

RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 01]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO Bloco BM-S-56-57-58-59

Preparado para: OGX | ECOLOGY

Preparado por: Anna Paula Fagundes Leandro Calil Leonardo Marques da Cruz

28 de agosto de 2008

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ TEL | FAX +55 21 2532-5666 WWW.PROOCEANO.COM.BR



RELATÓRIO TÉCNICO [REV.01]

MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO Bloco BM-S-56-57-58-59

Preparado para: OGX | ECOLOGY

Preparado por: Anna Paula Fagundes Leandro Calil Leonardo Marques da Cruz

28 de agosto de 2008



ÍNDICE:

I. INTRO	DUÇÃO	
II. METO	DOLOGIA	5
II.1.	Modo Determinístico	5
II.1 II.1	.1. Intemperismo .2. Cálculo da Espessura	6 11
II.2.	Modo Probabilístico	
III. CARA	CTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO	
IV. FORÇ	ANTES	
IV.1.	Variabilidade Ambiental	
V. RESUL	TADOS	
V.1.	Modo Probabilístico	
V.1 V.1 V.1	.1. Vazamento de 8m ³ .2. Vazamento de 200m ³ .3. Blow-out .4. Blow-out – Integração	18 26 34 47
V.2.	Modo Determinístico	
V.2 V.2	.1. Verão .2. Inverno	52 73
V.3.	Balanços de Massa (ou Processos do Intemperisn	າດ) 95
VI. CONC	LUSÃO	
VII. BIBL	IOGRAFIA	100



I. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo condensado no mar para 2 (dois) cenários acidentais de vazamento nos Blocos BM-S-56-57-58-59, Bacia de Santos, costa sudeste do litoral brasileiro. Os locais dos vazamentos encontram-se nos dois vértices mais próximos da costa, de coordenadas geográficas 24° 00' 00" S, 44° 07' 30" W (vértice 12), e 24° 07' 30" S, 44° 22' 30" W (vértice 9) (Figura 1).



Figura 1: Localização dos pontos de vazamento.

Para contextualizar a questão, a metodologia aplicada para a realização das simulações, os modelos numéricos e os dados físicos usados serão também descritos.



II. METODOLOGIA

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o STROLL, modelo desenvolvido pela PROOCEANO para estudos de transporte de contaminantes no mar. O STROLL é um modelo lagrangeano capaz de simular o transporte advectivoturbulento em até 3 dimensões além dos processos de intemperismo e a perda de massa de diversos tipos de contaminantes.

O STROLL possui dois modos de operação: determinístico e probabilístico.

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário.

Cabe à simulação probabilística, averiguar o comportamento do contaminante sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença e o tempo mínimo de chegada do mesmo em cada região do domínio do modelo.

Uma breve descrição destes modos, bem como dos processos de intemperismo será apresentada a seguir.

II.1. Modo Determinístico

A emissão de óleo condensado no mar é representada pela inserção de um número de elementos n_e a cada intervalo de tempo Δt na região fonte. Considerando uma vazão $Q \,\mathrm{m^3/s}$, o volume inicialmente associado a cada elemento será:

$$q_{e,t=0} = \frac{Q\Delta t}{n_e} \tag{II-1}$$

O transporte advectivo de cada elemento é dado através do cálculo de sua posição p_e a cada passo de tempo. Com isso, a posição do elemento e no instante t é dada por:

$$p_{e,t+1} = p_{e,t} + \Delta t \, \frac{dp_e}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2} \, \frac{d^2 p_e}{dt^2}$$
(II-2)

Onde:

$$\frac{dp_{i,e}}{dt} = \vec{u}_i \quad \text{é a velocidade e}$$
(II-3)

$$\frac{d^2 p_{i,e}}{dt^2} = \frac{d\vec{u}_i}{dt} = \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + \vec{u}_i \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial x_i} \quad \text{a aceleração}$$
(II-4)



Para i = 1, 2. A velocidade \vec{u}_i (u e v) é obtida através de interpolação bi-linear no espaço e linear no tempo, dos dados fornecidos pelo modelo hidrodinâmico e pelo campo de vento, cuja contribuição, nesse caso, é de 1,5% de sua intensidade.

A aceleração é obtida através da derivação no tempo dos valores de velocidade interpolados. Os valores de velocidade utilizados são fornecidos por um modelo hidrodinâmico externo.

A difusão turbulenta do material é simulada através de modelos de passos aleatórios (*random walk models*), cuja idéia central consiste em adicionar um desvio de velocidade aleatório $\vec{u'}_i$ às velocidades advectivas (Csanady, 1972).

II.1.1. Intemperismo

O STROLL simula os principais processos de intemperismo que ocorrem no óleo condensado quando este é derramado no mar: espalhamento, evaporação, emulsificação e dispersão, e as consequentes mudanças nas propriedades físicas, como a densidade e a viscosidade.

II.1.1.1. Viscosidade e Densidade do Contaminante

A variação temporal da densidade do óleo condensado ($\rho_o(t)$) é calculada de forma indireta, em função do conteúdo de água (Wc) presente na mistura e da fração de óleo condensado evaporada ($frac_{evap}$), que são calculadas a cada passo de tempo do modelo, segundo a formulação apresentada à seguir:

$$\rho_o(t) = Wc * \rho_{\dot{a}gua} + (1 - Wc) \rho_0 \left[1 - c_1 \left(T - T_{\dot{a}gua} \right) \left(1 - c_2 frac_{evap} \right) \right]$$
(II-5)

onde ρ_o é a densidade do óleo condensado, ρ_0 é a densidade inicial do óleo condensado, $\rho_{água}$ a densidade da água, T e $T_{água}$ a temperatura do óleo condensado e da água, respectivamente, $frac_{evap}$ a fração de óleo condensado evaporada, e c_1 e c_2 as constantes empíricas específicas para cada tipo de óleo condensado.

A viscosidade do constituinte μ varia ao longo de sua trajetória, sendo parametrizada por Mackay *et al.* (1983) *apud* Lehr *et al.* (2002).

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp\left[\left(C_{evap} frac_{evap}\right) + \frac{C_{emul1}Wc}{1 - C_{emul2}} + C_{temp}\left(\frac{T_{água} - T}{T_{água}T}\right)\right]$$
(II-6)

onde μ_0 é a viscosidade inicial do constituinte, C_{evap} é a constante de evaporação e igual a 5000 K (NOAA, 2000), C_{temp} uma constante empírica adimensional que depende do tipo de óleo condensado, podendo variar entre 1 e 10. Para as constantes adimensionais C_{emul1} e C_{emul2} , NOAA(2000) sugere valores de 2,5 e 0,65, respectivamente.



II.1.1.2. Espalhamento

Admitindo que a fase inicial do espalhamento (gravitacional-inercial) de uma mancha de óleo condensado é muito curta, o STROLL parte da fase gravitacional-viscosa para calcular o espalhamento, assumindo que quando a espessura da mancha decresce até um determinado valor, o espalhamento termina. Assim o raio R_0 da área inicial é calculado por:

$$R_{0} = \frac{K_{2}^{2}}{K_{1}} \left(\frac{V_{0}^{5} g \Delta}{\mu_{água}} \right)^{\frac{1}{12}}$$
(II-7)

onde K_1 e K_2 , recomendado por Flores *et al* (1999) *apud* Soto (2004), são iguais a 0,57 e 0,725, respectivamente, V_0 o volume inicial do óleo condensado derramado, $\mu_{água}$ a viscosidade da água e Δ a diferença relativa de densidade da água e do óleo condensado:

$$\Delta = \frac{\rho_{\acute{a}gua} - \rho_{\acute{o}leo}}{\rho_{\acute{o}leo}}$$
(II-8)

II.1.1.3. Evaporação

O STROLL utiliza o modelo de evaporação proposto por Jones (1997), o qual se baseia na relação de Mackay & Matsugu (1973), porém considerando o óleo condensado como sendo uma mistura de componentes. Essa abordagem é também conhecida com modelo de Pseudo-Componentes, onde a taxa de evaporação pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = -\frac{K_j A V_j \chi_j P_j}{R T}$$
(II-9)

onde *j* varia de acordo com o número de pseudo-componentes, K_j é o coeficiente de transferência de massa do pseudo-componente; A é a área da mancha; V_j é o volume molar do pseudo-componente; χ_j é a fração molar do componente; P_j é a pressão de vapor do pseudo-componente; R é a constante universal dos gases e T é a temperatura.

A fração molar de cada pseudo-componente muda com o tempo e é constituída pela razão entre o número de moles do pseudo-componente, que é obtido dividindo-se o seu volume por seu volume molar, e a soma do número de moles total da mistura.

O volume molar de cada pseudo-componente é obtido através de uma correlação de dados de pontos de ebulição e volumes molares de uma série de alcanos com números de carbonos variando entre 3 e 20 (C3 e C20), expressa por:



$$\overline{V_j} = 7 x 10^{-5} - (2,102 x 10^{-7} BP_j) + [1 x 10^{-9} (BP_j)^2]$$
(II-10)

onde BP_j é o ponto de ebulição de cada componente.

A pressão de vapor de cada pseudo-componente na temperatura ambiente é obtida através de seus pontos de ebulição, utilizando-se a Equação de Antoine, segundo Lyman *et al.* (1990) *apud* Jones (1997):

$$\ln \frac{P_j}{P^0} = \frac{\Delta S_j \cdot (BP_j - C)^2}{R \cdot BP_j} \cdot \left[\frac{1}{BP_j - C} - \frac{1}{T - C}\right]$$
(II-11)

onde P^0 é a pressão atmosférica; $\Delta S_i = 8,75 + 1,987 \log(BP_i)$, é a variação na entropia do componente oriunda da vaporização e $C = (0,19 \cdot BP_i) - 18$ é uma constante determinada a partir do ponto de ebulição do pseudo-componente.

O coeficiente de transferência de massa é calculado segundo Mackay & Matsugu (1973):

$$K_{i} = 0,0048 \cdot U^{\frac{7}{9}} \cdot Z^{-\frac{1}{9}} \cdot Sc_{j}^{-\frac{2}{3}}$$
(II-12)

onde U é a velocidade do vento; Z é o comprimento da mancha na direção do vento; e Sc é o número de Schmidt do pseudo-componente.

O número de Schmidt expressa a razão entre a viscosidade cinemática do ar com a difusividade molecular do pseudo-componente.

Para obter-se a difusividade molecular do pseudo-componente usa-se a seguinte aproximação, segundo (Thibodeaux, 1979 apud Jones, 1997):

$$D_{j} = D_{\acute{a}gua} \sqrt{\frac{MW_{\acute{a}gua}}{MW_{j}}}$$
(II-13)

onde $D_{\acute{a}gua}$ é a difusividade molecular da água; e $MW_{\acute{a}gua}$ é o peso molecular da água.

O peso molecular de cada pseudo-componente é calculado através de uma correlação também obtida de uma série de alcanos C3 a C20:

$$MW_{j} = 0,04132 - \left(1,985 \cdot 10^{-4} \cdot BP_{j}\right) + \left[9,494 \cdot 10^{-7} \cdot \left(BP_{j}\right)^{2}\right]$$
(II-14)



Reescrevendo a equação em termos de volume e volume molar, as taxas de evaporação de cada pseudo-componente pode ser obtida por:

$$\frac{dV_j}{dt} = -\frac{A \cdot K_j \cdot P_j \cdot V_j}{R \cdot T \cdot \sum_{k=1}^{nc} \frac{V_j}{V_k}}$$
(II-15)

II.1.1.4. Emulsificação

A incorporação de água no óleo condensado é descrita no modelo por uma equação proposta por Mackay *et al* (1980):

$$\frac{dfrac_{wv}}{dt} = K_w \left(1 + W\right)^2 \left(1 - \frac{frac_{wv}}{frac_{wv}^{final}}\right)$$
(II-16)

em que $frac_{wv}$ é a fração volumétrica de água incorporada na emulsão, $frac_{wv}^{final}$ é a fração final de água incorporada e K_w uma constante empírica e igual a 1,6×10⁻⁶.

II.1.1.5. Dispersão

A formulação utilizada para o cálculo do entranhamento no STROLL é baseada no modelo desenvolvido por Delvigne & Sweeney (1988) a partir de estudos sobre o entranhamento ou dispersão superficial e subsuperficial de óleo condensado, realizados em laboratório.

Nesse modelo, a taxa de entranhamento por unidade de área é expressa por:

$$Q(d_0) = C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot S_{\text{cov}} \cdot F_{wc} \cdot d_0^{0,7} \cdot \Delta d$$
 (II-17)

onde $Q(d_0)$ é a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo condensado em torno de $d_0 \left(d_0 - \frac{1}{2} \Delta d \ a \ d_0 + \frac{1}{2} \Delta d \right)$; d_0 é o diâmetro da gotícula de óleo condensado; C_0 é uma constante de dispersão, relacionada a viscosidade do óleo condensado; D_{ba} é a energia de dissipação por ondas; S_{COV} é o fator de cobertura da superfície do mar por óleo condensado $\left(0 \le S_{\text{COV}} \le 1\right)$, sendo $S_{\text{COV}} = 1$ para manchas contínuas; F_{wc} é a fração da superfície do mar suscetível a quebra de ondas (encapelamento) por unidade de tempo.

A energia de dissipação por ondas por unidade de área é calculada por:



$$D_{ba} = 0,0034 \cdot \rho_w \cdot g \left[\frac{HS}{\sqrt{2}}\right]^2 \tag{II-18}$$

onde *HS* é a altura significativa de ondas, podendo ser calculada por: $HS = \frac{0,243 \cdot U^2}{g}$,

sendo U a velocidade do vento; ho_w é a densidade da água; e g a aceleração da gravidade.

Para estimar a fração da superfície do mar suscetível ao encapelamento, o modelo utiliza a formulação proposta por Monahan (1971), Ding & Farmer (1994) *apud* Lehr & Simecek-Beatty (2000) e Lehr & Simecek-Beatty (2000), sendo:

$$F_{wc} = \frac{0,025 \cdot (U-3)}{T_M} \to 0 \le U \le 4;$$

$$F_{wc} = \frac{0,01 \cdot U + 0,01}{T_M} \to U > 4,$$
(II-19)

onde T_M é a constante de tempo de Monahan (1971), sendo T_M = 3,85 para água do mar.

Segundo Lehr & Simecek-Beatty (2000), variações nos diâmetros das gotículas de óleo condensado acarretam em diferentes flutuabilidades para as mesmas, causando estratificação na concentração de óleo condensado na coluna de água. Ainda segundo esses autores, a partir 50 a 100 μ de diâmetro, as partículas apresentam flutuabilidade neutra, sendo o movimento dominado pela dispersão horizontal e vertical sobre os efeitos de flutuabilidade.

O intervalo de diâmetro das gotículas de óleo condensado utilizado no STROLL, assim como o modelo ADIOS2 (Lehr, 2002) varia entre $d_{min} = 0\mu$ a $d_{max} = 70\mu$.

A constante de dispersão $C_{\rm 0}$, segundo Delvigne & Hulsen (1994) pode ser obtida através da seguinte relação:

$$C_0 = 1827 \quad v \stackrel{0,0658}{\to} v < 125 \, cSt;$$

$$C_0 = 1827 \quad v \stackrel{1,1951}{\to} v > 125 \, cSt;$$
(II-20)

onde U é a viscosidade do óleo condensado.

Integrando a taxa de entranhamento por unidade de área no intervalo Δd de diâmetros de gotículas de óleo condensado $(Q(d_0))$ no intervalo de gotículas d_{\min} a d_{\max} , obtêm-se:



$$Q = \frac{d_{\text{max}}}{1,7} \cdot C_0 \cdot D_{ba}^{0,57} \cdot F_{wc} \cdot S_{\text{cov}}$$
(II-21)

sendo Q a taxa de entranhamento total, por unidade de área.

Para estimar a penetração máxima do óleo condensado na coluna de água o modelo utiliza a equação proposta por Delvigne & Sweeney (1988):

$$Z_i = (1,5 \pm 0,35) \cdot H_b$$
 (II-22)

onde H_b é a altura de quebra da onda.

II.1.2. Cálculo da Espessura

A espessura do óleo condensado associada a cada elemento é dada por:

$$esp_{e}(x, y, t) = \frac{q_{e}}{2\pi[\sigma(t)]^{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x - p_{x,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^{2} + \left(\frac{y - p_{y,e}(t)}{\sigma(t)}\right)^{2}\right]\right\} \quad \text{(II-23)}$$

onde q_e é o volume de cada elemento, $x \in y$ as coordenadas do ponto de grade, $p_{x,e} \in p_{y,e}$ a posição do centro de massa de cada elemento e $\sigma_i^2(t)$ é a variância da distribuição, relacionado à turbulência local através da equação:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(t)}{dt}$$
(II-24)

sendo *D* a difusividade turbulenta isotrópica horizontalmente, parametrizada à partir do escoamento, obtido do modelo hidrodinâmico, segundo a formulação de Smagorinsky:

$$D = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$
(II-25)

onde Δx e Δy são os intervalos de discretização da grade e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oey *et al.*, 1985a e b).

A espessura resultante de todo o descarte é então obtida através da soma da contribuição de cada elemento:



$$ESP(x, y, t) = \sum_{e=1}^{n_e} esp_e(x, y, t)$$
 (II-26)

II.2. Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística utilizada são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando-se todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos. Este módulo do STROLL tem por objetivo verificar a probabilidade de presença do constituinte na região estudada, bem como o tempo de chegada, a fim de determinar um cenário crítico para o descarte de contaminantes na região.

De acordo com os cenários meteo-oceanográficos locais, as séries temporais de vento e corrente são repartidas em 4 séries sazonais – correntes-verão, correntes-inverno, ventos-verão, ventos-inverno – conforme apresentado no esquema da Figura 2.



Figura 2: Representação esquemática da separação sazonal dos dados para a modelagem probabilística.

As séries de vento e corrente são então combinadas em diversos arranjos de forma a contemplar de forma ideal os possíveis cenários ambientais (Figura 3).



exem plo: probabilístico de verão



Figura 3: Representação esquemática da combinação dos dados de vento e corrente para a simulação probabilística.

Cada combinação de vento e corrente irá determinar um comportamento para o vazamento. O modelo identifica, em cada combinação, os pontos de grade onde a espessura da mancha do constituinte esteve acima do limiar determinado (Figura 4, b e c):

$$I(x, y) = 1$$
 se $ESP(x, y, t) \ge \lim$
 $I(x, y) = 0$ se $ESP(x, y, t) < \lim$

A probabilidade de presença do poluente será dada pela normalização do número de vezes em que a mancha esteve acima do limiar em cada ponto de grade pelo número de combinações n_{com} realizadas (Figura 4 d):

$$P(x, y) = \sum_{i_{sim=1}}^{n_{com}} \left(\frac{I(x, y)}{n_{com}} \right)$$
(II-27)





Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença de constituinte no STROLL.

Além da probabilidade de presença do constituinte, o módulo probabilístico do STROLL fornece também os tempos de chegada da mancha em cada ponto de grade do domínio, em cada simulação.

III. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas considerando um evento de *blow-out* com vazamento contínuo por 30 dias (720 horas) em 2 (dois) cenários sazonais, verão e inverno, nos dois pontos. Após a disponibilização do óleo condensado na água, o comportamento de sua deriva foi acompanhado por mais 30 dias. Portanto ao final, foram totalizados 60 dias (1440 horas) de simulação.



Além da simulação de *blow-out*, na qual é considerado o volume de pior caso (4.680 m³), foram ainda realizadas simulações para vazamentos de pequeno e médio volume, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Nesses casos as simulações duraram 30 dias.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo condensado espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3 x 10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, serão apresentadas as características do óleo condensado e os pontos de vazamento.

Tabela I. Calactel Isticas un died condensaud utilizadas ha sinidiação.	Tabela	1:	Carac	terís	ticas	do	óleo	condensado	utilizada	s na	simulaçã	ão.
---	--------	----	-------	-------	-------	----	------	------------	-----------	------	----------	-----

Parâmetro	Valor	Unidade	Temperatura
API	47		
Densidade	0,7836	g/cm ³	15,6º C
	0,65	g/cm ³	150º C
Viscosidade	0,43	Ср	148º C

Vértice 9	
Longitude	44° 22' 30" W
Latitude	24° 07' 30" S
Vértice 12	
Longitude	44° 07' 30" W
Latitude	24° 00' 00" S

Tabel	la 2: Local	l do Vazar	nento
-------	-------------	------------	-------

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

IV. FORÇANTES

Os dados de vento utilizados são provenientes das reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (Kalnay *et al.*, 1996). Essa base consiste em uma série de dados meteorológicos, com aproximadamente 1,8° de resolução espacial na região do estudo. Os dados disponíveis no NCEP cobrem todo o globo e estão disponíveis gratuitamente na internet (http://www.ncep.noaa.gov).

Para este estudo foram tratados 30 anos de dados (1977 a 2006) com uma freqüência temporal de 6 horas (4 dados por dia).

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos, elaboradas para o período analisado, na região do Bloco BM-S-56-57-58-59 (Figura 5).





Figura 5: Rosa dos ventos para o período de verão (dezembro a abril) e inverno (maio a novembro) na região do Bloco BM-S-56-57-58-59

A análise mensal dos dados de vento possibilitou a caracterização de dois períodos bem marcados, com condições de inverno e verão, como pode ser observado na Figura 5.

O período que se estende de dezembro a abril é marcado por condições de verão. Neste período são observados ventos menos intensos e mais freqüentes do octante NE-E e E-SE.

O período caracterizado como sendo de inverno estende-se de maio a novembro e apresenta ventos mais intensos e freqüentes do octante NE-E, apresentando também ventos mais intensos de sul, com direções S-SE.

Os dados de correntes utilizados foram obtidos da base de dados da PROOCEANO. Nesse estudo foi analisada uma série temporal de 1 ano de dados, sendo utilizado na modelagem um período de 6 meses, característicos para cada situação sazonal.

Uma descrição detalhada dos mesmos encontra-se no Relatório de Modelagem Hidrodinâmica, onde é descrita a dinâmica oceânica dessa região.

IV.1. Variabilidade Ambiental

Com o objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse trabalho, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*). Essa análise consiste na identificação dos momentos ao longo de toda série onde as componentes do vento trocam de sinal (de negativo para positivo). Os resultados podem ser observados na Figura 6.





Figura 6: Séries temporais das componentes "u" e "v", do vento, para a região do bloco BM-S-56-57-58-59, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries. Fonte: Reanálise NCEP.

Podemos observar que no cenário de inverno o número de zeros ascendentes, nas duas componentes "u" e "v", foram maiores que no cenário de verão.

Considerando que o intervalo entre as medições é de 6 horas e o tempo total das séries, chegamos a uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 2 dias para ambos os cenários.

Assim, para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo condensado, seguindo a metodologia proposta por Elliott (2004), o número mínimo de simulações aconselhável, para o cenário de verão seria de 2.131 simulações e para o cenário de inverno 3.014 simulações.

Para garantir a compreensão da variabilidade presente, de forma conservadora foram realizadas 3.100 simulações para cada período (inverno e verão).

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo condensado e tempo mínimo de chegada para as simulações de vazamentos de 8, 200 e 4.680 m³, para os cenários de verão e inverno em cada ponto, vértices 9 e 12.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 3.100 diferentes simulações para cada cenário (verão e inverno) nos diferentes volumes de vazamento 8, 200 e 4.680 m³, totalizando 18.600 possíveis cenários ambientais de vazamento em cada ponto simulado.

prooceano

O cenário de pior caso, para ser simulado no modo determinístico, será definido através da análise dos resultados sazonais, sendo escolhida a situação onde o óleo condensado atinja a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento, caso esse toque ocorra.

O intemperismo do óleo condensado será apresentado ao final do estudo, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte, ao longo da simulação.

V.1. Modo Probabilístico *V.1.1. Vazamento de 8m³ V.1.1.1. Verão*

• Vértice 9

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão, vértice 9 é apresentado na Figura 7, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 8.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

Neste cenário a deriva do óleo condensado ocorre preferencialmente para sudoeste do poço.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

Observa-se que todo o Mapa de Probabilidade é atingido em 0-12 horas.

• Vértice 12

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 8 m³ no cenário de verão, vértice 12 é apresentado na Figura 9, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 10.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Neste cenário a deriva do óleo condensado também ocorre preferencialmente para sudoeste do poço.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

Observa-se que todo o Mapa de Probabilidade também é atingido em 0-12 horas.

V.1.1.2. Inverno

• Vértice 9

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno, vértice 9, encontra-se na Figura 11 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 12.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

No cenário de inverno, ocorre o mesmo que no cenário de verão, a deriva do óleo condensado é preferencial para sudoeste do poço.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

vazamento de 8 m³, no cenário de inverno. Vértice 9.

Observa-se que todo o Mapa de Probabilidade também é atingido em 0-12 horas.

• Vértice 12

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 8 m³ no cenário de inverno, vértice 12, encontra-se na Figura 13 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 14.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Neste cenário a deriva do óleo condensado também ocorre preferencialmente para sudoeste do poço.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Observa-se que todo o Mapa de Probabilidade também é atingido em 0-12 horas.

V.1.2. Vazamento de 200m³ V.1.2.1. Verão

• Vértice 9

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, vértice 9, encontra-se na Figura 15 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 16.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Podemos observar no Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo condensado, que a deriva é preferencial para sudoeste do poço.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Observa-se na Figura 16 que o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada do Óleo condensado foi atingido em sua totalidade de 60-100 horas após o início da simulação.

• Vértice 12

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de médio porte (200 m³), no cenário de verão, vértice 12, encontra-se na Figura 17 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 18.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

A deriva do óleo condensado também ocorre preferencialmente para sudoeste do poço atingindo a latitude de 24,5°S.

), prooceano



STROLL - modo probabilístico

Todo o mapa de probabilidade é atingido em 36-60 horas após o início do vazamento.

V.1.2.2. Inverno

• Vértice 9

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno, vértice 9, encontra-se na Figura 19 enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 20.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Assim como no cenário de verão, no inverno a deriva do óleo condensado também foi preferencial para sudoeste do poço.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Nesse cenário todo o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada também foi atingido entre 60-100 horas.

• Vértice 12

O Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado para o vazamento de 200 m³ no cenário de inverno, vértice 12, encontra-se na Figura 21, enquanto o tempo mínimo de chegada encontra-se na Figura 22.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

A deriva do óleo é preferencial para sudoeste do poço, como observado anteriormente.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

Assim como no cenário de verão, vértice 12, todo o mapa de probabilidade pode ser atingido no tempo mínimo de 36-60 horas.

V.1.3. Blow-out

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de *blow-out*. Para esses cenários foram considerados um vazamento contínuo durante 30 (trinta) dias. O tempo simulado abrange os 30 dias de vazamento e mais 30 dias após o término do mesmo, totalizando 60 dias de simulação.



V.1.3.1. Verão

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo condensado para os dois pontos (Vértice 9 e 12) de *blow-out* com volume vazado de 4.680 m³, no período de verão são apresentados na Figura 23 à Figura 28.

• Vértice 9

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo condensado para o cenário de *blow-out* com volume vazado de 4.680 m³, no período de verão, vértice 9 são apresentados na Figura 23 e Figura 24.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo

vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Vértice 9. A deriva do óleo condensado ocorre preferencialmente para sudoeste/oeste do poço.

A deriva rumo a noroeste, provoca toque na costa nos municípios de Ilhabela, Caraguatatuba e São Sebastião, ambos no Estado de São Paulo com probabilidade de até 5%.
prooceano



STROLL - modo probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo

Figura 24: Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de óleo condensado, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão. Vértice 9.

O óleo condensado atinge a costa com tempo mínimo de 60-100 horas após o início do vazamento, no município de Ilhabela - SP. Caraguatatuba e São Sebastião podem ser atingidos pelo óleo condensado no tempo mínimo de 100-200 horas.

A seguir na Figura 25 serão apresentados os volumes máximos de óleo condensado na costa.



Observa-se maiores valores nas proximidades da Ilhabela. Os maiores volumes máximos, encontrados nesse cenário, foram: 66 m³ em Ilhabela, 56 m³ em São Sebastião e 46 m³ em Caraguatatuba.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as freqüências de ocorrência das classes de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para toda a simulação probabilística (Figura 26). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

Figura 26: Histogramas de tempo de chegada de óleo condensado próximo à costa no cenário de verão. Vértice 9.

Podemos observar que nas regiões com probabilidade de presença de óleo na costa (Ilhabela, Caraguatatuba e São Sebastião) apresentam a maior parte dos tempos de chegada na primeira metade da simulação, até 720 horas.

• Vértice 12

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo condensado para o cenário de *blow-out* com volume vazado de 4.680 m³, no período de verão, vértice 12 são apresentados na Figura 26 e Figura 27.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

Quando o vazamento ocorre no vértice 12 não há probabilidade de toque na costa. No entanto, assim como no vértice 9, a deriva também é preferencial rumo a sudoeste/oeste do poço.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

O mapa de probabilidade é atingido em 100-200 horas após o início da simulação.

V.1.3.2. Inverno

O Mapa de Probabilidade e o Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo condensado para os dois pontos (Vértice 9 e 12) de *blow-out* com volume vazado de 4.680 m³, no período de verão são apresentados na Figura 29 à Figura 34.



Vértice 9

A seguir, na Figura 29 e Figura 30, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de blow-out, vértice 9, volume vazado de 4.680 m³.

STROLL - modo probabilístico Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo



Figura 29: Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado, para um vazamento de 30 dias, no cenário de inverno. Vértice 9.

Assim como no cenário de verão para o vazamento no vértice 9, neste cenário também houve toque na costa, porém a área atingida foi menor. Somente, a Ilhabela e São Sebastião – SP foram atingidos com probabilidade de até 5%.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

O mapa de probabilidade também foi atingido, no mínimo, em 100-200 horas após o nício da simulação. A Ilhabela pode apresentar óleo condensado em sua costa com o

início da simulação. A Ilhabela pode apresentar óleo condensado em sua costa com o tempo mínimo de 60-100 horas.

A seguir na Figura 31 serão apresentados os volumes máximos de óleo condensado na costa.



Observa-se maiores valores nas proximidades da Caraguatatuba - SP. Os maiores volumes máximos, encontrados nesse cenário, foram: 40 m³ em Ilhabela e 44 m³ em São Sebastião.

Para uma melhor análise dos tempos de chegada de óleo na costa, foram gerados histogramas com as freqüências de ocorrência das classes de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para toda a simulação probabilística (Figura 32). O gráfico de probabilidade com os histogramas de tempo de chegada facilita a análise conjunta dos resultados.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

Figura 32: Histogramas de tempo de chegada de óleo condensado próximo à costa no cenário de inverno. Vértice 9.

Assim como no cenário de verão, na região de toque na costa são observados o maior número de tempos de chegada na primeira metade da simulação.

• Vértice 12

A seguir, na Figura 33 e Figura 34, serão apresentados os resultados obtidos no período de inverno para um cenário de *blow-out*, vértice 12, volume vazado de 4.680 m³.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

Assim como no cenário de verão, vértice 12 a deriva foi preferencial rumo a sudoeste/oeste do poço, não havendo toque na costa.

) prooceano



STROLL - modo probabilístico

O mapa de probabilidade também foi totalmente atingido em 100-200 horas após o início da simulação.

V.1.4. Blow-out - Integração

Neste item serão apresentados os resultados de probabilidade e tempo mínimo de chegada do óleo condensado para um vazamento acidental de 4.680 m³ de óleo condensado nos dois vértices dos blocos, 9 e 12. Para o calculo dos resultados integrados, foram considerados as superposições dos mapas de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada, de forma conservativa. Nos pontos onde ocorreram duplicidade de



resultados, considerou-se o maior valor de probabilidade e o menor valor de tempo mínimo de chegada, encontrados em ambas as simulações.

V.1.4.1. Verão

Na Figura 35 e Figura 36 serão apresentados o mapa de probabilidade e tempo mínimo de chegada do óleo condensado, nos vértices 9 e 12, no cenário de verão.

STROLL - modo probabilístico



Figura 35: Mapa de Probabilidade de presença de óleo condensado, para um vazamento de 30 dias, no cenário de verão.

O mapa de probabilidade de presença de óleo condensado com os resultados integrados mostra a presença de óleo condensado, com probabilidade de até 5%, nos municípios de Caraguatatuba, Ilhabela e São Sebastião, no Estado de São Paulo.

48/101 [REV. 01]

prooceano



STROLL - modo probabilístico

A região na costa com probabilidade de presença de óleo condensado, mostra a Ilhabela podendo ser atingido com o tempo mínimo de 60-100 horas, e Caraguatatuba e

V.1.4.2. Inverno

São Sebastião com 100-200 horas.

Na Figura 37 e Figura 38 serão apresentados o mapa de probabilidade e tempo mínimo de chegada do óleo condensado, nos vértices 9 e 12, no cenário de inverno.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

vazamento de 30 dias, no cenário de inverno.

Neste cenário o toque na costa só ocorre na Ilhabela e em São Sebastião com probabilidade de até 5%.

prooceano



STROLL - modo probabilístico

A região de costa com probabilidade de presença de óleo , situada em Ilhabela – SP, pode apresentar chegada em um tempo mínimo de 60-100 horas. Em São Sebastião, o

V.2. Modo Determinístico

tempo mínimo é de 100-200 horas.

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas para o vértice 9 foram eleitos nos dois cenários (verão e inverno), a trajetória que mais rapidamente atingiu a costa, para a realização do modo determinístico, pois tanto no cenário de inverno como no verão o tempo mínimo de chegada do óleo condensado foi de 60-100 horas.

Para o vazamento no vértice 12 também foram escolhidas duas trajetórias, uma em cada cenário (verão e inverno), neste caso foram escolhidas as situações onde o óleo



condensado permanecia mais tempo na água em condições meteoceanográficas predominantes, pois nenhuma trajetória atingiu a costa.

V.2.1. Verão

• Vértice 9

A Figura 39 a Figura 50 serão apresentado os resultados do modo determinístico para o cenário de verão, vazamento no vértice 9.



STROLL - modo determinístico

Figura 39: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 12 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 40: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 36 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 41: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 60 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 42: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 84 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 43: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 100 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 44: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 200 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 45: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 300 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 46: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 400 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 47: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 500 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 48: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 600 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 49: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 720 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 50: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 900 horas de simulação. Vértice 9.

A deriva do óleo condensado ocorre inicialmente rumo a noroeste do poço, quando em 84 horas de simulação o óleo condensado toca na costa na região de Ilhabela – SP. Em 100 horas o óleo já se encontra em São Sebastião - SP, a partir desse momento inicia-se a deriva rumo a sudoeste até 900 horas, depois desse instante até 1440 horas não há mais óleo acima da espessura mínima considerada $(3x10^{-7}m)$.

• Vértice 12

prooceano

Na Figura 51 à Figura 60 serão apresentados os resultados do modo determinístico para o cenário de verão, vazamento no vértice 12.



Figura 51: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 12 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 52: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 36 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 53: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 60 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 54: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 100 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 55: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 200 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 56: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 300 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 57: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 400 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 58: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 500 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 59: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 600 horas de simulação. Vértice 12.
MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ÓLEO | BLOCO BM-S-56-5



Figura 60: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de verão, após 720 horas de simulação. Vértice 12.

A deriva do óleo condensado ocorre rumo a sudoeste do poço desde o início da simulação até 720 horas. Observa-se também que após o término do vazamento o óleo não encontra-se acima do limiar considerado em nenhum momento da simulação.

V.2.2. Inverno

prooceano

• Vértice 9

Na Figura 61 à Figura 72 serão apresentados os resultados do modo determinístico para o cenário de inverno, vazamento no vértice 9.



Figura 61: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 62: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 63: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 64: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 84 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 65: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 100 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 66: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 67: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 68: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 69: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 70: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 71: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação. Vértice 9.



Figura 72: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 900 horas de simulação. Vértice 9.

Assim como no cenário de verão, vértice 9, neste cenário a deriva do óleo condensado foi semelhante, havendo o toque na costa também em 84 horas após o início da simulação na Ilhabela – SP. Após 900 horas de simulação, não se observa presença de condensado na água com espessura superior a 3×10^{-7} m.

• Vértice 12

Na Figura 73 à Figura 82 serão apresentados os resultados do modo determinístico para o cenário de inverno, vazamento no vértice 12.



Figura 73: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 12 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 74: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 36 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 75: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 60 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 76: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 100 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 77: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 200 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 78: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 300 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 79: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 400 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 80: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 500 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 81: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 600 horas de simulação. Vértice 12.



Figura 82: Resultado da simulação determinística de pior caso, cenário de inverno, após 720 horas de simulação. Vértice 12.

Assim como no cenário de verão, vértice 12, neste cenário a deriva do óleo condensado também foi preferencial para sudoeste do poço, espalhando-se e ficando abaixo do limiar de detecção após o término do vazamento.

V.3. Balanços de Massa (ou Processos do Intemperismo)

A evolução temporal do balanço de massa obtido nas simulações é apresentada na Figura 83.





Tempo decorrido após a disponibilização de cada parcela de óleo na água Figura 83: Evolução Temporal do Balanço de Massa ao longo da Simulação.

Ao longo da simulação a massa total de óleo condensado perdida foi de 90%, sendo que esse valor é alcançado em até 124 horas após a disponibilização de cada parcela do óleo condensado na água.

A perda total por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação, consumindo 88,96% da massa, sendo essa porcentagem alcançada 124 horas após a disponibilização de cada parcela óleo na água.

A perda de massa pela dispersão consumiu 1% do óleo condensado vazado após 12 horas da disponibilização do mesmo. O balanço de massa ao longo do tempo pode ser observado nas Figura 84 a Figura 87.













88.964%

Figura 87: Balanço de Massa, após 124 horas de simulação.



VI. CONCLUSÃO

Em todas as simulações probabilísticas, vértice 9 e 12, pequeno e médio volume, além do *blow-out*, a deriva preferencial do óleo condensado foi preferencial para sudoeste/oeste do poço.

Nos vazamentos de pequeno e médio volume, vértice 9 e 12, nos cenários de verão e inverno não houve probabilidade do óleo condensado chegar à costa.

Os resultados obtidos nas simulações de *blow-out* mostraram que os vazamentos a partir do vértice 9 foram os únicos a apresentar probabilidade de toque na costa, sendo que no cenário de verão a área com probabilidade de presença de óleo condensado foi maior. Os municípios atingidos foram a Ilhabela, Caraguatatuba e São Sebastião, todos no Estado de São Paulo. O tempo mínimo de chegada de óleo em ambos os cenários, verão e inverno, foi de 60-100 horas após o início da simulação em Ilhabela - SP.

Com base nos resultados do modo probabilístico foram definidos dois cenários para cada vazamento (vértice 9 e 12) para apresentação do modo determinístico. Para o vazamento a partir do vértice 9 foram escolhidas às trajetórias que mais rapidamente alcançaram à costa. Para o vazamento a partir do vértice 12 foram escolhidas as trajetórias onde o óleo condensado permanecia mais tempo na água em condições meteoceanográficas predominantes, devido à ausência de toque na costa nesse caso.

Nas trajetórias escolhidas para o cenário de verão e inverno, vértice 9, o toque na costa ocorreu 84 horas após o início da simulação na região de Ilhabela - SP.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo condensado mostraram que após 124 horas da disponibilização de cada parcela de óleo condensado na água, os processos não mais atuam. A massa total de óleo condensado perdida foi de aproximadamente 90%, sendo que a evaporação consumiu aprox. 89% desse total.

Notou-se de maneira geral que a alta volatilidade do condensado fez com que em todas as simulações o óleo vazado foi quase que totalmente comsumido pelos processos de intemperismo. A parcela remanescente, espalha-se ao sabor das correntes e dos ventos até que desaparece, ficando abaixo do limiar de detecção utilizado na modelagem (3x10⁻⁷m).



VII. BIBLIOGRAFIA

CSANADY, G. T., 1972. Turbulent Diffusion in the Environment. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

DELVIGNE G.A.L. and SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.

DELVIGNE G.A.L., Hulsen L. Simplified laboratory experiments of oil dispersion coefficient- Application of computations of natural oil dispersion. Proc. 17th AAM Oilspill Program Technical Seminar. Vancouver, Canada, 1994.

DING, L.; FARMER, D. M. 1994. Observations of breaking wave statistics. Journal of Physical Oceanography 24, 1368-1387.

ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 61 (2004) 569–581.

ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo condensado no Mar.

FLORES, et al. Computer Modeling of Oil Spill Trajectories with a High Accuracy Method. Spill Science & Technology Bulletin. v. 5, n.5-6, 1999, p. 323-330.

JONES. R. 1997 A simplified Pseudo-component Oil evaporation Model. NOAA, USA in Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program, Technical Seminar, Volume 1, p.43-60. Vancouver, Canada.

KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A.LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.

LEHR, W.J., SIMECEK-BEATTY, D., 2000. The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms. Spill Science and Technology Bulletin 6, 247–253.

LEHR, W.J., JONES, R., EVANS, M., SIMECEK-BEATTY, D., OVERSTREET, R., 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling and Software 17, 191-199.

LYMAN, J. L.; REEHL, W.F.; ROSENBLATT, D.A. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. American Chemical Society, Washington D.C., 1990.

MACKAY, D. & R. S. MATSUGU, 1973.: Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Can J. Chem. Eng., 51. 434-9.

MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON, 1980.: Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

MACKAY, D., SHIU, W.Y., HOSSAIN, K., STIVER, W., MCCURDY, D., PETTERSON, S., TEBEAU, P. A., 1983. Development and Calibration of an Oil Spill Behavior Model, Report



No. CG-D-27-83, United States Coast Guard Office of Research and Development, Groton, Conn., USA.

MONAHAN, E., 1971. Oceanic whitecaps. Journal of Physical Oceanography 1, 139–144.

NOAA. ADIOS[™](Automated Data Inquiry for Oil Spill) version 2.0 Seatle: Hazardous materials Response and Assessment Division, NOAA. Prepared for the U. S. Coast Guard Research and Development Center, Groton Connecticut, 2000.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985a. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, J. Phys. Oceanogr., 15, 1676-1692.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, 1985b. A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, J. Phys. Oceanogr., 15, 1693-1709.

SOTO, Y. J. M. A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo condensado na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

THIBODEAUX, L.J. Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil. John Wiley and Sons, New York, 501 p., 1979.