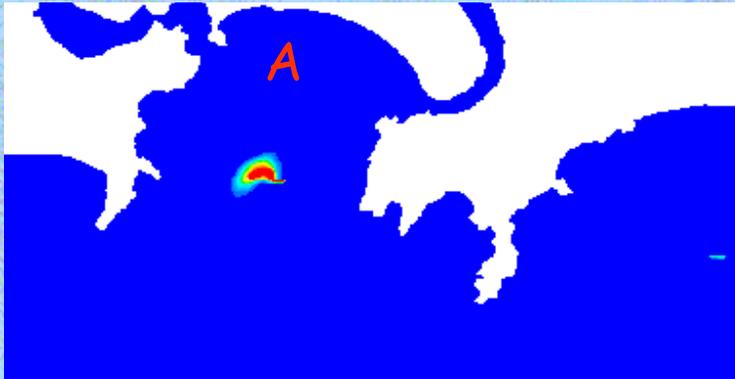
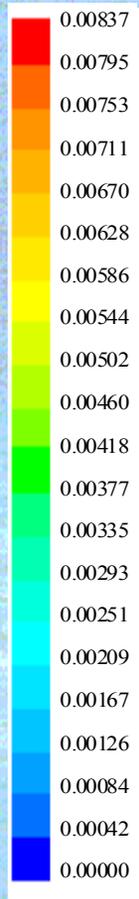
1 ciclo



18 ciclos

Simulação Computacional usando DFC

Resultados – com presença dos transientes e de vento



(A) 1; (B) 3; (C) 6 e (D) 12 ciclos

Modelagem DFC - A Simulação do Processo de Dispersão no Canal de São Sebastião - Emissário do Tebar

Os principais parâmetros de simulação estão relacionados abaixo:

- Vazão máxima total de descarga do efluente = $0,208 \text{ m}^3/\text{s}$

Descarga horizontal através de 6 orifícios (área equivalente ao orifício circular com diâmetro de $0,15 \text{ m}$);

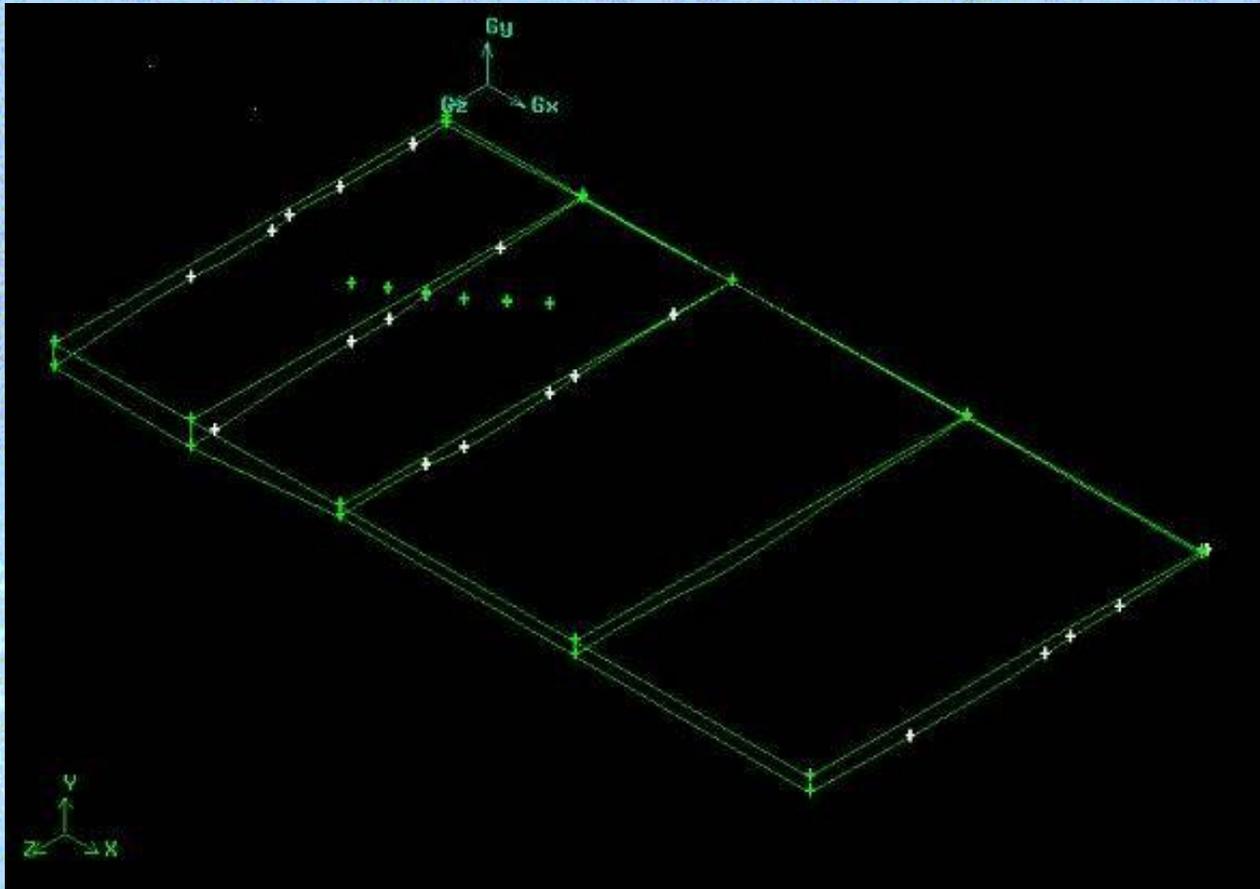
Fração em massa do elemento na descarga correspondente a $C_0 = 125,5 \text{ mg/l}$ (parâmetro amônia), e considerando a massa específica do efluente igual a $1036,7 \text{ kg/m}^3$, e da água do mar igual a 1026 kg/m^3 .

Estudo de caso: Canal de São Sebastião - TEBAR



Figura: Disposição das 2 linhas do emissário submarino em relação ao piers. (FUNDESPA, 2003).

Estudo de caso: Canal de São Sebastião - TEBAR

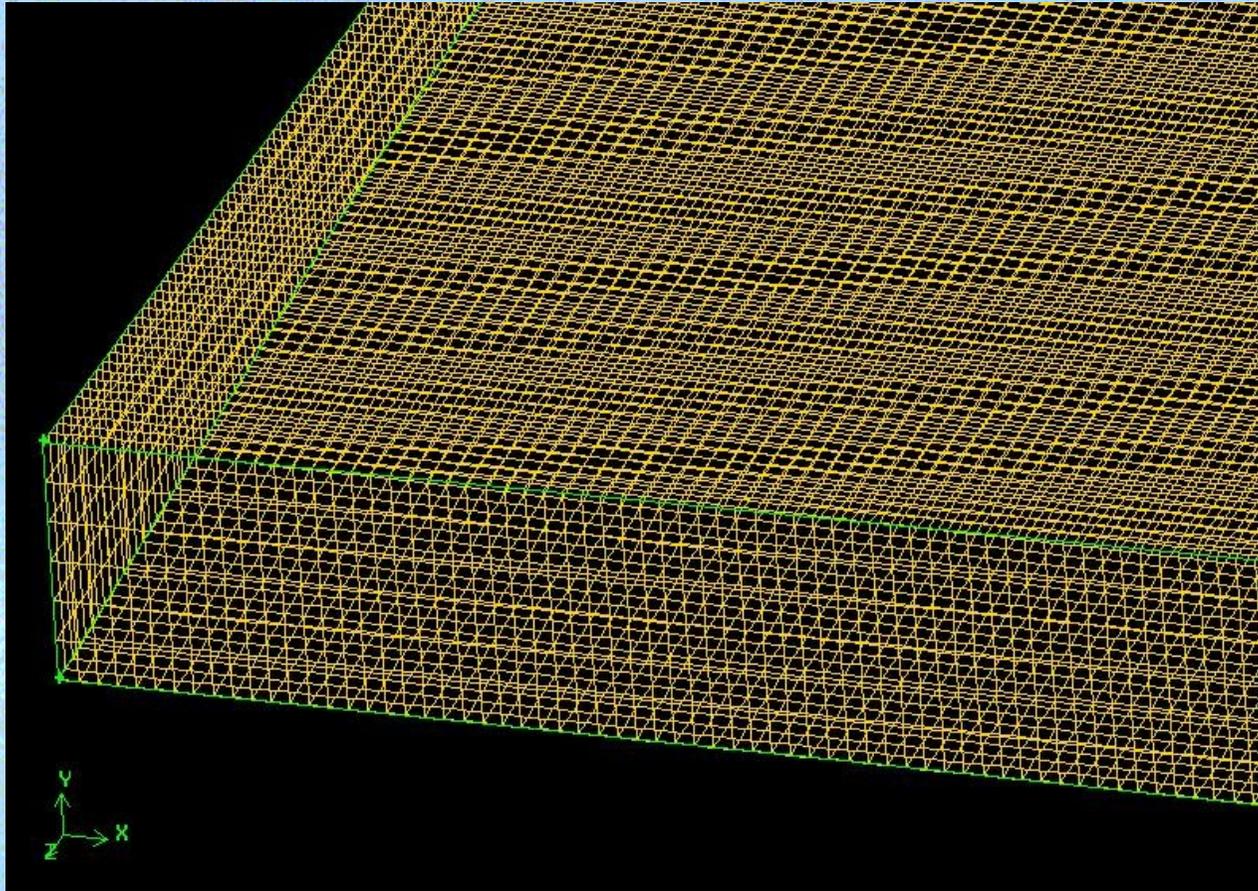


As dimensões geométricas do desenho são:

- comprimento: 915m;
- largura: 525m; e,
- profundidade máxima: -36m

Figura: Geometria do CSS, com os orifícios de saída plotados, referente a área circunvizinha do lançamento do efluente do Tebar, a partir da cota -10m de profundidade.

Estudo de caso: Canal de São Sebastião - TEBAR



- Foi utilizada uma malha estruturada do tipo hexaédrica.

- A malha 3D utilizada nas simulações é formada por um total de 655.452 volumes com refinamento uniforme.

- Cada célula tem as seguintes características:

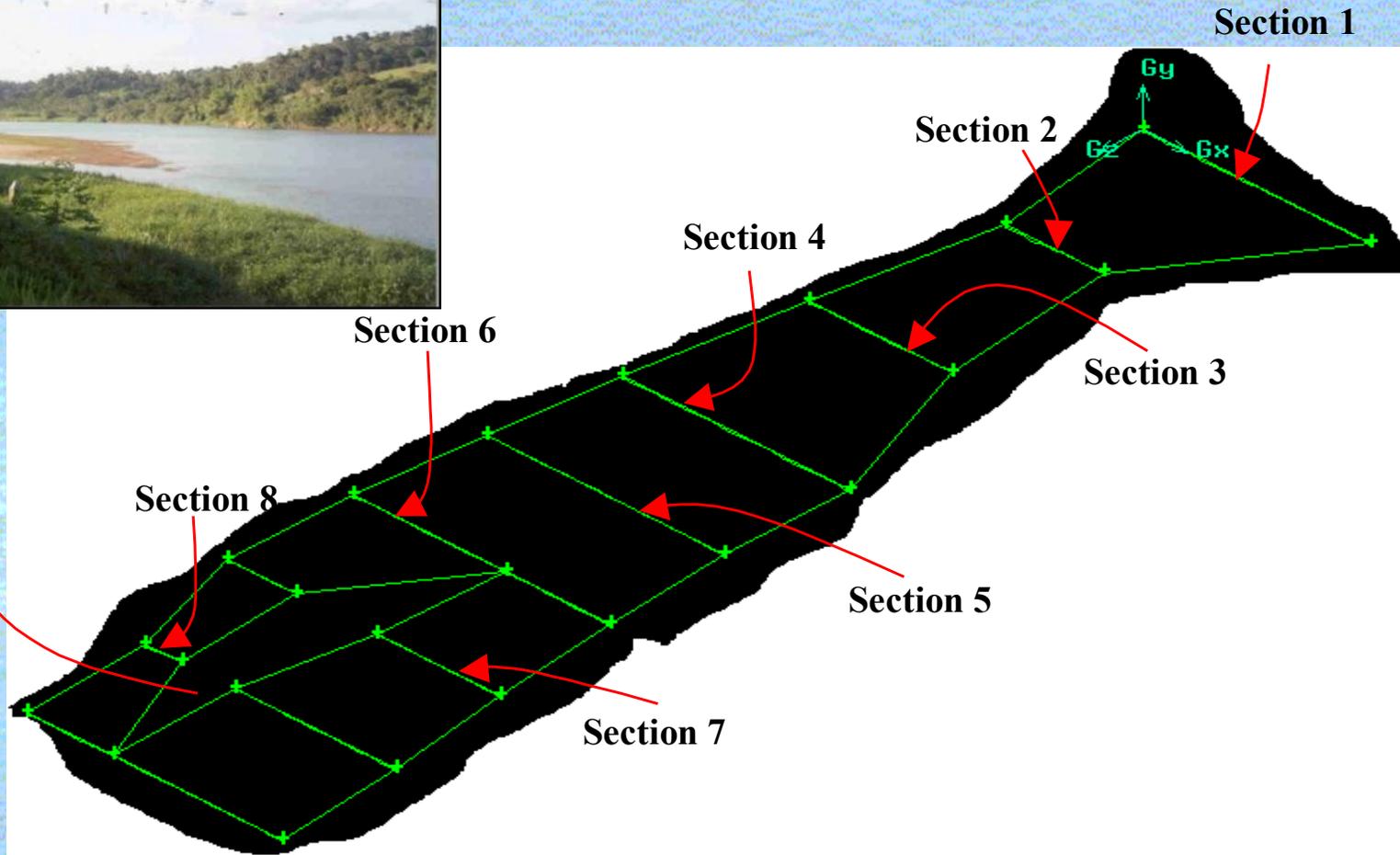
- Comprimento (G_x) e largura (G_z) de aproximadamente 2m; e,
- Altura (G_y) de 4,33m.

Figura: Detalhamento da malha estruturada hexaédrica de uma parte da geometria do CSS.

Estudo de caso: Canal de São Sebastião - TEBAR

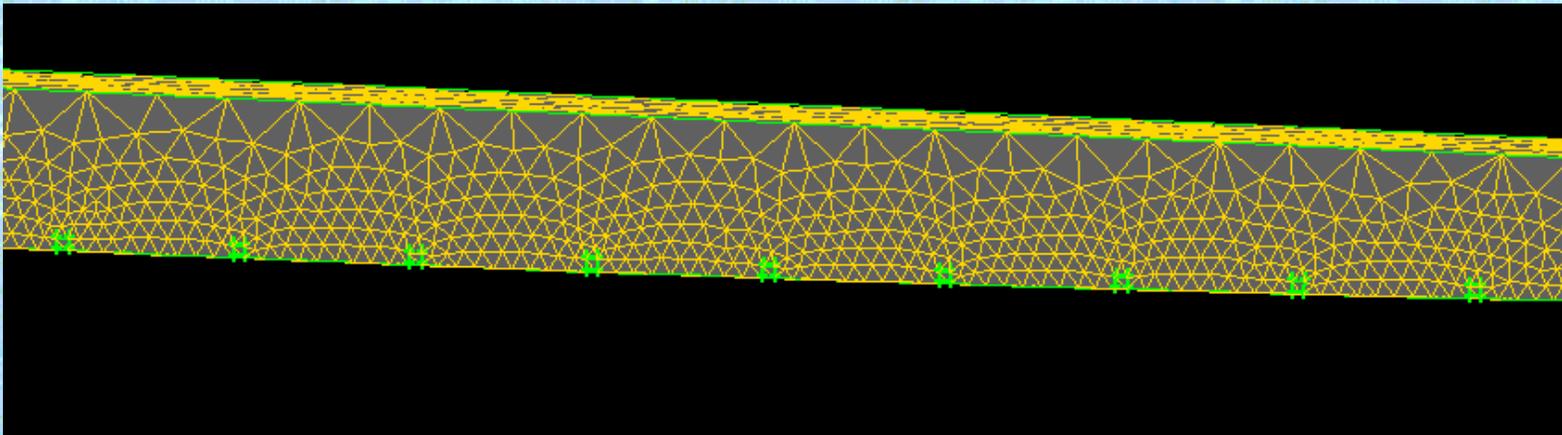
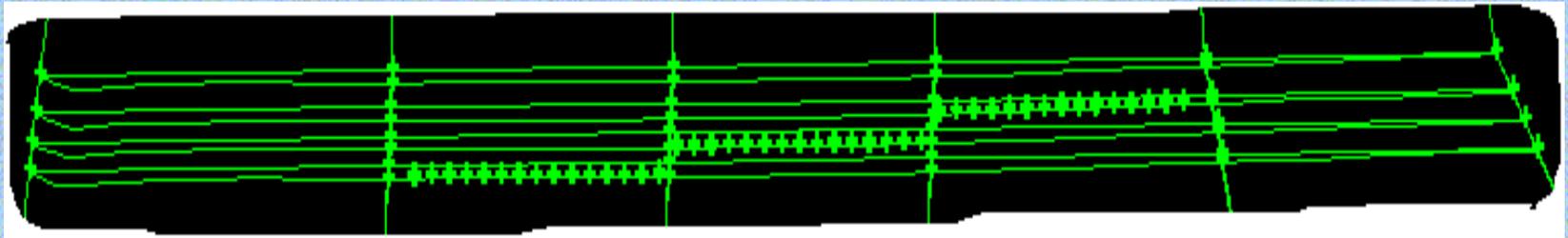


Emissário Subaquático



Emissário Subaquático

$Q_{rio} = 76 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{rio} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$.
Zona de Mistura $\cong 1000 \text{ m}$



Meta 4 –Subsídios a regulamentação da Zona de mistura e ao monitoramento

Em seu texto, no Artigo 33, a Resolução CONAMA 357 / 05 descreve, em relação à zona de mistura de efluentes:

“... o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.”

E continua em seu Parágrafo único:

“A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.”

Conclusões

- ❖ Os trabalhos aqui apresentados agregam informações tecnológicas importantes para o processo de tomada de decisão na definição do saneamento básico do litoral brasileiro.
- ❖ Há necessidade da continuidade do trabalho apoiada principalmente nas informações de operação dos emissários, no uso intensivo da modelagem computacional e física, no monitoramento da pluma e no investimento em tecnologia.
- ❖ Contribuem para a revisão do artigo 34 da Resolução CONAMA.

Obrigado