

**Texaco Brasil**

**Modelagem do Projeto de Descarga do Frade**

*Preparado para:*

**Texaco Brasil S.A.**

*Preparado por:*

**Maynard G. Brandsma, P.E.**

5 de maio de 2000

**BRANDSMA  
ENGINEERING**

102 E. Eighth Street, Suite 203

Durango, Colorado 81301

E.U.A.

970.259.3487

[BrandsmaMG@compuserve.com](mailto:BrandsmaMG@compuserve.com)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO EXECUTIVO.....</b>	<b>II</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO</b>		<b>1</b>
<b>2. DESCARGAS DE LAMA E CASCALHO .....</b>	<b>1</b>	
<b>3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....</b>	<b>3</b>	
3.1. CENÁRIO FÍSICO.....	3	
3.2. CORRENTES... 4		
3.3. HIDROGRAFIA .....	5	
3.4. ESTADO DO MAR.. 5		
<b>4. METODOLOGIA DA MODELAGEM.....</b>	<b>5</b>	
4.1. MODELAGEM DO DEPOSITO DE LAMA E CASCALHO NO LEITO DO MAR.....	5	
4.1.1. <i>Modelo da Trajetória</i> .....	5	
4.1.2. <i>Correntes Sintéticas para Modelagem da Deposição de Sólidos</i> .....	6	
4.1.3. <i>Probabilidade das Distribuições Conjuntas da Corrente Composta</i> .....	7	
4.1.4. <i>Metodologia da Modelagem da Deposição</i> .....	9	
4.2. MODELAGEM DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS NA COLUNA D'ÁGUA.....	12	
4.2.1. <i>Modelo de Descarga de Lama e Cascalho do Comitê do Operador Offshore</i> .....	12	
4.2.2. <i>Metodologia da Modelagem da Coluna D'Água</i> .....	12	
<b>5. RESULTADOS ....</b>	<b>13</b>	
5.1. SÓLIDOS DA PERFURAÇÃO DEPOSITADOS NO LEITO DO MAR .....	13	
5.2. SÓLIDOS DE PERFURAÇÃO SUSPENSOS NA COLUNA D'ÁGUA.....	15	
<b>6. DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>	
<b>7. REFERE</b>	<b>17</b>	
ANEXO A Visão Geral do Modelo de Trajetória		
ANEXO B Validação do Modelo de Trajetória		
ANEXO C Construção de Correntes Sintéticas		
ANEXO D Visão Geral do Modelo de Descarga de Lama e Cascalho do Comitê do Operador Offshore (Offshore Operator's Committee OOC)		
ANEXO E Validação do Modelo OOC		
ANEXO F Glossário		

## Sumário Executivo

Previram-se os depósitos de lama e cascalho no leito do mar para três poços cuja perfuração foi proposta pela Texaco Brasil S.A. São eles: “Frade “A”, Frade “B” e BC4-1 (“D”), todos na Bacia de Campos. Foi usado um modelo de computador desenhado e validado para este fim. Os sólidos de perfuração descarregados em regiões do leito do mar foram acompanhados dentro de regiões de 12,7 km X 12,7 km no leito do mar, com cada poço como centro. As concentrações de sólidos em suspensão de sedimento de perfuração foram também verificadas, usando-se um modo em que lama de perfuração de alta densidade é despejada a altas taxas.

O depósito de cascalho e sólidos de lama das perfurações dos três poços leva à formação de pilhas de cascalho à volta de cada cabeça de poço. Tais pilhas têm uma espessura máxima de 22,4 a 43,4 cm. As pilhas cobrem pequenas áreas do leito do mar. Prevê-se uma área do leito do mar coberta por 1 cm ou mais de sedimentos de perfuração de 0,44 a 0,68 ha por poço, que equivale a 69 a 106% da área do menor campo de futebol oficial. A área prevista de cobertura por 0,1 cm ou mais é de 1,67 a 3,16 ha. As pilhas de cascalho se acumulam primariamente a partir da lama e cascalho descarregados próximo ao leito do mar durante a perfuração de seções de poço com diâmetros de 36 a 26 polegadas. A partir daí, as descargas de lama e cascalho vêm do tubo de descarga do navio sonda e devem cobrir 0,65 km (BC4-1“D”), 1,15 km (Frade “A”) ou 1,33 km (Frade “B”) antes de atingirem o leito do mar.

Devido às grandes distâncias de precipitação, às baixas velocidades de precipitação das partículas e à atividade das correntes, o depósito de lama e cascalho longe das pilhas de cascalho ocorre apenas em camadas muito finas. Essas camadas acumulam-se gradualmente à medida que a perfuração do poço avança. O sufocamento de organismos no leito do mar ficará restrito à região das pilhas de cascalho com espessura de 1 cm ou mais. A maior parte da área do leito do mar que, segundo a previsão, deverá receber sólidos de perfuração não terá acumulações suficientes para provocar qualquer efeito físico significativo.

As concentrações máximas de sólidos suspenso na coluna d’água ocorrem em consequência de descargas em bruto de lama de perfuração. Essas descargas ocorrem durante as operações de cimentação, ou quando se está trocando a lama de perfuração. Um modelo de computador foi usado para simular as distribuições esperadas de concentração de sólidos em suspensão quando uma lama de perfuração com peso de 10,5 libras por galão (1,26 gramas por centímetro cúbico) for descarregada durante 1 hora a taxas de 500, 1000 e 2000 barris/hora (0,022, 0,0441 e 0,0883 m<sup>3</sup>/s). Foram usadas velocidades medianas de corrente para essas simulações.

As plumas de lama foram monitoradas durante as quatro horas seguintes ao início da descarga. Neste tempo, a pluma de lama permaneceu nos 80 metros superiores da coluna d’água. As concentrações máximas a 100m de distância do ponto de descarga foram 247-

254 mg/L. A 500m de distância, as concentrações máximas foram 91-108 mg/L. A 1000m as concentrações máximas foram 44-63 mg/L e a 5000m 4.6 – 10.3 mg/L.

As concentrações a 500m de distância ou mais aumentaram à medida que aumentava a taxa de descarga.

Embora haja altas concentrações de sólidos em suspensão, comparadas com os níveis normais do oceano, o tempo de exposição é limitado. Esse tempo limitado de exposição é resultado da natureza de curto prazo das descargas em bruto de lama de perfuração e da rápida diluição típica das descargas de lama em águas oceânicas.

O relatório inclui evidência da validação dos modelos de computador usados neste trabalho.

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório prevê o comportamento físico da lama de perfuração e cascalho a serem descarregados durante a perfuração dos três poços na Bacia de Campos, ao largo da costa brasileira. Os poços são: “A” e “B” no Bloco Frade e “D” no Bloco BC-4 (BC4-1).

Este trabalho foi patrocinado pela Texaco Brasil S.A.. Para cada poço foi feita previsão, com uso de um modelo computadorizado, da distribuição, no leito do mar, das partículas sólidas relacionadas com a perfuração (cascalho e sólidos da lama) imediatamente após a conclusão do poço.

Os poços Frade “A” e “B” foram simulados porque representam poços típicos em água profunda dos sete poços propostos pela Texaco. O poço BC4-1 foi simulado porque difere do poço típico, com (1) volume significativamente maior de cascalho e (2) profundidade de água significativamente mais rasa.

As concentrações máximas de sólidos em suspensão na coluna d’água decorrem da densidade mais alta de lama de perfuração descarregada a altas taxas. As previsões das concentrações máximas foram feitas com uso do Modelo de Descarga de Lama e Cascalho do Comitê do Operador Offshore (Offshore Operator’s Committee Mud and Cuttings Discharge Model).

As descrições dos modelos e das metodologias de modelagem estão incluídas neste relatório. Este relatório contém ainda uma descrição narrativa do trabalho, os dados usados e os resultados obtidos. Informações suplementares e detalhes técnicos foram colocados nos Anexos. Um glossário das expressões usadas no trabalho de modelagem foi incluído no **Anexo F**.

## 2. DESCARGAS DE LAMA E CASCALHO

Espera-se que cada poço gere 3.000 barris (477,3 m<sup>3</sup>) de resíduos de lama de perfuração (lama total) e um volume de cascalho que depende de cada poço individual. As descargas desses três poços estão resumidas nas Tabelas 1, 2 e 3. O primeiro número na coluna “Profundidade Máxima da Seção (m)” é a profundidade da água (onde começa a perfuração). O volume total de cascalho para cada poço foi calculado como a soma dos volumes de cada seção do poço. O volume de cada seção de poço é calculado com o diâmetro do poço feito pela broca de perfuração e a extensão perfurada com tal broca. A fração do volume de lama total usada em cada seção é proporcional à fração do volume de cascalho total produzido nessa seção.

As densidades de lama são aquelas esperadas pela Texaco Brasil S.A. (comunicação pessoal da Sheryl Maruca, Texaco). As frações da lama de perfuração ocupadas por grãos sólidos são calculadas a partir de cada densidade de lama, tomando-se como premissa que a densidade de sólidos na lama é 2,5 g/cm<sup>3</sup> e que a densidade do líquido na lama é de 1,0 g/cm<sup>3</sup>. A densidade real do líquido será um pouco mais elevada devido aos aditivos, mas o valor menor dá frações mais altas de sólidos e é, portanto, conservadora.

As distribuições genéricas caracterizam a velocidade das distribuições da precipitação de partículas para lama e cascalho. (**Figura 1**).

**Tabela 1**  
**Frade "A" Resumo da Descarga do Poço**

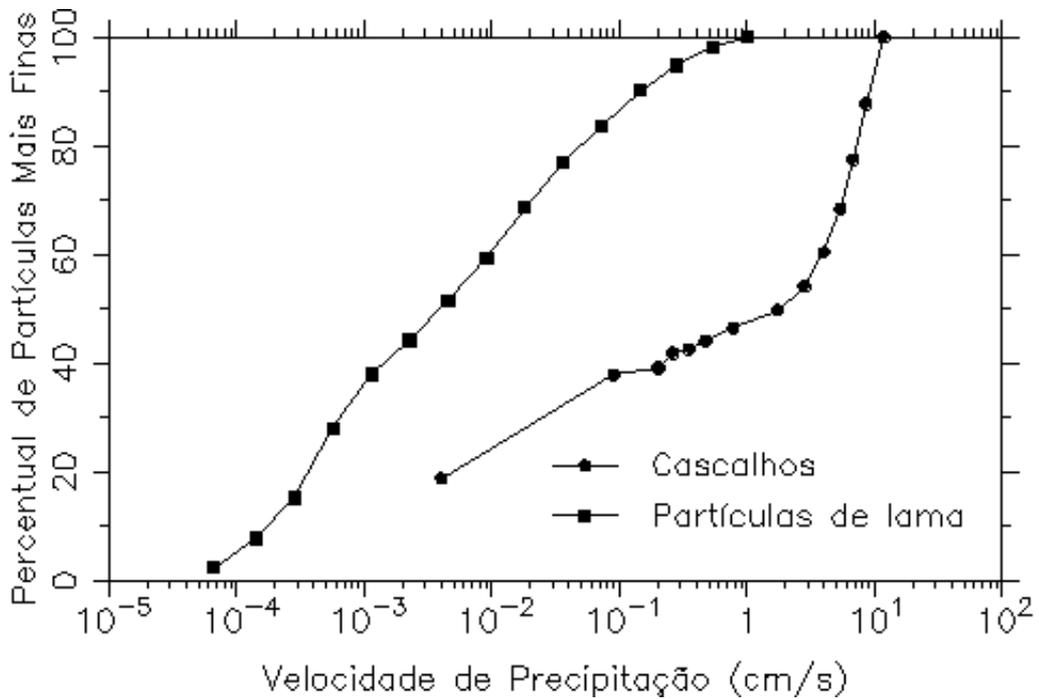
Seção do Poço			Volume da Seção (pés cúbicos)	Volume do cascalho descarregado (barris)	Fração de Volume de Lama Total	Densidade de Lama (g/cm <sup>3</sup> )	Fração de Sólidos da Lama	Volume de Sólidos na Lama (barris)	Retornos de Lama e Cascalho para:
Diâmetro da Seção r (polegadas)	Profundidade Máxima da Seção (m)	Extensão da Seção (pés)							
	1150								
36.0	1230	262	1855.3	330.4	0.183	1.05	0.03333	18.3	Leito do Mar
26.0	1585	1165	4294.2	764.8	0.424	1.05	0.03333	42.4	Leito do Mar
17.5	1905	1050	1753.6	312.3	0.173	1.12	0.08133	42.3	Navio Sonda
12.25	2485	1903	1557.4	277.4	0.154	1.20	0.13333	61.5	Navio Sonda
8.5	3000	1690	665.8	118.6	0.066	1.16	0.10333	20.4	Navio Sonda
<b>TOTAIS</b>			<b>10126.4</b>	<b>1803.6</b>				<b>184.9</b>	

**Tabela 2**  
**Frade "B" Resumo da Descarga do Poço**

Seção do Poço			Volume da Seção (pés cúbicos)	Volume do cascalho descarregado (barris)	Fração de Volume de Lama Total	Densidade de Lama (g/cm <sup>3</sup> )	Retornos de Lama e Cascalho para:	Volume de Sólidos na Lama (barris)	Retornos de Lama e Cascalho para:
Diâmetro da Seção r (polegadas)	Profundidade Máxima da Seção (m)	Extensão da Seção (pés)							
	1330								
36.0	1410	262	1856.3	330.4	0.178	1.05	Leito do Mar	17.8	Leito do Mar
26.0	1700	951	3508.0	624.8	0.337	1.05	Leito do Mar	33.7	Leito do Mar
17.5	2134	1424	2378.4	423.6	0.228	1.12	Navio Sonda	55.7	Navio Sonda
12.25	2785	2136	1748.1	311.3	0.168	1.20	Navio Sonda	67.1	Navio Sonda
8.5	3500	2346	924.4	164.6	0.089	1.16	Navio Sonda	27.5	Navio Sonda
<b>TOTAIS</b>			<b>10414.1</b>	<b>1854.8</b>				<b>201.9</b>	

**Tabela 3**  
**BC4-1 ("D") Resumo da Descarga do Poço**

Seção do Poço			Volume da Seção (pés cúbicos)	Volume do cascalho descarregado (barris)	Fração de Volume de Lama Total	Densidade de Lama (g/cm <sup>3</sup> )	Retornos de Lama e Cascalho para:	Volume de Sólidos na Lama (barris)	Retornos de Lama e Cascalho para:
Diâmetro da Seção r (polegadas)	Profundidade Máxima da Seção (m)	Extensão da Seção (pés)							
	650								
36.0	730	262	1855.3	330.4	0.125	1.05	0.03333	12.5	Leito do Mar
26.0	1175	1460	5382.9	958.7	0.363	1.05	0.03333	36.3	Leito do Mar
17.5	1650	1558	2603.0	463.6	0.176	1.12	0.08133	42.9	Navio Sonda
12.25	3500	6070	4967.7	884.8	0.335	1.20	0.13333	134.2	Navio Sonda
<b>TOTAIS</b>			<b>14809.0</b>	<b>2637.6</b>				<b>225.9</b>	



**Figura 1. Distribuição genérica da velocidade de precipitação usada na modelagem.**

### 3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

#### 3.1. Cenário Físico

A área do Frade está localizada aproximadamente a 116 km a leste do Cabo de Cabo São Tome, ao largo da costa do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Três poços foram simulados: Frade “A”, Frade “B” e BC4-1 (“D”). As coordenadas dos poços e as profundidades de água estão resumidas na Tabela 4. Para fins de modelagem, a batimetria próximo aos poços foi caracterizada como profundidade constante.

**Tabela 4**  
**Poços Simulados**

Nome	X-UTM* Coordenada (m)	Y-UTM Coordenada (m)	Profundidade da Água (m) (m)
Frade “A”	413,745E	7,579,694N	1,150
Frade “B”	416,350E	7,580,440N	1,330
BC4-1 (“D”)	402,000E	7,580,300N	650

\* Esferóide: WGS 84, Dado: WGS 84, Falso Norte 0 m, Falso Leste: 500,000 m

### 3.2. Correntes

Os dados sobre as correntes estavam disponíveis na forma de tabelas anuais de ocorrência de velocidades de corrente versus direção de corrente. Cinco tabelas foram fornecidas a profundidades de 50, 100, 350, 500, e 1000 metros (Texaco Brasil, 1999, Seção 2.3.1).

As tabelas dividem as velocidades das correntes em faixas de 0,05, 0,03, ou 0,02 m/s.

As direções das correntes foram divididas em oito setores de 45 graus de amplitude. Essas tabelas foram usadas para gerar séries temporais de correntes que foram aplicadas na modelagem da deposição de sólidos no leito do mar, conforme explicado na Seção 4.1.2.

A Seção 2.3.3 da Texaco Brasil (1999) também fornece perfis onidirecionais operacionais de correntes, mostrando os componentes de corrente que excedem 50% e 95% do tempo.

As direções dos componentes das correntes eram paralelas e perpendiculares à superfície da direção da corrente.

Velocidades medianas de corrente (velocidades acima de 50% do tempo) e as correspondentes direções do compasso foram calculadas assumindo-se uma corrente de superfície em direção Sul (180°). O perfil mediano de corrente que resultou (Tabela 5) foi parte do input do modelo OOC para previsão das concentrações de sólidos em suspensão na coluna d'água.

As profundidades e velocidades medianas foram convertidas em unidades inglesas (pés/segundo) e usadas no modelo OOC para definir correntes constantes na coluna d'água. Não foram usadas para modelagem da deposição.

**Tabela 5**  
**Perfil Mediano da Corrente para Modelagem da Coluna d'Água**

Profundidade (m)	Velocidade Mediana da Corrente (m/s)	Direção Mediana da Corrente w/r para Corrente de Superfície (°)
0	0.420	180.0
20	0.420	180.0
40	0.410	180.0
60	0.400	180.0
80	0.380	180.0
100	0.360	180.0
150	0.211	185.4
200	0.124	194.0
300	0.067	206.6
400	0.124	284.0
500	0.212	289.3
600	0.308	324.2
1200	0.141	315.0

### 3.3. Hidrografia

Perfis das temperaturas medianas da água do mar usados para caracterizar a hidrografia da área do Frade (**Tabela 6**). As fontes de dados foram as Tabelas 4.1 e 4.2 da Texaco Brasil (1999). Esses dados definem o perfil da densidade da coluna d'água e foram usados para modelagem das concentrações ali verificadas.

**Tabela 6**  
**Hidrografia Característica da Área do Frade**

Profundidade (m)	Temperatura Mediana (°C)	Salinidade Mediana (o/oo)
0	25.23	37.05
50	24.96	37.10
100	22.89	36.76
350	13.37	36.75
500	9.87	36.28
1000	3.71	34.39
2000	3.49	34.98

### 3.4. Estado do Mar

O Texaco Brasil (1999) inclui tabelas de probabilidade conjunta de alturas significativas de ondas e período de pico espectral (na seção 2.2.1.1). A altura significativa de onda mediana e o período significativo de onda mediano foram tirados das distribuições marginais da Tabela de agosto, da página 45. Os valores medianos resultantes foram: 1,64 m de altura significativa de onda e 8,3 segundos de período de onda. O estado do mar é um fator determinante do coeficiente de dispersão vertical usado para modelagem das concentrações na coluna d'água.

## 4. METODOLOGIA DA MODELAGEM

### 4.1. Modelagem da Deposição no Leito do Mar de Lama e Cascalho

#### 4.1.1. Modelo da Trajetória

TRAJHR versão 1.1 (20 de setembro de 1998), um modelo de trajetória de alta resolução desenvolvido pela Brandsma Engineering, foi usado para prever a deposição de sólidos da lama de perfuração e cascalho em volta de cada local de poço. O modelo divide o leito do mar em uma grade e prevê a acumulação de cascalho de sólidos da lama em cada célula da grade. Uma grade é um padrão reticulado de linhas norte-sul e leste-oeste formando células quadradas de tamanho uniforme. O modelo produz uma distribuição bidimensional mostrando o peso dos sólidos acumulados em cada célula da grade. A espessura das distribuições de sólidos relacionados com a perfuração é calculada a partir da distribuição de peso de sólidos de lama e cascalho acumulados

A modelagem de trajetória é uma técnica probabilística para previsão das deposições de sólidos da lama de perfuração e cascalho ao longo de vários meses. Ela é probabilística porque caracteriza ambientes de corrente pela probabilidade de cada combinação de velocidade e direção, ao invés de usar séries temporais de velocidade e direção das correntes. A probabilidade de cada combinação de velocidade e direção de corrente é incorporada em distribuições conjuntas de probabilidade (definidas na seção 4.1.2). A modelagem da trajetória envolve o cálculo das trajetórias de uma série de partículas (cada uma com uma velocidade de precipitação definida) sob a influência de cada categoria de velocidade e direção de corrente em uma distribuição de probabilidade conjunta. Conseqüentemente, há apenas um coeficiente ajustável, o parâmetro de dissipação para a lei de 4/3 de dissipação oceânica<sup>1</sup>. Para este trabalho, o parâmetro de dissipação estabelecido foi 0,001 pés<sup>2/3</sup>/seg, um valor apropriado a águas oceânicas.

Os principais inputs do modelo de trajetória são:

- volume total de grãos (sem vazios) de partículas sólidas descarregadas,
- densidade do grão das partículas,
- distribuição da velocidade de precipitação das partículas,
- distribuições de probabilidades conjuntas que caracterizam a velocidade e direção da corrente em toda a coluna d'água para cada velocidade de precipitação.

O modelo da trajetória se caracteriza pelas distribuições de probabilidades conjuntas que recebe como input. Esta subdivisão fornece uma previsão mais fácil e confiável. Uma visão geral do modelo de trajetória e seus inputs pode ser vista no Anexo <sup>a</sup>. A validação do modelo de trajetória está discutida no Anexo B.

#### 4.1.2. Modelagem Sintética das Correntes para Modelagem da Deposição dos Sólidos

As correntes na área do Frade foram descritas nas tabelas de frequência conjunta de ocorrência (JFO) (Texaco Brasil, 1999). Essas são tabelas de mão dupla, mostrando velocidades e direção das correntes. As velocidades estão divididas em intervalos contíguos, discretos de igual tamanho das velocidades (por exemplo, 0,05 a 0,10 m/s). As direções estão divididas em 8 setores iguais do compasso, com 45° de amplitude cada. As tabelas JFO mostram o número de vezes que a velocidade e direção da corrente caíram nas várias combinações de intervalos de velocidade e setores de direção. Qualquer combinação particular de intervalo de velocidade e setor de direção define um compartimento. O compartimento contém a contagem do número de vezes, durante o período de mensuração, em que a corrente real caiu dentro do intervalo de velocidade, ao mesmo tempo em que a direção real da corrente caiu dentro do setor de direção.

Foram fornecidas cinco tabelas JFO a profundidades de 50, 100, 350, 500, e 1000 metros.

---

<sup>1</sup> A lei 4/3 é um método amplamente aceito (por exemplo, Okubo, 1962; Fischer et al, 1979, p. 78; Baumgartner et al, 1994, p. 29) para estimar os coeficientes de mistura turbulenta no oceano. A lei de 4/3 de potência estipula que os coeficientes de miscigenação são proporcionais a 4/3 de potência do tamanho da nuvem de dispersão do efluente. O parâmetro de dissipação é a constante de proporcionalidade

Coletivamente, as tabelas fornecem contagem do número de vezes das corrente medidas nas várias profundidades caiu dentro de cada combinação de intervalo de velocidade e setor de direção.

As tabelas JFO não podem ser aplicadas diretamente no modelo de trajetória, que requer distribuições conjuntas de probabilidades de velocidade e direção de corrente caracterizando toda a coluna d'água da profundidade da descarga ao leito domar. Uma distribuição de probabilidade conjunta (JPD – Joint Probability Distribution) define as probabilidades de que a velocidade da corrente caia dentro de um intervalo de velocidade específico e que a direção da corrente caia simultaneamente dentro de um determinado setor. Uma JPD pode ser elaborada a partir de uma tabela JFO encontrando-se a soma das contagens em todos os compartimentos da tabela JFO e dividindo-se essa soma em cada contagem. A soma de probabilidades em uma JPD é uma. É necessário uma JPD que caracterize as correntes em toda a coluna d'água para cada uma das classes de partículas simuladas pelo modelo de trajetória. Isto porque o caminho das partículas que decantam através da coluna d'água depende da velocidade de precipitação bem como das correntes.

Quando correntes em várias profundidades são usadas na elaboração de uma JPD, o resultado é chamado JPD composta, porque leva em conta as correntes das diversas profundidades. Normalmente as JPDs compostas são elaboradas usando os dados brutos do determinador de perfil da corrente (séries temporais da velocidade e da direção da corrente em cada profundidade). Como os dados brutos da corrente não estavam prontamente disponíveis foram elaboradas séries temporais sintéticas de velocidade e direção para cada profundidade para as quais havia uma tabela JFO. A teoria do movimento Browniano fracionário (FBm – fractional Brownian movement) restrita às tabelas JFO conhecidas foi usada para este propósito (ver Anexo C). O procedimento para elaboração das correntes sintéticas adotou a premissa implícita de que as velocidades e direções nas diversas profundidades seriam independentes umas das outras. As correntes sintéticas desenvolvidas a partir das tabelas JFO são séries temporais que parecem realistas (Figura 2) para velocidade e direção de corrente. Uma tabela JFO elaborada com as séries temporais sintéticas para uma profundidade particular corresponde à tabela original fornecida pela Texaco para essa profundidade particular.

As séries temporais sintéticas de velocidade e direção em cada profundidade satisfazem às distribuições indicadas nas tabelas JFO, mas não contêm qualquer informação sazonal como os dados brutos conteriam. Assim, todas as séries temporais foram usadas para desenvolver distribuições compostas de probabilidades conjuntas conforme se descreve na próxima seção.

#### 4.1.3. Distribuições Compostas de Probabilidades Conjuntas de Corrente

Uma distribuição composta de probabilidades conjuntas de velocidade e direção de corrente caracteriza toda a coluna d'água para classe de partícula simulada usando-se um modelo de trajetória. As classes de partículas são diferenciadas por suas distintas velocidades de precipitação. As medidas de corrente feitas em múltiplas profundidades são todas fatores na elaboração de uma distribuição composta de probabilidade conjunta. Isto significa que

as correntes em todas as profundidades participam como fatores. A profundidade em que as partículas são liberadas também afeta a probabilidade conjunta de distribuição. As séries temporais de velocidade e direção de corrente são usadas para elaborar uma probabilidade conjunta de distribuição. As medidas das correntes em qualquer profundidade consistem em valores de velocidade e direção tomados a intervalos fixos de amostragem. A coluna d'água é dividida em faixas de profundidade com um medidor de corrente por faixa.

As faixas de profundidade são organizadas de modo que cubram toda a coluna d'água e que sejam contíguas. Para os poços de Frade e BC4-1, as faixas de profundidades usadas para elaborar as distribuições compostas de probabilidades conjuntas são mostradas na Tabela 7. A parte superior da faixa mais rasa é a superfície do mar. A mais profunda é a profundidade da água.

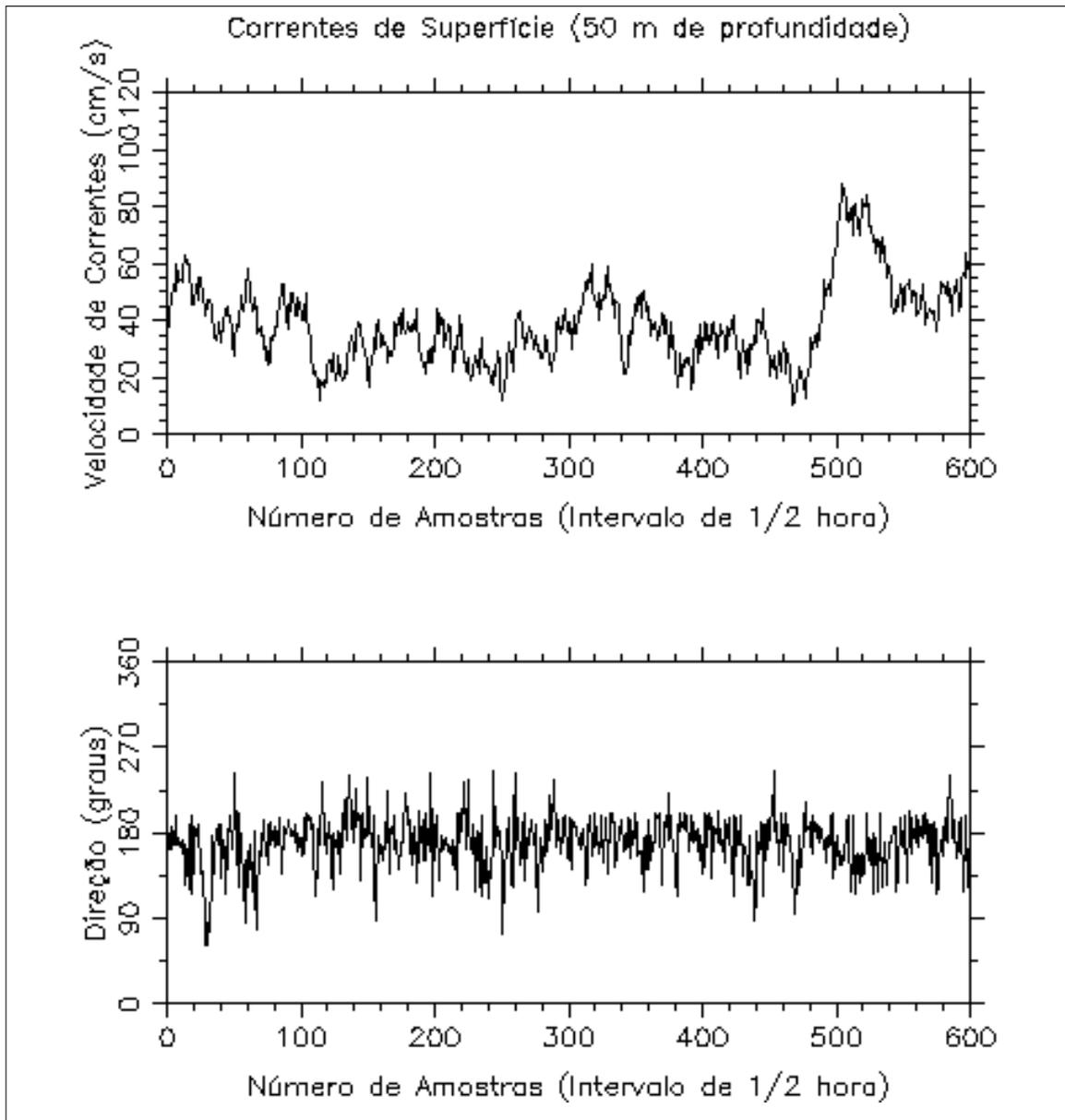
**Tabela 7**  
**Faixas de Profundidade por Distribuições Compostas de Probabilidades Conjuntas**

Profundidade do “Medidor” (m)	Profundidade inferior da Faixa de Profundidade (m)		
	Frade “A”	Frade “B”	BC4-1 (“D”)
50	75	75	75
100	225	225	225
350	425	425	425
500	750	750	650
1000	1150	1330	n/a

**O Anexo A** inclui uma discussão dos detalhes da preparação das distribuições compostas de probabilidades conjuntas. A idéia básica está delineada no próximo parágrafo.

Uma distribuição composta de probabilidades conjuntas caracterizando a coluna d'água para um única classe de partículas é compilada por um processo iterativo. O método usa partículas liberadas em sucessivos momentos de amostragem no registro do medidor de corrente, começando com o primeiro. À medida que a partícula desce, seu deslocamento horizontal cumulativo muda em resposta às correntes que mudam em função da profundidade e ao tempo que decorre à medida que a partícula decanta. Quando a partícula chega ao fundo do mar ela terá experimentado um deslocamento horizontal em relação ao ponto onde foi liberada. A velocidade composta da partícula é calculada com o deslocamento horizontal líquido e tempo total de precipitação. A direção composta da partícula é calculada com os componentes norte-sul e leste-oeste do deslocamento líquido. A velocidade e direção compostas são usadas para calcular um intervalo de velocidade e um vetor de direção em uma tabela de frequência de ocorrência conjunta (JFO) e a contagem na célula apropriada desta tabela é incrementada. Este processo é repetido até o final dos dados do medidor de corrente. Finalmente, calcula-se uma JPD composta a partir da tabela JFO. A soma das contagens na tabela JFO é dividida em cada contagem individual para obter probabilidades. A soma das probabilidades é um.

Normalmente, os dados brutos das medições de corrente são usados para desenvolver JPDs compostas. Para a área de Frade, o desenvolvimento de séries temporais sintéticas de velocidade e direção foi descrito na seção anterior.



**Figura 2. Parte de séries temporais sintéticas de velocidade e direção de corrente a 50m de profundidade.**

#### 4.1.4. Metodologia da Modelagem da Deposição

##### 4.1.4.1. Descargas

Os sólidos que serão descarregados de cada um dos poços Frade/BCS-1 foram modelados com 4 corridas do modelo de trajetória: a lama devolvida ao leito do mar; lama devolvida ao navio sonda, cascalho devolvido ao leito do mar e cascalho devolvido ao navio sonda. Presume-se que as primeiras duas seções de poços (orifícios com 36 e 26 polegadas de

diâmetro) devolvam os efluentes de perfuração ao leito do mar. Quanto às outras seções de poço, presume-se que retornem os efluentes de perfuração ao navio sonda e reutilizem a lama. Foi presumido que as descargas retornadas ao leito do mar fossem descarregadas 10m acima do fundo do mar e que aquelas retornadas ao navio sonda fossem descarregadas 0,3m abaixo da superfície do mar.

A **Tabela 8** resume as descargas de perfuração modeladas para deposição no leito do mar. Os volumes dados são volumes de grãos sólidos e não incluem vazios intersticiais. A gravidade específica presumida da partícula foi 2,5 tanto para cascalho, quanto para sólidos da lama. As distribuições de velocidade de precipitação usadas para modelagem são aquelas indicadas na Figura 2.

**Tabela 8**  
**Parâmetros de Descarga para Modelo de Trajetória**

Poço	Retornos do Poço a: (Ponto de Descarga)	Volume sólido de cascalho (barris)	Volume de Sólidos da Lama (barris)
Frade "A"	Leito do mar	1095.3	60.7
	Navio Sonda	708.3	124.2
Frade "B"	Leito do mar	955.2	51.5
	Navio Sonda	899.6	150.4
BC4-1 ("D")	Leito do mar	1289.2	48.9
	Navio Sonda	1348.4	177.1

#### 4.1.4.2. Grade para Modelagem de Batimetria e Deposição

A batimetria para os três poços simulados foi aproximada por profundidades de água constantes em torno de cada poço. As profundidades estão relacionadas na Tabela 4.

A modelagem de deposição é conduzida usando-se grades bidimensionais. Uma grade é um padrão reticulado de linhas norte-sul e leste-oeste, formando quadrados de tamanho uniforme. Há duas grades coincidentes. Há uma grade de profundidade para definir a batimetria e um grade de deposição que acumula sólidos depositados. O par de grades é referido como a grade de simulação. A grade de simulação é organizada de forma a cobrir uma área retangular em torno do poço.

Ao se desenhar a grade de simulação, a resolução dos detalhes deve ser compatível com a área de cobertura desejada. Para os poços de Frade e BC4, células de 50 metros quadrados foram selecionadas para permitir uma razoável resolução em uma grande área. A grade de simulação compreende 255 células na direção norte-sul e 255 células na direção leste-oeste. Os poços estão localizados no centro da grade, de modo que as fronteiras da grade ficam a 6,35 km ao norte, sul, leste e oeste de cada poço. As grades de simulação cobrem uma área de 161,2 km.

As grades de cada poço estão definidas com relação à localização do poço, de modo que os resultados são apresentados com a localização do poço como coordenadas de origem.

As primeiras duas seções (perfuradas com brocas de 36 e 26 polegadas) de cada poço retornam o cascalho ao leito do mar, não ao navio sonda. As descargas de cascalho próximo ao leito do mar levam à formação de uma pilha identificável de cascalho próximo à cabeça de cada poço. As seções posteriores descarregam do navio sonda, de modo que a lama e os sólidos do cascalho devem descer 0,65 a 1,3km antes de chegar ao leito do mar.

Como resultado, os sólidos das descargas da superfície são espalhadas em uma larga área. A grade primária de simulação para cada poço é elaborada de modo a capturar tanto quanto possível as descargas da superfície.

Para resolver as pilhas de cascalho vinda das descargas próximas do fundo do mar, uma segunda grade de simulação foi usada, para uma visão de perto das pilhas de cascalho de cada poço. As grades de simulação dessa visão de perto usaram malhas de células quadradas de 5m de lado e estenderam-se 635 m ao norte, sul, leste e oeste de cada poço. Essas grades de visão de perto cobriram uma área de 0,4 km<sup>2</sup>. A deposição nas grades de visão próxima foi modelada com quatro corridas adicionais de modelo de trajetória para cada poço.

#### 4.1.4.3. Pós Processamento para Deposição

Para cada poço modelado, o modelo de trajetória produz um arquivo de deposição que define o total de sólidos provenientes da perfuração acumulados no leito do mar. Cada um desses arquivos contém uma série bidimensional de dados que representam o peso total dos sólidos coletados em cada célula da grade de simulação. As unidades usadas no modelo para a deposição são libras por célula da grade. Para cada poço modelado, o modelo de trajetória previu separadamente a distribuição de:

- cascalho descarregada de retornos do leito do mar;
- sólidos da lama descarregados de retornos do leito do mar;
- cascalho descarregada do navio sonda; e
- sólidos da lama descarregados do navio sonda.

O primeiro passo no pós-processamento foi somar essas distribuições. Isto forneceu uma distribuição do peso total de sólidos da perfuração coletados em cada célula (libras/ célula da grade),

Distribuições de peso ( $w$  – weight) depositado foram então convertidas em densidade de depósito ( $d$  em g/m<sup>2</sup>) e, finalmente, em espessura (cm) para produzir distribuições bidimensionais dessas quantidades. O cálculo da espessura adota como premissa uma razão de vazios de 2.0<sup>2</sup>. A equação para conversão do peso,  $w$ , em uma célula de grade para densidade de depósito  $d$  é:

$$d = \frac{w \cdot 453.592}{(\Delta x)^2} \quad \frac{\text{g sólidos}}{\text{m}^2 \text{ leito do mar}} \quad \text{unidades} \quad (1)$$

<sup>2</sup> Que significa 2 partes de vazios intersticiais por 1 parte de grão sólido. Ver, por exemplo, Terzaghi e Peck (1967).

onde  $\Delta x$  é o tamanho da célula da grade e 453.592 o conversor de libras para gramas. O tamanho da célula da grade,  $\Delta x$ , é 50 m para a grade de simulação primária e 5m para a simulação próxima. A conversão de densidade do depósito  $d$ , para espessura  $t$  (thickness) é:

$$t = \frac{d(1+e)}{\rho \cdot 10000} \quad \text{cm} \quad (2)$$

Onde  $\rho$  é a densidade da partícula [2,5 g/cm<sup>3</sup>] e  $e$  a razão de vazios (não dimensional).

Foram elaborados gráficos com os resultados da deposição:

- locação do contorno da espessura do depósito (cm),
- espessura máxima do depósito em função da distância horizontal  $d$  ponto de descarga;
- espessura do depósito (cm) contra a área do leito do mar.

## 4.2. Modelagem da Concentração de Sólidos Suspensos na Coluna D'Água

### 4.2.1. Modelo de Descarga de Lama e Cascalho do Comitê do Operador Offshore

O Modelo de Descarga de Lama e Cascalho do Comitê do Operador Offshore (Offshore Operators Committee (OOC) discharge model) foi usado para prever concentrações de sólidos suspensos na coluna d'água causados por descargas brutas de lama com 1 hora de duração.

O modelo, desenvolvido pela Brandsma and Sauer (1983) sob o patrocínio da OOC, simula o comportamento tridimensional irregular das plumas de efluentes descarregados offshore de um único ponto. O modelo foi continuamente aprimorado desde sua liberação original. A versão mais recente é a 2.5, datada de 2 de dezembro de 1999 (Brandsma and Smith, 1999).

O efluente descarregado pode ser lama de perfuração ou cascalho, ou água produzida. O modelo prevê a distribuição da concentração de efluente na coluna d'água e a distribuição inicial das partículas depositadas no fundo do mar. O modelo foi validado em laboratório (Policastro, 1983; Brandsma et al., 1992) e em experiências de campo (O'Reilly et al., 1989; Smith et al., 1994). Uma revalidação completa, usando 681 passagens do modelo, acaba de ser concluída (Brandsma e Smith, em preparação). O modelo foi usado pelo governo e pela indústria para estimar o provável comportamento da lama de perfuração e cascalho descarregadas no ambiente marinho. Uma descrição matemática do modelo pode ser vista em Brandsma et al. (1992) e em Brandsma e Smith (1999).

Uma panorâmica do modelo OOC é apresentada no Anexo D. A validação do modelo OOC para concentrações de sólidos suspensos na coluna d'água está discutida na Anexo E.

#### 4.2.2. Metodologia de Modelagem da Coluna D'Água

As mais altas concentrações de sólidos na coluna d'água resultam de descargas brutas de lama. Tais descargas ocorrem durante operações de cimentação, ou quando o sistema de lama é trocado. Três simulações do modelo OOC foram usadas para prever as concentrações de sólidos suspensos originados de descargas brutas de lama a taxas de 2.000, 1.000 e 500 barris/hora. A premissa foi que as descargas duraram 1 hora. O perfil da corrente mediana (Tabela 5) foi usado nessas simulações. Os parâmetros hidrográficos da coluna d'água e o estado do mar foram estabelecidos e discutidos nas Seções 3.3 e 3.4.

O modelo OOC produz perfis de concentração mostrando as concentrações de sólidos suspensos em função da profundidade. Os perfis foram organizados em uma linha, de modo que passassem verticalmente através da pluma da descarga simulada, formando um corte transversal da coluna d'água superior. As concentrações foram calculadas a 1, 2, 3 e 4 horas após o início das descargas de lama. Perfis adicionais de concentração foram arranjados para formar cortes perpendiculares ao eixo da pluma do efluente a distâncias dispostas de forma tal que as seções cruzadas cortassem a pluma no momento do cálculo da concentração.

O modelo OOC informa as concentrações em unidades de mg/L. Foram preparados plots do contorno da concentração de da concentração máxima em função da distância do ponto de descarga.

### 5. RESULTADOS

*As Figuras desta seção estão reunidas ao final do relatório.*

#### 5.1. Sólidos de Perfuração Depositados no Fundo do Mar

A **Tabela 9** é um resumo dos resultados de deposição. O peso total de sólidos depositados (sólidos da lama e cascalho) variou de 790.326 a 1.138.140 kg. Entre 42 e 53 por cento do total será descarregado do navio sonda. O restante será descarregado próximo ao fundo do mar e será responsável pelas pilhas de cascalho discerníveis. A pilha de cascalho foi resolvida usando-se células de grade menores (5m x 5m). A densidade máxima de depósito prevista para a pilha de cascalho no leito do mar é 361,8 kg/m<sup>2</sup>. Isto corresponde a uma espessura máxima de sólidos de perfuração de cerca de 43,4 cm. Entre 60,9 e 64,5% dos sólidos descarregados serão depositados dentro de uma área de 12,7 x 12,7km à volta de cada local de perfuração. A quarta coluna da Tabela 9 contém a anotação “(dx = 50m)”, que significa que os percentuais indicados nesta coluna foram avaliados através de uma grade de simulação primária, maior. A quinta e a sexta colunas da Tabela 9 contêm a anotação “(dx = 5m)”, que significa que os valores máximos destas colunas foram determinados através da resolução mais alta (células de 5m) da grade de simulação com maior aproximação.

Os resultados da deposição para o poço Frade “A” são mostrados com:

- um plot de contorno da camada de toda a grade de simulação (Figura 3);
- um visão ampliada do contorno da camada dos sólidos de perfuração próximo ao local do poço (Figura 4);
- um plot da espessura máxima de sólidos da perfuração em função da distância do local do poço (Figura 5),
- e um plot do excesso que mostra a espessura mínima de sólidos da perfuração em função da área coberta (Figura 6).

Os plots de espessura máxima contra distância do local do poço (Figura 5) e de espessura mínima em função da área do leito do mar (Figura 6) têm, ambos, duas curvas, que estão relacionadas ao uso de dois tamanhos de células para resolver a pilha de cascalho e sólidos de perfuração depositados na área circunvizinha. As simulações de deposição foram passadas duas vezes, uma com células de 50m x 50m, para cobrir a grande área em volta do local do poço, e uma com células de 5m x 5m para dar melhor resolução da pilha de cascalho, que é bastante pequena e coincide com a localização do poço. As células maiores formam uma grade de simulação adequada para capturar o material depositado a vários quilômetros do poço, mas também faz que seja subestimada a espessura máxima das pilhas de cascalho. A maneira mais simples de contornar essa dificuldade é usar ambos os tamanhos de célula para calcular a espessura e informar os resultados de ambas as maneiras. As duas curvas serão coincidentes em parte de sua extensão. Na Figura 5, a curva para distâncias inferiores a 500m está em linha contínua, e as distâncias maiores em linha tracejada. Na Figura 6, usou-se a linha contínua para áreas de leito do mar até 10 hectares, e a tracejada para áreas maiores.

**Tabela 9**  
**Estatísticas de Deposição**

Poço	Peso Total de Sólidos Descarregados (kg)	Peso Total de Sólidos Capturados na Grade (kg)	Percentual de Sólidos Capturados na Grade (dx = 50m)	Densidade Máxima de Depósito (dx = 5m) (g sólidos/m <sup>2</sup> )	Espessura Máxima de Sólidos (dx = 5m) (cm)
Frade "A"	790,326	509,795	64.5	361,800	43.4
Frade "B"	817,433	500,449	61.2	315,500	37.9
BC4-1 ("D")	1,138,140	692,692	60.9	186,400	22.4

Resultados de deposição para o poço Frade "B" estão mostrados com:

- um plot do contorno da camada de toda a grade de simulação (Figura 7)
- uma visão ampliada do contorno da camada de sólidos próximo ao local do poço (Figura 8)
- um plot da espessura máxima de sólidos em função da distância do local do poço (Figura 9),
- e um plot do excesso que mostra a espessura mínima de sólidos em função da área de leito do mar coberta (Figura 10).

Os resultados de deposição para o poço BC4-1 (“D”) são mostrados com:

- um plot do contorno da camada de toda a grade de simulação (Figura 11),
- uma visão ampliada da camada de sólidos próximo ao local do poço (Figura 12),
- um plot da espessura máxima de sólidos em função da distância do local do poço (Figura 13),
- e um plot do excesso que mostra a espessura mínima de sólidos da perfuração em função da área de leito do mar coberta (Figura 14).

As pilhas de cascalho serão pequenas. As pilhas de cascalho esperadas nos três poços estão resumidas na Tabela 10.

**Tabela 10**  
**Resumo das Pilhas de Cascalho**

Poço	Espessura dos Sólidos da Perfuração (cm)	Área do Fundo do Mar com essa Espessura (hectares)	Tamanho do quadrado de área equivalente (m)
Frade “A”	10.0	0.068	26.0
	1.0	0.442	66.5
	0.1	1.825	135.1
	0.01	29.615	544.1
Frade “B”	10.0	0.063	25.1
	1.0	0.433	65.8
	0.1	1.674	129.4
	0.01	27.080	520.4
BC4-1 (“D”)	10.0	0.059	24.3
	1.0	0.684	82.7
	0.1	3.156	177.7
	0.01	77.094	878.0

## 5.2. Sólidos de Perfuração Suspensos na Coluna D’Água

A lama de 10,5 libras/galão usada nas simulações de descarga bruta de lama tem uma concentração de sólidos suspensos de 430,343 mg/L no momento em que deixa o duto de descarga do navio sonda. A pluma da lama de perfuração dilui-se muito rapidamente, à medida em que afunda sob o ímpeto de sua própria densidade e da mistura induzida pela corrente ambiente. Como o perfil da corrente mediana é o mesmo para os três poços, apenas um conjunto de simulações foi feito para descargas brutas de lama de 500, 1.000 e 2.000 barris/hora. As concentrações máximas observadas a distâncias selecionadas a jusantes da corrente podem ser vistas na Tabela 11. Há pouca diferença nos primeiros 200 metros (salvo pelas variações relacionadas com resolução da pluma em pontos de amostragem bem espaçados entre si). Além dos 200 metros, uma taxa de descarga menor leva a concentrações menores a uma dada distância.

As Figuras 15, 16, e 17 mostram a evolução das plumas de lama após 1 hora de descarga a taxas de 500, 1.000 e 2.000 barris/hora, respectivamente. A evolução é mostrada como a contração máxima de sólidos suspensos na pluma contra a distância a jusante da corrente em quatro momentos após o início da descarga: 1, 2, 3 e 4 horas.

As Figuras 18 a 21 mostram os contornos da concentração para descargas de 2.000 barris/hora 1, 2, 3 e 4 horas após o início da descarga.

Cada uma dessas Figuras (favor observar a distorção vertical) mostra uma vista com corte longitudinal da pluma e corte transversal ao centro da pluma, de frente para o sentido da corrente. Essas figuras mostram que a precipitação mais rápida dos sólidos forma a perna inferior da pluma e, à medida que descem, encontram correntes mais lentas, de modo que as linhas de contorno na parte inferior da pluma fica para trás em relação às da parte superior. Os sólidos que decantam mais lentamente permanecem nos 80 metros superiores da coluna d'água e são espalhados pela turbulência ambiente, levando a uma diluição contínua das concentrações. Nessas simulações, a pluma de lama não atingiu a espiral de direção do corrente, que começa a cerca de 200m de profundidade (Tabela 5), que terminou 4 horas após o início da descarga.

**Tabela 11**  
**Concentrações Máximas de Sólidos Suspensos (mg/L) a Distâncias Selecionadas**

Distancia	Taxa de Descarga da Lama		
	500 barris/hora	1000 barris/hora	2000 barris/hora
100	253.8	239.3	246.5
200	183.7	182.2	182.7
500	91.2	101.6	107.9
1000	43.7	54.1	63.1
2000	17.4	24.1	29.9
5000	4.6	7.5	10.3

## 6. DISCUSSÃO

Os resultados da deposição para os três poços são similares. Todos exibem uma pequena pilha de cascalho que afina rapidamente até uma espessura extremamente pequena à medida que a distância do poço aumenta. Depósitos muito finos, cobrindo uma área bastante ampla, são típicos, especialmente em água profunda.

As profundidades da água no local dos poços Frade "A" e "B" diferem cerca de 16 por cento.

A profundidade de água no poço BC4-1 ("D") é cerca de 57% a profundidade do Frade "A". Essas variações de profundidade têm apenas um pequeno impacto porque de 46,7 a 58,1% dos sólidos são descarregados próximo ao leito do mar.

As diferenças nas pilhas de cascalho estão relacionadas com diferenças nos volumes de sólidos descarregados próximo ao leito do mar para cada poço. Isto porque a distância de precipitação é a mesma para descargas próximas ao leito do mar em todos os poços. Os sólidos remanescentes, descarregados do navio sonda, têm muita distância para descer para que afetem as pilhas de cascalho.

A diferença em profundidade da água entre o Frade “A” e o Frade “B” não afeta o padrão de deposição, manifestando-se apenas em pequenos deslocamentos do contorno da camada (Figuras 3 e 7).

Há uma óbvia diferença no padrão de deposição do poço BC4-1 (“D”) (**Figura 11**), comparado com o dos poços Frade “A” e “B”. A diferença de profundidade provoca diferenças significativas devido aos efeitos combinados do transporte dos sólidos da descarga pela corrente. Contudo, a diferença no tamanho das pilhas de cascalho (Tabela 10) para o poço BC4-1 (“D”) comparado com as dos poços “A” e “B” deve-se primordialmente à diferença nos volumes de cascalho descarregados.

Os sólidos são depositados mais ao norte e nordeste dos poços que em outras direções. Isto reflete as correntes a 350m ou mais de profundidade, que correm na direção norte e leste. Uma partícula descarregada na superfície experimenta correntes na direção sul durante 30% de sua descida, e correntes norte e leste durante 70% da descida nos poços Frade “A” e “B”.

As correntes em direção ao sul têm mais efeitos no BC4-1 (“D”), sendo esta a razão pela qual o contorno da camada se estende mais para o sul que nos outros poços. É importante observar que os resultados informados aqui presumem que todos os sólidos depositados no fundo do mar permanecem no lugar daí em diante. Não há nova suspensão ou redistribuição de elementos da perfuração no modelo. Contudo, onde esses processos ocorrem, as pilhas de cascalho serão erodidas. Seus tamanhos decrescerão a cada novo evento de suspensão/redistribuição. Mais ainda, a espessura informada acumula-se ao longo do tempo que leva a perfuração de cada poço, tipicamente 90 dias aproximadamente. Conseqüentemente, os resultados informados aqui indicam os tamanhos máximos possíveis das pilhas de cascalho.

Os padrões de deposição para poços do plano de exploração da Texaco Brasil S.A. não foram investigados neste relatório, mas espera-se que sejam similares àqueles reportados nos poços Frade “A” e Frade “B”. O tamanho das pilhas de cascalho para esses outros poços será proporcional aos volumes de cascalho liberados próximo ao fundo do mar. As pilhas de cascalho dos poços BC4-4 (“C”), poço “E” e poço “F” e poço “G” devem ser 136%, 93%, 79% e 91%, respectivamente, da pilha prevista para o Frade “A”.

As altas taxas de diluição exibidas nas simulações de descargas brutas de lama são típicas. Embora as concentrações de sólidos em suspensão sejam altas, comparadas com os níveis do ambiente oceânico, o tempo de exposição é limitado em conseqüência da natureza de curto prazo das descargas brutas de lama de perfuração e da rápida diluição típica das descargas de lama em águas oceânicas.

## 7. REFERÊNCIAS

- Baumgartner, D.J. Frick, W.E. e Roberts, P.J.W. 1994. Dilution Models for Effluent Discharges (Third Edition). U.S. Environmental Protection Agency. Pacific Ecosystems Branch, ERL-N. Relatório # EPA/600/R-94/086.
- Brandsma, M.G. e T.C. Sauer. 1983. Mud Discharge Model: Report and User's Guide. Exxon Production Research Co. Houston, Texas. 144 p.
- Brandsma, M.G., Smith, J.P., O'Reilly, J.E., Ayers, R.C., Jr., Holmquist, A.L. 1992. Modeling Offshore Discharges of Produced Water. In: Produced Water. J.P. Ray e F.R. Engelhart, Eds. Plenum Press. Nova Iorque. pp. 59-71.
- Brandsma, M.G. e Smith, J.P. 1999. "Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model – Report and User Guide." Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.
- Brandsma, M.G. e Smith, J.P. "Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model – Validation. Exxon Production Research Company. Em preparação.
- Davis, L.R., Albright, S., Mohebbi, B. e Herron, J. 1989. Experimental verification of a drilling mud plume model. In: Experimental Thermal and Fluid Science 1989. Vol. 2. Elsevier Science Publishing Co. pp. 91-99.
- DeMargerie, S. 1989. Modelling drill cuttings discharges. In: *Drilling Fluids*. F.R. Engelhart, J.P. Ray, A.H. Gillam, Eds., Elsevier Applied Science. Nova Iorque. Pp 627-645.
- Feder, J. 1988. *Fractals*. Plenum Press. Nova Iorque. 283 p.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H. 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press. Nova Iorque. 483 p.
- Mohebbi, B. e Davis L.R. 1983. Uma investigação experimental de descarga de lama de perfuração em um ambiente estratificado fluente. Relatório apresentado à Exxon Production Research Company. Universidade Estadual do Oregon. Corvallis.
- Okubo, A. 1962. Uma revisão de modelos teóricos de difusão turbulenta no mar. Chesapeake Bay Institute, Universidade Johns Hopkins Tech. Report 30, Referência 62-20.
- O'Reilly, J.E., Sauer, T.C., Ayers, R.C. Jr., Brandsma, M.G., Meek, R. 1989. Field Verification of the OOC Mud Discharge Model. In: *Drilling Fluids*. F.R. Engelhart, J.P. Ray, A.H. Gillam, Eds., Elsevier Applied Science. Nova Iorque. Pp 647-665.
- Policastro, A. 1983. Evaluation of Selected Models. In: An Evaluation of Effluent Dispersion and Fate Models for OCS Platforms. Volume I, Summary and Recommendations. U.S. Dept. of Interior, Minerals Management Service. Workshop Proceedings. 7-10 February. Santa Barbara, California. pp. 33-48.

- Smith, J.P. Mairs, H.L., Brandsma, M.G., Meek, R.P., Ayers, R.C., Jr. 1994. Field Validation of the Offshore Operators Committee (OOC) Produced Water Discharge Model. Proceedings of SPE Annual Technical Conference. SPE paper # 28350. Nova Orleans. 25-28 de setembro.
- Terzaghi, K. e Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2<sup>nd</sup> Ed. John Wiley & Sons, Inc. Nova Iorque. 729p.
- Texaco Brasil. 1999. Anexo A do Projeto Frade da Texaco Brasil – Relatório de Critérios Ambientais.