

**. MODELAGEM DE FLUIDO DE PREENCHIMENTO  
CAMPO DE MEXILHÃO | POÇO PMXL-1**

RELATÓRIO

Para: HABTEC Engenharia Ambiental

abr-06

## **. ÍNDICE**

<b>I_ INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>II_ CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>III_ CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE.....</b>	<b>6</b>
<b>IV_ ESTRATÉGIA DE MODELAGEM .....</b>	<b>8</b>
<b>IV_1. Modelo Adotado .....</b>	<b>8</b>
<b>IV_2. Representação de Descartes de Longa Duração .....</b>	<b>9</b>
<b>V_ RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>VI_ CONCLUSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>VII_ BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>20</b>



## I\_ INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do fluido de preenchimento a ser descartado no poço PMXL-1 do Campo de Mexilhão, Bacia de Santos. De particular interesse é a concentração de glutaraldeído, biocida presente no fluido cujas presença na coluna d'água será aqui monitorada.

A metodologia usada no estudo bem como os resultados apresentados visam atender às exigências do termo de referência emitido pelo ELPN/IBAMA para o licenciamento da atividade.

## II\_ CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

O poço em questão será localizado à  $24^{\circ} 21' 9,66''$  S e  $44^{\circ} 22' 56,45''$  W, na Bacia de Santos, na direção da baía da Ilha Grande, litoral Sul do Estado do Rio de Janeiro. A profundidade local é de aproximadamente 172 metros.

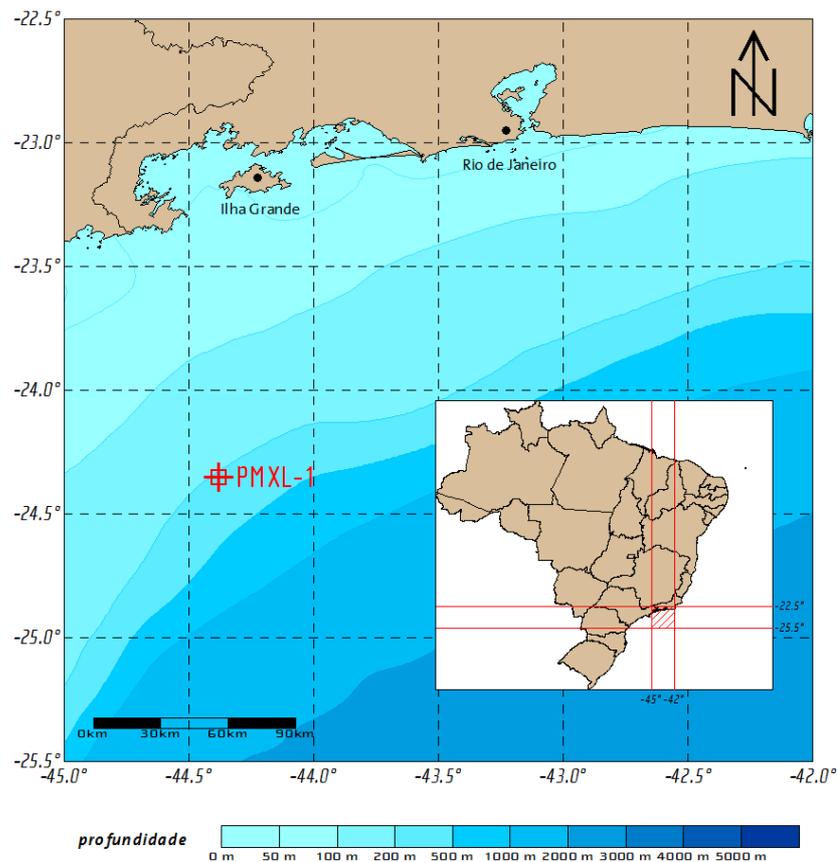


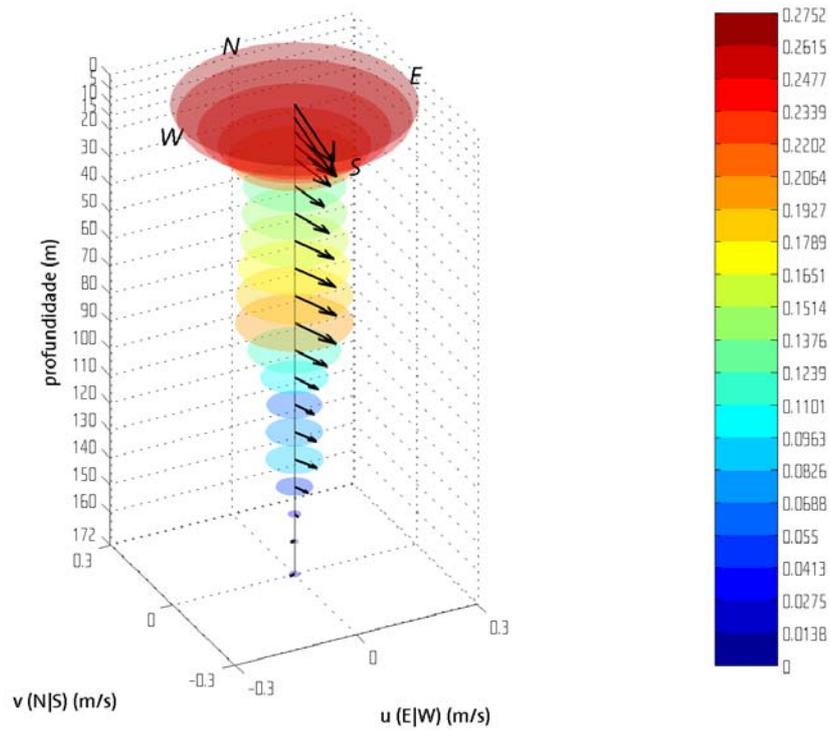
Figura 1: Localização do poço PMXL-1.

A falta da disponibilidade de dados de corrente medidos ao longo da costa brasileira com quantidade e duração suficientes faz com que aspectos da dinâmica oceânica ainda sejam desconhecidos. Sabe-se que a Corrente do Brasil (CB) é a principal feição presente nas primeiras centenas de metros da região considerada neste estudo. Em linhas gerais, pode-se classificá-la como uma corrente de contorno oeste que flui do norte para o sul sobre a região da quebra da plataforma continental, desde a superfície até 500 m de profundidade, aproximadamente (Peterson & Stramma, 1990; Silveira et al, 2001). Porém, pouco se conhece a respeito da variabilidade espaço-temporal da CB, embora hoje admita-se que tal variabilidade possa ser considerável e a noção de que a CB apresente um fluxo constante como um rio seja cada vez menos aceita.

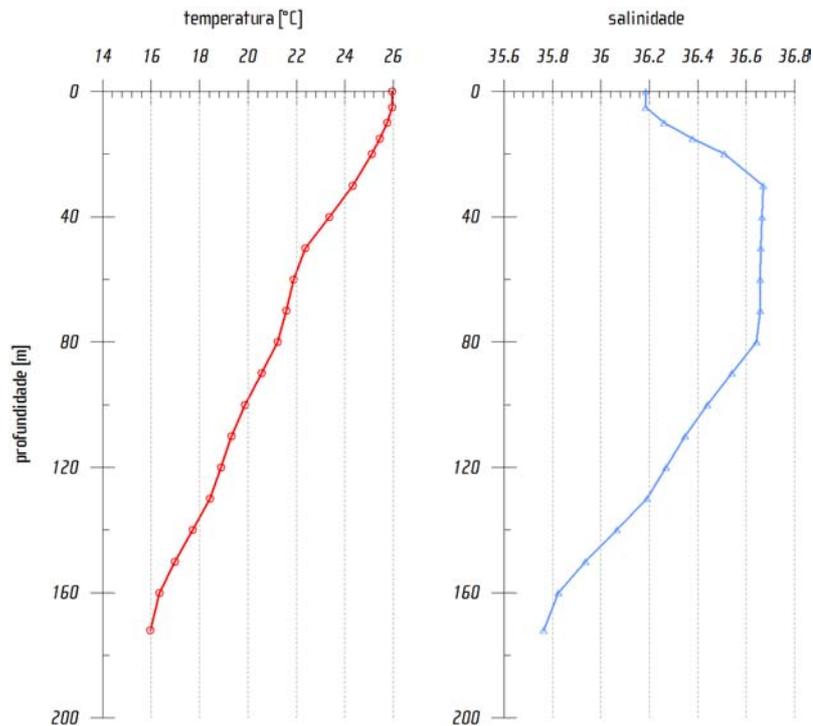
Associadas à CB, existem feições transientes como *eddies* (feições meandranes) e vórtices, detectados por imagens de satélites e medições diretas (Schmid et al., 1995). Abaixo da CB há uma corrente fluindo em sentido oposto, a Contra Corrente Intermediária (CCI, Lima, 1997). A profundidade na qual a CCI flui parece variar entre 800 e 400 m, aproximadamente, dependendo da região.

Portanto, em virtude do desconhecimento da dinâmica das correntes, torna-se difícil estabelecer um perfil de corrente típico da região para utilizar como forçante no modelo de dispersão. Nessa simulação foi utilizado então um perfil de corrente (Figura 2) e de temperatura e salinidade (Figura 3) resultante de modelagem numérica com condições de contorno e iniciais obtidas por Fragoso (2004) e que se ajustam às principais características descritas na literatura.





**Figura 2: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.**



**Figura 3: Perfis verticais de temperatura e salinidade utilizados nas simulações numéricas.**

Pode-se observar correntes com direção sudoeste em superfície, sendo que a maior velocidade encontra-se em torno dos 50m de profundidade (aproximadamente de 0,3 m/s), compatível com as características da CB, que apresenta direção e velocidades semelhantes e núcleo por volta de 100 m.

Abaixo dos 100 m as correntes começam a diminuir de intensidade e mudar a direção em função do atrito com o fundo.

### **III\_ CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE**

O descarte ocorrerá de forma ininterrupta durante 15 dias, lançando ao mar aproximadamente 70000 m<sup>3</sup> de fluido de preenchimento. Sua posição na coluna d'água é próxima à superfície e a densidade do efluente (1026,83 kg/m<sup>3</sup>) possui valores similares aos de águas oceânicas superficiais (1025 kg/m<sup>3</sup>). Um resumo das características do descarte é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: Características do descarte.**

<b>parâmetro</b>	<b>valor</b>	<b>unidade</b>
Profundidade de descarte	10.00	m
Diâmetro da Fonte	1.20	m
Ângulo em relação à superfície	90.00	°
Duração do Descarte	360.00	h
Vazão	194.44	m <sup>3</sup> /h
Densidade do efluente	1026.83	kg/m <sup>3</sup>
Temperatura	15.00	°C
Salinidade	36.05	

O contaminante a ser monitorado ao longo do estudo é um glutaraldeído, biocida presente em concentração de 300 ppm no fluido. Seguindo os testes de toxicidade do composto, serão monitorados ao longo do descarte alguns limiares de concentração de particular interesse ao estudo, a saber:

- 0,93 ppm [CL50]: Concentração Letal para 50% da população;
- 0,006 ppm [VC]: Concentração onde são observados efeitos crônicos na população;
- 0,003 ppm [CENO]: Concentração de Efeito Não-Observado.



## **IV\_ ESTRATÉGIA DE MODELAGEM**

### **IV\_1. MODELO ADOTADO**

O modelo escolhido para este trabalho é conhecido pelo nome OOC (*Offshore Operators Committee*) e foi desenvolvido especialmente para simulações de descarte de efluentes de plataformas de petróleo.

O modelo OOC simula o comportamento de uma pluma de efluente desde o momento de descarte até um instante e distância determinados pelo usuário. Para tanto, o modelo trabalha em três módulos distintos, encarregados, cada um, de uma diferente fase da pluma.

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada em um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento que deixa a fonte até que encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que estabilize-se no nível de flutuação neutra. Esta fase, também conhecida como *fase de jato*, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

Finda a primeira etapa, o efluente se espalhará na profundidade em que estabilizou-se devido ainda à diferença de densidade com o meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Neste momento tem início a última fase, de dispersão passiva, onde o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte particulado, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. O OOC aplica a dispersão passiva separadamente para cada constituinte do efluente.

Com o OOC, é possível obter resultados para a concentração de traçadores conservativos ao longo da coluna d'água. Estes resultados são gerados em grades cuja resolução é determinada pelo usuário no início da simulação.

Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Brandsma & Smith (1999).



## IV\_2. REPRESENTAÇÃO DE DESCARTES DE LONGA DURAÇÃO

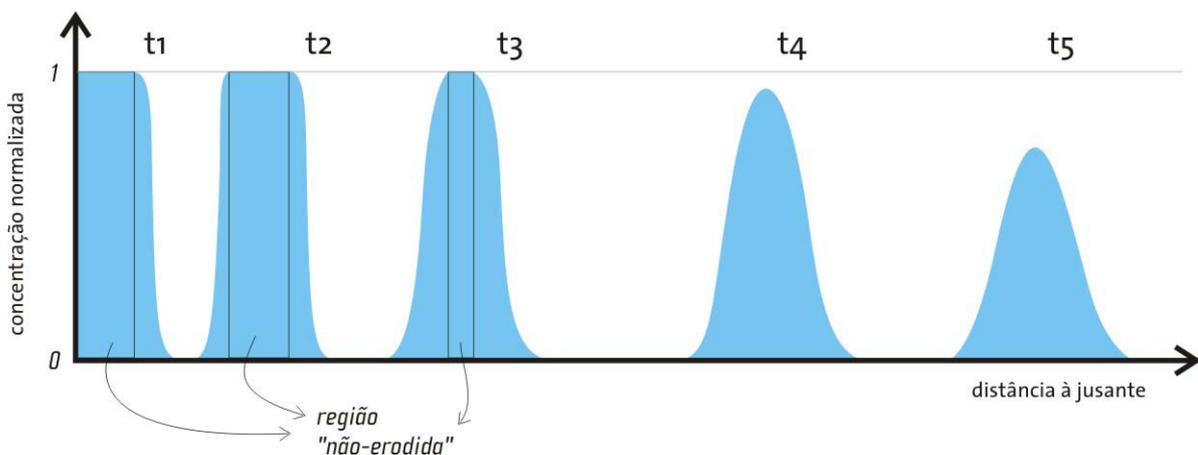
O modelo OOC foi originalmente desenvolvido para simular descartes intermitentes de fluidos de perfuração, cuja duração é de aproximadamente 1 hora. No entanto, ao considerar correntes estacionárias, é possível representar um descarte de longa duração através de uma série de descartes curtos.

Interessa, neste estudo, o conhecimento da diluição e espalhamento do biocida em função da distância do ponto de descarte. Para tanto, a duração do descarte precisa ser apenas longa o suficiente para que a concentração do contaminante atinja um estado estacionário a cada distância/tempo estudado.

Considere-se um volume de fluido lançada ao mar durante um determinado intervalo de tempo e sob influência de uma corrente  $U$ . Este volume encontra-se uniformemente distribuído em um intervalo de comprimento  $L$  à jusante da fonte.

Desta forma, um observador também situado à jusante, ao ser alcançado por pela borda dianteira desta "mancha" notará que a concentração subitamente deixa de ser zero e, após a sua passagem, retorna a zero.

Na Figura 1 é apresentada em um corte longitudinal, uma representação esquemática do deslocamento de uma mancha de fluido. A medida em que desloca-se com a corrente e afasta-se da fonte, as bordas desta mancha serão "erodidas" pela difusão turbulenta.



**Figura 4: Representação esquemática da “erosão” por difusão turbulenta de um volume de fluido despejado ao mar.**

No instante  $t_1$ , enquanto o descarte ainda ocorre, somente a borda dianteira da mancha é erodida. Nos instantes  $t_2$  e  $t_3$ , ambos extremos da mancha são erodidos, entretanto, uma região central permanece intacta, ou seja, a concentração permanece em um estado estacionário. A extensão

desta região irá diminuir com o passar do tempo e, a partir do instante  $t_4$ , não há mais região não-erodida na mancha (a concentração não atinge mais seu valor máximo).

Esta demonstração indica que é possível calcular os tempos de início e fim da condição estacionária de um descarte de duração  $T_{jato}$  para uma determinada distância  $X$  à jusante da fonte.

Primeiro, é necessário que se estime as dimensões desta região de erosão em função do tempo. Uma equação para a região estacionária, baseada na lei de 4/3 de Kolmogorov, é apresentada por Brandsma e Smith (1999):

$$\sigma = \sigma_0 \left[ 1 + 4^{4/3} \frac{2}{3} \left( \frac{A_L \Delta t}{\sigma_0^{2/3}} \right) \right]$$

Onde  $\sigma_0$  é a região estacionária inicial, (deve ser ínfima porém diferente de zero devido à forma da equação),  $\Delta t$  é o tempo nominal de transporte (simplesmente a razão entre a distância de interesse e a velocidade da corrente,  $\Delta t = X/u$ ).  $A_L$  é o parâmetro de dissipação, cujo valor no OOC é de  $4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^{2/3}/\text{s}$ .

Usando esta equação, os tempos de início e fim do estado estacionário da concentração a uma distância  $X$  da fonte são estimados por:

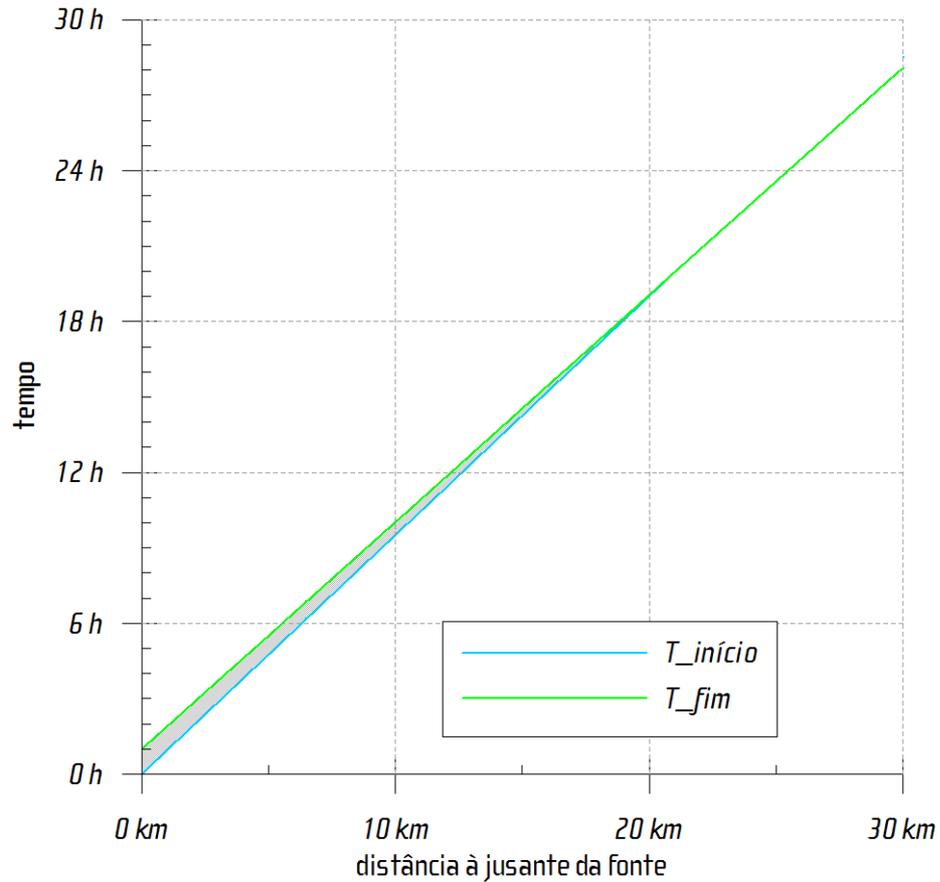
$$T_{início} = \frac{X + 4\sigma}{u}$$

$$T_{fim} = \frac{X - 4\sigma}{u} + T_{jato}$$

Assim, contanto que  $T_{início} < T_{fim}$ , uma condição estacionária pode ser encontrada para uma determinada distância com uma dada duração de descarte.

Um exemplo prático pode ser extraído da Figura 5. Nela é apresentada a variação com a distância da fonte do tempo de início (em azul) e fim (em verde) da condição estacionária para um descarte de 1 hora de duração, sob influência de uma corrente de 1 m/s.





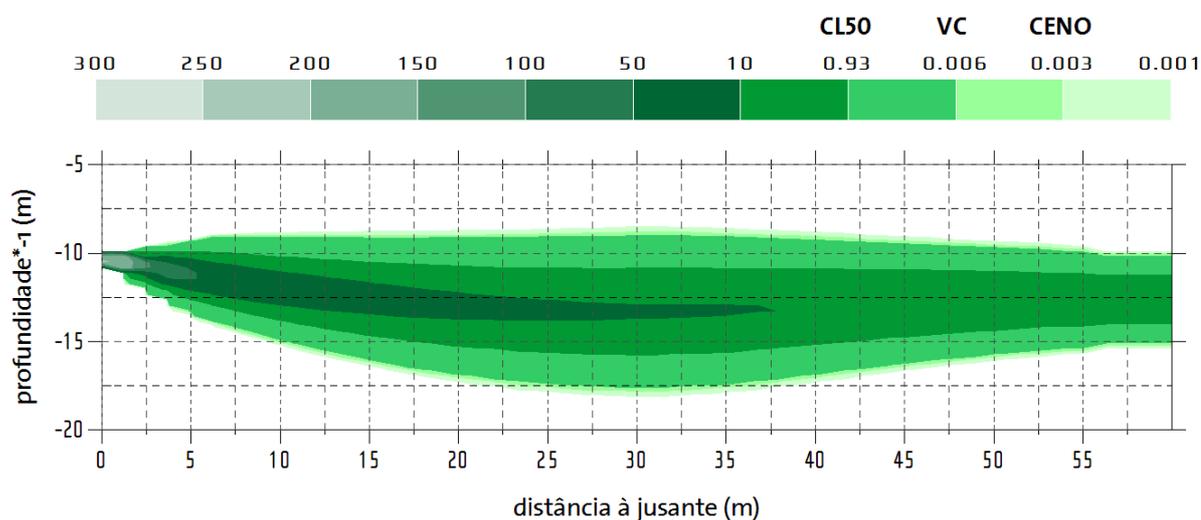
**Figura 5: Variação dos tempos de início e fim da condição estacionária de concentração com a distância da fonte para um descarte de 1 hora de duração e corrente de 1 m/s.**

Nota-se que para estas condições de descarte para capturar a condição estacionária a 5 km de distância da fonte as medições devem ser realizadas em aproximadamente 5 horas após o início do descarte irá. Da mesma forma, para distâncias superiores a 20 km, não há mais a condição estacionária, ou seja,  $T_{início} > T_{fim}$ .

## V\_ RESULTADOS

Seguindo a metodologia proposta no item anterior, o descarte de 15 dias a ser realizado foi representado por uma série de descartes mais curtos calculados em distâncias e tempos que obedecessem aos preceitos apresentados. Nestes descartes, foram considerados para os cálculos de  $T_{início}$  e  $T_{fim}$ , uma corrente de 0,27 m/s, e uma dimensão inicial  $\sigma_0$  de 1 m.

A primeira grade projetada para a simulação do descarte cobre a região de 0 a 60 metros de distância da fonte. Considerou-se neste caso uma simulação de 4 horas (14400 segundos). Assim sendo, têm-se que  $T_{início} = 0,067$  h (aproximadamente 4 minutos) e  $T_{fim} = 4,05$  h. A estimativa de concentração foi então realizada entre estes tempos, no instante  $t=2$  h. O resultado obtido é apresentado na Figura 6.



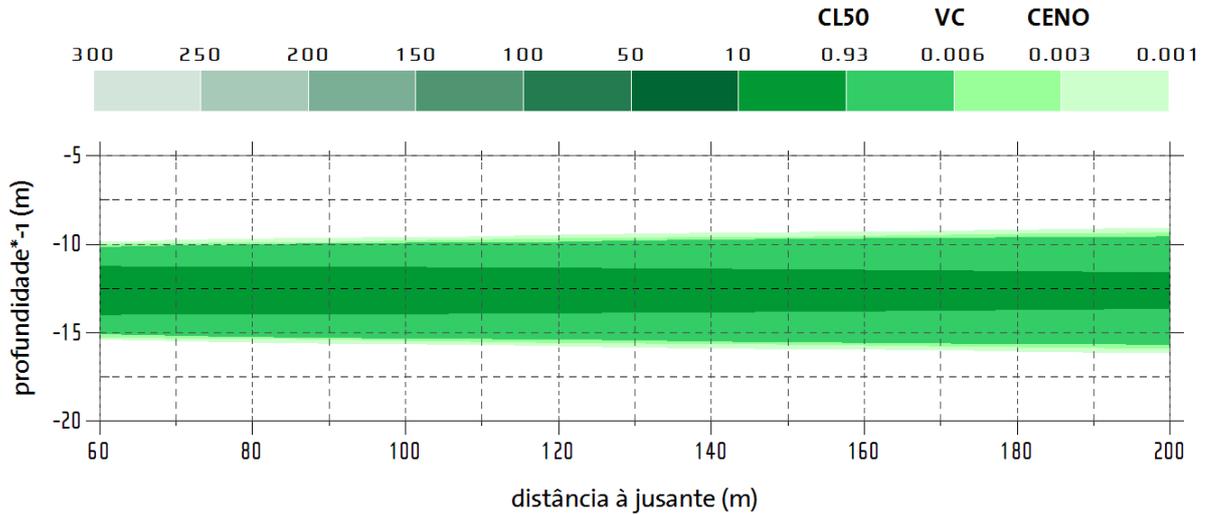
**Figura 6: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 0 e 60 metros de distância à jusante da fonte.**

Logo após o descarte, a pluma aumenta de volume, ganhando uma largura máxima aos 30 metros de distância da fonte, quando seu topo encontra-se a 7,5 m de profundidade e sua base, a 17,5 m. Após os 55 m, a pluma encontra-se restrita entre 10 e 15 m de profundidade.

Apenas nos primeiros 5 m à jusante da fonte a concentração de glutaraldeído é superior a 100 ppm. Com 37,5 m de distância da fonte, não há concentração superior a 10 ppm. Todavia, os valores de CL50, VC e CENO continuam até o fim da grade, forçando uma nova simulação, com uma grade situada a maiores distâncias da fonte.



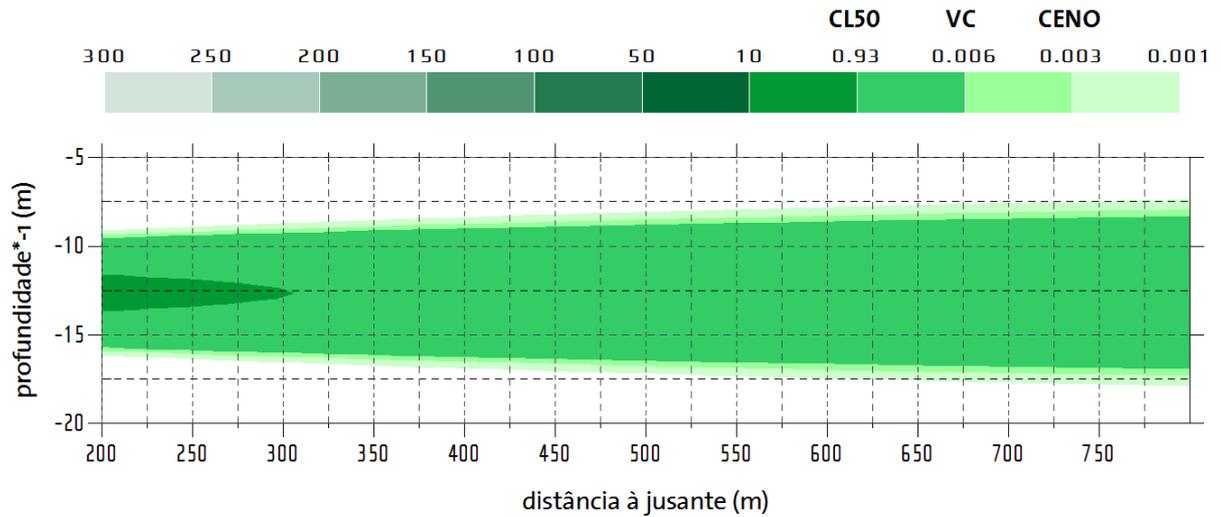
A segunda grade projetada estende-se de 60 a 200 m. Mantendo-se uma duração de 4 h para o descarte, têm-se que  $T_{início} = 0,2157$  h (aproximadamente 13 minutos) e  $T_{fim} = 4,2$  h. A estimativa então continuou sendo realizada com 2 horas após o início do descarte (Figura 7).



**Figura 7: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 60 e 200 metros de distância à jusante da fonte.**

Neste intervalo de distâncias, nenhuma concentração de interesse extinguiu-se. Em 200 metros a pluma começa a ganhar volume novamente e a extrapolar os limites de 10 e 15 metros de profundidade.

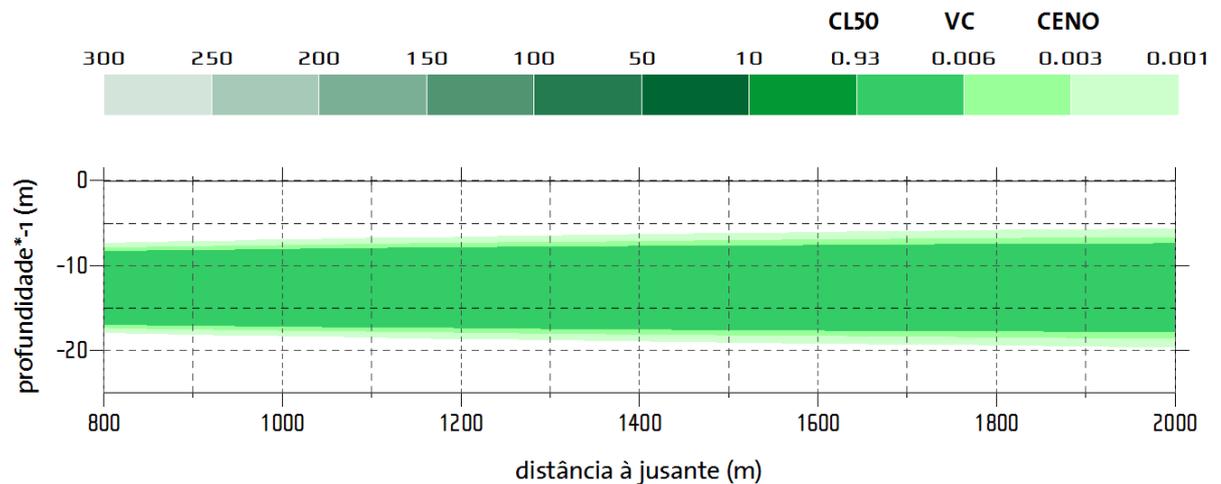
A grade seguinte foi projetada entre 200 e 800 m, com tempos de início e fim da condição estacionária iguais a 0,8 e 4,8 h, respectivamente. Os resultados apresentados na Figura 8, foram calculados em  $t = 2$  h.



**Figura 8: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 200 e 800 metros de distância à jusante da fonte.**

Neste perfil nota-se que a 300 m extingue-se a concentração letal para 50 % dos indivíduos (CL50) e que, ao fim da grade, a pluma atinge novamente 7,5 e 17,5 m de profundidade.

A próxima grade, de 800 a 2000 metros, exigiu uma mudança no tempo de amostragem, uma vez que para estas distâncias, o tempo de início era de 2,12 h e o tempo final do estado estacionário, de aproximadamente 6 h. A estimativa foi realizada então no instante  $t = 5$  h.

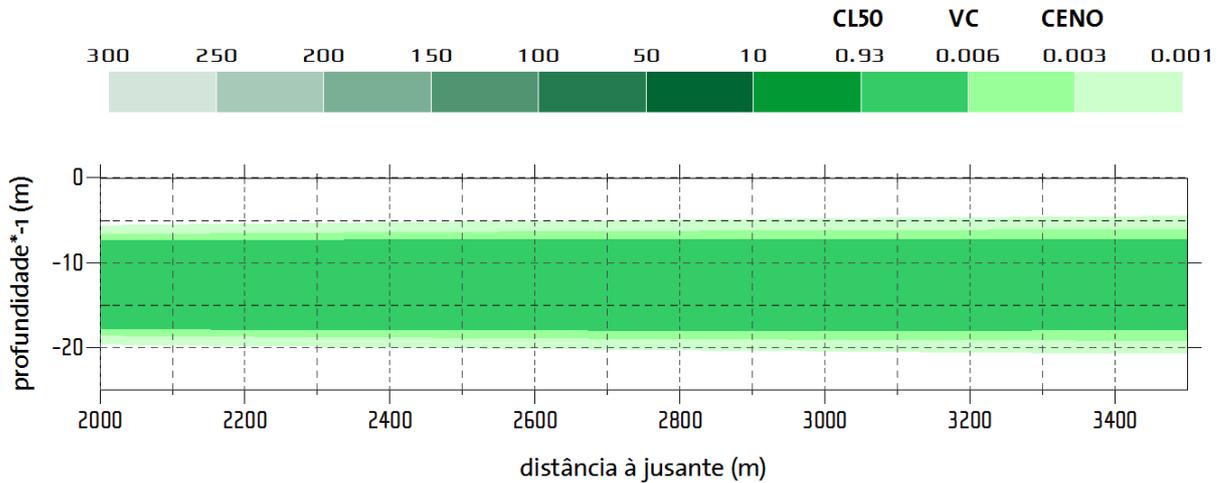


**Figura 9: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 800 e 2000 metros de distância à jusante da fonte.**

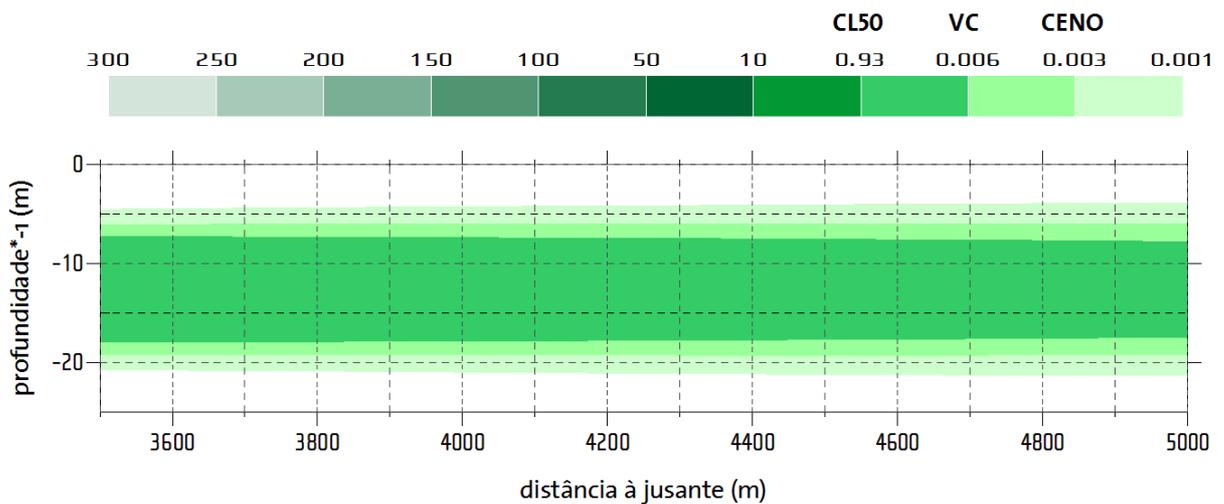
Nenhuma mudança significativa nos padrões de concentração é observada. A pluma continua a aumentar sua espessura e, com 2000 m, atinge as profundidades de 5 a 20 m.



Nas duas grades seguintes, de 2000 a 3500 m (Figura 10) e de 3500 a 5000 m (Figura 11), o instante para cálculo escolhido foi de 6 horas uma vez que os tempos de início e fim foram de 4,23 e 7,99 h (3500 m) e 5,29 e 8,99 h (5000 m).



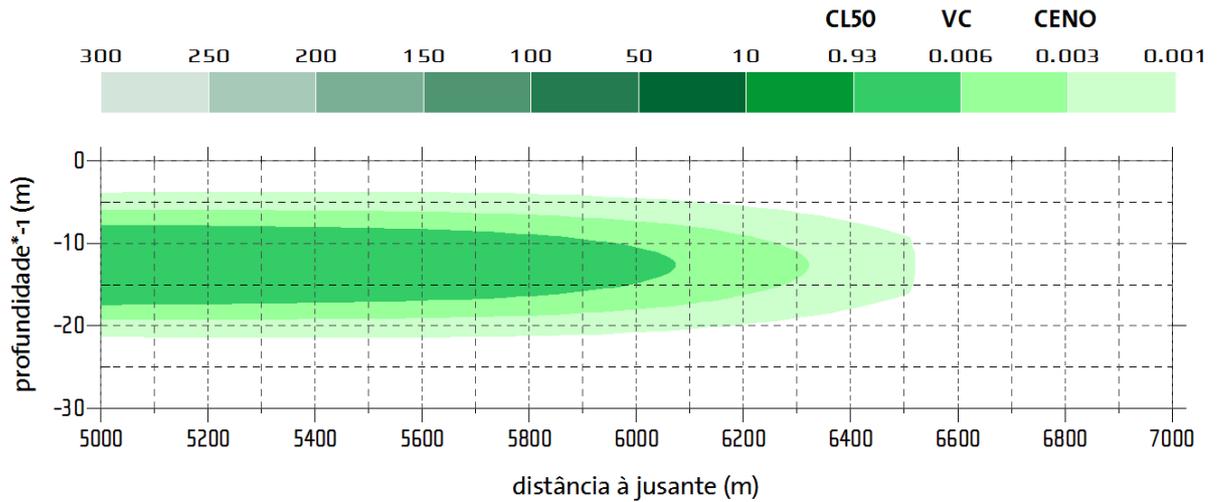
**Figura 10: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 2000 e 3500 metros de distância à jusante da fonte.**



**Figura 11: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 3500 e 5000 metros de distância à jusante da fonte.**

A grade seguinte abrange a região entre 5000 e 7000 metros de distância à jusante da fonte. Os tempos de início e fim da condição estacionária foram de 7,41 e 10,99 h e o instante escolhido para o cálculo da concentração, 8 h (Figura 12).

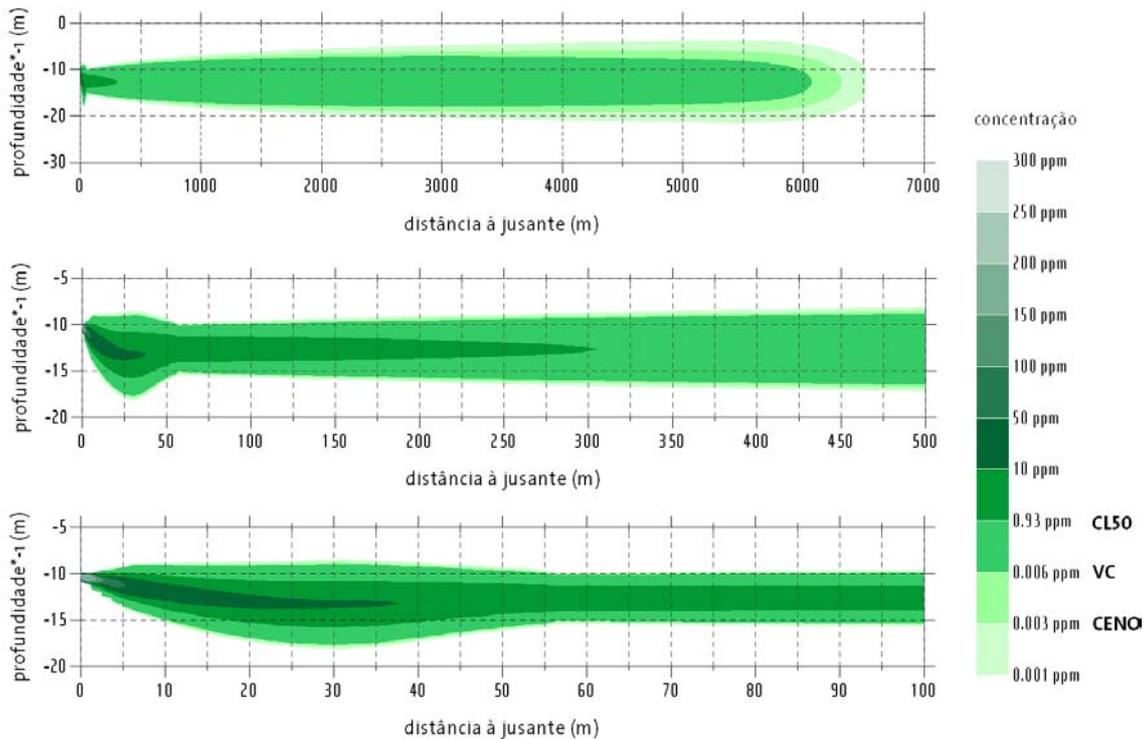




**Figura 12: Perfil longitudinal da concentração de biocida (ppm) entre 5000 e 7000 metros de distância à jusante da fonte.**

Nesta grade encerram-se as concentrações de interesse. A aproximadamente 6100 m de distância à jusante da fonte, os valores já encontram-se abaixo do Valor Crônico (VC). Com 6300 m, a pluma encontra-se toda ela abaixo do CENO e, com 6500, atinge o limiar de 0,001 ppm.

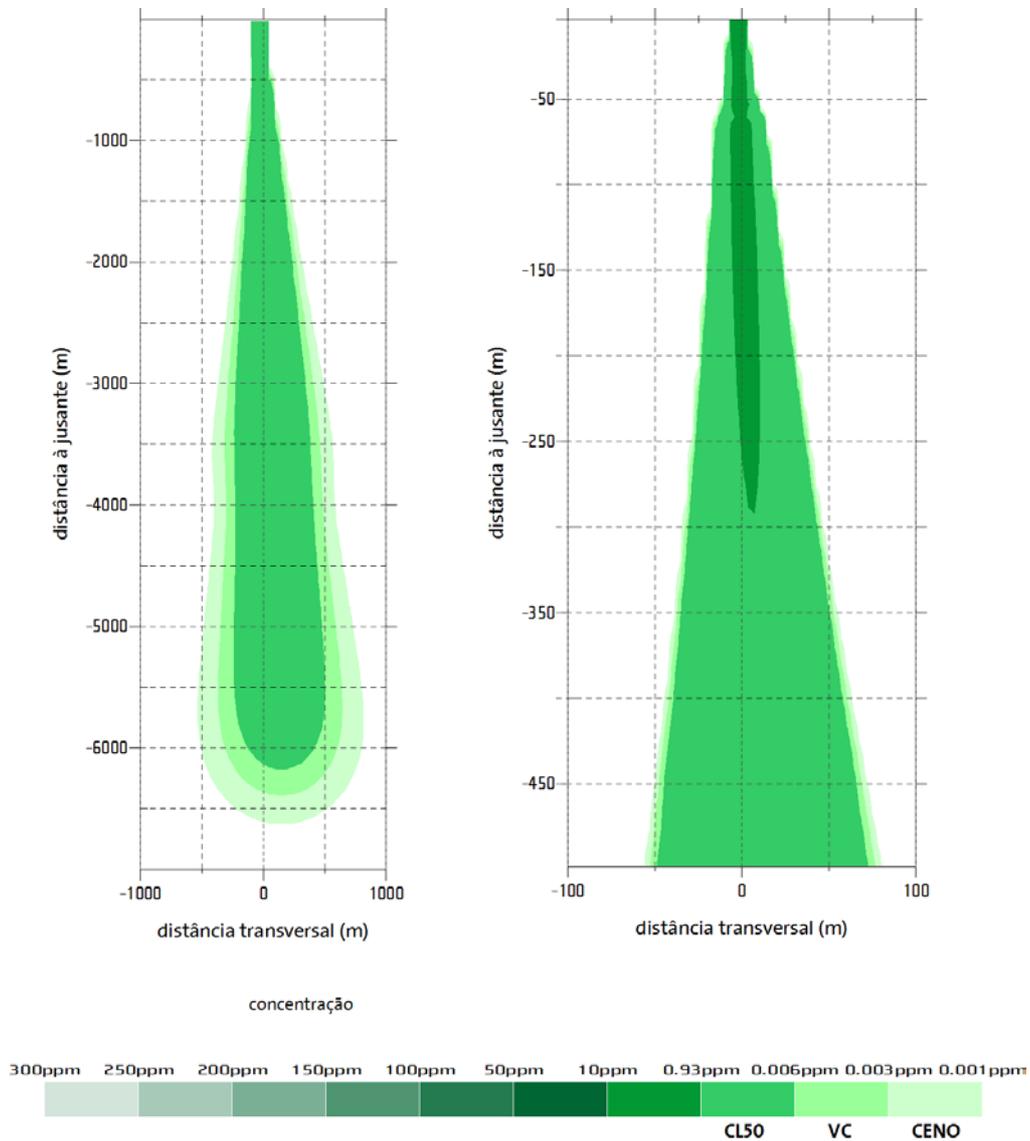
Uma integração dos resultados obtidos é apresentada na Figura 13.



**Figura 13: Integração dos resultados obtidos.**



Para que se conheça também o espalhamento lateral da pluma, uma visão em planta foi preparada e é apresentada na Figura 14.



**Figura 14: Visão em planta da pluma estudada.**

Os resultados em planta concordam com aqueles apresentados nos perfis longitudinais. Nota-se que, na direção transversal à corrente, a pluma atinge uma largura máxima de 1500 m, situada a 6000 m da fonte.

Um parâmetro importante a se conhecer é o tempo após o término do vazamento em que a concentração volta a diminuir. Reutilizando as equações para o cálculo do início e fim da condição estacionária e conhecendo agora a maior distância de interesse, pode-se calcular que:



$$T_{início} = \frac{6500 + 4}{0,27} = 6,88$$

$$T_{fim} = \frac{6500 - 4}{0,27} + (360 \times 3600) = 366.49$$

Ou seja, a pluma atinge sua distância máxima acima do CENO com aproximadamente 7 h após o início do descarte. Com 366,5 h após início do descarte (6 horas e 30 minutos após o término) a concentração volta a decrescer.



## **VI\_ CONCLUSÃO**

Com a metodologia proposta foi possível simular o descarte de fluido de preenchimento ao longo de 15 dias no poço PMXL-1, no Campo de Mexilhão. Foi monitorada a variação da concentração do biocida glutaraldeído com a distância à jusante da fonte.

Observou-se que, partindo de uma concentração inicial de 300 ppm, a Concentração de Efeito Não Observado (CENO) só é obtida após 6300 m de distância da fonte. As outras concentrações de interesse: Valor Crônico (VC) e CL50 são alcançadas com 6100 e 300 m, respectivamente.

Em perfil, a pluma permanece próxima à superfície, com uma profundidade máxima de 20 m e mínima de 10 m. O espalhamento lateral ocorre de forma mais eficiente e a pluma atinge uma largura máxima de até 1500 m com 6000 m de distância da fonte.

Após o término do descarte, são necessárias ainda 7 horas para que a concentração a 6500 m de distância da fonte comece a diminuir.



## VII\_ BIBLIOGRAFIA

- Blumberg, A.F. & G.L. Mellor, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N. Heaps (Editor), Three-dimensional ocean models. American Geophysical Union, 208 pp.
- Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. ExxonMobil Upstream Research Co.
- Fragoso, M.R., 2004. Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil . Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 191p.
- Freitas, C. M. D. S., Pivel, M. A. G., Comba, J. L. D., 2002. Environmental Monitoring of Offshore Drilling for Petroleum Exploration – MAPEM. Capítulo 4: Discharge Modeling of Cuttings and Drilling Fluids.
- Lima, J. A. M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22° S. Tese de Doutorado. The University of New South Wales. Austrália, 164 p.
- Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." Progress in Oceanography, 26, pp. 1-73.
- Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." Journal of Physical Oceanography, 25: pp. 2532-2546.
- Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." Rev. Bras. Oceanogr., 48(2), pp. 171-183.

