



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

**MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO  
BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17**

Preparado para:  
HABTEC Engenharia Ambiental Ltda.

Preparado por:  
Bruna Cerrone  
Natalia Gomes

Revisado por:  
Francisco dos Santos

27 de novembro de 2009

**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.00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO

/BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17

Preparado para:  
HABTEC Engenharia Ambiental Ltda.

Preparado por:  
Bruna Cerrone  
Natalia Gomes

Revisado por:  
Francisco dos Santos

27 de novembro de 2009

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE.....</b>	<b>4</b>
<b>III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>III.1. Corrente, Temperatura e Salinidade. ....</b>	<b>4</b>
<b>III.2. Onda.....</b>	<b>4</b>
<b>IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM .....</b>	<b>4</b>
<b>IV.1. Modelo Adotado.....</b>	<b>4</b>
<b>IV.3. Construção das Matrizes de Sólidos.....</b>	<b>4</b>
<b>IV.4. Tempo de Descarte .....</b>	<b>4</b>
<i>IV.4.1. Pilhas de Deposição.....</i>	<i>4</i>
<i>IV.4.2. Plumas de Sólidos em Suspensão .....</i>	<i>4</i>
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>4</b>
<b>V.1. Pilhas de Deposição.....</b>	<b>4</b>
<b>V.2. Plumas de Sólidos em Suspensão .....</b>	<b>4</b>
<b>VI. CONCLUSÕES.....</b>	<b>4</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>4</b>

## I. INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do material a ser descartado pela atividade de perfuração nos blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

O modelo de dispersão utilizado foi o OOC (*Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model*) e as forçantes utilizadas como dado de entrada são oriundas de um modelo de circulação oceânica global denominado *HYCOM*.

O modelo e método usados visam atender aos requisitos da Coordenadoria Geral de Petróleo e Gás (CGPEG/IBAMA) para a atividade em questão.

## II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

Serão realizadas atividades de perfuração nos blocos BM-PAMA – 16 e BM-PAMA-17. Essas operações ocorrerão em 5 seções. Nas duas primeiras seções, o descarte será efetuado no próprio local da perfuração. E nas três últimas, um sistema de coleta e armazenamento de cascalho (*Clean Cut*) será utilizado. Esse material armazenado será descartado em um local próximo aos blocos, com uma lâmina d'água de 1000 m.

O ponto de descarte em questão situa-se à 0°25'50,19" S e 43°57'29,71" W, sobre o talude continental, a aproximadamente 235 Km da cidade de São Luís. A localização do ponto em relação aos blocos pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1: Localização do ponto de descarte em relação aos blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.**

Os volumes e vazões descartados em cada seção são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Características dos descartes previstos.**

Parâmetros	unidade	seção 3	seção 4	seção 5
profundidade de descarte	-	superfície	superfície	superfície
orientação vertical do tubo de descarga	°	90	90	90
volume de cascalho	m <sup>3</sup>	248,1	52,6	37,7
volume de fluido aderido	m <sup>3</sup>	99,2	21,0	15,1
duração do descarte	h	17,4	3,7	2,6
volume total descartado	m <sup>3</sup>	347,4	73,7	52,7
vazão	m <sup>3</sup> /h	20,0	20,0	20,0
base do fluido	-	sintética	sintética	sintética

Devido à utilização do sistema *Clean Cut*, observa-se que a vazão e a profundidade de descarte em todas as seções serão as mesmas. O fluido utilizado também será o mesmo

para as seções, com o base sintética. Observa-se, ainda, que o volume descartado pela seção 3 é relativamente superior as das demais seções.

### III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

#### III.1. Corrente, Temperatura e Salinidade.

Neste estudo, os dados de temperatura, salinidade e corrente são resultantes de um experimento de longo termo com o modelo *HYCOM* (Hybrid Coordinate Model).

O *HYCOM* é um modelo de circulação oceânica global que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), tendo como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas. Em outras palavras, ele utiliza o sistema de coordenadas isopicnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas *z* (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras).

Com o auxílio desses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopicnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada *z*), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma).

Desta forma, o *HYCOM* é basicamente um modelo em camadas isopicnais, que pode realizar uma transição suave para os sistemas de coordenadas *z* e sigma, próximo aos contornos superiores e inferiores, ou quando a resolução vertical é inadequada (GABIOUX, 2008). A combinação das vantagens dos diferentes sistemas de coordenadas permite simular, de forma otimizada, as características da circulação oceânica e costeira, sendo atribuída ao usuário a determinação das zonas de transição entre os sistemas de coordenadas (CHASSIGNET et al., 2003).

Para esta caracterização foram utilizados dados disponíveis do *HYCOM Consortium*. Os resultados do hindcast<sup>1</sup> que contempla a região da plataforma encontram-se disponíveis para utilização na página do projeto (<http://hycom.rsmas.miami.edu/dataserver/>). Os

---

<sup>1</sup> O termo "hindcast" é usado para descrever previsões numéricas realizadas para tempos pretéritos. É uma tentativa de reconstituição das condições ambientais em um determinado período.

dados usados possuem uma resolução espacial de  $1/12^\circ$  e uma série temporal de janeiro de 2006 a dezembro de 2008. Os resultados obtidos pelo *HYCOM* se ajustam às principais características regionais descritas na literatura, o que valida a sua utilização neste estudo.

Os perfis de corrente, temperatura e salinidade utilizados como forçantes na simulação foram obtidos utilizando a técnica de análise de funções ortogonais empíricas (EOF), usada no auxílio à compreensão da variabilidade de fenômenos oceanográficos através de séries temporais. Uma descrição desta técnica pode ser encontrada em Emery e Thomson (2004).

A análise de EOF oferece, associada a cada modo normal estatístico, uma descrição resumida da variabilidade espacial e temporal da dinâmica. Trata-se da decomposição dos dados em modos normais, onde é possível obter a variação temporal de cada um destes modos e também a quantificação da representatividade de cada modo dentro da variância total dos dados.

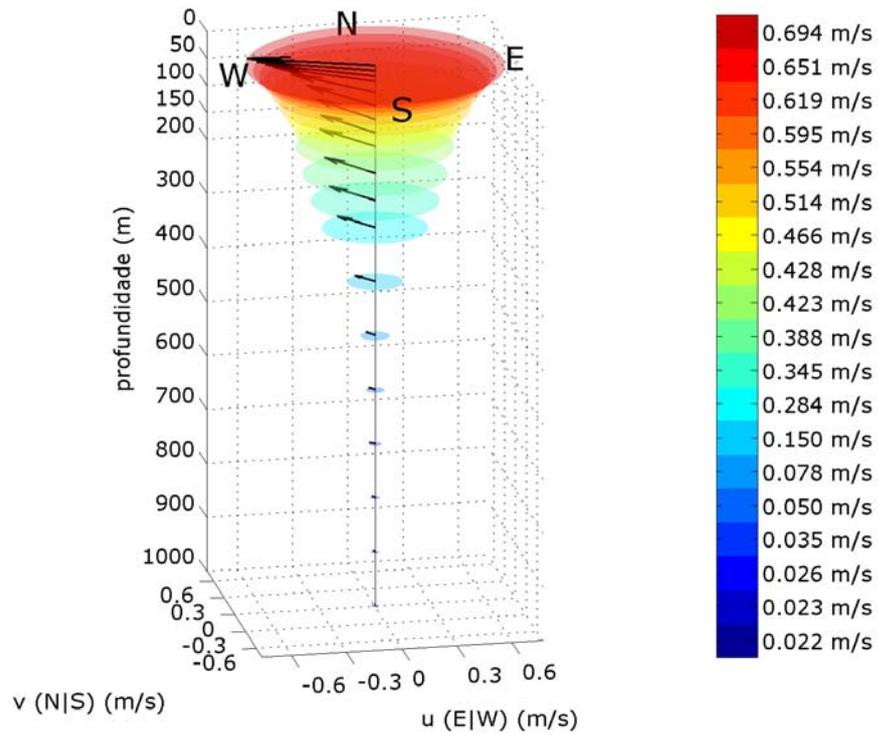
Os perfis sintéticos construídos são resultados do primeiro modo da EOF, que representa a maior parte da variância. Quanto à variação temporal, optou-se por utilizar o valor modal deste dado, de forma a representar a situação mais freqüente.

A Tabela 2 apresenta a variância explicada pelo primeiro modo da EOF, calculada para as componentes  $u$  e  $v$  da corrente, para a temperatura e a salinidade.

**Tabela 2: Variância explicada pelo Primeiro Modo da EOF para os dados de corrente, temperatura e salinidade.**

Parâmetro	Variância explicada
Componente $u$	69%
Componente $v$	65%
Temperatura	70%
Salinidade	48%

O perfil de corrente obtido a partir desta análise é apresentado na Figura 2. Observa-se que a corrente apresenta sentido, preferencialmente, noroeste e intensidade em torno de 0,6 m/s nas camadas superiores. A partir da profundidade de 500 m as intensidades observadas são menores que 0,1 m/s.



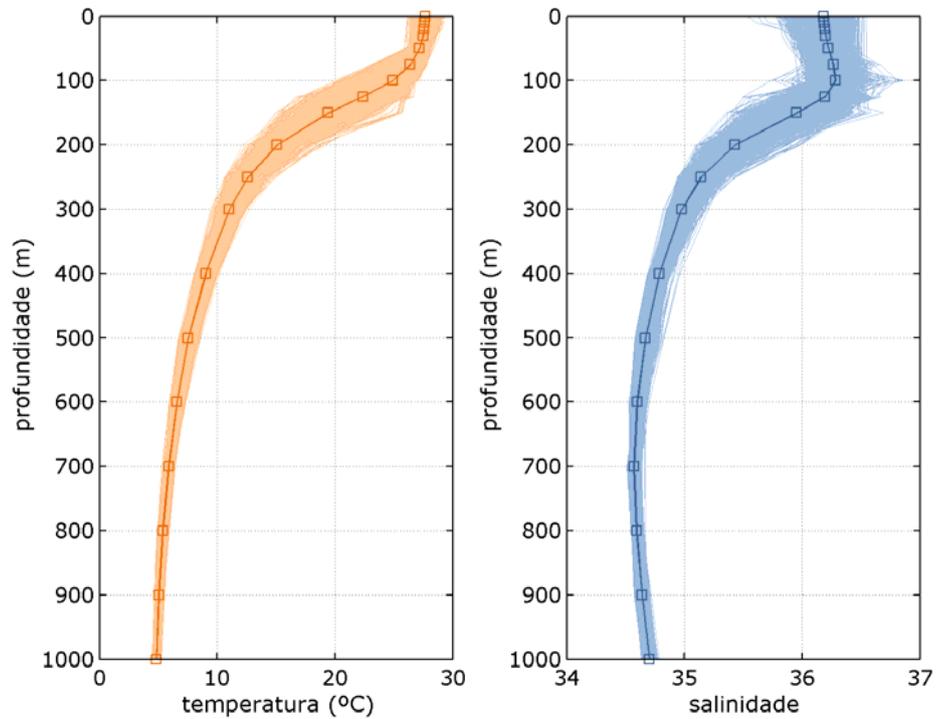
**Figura 2: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.**

Os valores das componentes da corrente utilizados nas simulações, resultantes da análise EOF, podem ser observados na Tabela 3.

**Tabela 3: Componentes  $u$  e  $v$ , e intensidade da corrente.**

profundidade (m)	componente $u$ (m/s)	componente $v$ (m/s)	intensidade (m/s)
0	-0,649	0,246	0,694
10	-0,591	0,274	0,651
20	-0,537	0,309	0,619
30	-0,484	0,346	0,595
50	-0,383	0,401	0,554
75	-0,292	0,423	0,514
100	-0,242	0,399	0,466
125	-0,228	0,362	0,428
150	-0,234	0,353	0,423
200	-0,211	0,326	0,388
250	-0,194	0,285	0,345
300	-0,164	0,232	0,284
400	-0,087	0,122	0,150
500	-0,038	0,068	0,078
600	-0,028	0,041	0,050
700	-0,026	0,023	0,035
800	-0,015	0,021	0,026
900	-0,005	0,022	0,023
1000	0,002	0,022	0,022

Os dados de temperatura e salinidade utilizados nas simulações são apresentados na Figura 3 e Tabela 4.



**Figura 3: Perfis típicos de temperatura e salinidade e os perfis sintéticos resultantes do primeiro modo da EOF.**

**Tabela 4: Dados de temperatura e salinidade com a profundidade.**

profundidade (m/s)	temperatura (°C)	salinidade
0	27,67	36,18
10	27,63	36,18
20	27,57	36,19
30	27,48	36,20
50	27,17	36,22
75	26,40	36,26
100	24,89	36,28
125	22,36	36,20
150	19,42	35,95
200	15,05	35,43
250	12,59	35,14
300	11,01	34,98
400	9,01	34,79
500	7,52	34,67
600	6,57	34,60
700	5,85	34,57
800	5,35	34,59
900	5,03	34,64
1000	4,83	34,70

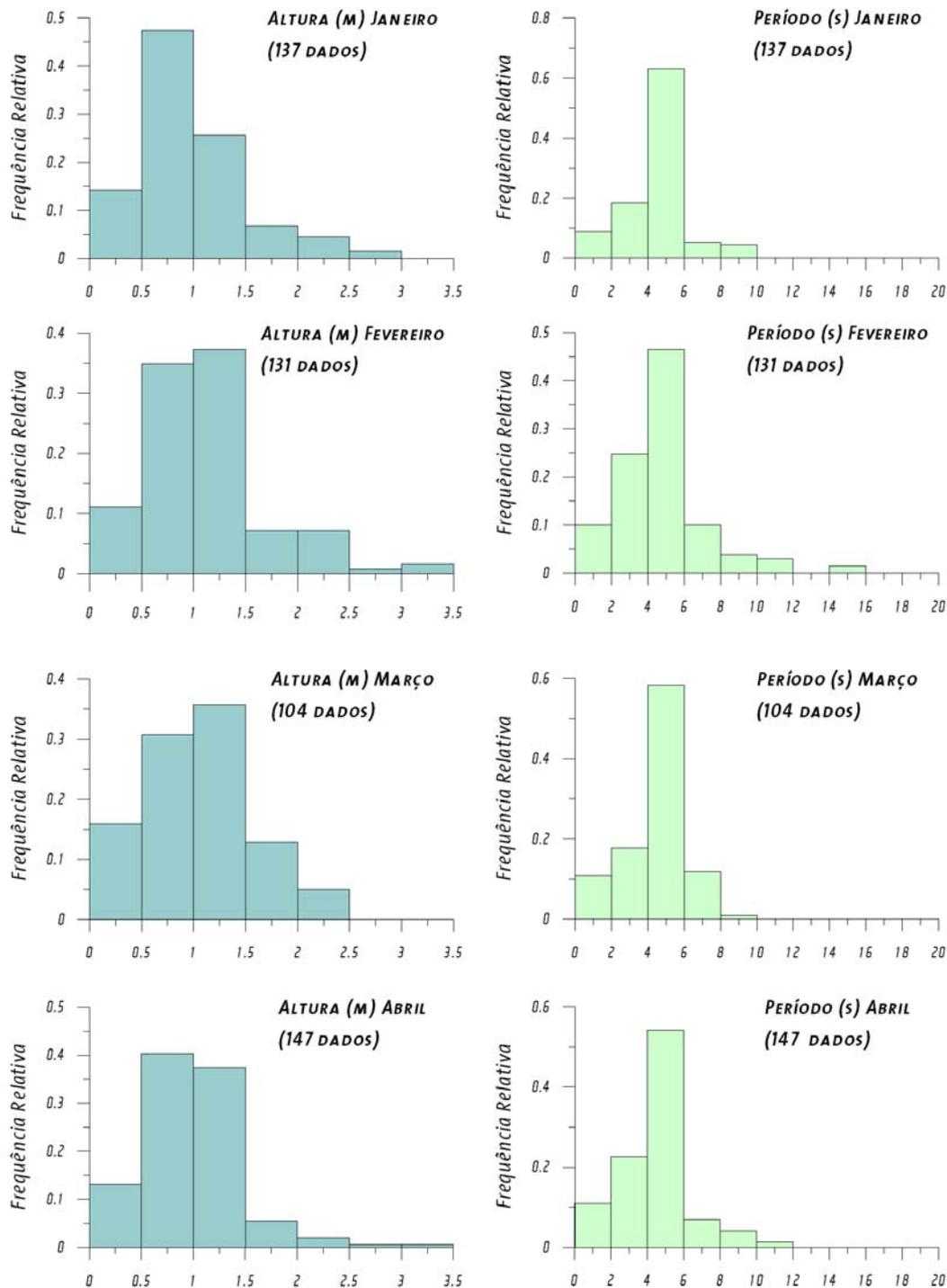
### III.2. Onda

Os blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 estão localizados na região equatorial da plataforma continental externa norte-nordeste da América do Sul, cuja direção forma um ângulo menor do que 45° com o Equador. Por esta razão, ela é influenciada por ondas de longas pistas no quadrante norte e leste. Ondas originadas por ventos de tempestade de inverno extra-tropicais do Atlântico Norte, que ocorrem principalmente entre dezembro e março, atingem a área dos blocos na forma de *swell*. Segundo Inocentini *et. al.* (2000) na região Norte do Brasil, do Amapá até aproximadamente Natal no Rio Grande do Norte, as ondas incidentes são formadas pelos alíseos e apresentam altura abaixo de 1-1,5 m em mar aberto. Eventualmente, chegam ondas com período de 15-20 s provenientes de tempestades formadas no extremo norte do Atlântico.

Coincidentemente, durante o inverno do Hemisfério Norte a Convergência Intertropical cruza a área em direção ao sul, expondo a região às ondas geradas pelos alíseos de nordeste.

Para a caracterização da agitação marítima na região adjacente aos blocos foram utilizados os dados disponíveis no BNDO para a área, no período de 1963 a 1999.

Na Figura 4, Figura 5 e Figura 6 são apresentados os histogramas de altura e período de ondas elaborados com os dados do BNDO. Em cada figura é também apresentado o número de dados amostrados em cada mês.



**Figura 4: Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de janeiro a abril, elaborados com os dados do BNDO.**

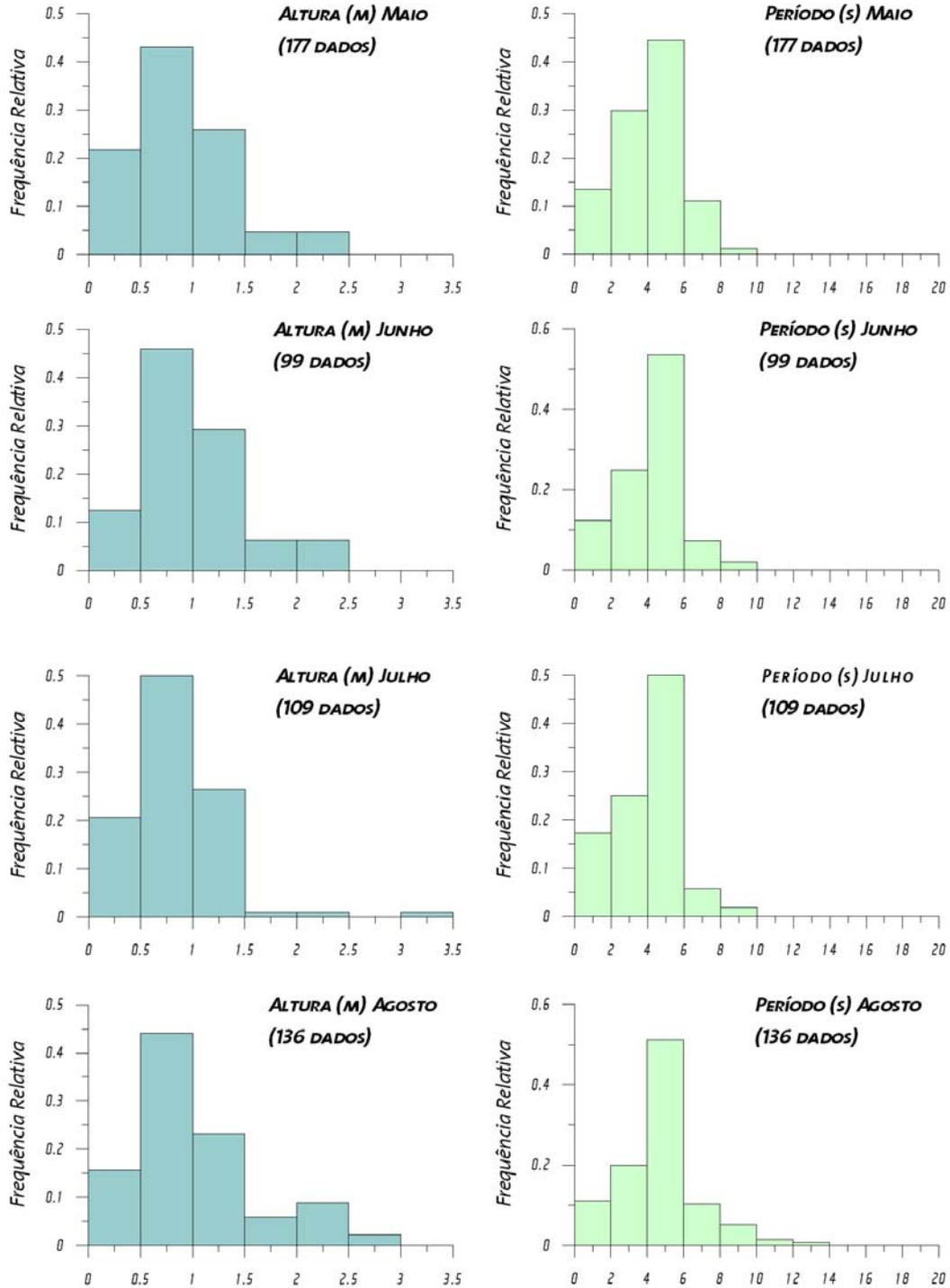
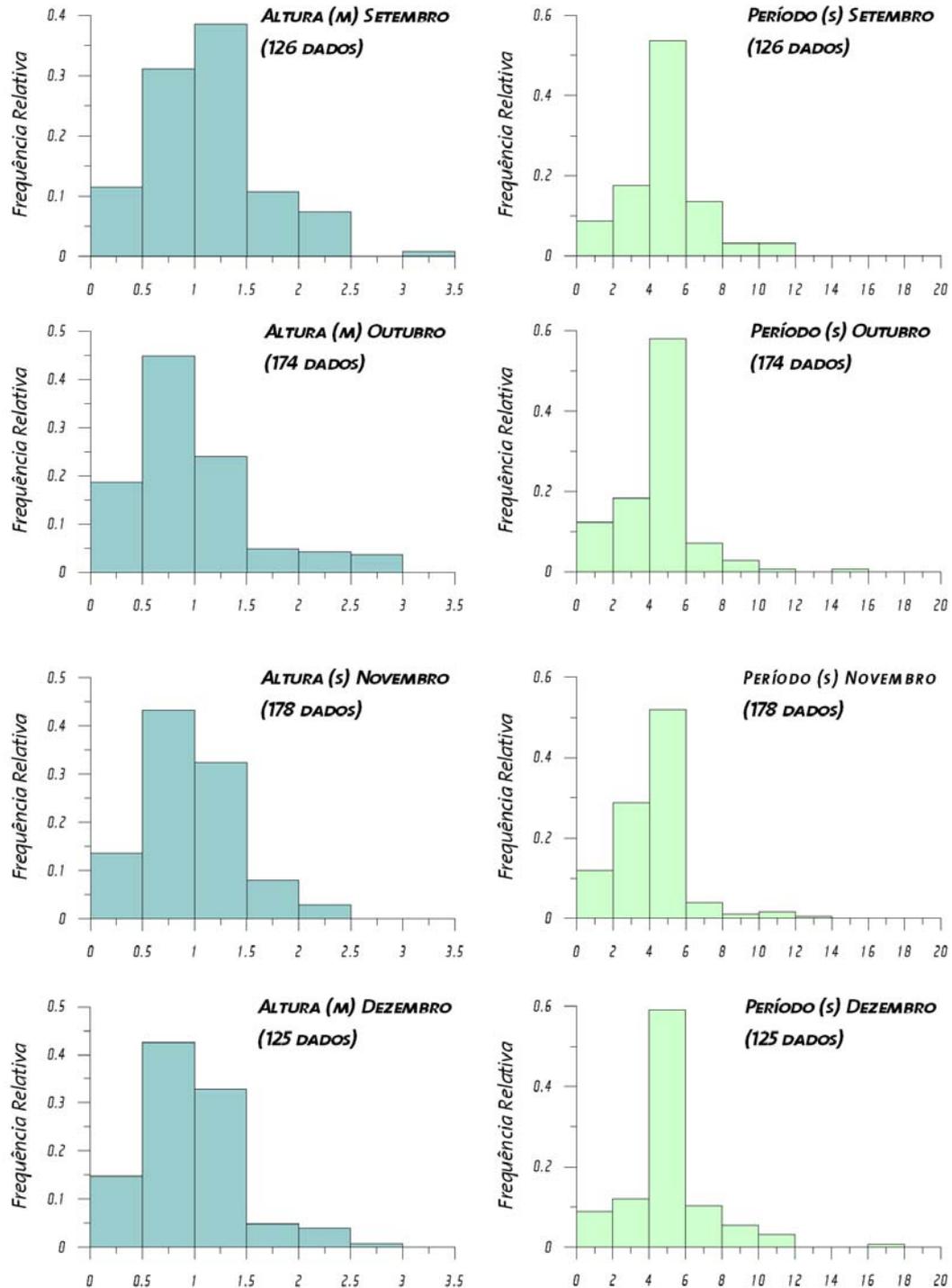


Figura 5: Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de maio a agosto, elaborados com os dados do BNDO.



**Figura 6: Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de setembro a dezembro, elaborados com os dados do BNDO.**

Observa-se que a classe de altura mais freqüente é a de 0,5 a 1 m, enquanto que a de período é a de 4 a 6 s. Nota-se, no entanto a presença de ondulações maiores, chegando a 3,5 m de altura e 18 s de período. Essas ondas estão associadas a situações de *swell*, gerados por tempestades no Atlântico Norte.

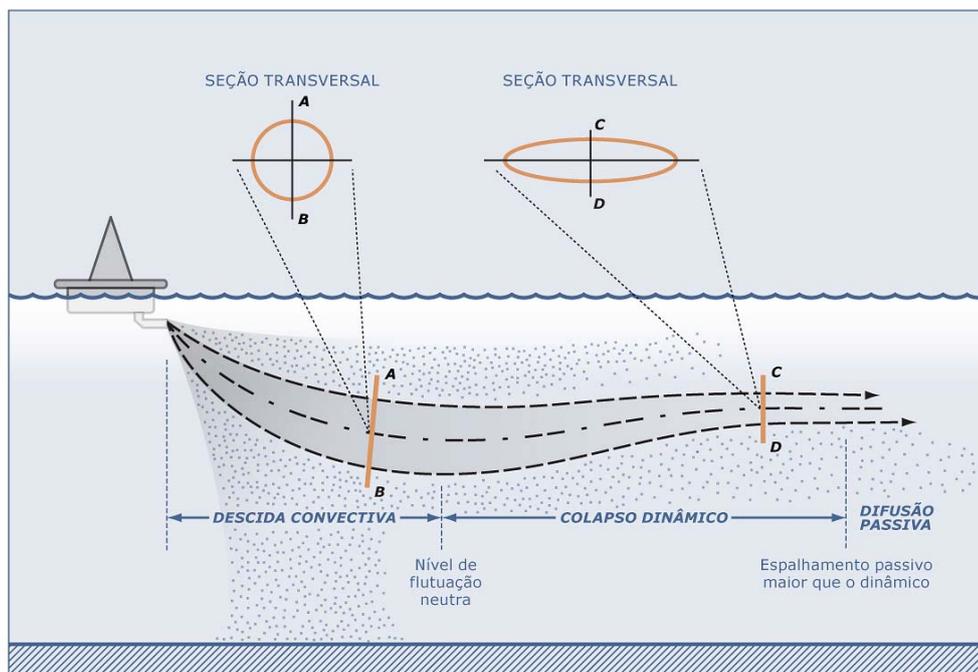
Para as simulações foram utilizados os valores de maior ocorrência.

## 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 (Figura 7).



**Figura 7: Representação esquemática das três fases descritas pelo modelo OOC.**

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada por um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento em que este deixa a fonte até que ele encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que se estabilize no nível de flutuação neutra. As partículas mais pesadas depositam-se rapidamente ainda neste estágio inicial. Esta fase, também conhecida como fase de jato ou

descida convectiva, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

Finda esta primeira etapa, inicia-se a fase de *colapso dinâmico*, onde o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido, ainda, a sua diferença de densidade com relação ao 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, denominada de 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.

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

#### IV.2. Descrição dos Descartes

No modelo OOC são necessários os seguintes parâmetros para caracterização do descarte:

- vazão;
- raio da fonte;
- profundidade de descarte;
- inclinação vertical;
- direção;
- duração do descarte;
- densidade dos componentes sólidos;
- densidade do efluente.

A densidade do efluente nos descartes de cascalho e fluido aderido é calculada por uma média ponderada entre as frações de massa  $f$  e densidades  $\rho$ .

$$\rho_{\text{efluente}} = \rho_{\text{fluido}} f_{\text{fluido}} + \rho_{\text{cascalho}} f_{\text{cascalho}}$$

Utilizando a seção 3 como exemplo, consideramos  $f_{\text{fluido}}=28,57\%$ ,  $f_{\text{cascalho}}=71,43\%$ ,  $\rho_{\text{fluido}}=1138,4 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{cascalho}} =2400 \text{ Kg/m}^3$ . Considerando a equação acima, chega-se a uma densidade do efluente  $\rho_{\text{efluente}}=2039,54 \text{ Kg/m}^3$  para a descarga de cascalhos e fluido aderido.

Os valores obtidos para todos os descartes de cascalho e fluido aderido podem ser observados na Tabela 5.

**Tabela 5: Valores usados na descrição da densidade média dos efluentes.**

Parâmetro	Unidade	seção 3	seção 4	seção 5
$f_{\text{cascalho}}$	%	71,43%	71,43%	71,43%
$f_{\text{fluido}}$	%	28,57%	28,57%	28,57%
$\rho_{\text{casc}}$	$\text{kg/m}^3$	2400,0	2500,0	2600,0
$\rho_{\text{fluido}}$	$\text{kg/m}^3$	1138,4	1318,2	1677,7
<b><math>\rho_{\text{efluente}}</math></b>	<b><math>\text{kg/m}^3</math></b>	<b>2039,54</b>	<b>2162,33</b>	<b>2336,47</b>

O modelo OOC é mais bem adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, para o cálculo das pilhas de deposição no assoalho marinho, é possível representar descartes de longa duração através de um fator de escala aplicado a um descarte curto.

Ao utilizar-se um perfil estacionário de correntes (que não varia no tempo) e uma vazão constante considera-se que partículas idênticas lançadas nos primeiros e últimos instantes do descarte terão o mesmo comportamento ao longo da coluna d'água. Logo, irão depositar-se na mesma posição.

Assim sendo, é plausível considerar que um descarte de 6 horas formará exatamente a mesma pilha que 6 descartes de 1 hora. Ou seja, é possível representar um descarte de longa duração através de um fator de escala:

$$\gamma = \frac{t}{t_{\text{simulado}}}$$

Onde  $t$  é o tempo esperado na operação e  $t_{\text{simulado}}$  a duração do descarte usada nas simulações. Como as simulações foram efetuadas com 1 hora de descarte o fator de escala é igual ao tempo apresentado na Tabela 1.

Além destes parâmetros, é necessário que se conheça o comportamento das partículas sólidas lançadas em cada descarte. Em virtude das incertezas a respeito do material resultante da perfuração de um poço exploratório, optou-se por usar distribuições

genéricas de velocidades de queda baseadas em Brandsma e Smith (1999). Estas distribuições foram obtidas a partir de uma quantidade representativa de experimentos e são aconselhadas no manual do modelo para quando os dados locais são desconhecidos (Tabela 6).

**Tabela 6: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalhos e sólidos de fluido de base sintética.**

Classe	Fração de volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,13	0,600151
2	0,16	0,499872
3	0,17	0,449885
4	0,16	0,399898
5	0,13	0,365150
6	0,10	0,330098
7	0,07	0,300015
8	0,04	0,269992
9	0,02	0,240000
10	0,01	0,210007
11	0,01	0,200010

### IV.3. Construção das Matrizes de Sólidos.

Primeiramente é necessário estimar a fração de sólidos presente em cada descarte. Nos descartes de cascalho e fluido aderido, esta fração é dada pela soma das contribuições do cascalho ( $f_{casc}$ ) e dos sólidos presentes no fluido ( $f_{solflu}$ ).

$$f_{soltot} = f_{casc} + f_{solflu}$$

A fração de cascalhos e de sólidos do fluido é extraída diretamente da relação entre o volume de sólidos e o volume total de cada descarte.

Apesar de apresentar uma densidade média nos dados teóricos, o modelo OOC permite que seja atribuída uma densidade específica para cada classe de velocidade de queda descrita. Entretanto, pela falta de conhecimento do material descartado, optou-se por trabalhar com um valor médio de densidade para os sólidos descartados, que são fornecidos pela empresa fabricante do fluido.

Assim, a fração de cada classe de velocidade de queda foi recalculada para adaptar-se aos descartes a serem realizados através da equação:

$$f_{OOC} = f_{Brandsma \& \ Smith} \times f_{estimado}$$

As matrizes calculadas para cada descarte são apresentadas da Tabela 7 à Tabela 9.

**Tabela 7: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 3.**

sólido	dens (g/cm <sup>3</sup> )	f <sub>ooc</sub>	vel queda (m/s)
sol1	2,1054	0,124	0,6001512
sol2	2,1054	0,147	0,4998720
sol3	2,1054	0,155	0,4498848
sol4	2,1054	0,147	0,3998976
sol5	2,1054	0,124	0,3651504
sol6	2,1054	0,094	0,3300984
sol7	2,1054	0,064	0,3000146
sol8	2,1054	0,039	0,2699918
sol9	2,1054	0,021	0,2399995
sol10	2,1054	0,010	0,2100072
sol11	2,1054	0,006	0,2000098

**Tabela 8: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 4.**

sólido	dens (g/cm <sup>3</sup> )	f <sub>ooc</sub>	vel queda (m/s)
sol1	2,2210	0,125	0,6001512
sol2	2,2210	0,147	0,4998720
sol3	2,2210	0,156	0,4498848
sol4	2,2210	0,148	0,3998976
sol5	2,2210	0,125	0,3651504
sol6	2,2210	0,095	0,3300984
sol7	2,2210	0,064	0,3000146
sol8	2,2210	0,039	0,2699918
sol9	2,2210	0,021	0,2399995
sol10	2,2210	0,010	0,2100072
sol11	2,2210	0,006	0,2000098

**Tabela 9: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 5.**

sólido	dens (g/cm <sup>3</sup> )	f <sub>ooc</sub>	vel queda (m/s)
sol1	2,3813	0,126	0,6001512
sol2	2,3813	0,149	0,4998720
sol3	2,3813	0,158	0,4498848
sol4	2,3813	0,149	0,3998976
sol5	2,3813	0,126	0,3651504
sol6	2,3813	0,096	0,3300984
sol7	2,3813	0,065	0,3000146
sol8	2,3813	0,039	0,2699918
sol9	2,3813	0,021	0,2399995
sol10	2,3813	0,010	0,2100072
sol11	2,3813	0,006	0,2000098

#### IV.4. Tempo de Descarte

O modelo OOC é melhor adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, conhecendo-se as características do meio e do descarte, é possível representar descartes de longa duração com este modelo. Os métodos são usados de acordo com o tipo de impacto que busca-se analisar: a pilha de deposição final no assoalho marinho ou a pluma de sólidos em suspensão na coluna d'água.

##### IV.4.1. Pilhas de Deposição

Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico simplesmente pela divisão da camada a ser percorrida e a velocidade de queda de cada classe de grão.

Como em todas as seções modeladas é utilizado um fluido de base sintética e o descarte é realizado na mesma profundidade, o tempo de queda das partículas de cada classe será o mesmo para todas as seções (Tabela 10).

**Tabela 10: Tempo de queda estimado (em horas) para cada classe de sólido nos descartes a serem realizados.**

classe	tempo estimado (h)
1	0,46
2	0,56
3	0,62
4	0,69
5	0,76
6	0,84
7	0,93
8	1,03
9	1,16
10	1,32
11	1,39

Mesmo descartando o material em uma lâmina d'água de 1000m, o tempo estimado para todo material se depositar é inferior a 2 h, devido aos elevados valores de velocidade de queda das partículas.

#### IV.4.2. Plumaz de Sólidos em Suspensão

Para os sólidos em suspensão, como objetiva-se monitorar um impacto transiente, é preciso conhecer antes os tempos em que a pluma assume um caráter estacionário ao longo da coluna d'água. Este tempo irá depender da intensidade da corrente local, da duração do descarte e da distância de interesse.

O método proposto por Brandsma e Smith (1999) foi utilizado para estimar o momento em que a pluma entra em condição estacionária ( $t_{\text{inicial}}$ ) e o momento em que a pluma deixa essa condição, a uma determinada distância da fonte ( $t_{\text{final}}$ ):

$$t_{\text{inicial}} = \frac{X + 4\sigma}{u} \quad \text{e} \quad t_{\text{final}} = \frac{X - 4\sigma}{u} + t_{\text{simulado}}$$

onde  $\sigma = \sigma_0 \left[ 1 + 4^{4/3} \frac{2}{3} \left( \frac{A_L \Delta t}{\sigma_0^{2/3}} \right) \right]$ , X é a distância da fonte, u velocidade média da corrente local,  $A_L$  um parâmetro de dissipação e  $\sigma_0$  tamanho inicial da pluma, estimado na ordem de grandeza do tubo de descarte.

Para o cálculo das plumas de sólidos em suspensão foi usado um tempo de descarte de 2 horas e, baseado na equação acima, foram estimados os tempos para as estimativas em cada distância da fonte, conforme apresentado na Tabela 11

**Tabela 11: Tempo, final e inicial, calculado para determinar a estacionariedade da pluma e tempo estimado para observação da pluma formada pelos descartes.**

<b>distância da fonte (m)</b>	<b><math>t_{início}</math> (h)</b>	<b><math>t_{final}</math> (h)</b>	<b><math>t_{estimativa}</math> (h)</b>
10	0,01	2,01	1
50	0,03	2,03	1
100	0,06	2,06	1
250	0,16	2,16	1
500	0,32	2,31	1

## V. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as pilhas de deposição no assoalho marinho e plumas de sólidos em suspensão na coluna d'água estimadas pelas simulações realizadas.

As pilhas de deposição serão apresentadas por descarte e integradas, visando considerar o efeito conjunto dos descartes.

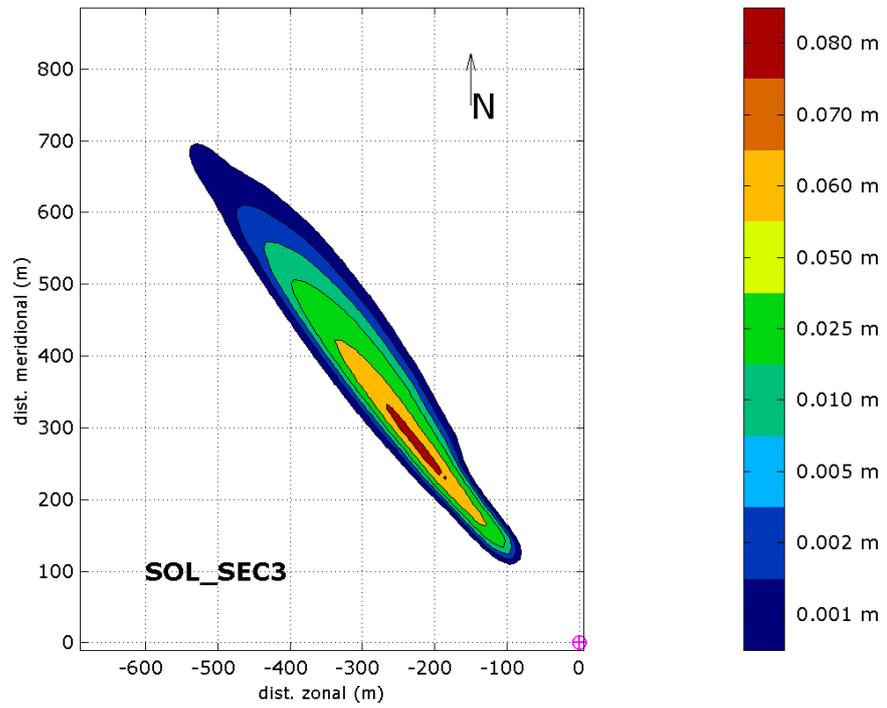
Por ocorrerem de forma sequencial e possuírem uma curta expectativa de permanência na coluna d'água, não será apresentada integração para as plumas de sólidos em suspensão.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]), extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

### V.1. Pilhas de Deposição

De acordo com a análise realizada em função da velocidade de queda e estimativa da distância percorrida por cada classe o tempo escolhido para cada simulação foi de 2h.

As pilhas formadas por cada simulação podem ser observadas da Figura 8 a Figura 10 e a integração dos resultados na Figura 11.



**Figura 8: Pilha de deposição encontrada para o descarte da seção 3.**

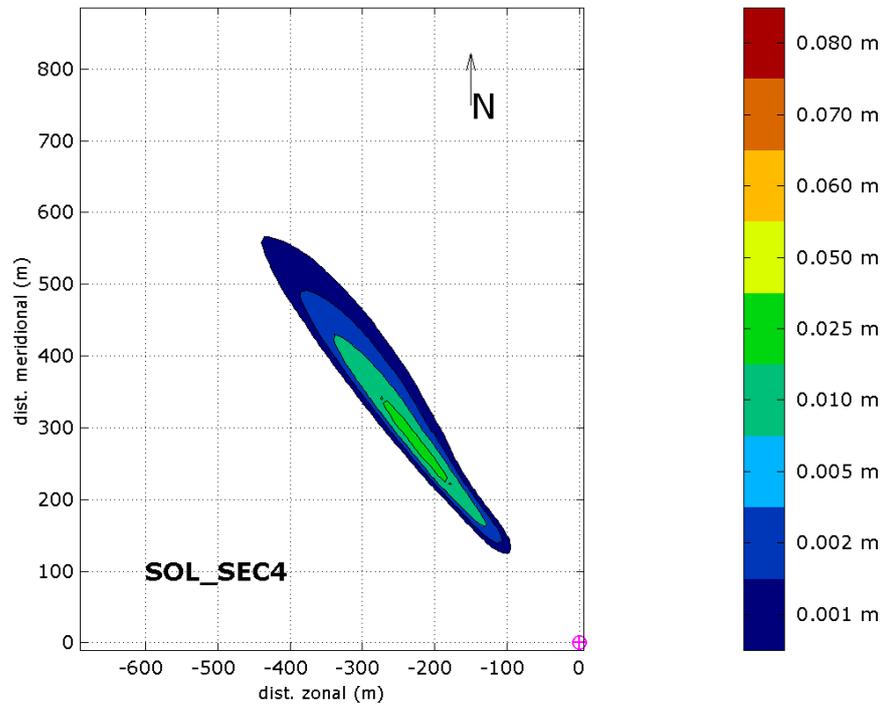


Figura 9: Pilha de deposição encontrada para o descarte da seção 4.

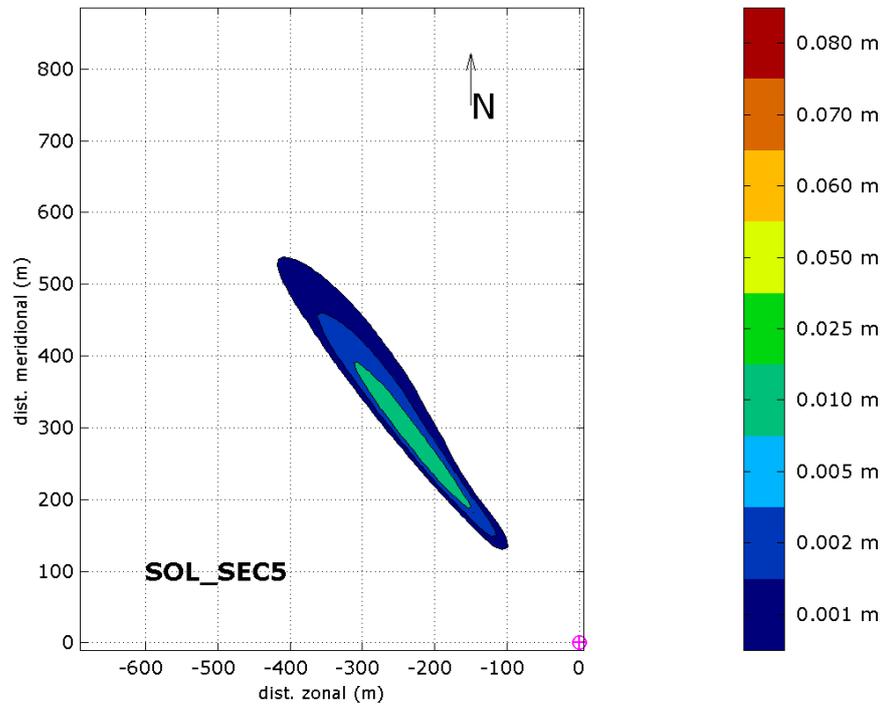
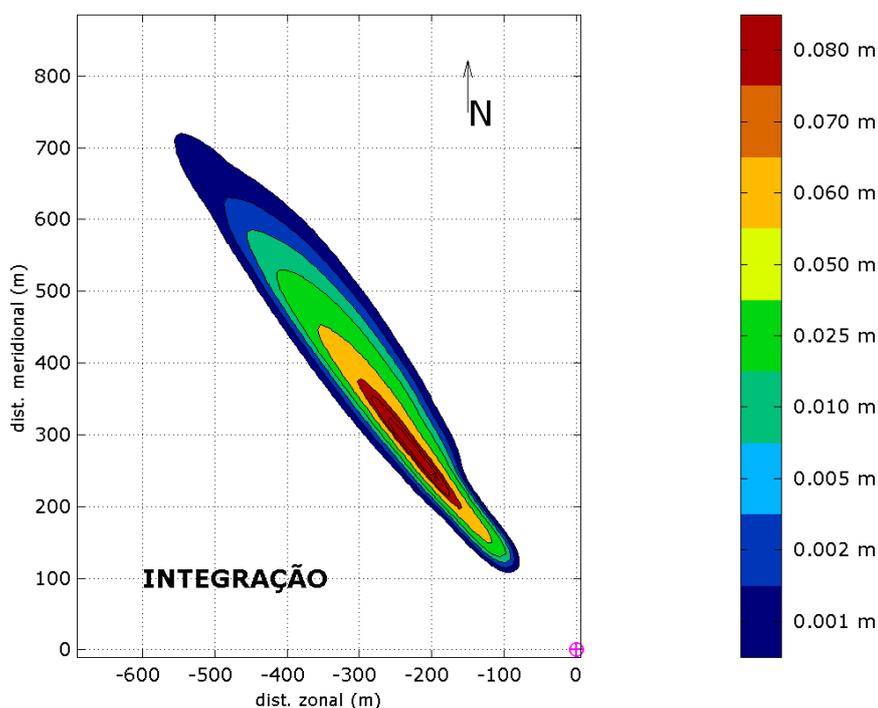


Figura 10: Pilha de deposição encontrada para o descarte da seção 5.



**Figura 11: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 1.**

Um resumo dos resultados obtidos para a deposição de sólidos é apresentado na Tabela 12.

**Tabela 12: Resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição**

simulação	esp. máxima (m)	área (m <sup>2</sup> )	volume capturado
seção 3	0,058	59265,27	99%
seção 4	0,012	31872,68	99%
seção 5	0,009	26432,57	99%
<b>INTEGRAÇÃO</b>	<b>0,079</b>	<b>66561,42</b>	

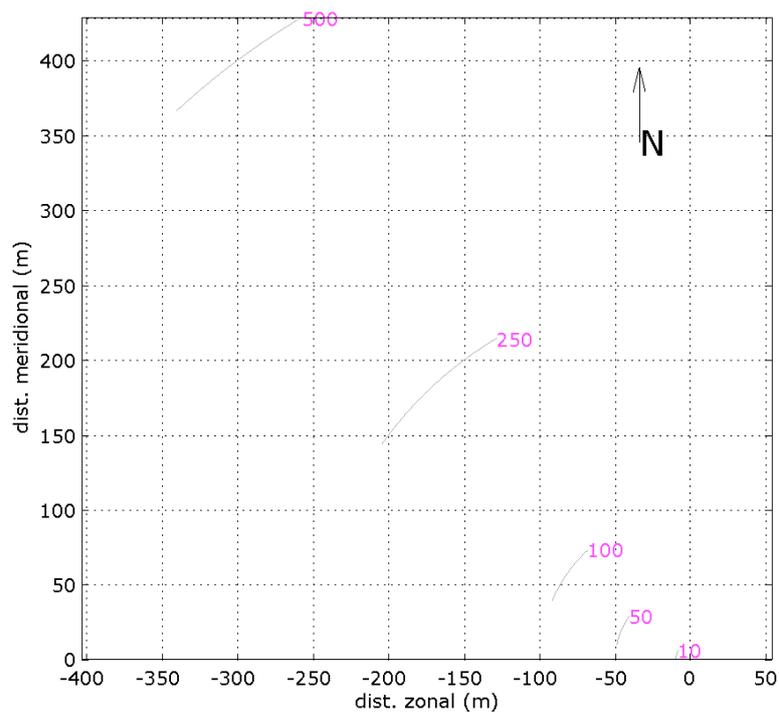
O descarte responsável pela maior espessura e área é o da seção 3, o que já era esperado por descartar o maior volume.

A pilha final cobre uma área de 66.561 m<sup>2</sup> com uma espessura máxima de 0,079 m a, aproximadamente, 350 m de distância do ponto de descarte no sentido noroeste .

## V.2. Plumas de Sólidos em Suspensão

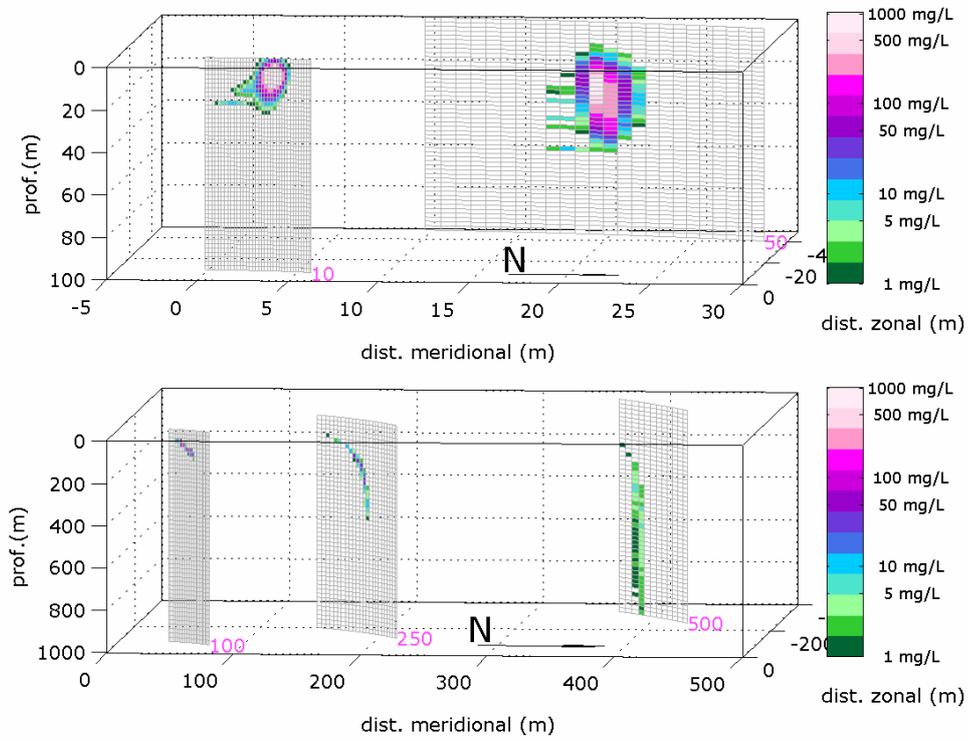
As plumas de sólidos em suspensão formadas pelos descartes foram monitoradas através de seções radiais verticais na coluna d'água, posicionadas a distâncias específicas da fonte, até atingirem uma concentração de 5 mg/L (*limiar monitorado*). A posição das radiais foi escolhida a fim de melhor representar a localização da pluma. Para se obter uma melhor visualização do limiar atingido, optou-se por representar a pluma até uma concentração de 1 mg/L (limiar de corte).

A representação esquemática das radiais escolhidas pode ser observada na Figura 12.

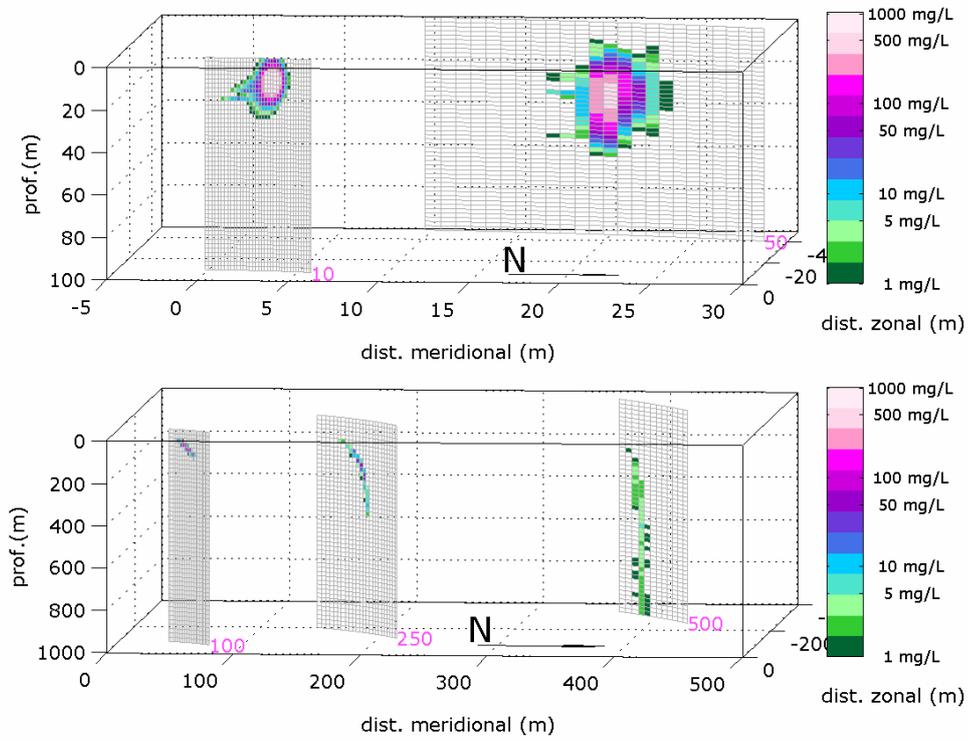


**Figura 12: Posição das radiais usadas para monitoramento da pluma de sólidos em suspensão.**

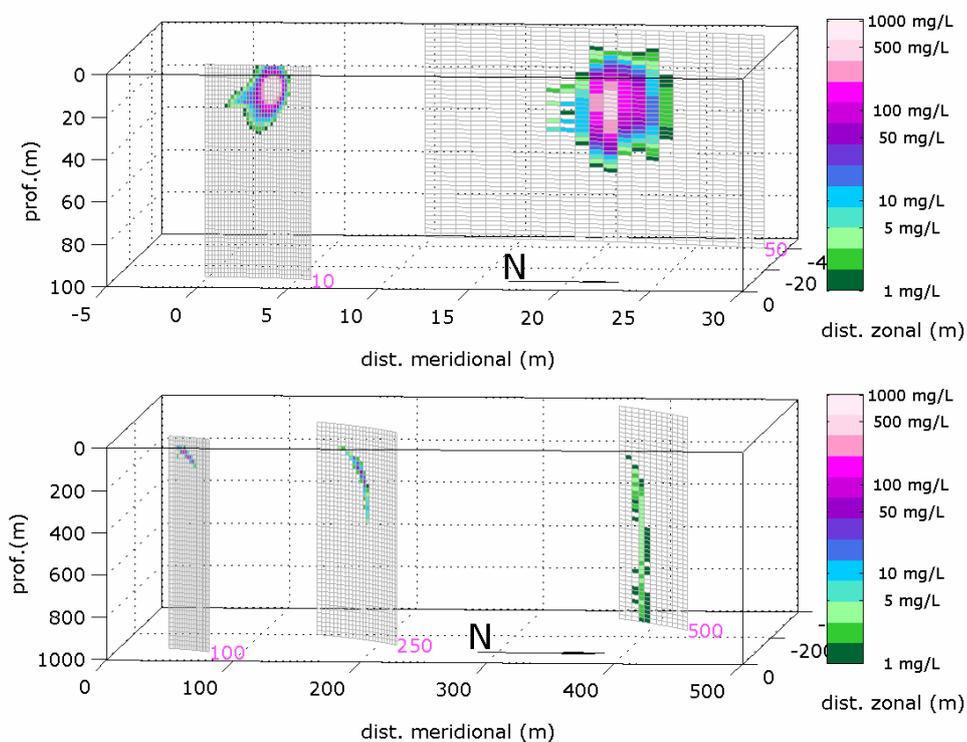
As plumas obtidas são apresentadas na Figura 13, Figura 14 e Figura 15, para os descartes das seções 3, 4 e 5, respectivamente.



**Figura 13: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 3.**



**Figura 14: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 4.**



**Figura 15: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 5.**

Como já era esperado o comportamento das plumas formadas é semelhante, por serem iguais o tipo de fluido utilizado, a profundidade e a vazão de descarte. Concentrações acima do limiar monitorado ainda são observadas a 500 m da fonte, nas seções 3 e 4. No entanto, a 750 m de distância os valores máximos obtidos são inferiores a 1 mg/L em todas as seções.

As concentrações máximas obtidas em cada radial para as plumas dos descartes são apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13: Concentração máxima (mg/L) de sólidos em suspensão em cada radial, para todos os descartes.**

distância da fonte (m)	concentração (mg/L)		
	seção 3	seção 4	seção 5
10	2875,04	2086,57	1572,53
50	695,45	435,16	534,29
100	161,98	104,56	94,53
250	39,31	41,81	45,76
500	5,43	5,12	4,62
750	0,46	0,31	0,35

## VI. CONCLUSÕES

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento do material a ser descartado no mar pela atividade de perfuração nos blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, na Bacia do Pará-Maranhão. O material das três últimas seções será coletado e armazenado por um sistema denominado *Clean Cut* e lançado posteriormente em uma região adjacente aos blocos, com uma lâmina d'água de 1000m.

Foram feitas estimativas tanto para o número de sólidos em suspensão na coluna d'água, quanto para o acúmulo destes no leito marinho. Os acúmulos no leito marinho foram calculados de forma a bem avaliar tanto a região de maior espessura quanto a área total da deposição.

O cenário ambiental utilizado nas modelagens procurou reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco. O acúmulo do material das seções apresentou orientação noroeste concordando com a hidrodinâmica simulada para a região.

A espessura máxima obtida foi de 0,079 m e a área coberta pela pilha abrange 66561,424 m<sup>2</sup>. O descarte que mais contribuiu tanto para a espessura resultante quanto para a área foi o da seção 3, com 0,058 m e 59265,268 m<sup>2</sup>, por apresentar o maior volume descartado.

Quanto às plumas de sólidos em suspensão, tanto a seção 3 quanto a seção 4 atingiram o limiar de 5 mg/L após a radial de 500 m. Porém, o descarte da seção 3 foi o que manteve os maiores níveis de concentração em todas as radiais, sendo, assim, o responsável pelo maior impacto.

## VII. BIBLIOGRAFIA

**BRANDSMA, M., & SMITH, J., 1999.** Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*

**CHASSIGNET, E. P., SMITH, L. T., HALLIWEL, G. R., 2003,** "North Atlantic Simulations with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity", *Journal Physical Oceanography*, v. 33, n. 12, pp. 2504-2526.

**EMERY, W. J., & THOMSON, R. E., 2004.** Data analysis methods in physical oceanography. 2nd and Revised Edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, 638 pp.

**GABIOUX, M. 2008.** Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

**HYCOM. 2008.** Assimilative Global Simulation (10/2008 to 11/2008), [online] Disponível via WWW. URL: [http://hycom.coaps.fsu.edu/data/glb\\_simulation.html](http://hycom.coaps.fsu.edu/data/glb_simulation.html).

**INNOCENTINI, V.; CUNHA PRADO, S.C.S.; PEREIRA, C.S.; OLIVEIRA ARANTES, F.; BRANDÃO, I.N.** Marulhos no litoral norte do Brasil gerados por furacões: caso de 24 de outubro de 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 128 p