

MODELAGEM FÍSICA DE FUNDO OCEÂNICO PARA O ENTENDIMENTO DOS PADRÕES DE PREENCHIMENTO DE MINIBACIAS POR CORRENTES DE DENSIDADE



Patricia Buffon (Bolsista FAURGS), Rafael Manica (Orientador)
NECOD - Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade - IPH/UFRGS
patibuff@hotmail.com



Resumo

Correntes de densidade podem ser definidas pelo movimento relativo entre fluidos de diferentes massas específicas que pode ser causada pela diferença de concentração de sólidos suspensos. Nesse caso, as correntes de densidade são denominadas não conservativas e estão relacionadas com a formação de depósitos turbidíticos no ambiente marinho profundo. Muitas vezes esses depósitos possuem características que permitiram o armazenamento de hidrocarbonetos e, por isso, o entendimento desse fenômeno é de interesse na indústria petrolífera. Para a compreensão dos processos relacionados a esse fenômeno faz-se uso da modelagem física, pois a visualização na natureza é inviável. Nesse escopo, o trabalho foi desenvolvido em um modelo físico construído nas dependências do Núcleo de Estudos em Correntes de Densidade (Necod), localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O modelo representa em escala uma área do fundo oceânico da costa leste brasileira, de aproximadamente 144 km², onde objetiva-se buscar melhor entendimento sobre o transporte e a deposição de sedimentos por correntes de densidade nas depressões existentes no relevo, as minibacias. O modelo foi construído utilizando escala horizontal 1:3000 e escala vertical 1:1000, possuindo dimensões de 4 metros por 4 metros. Após testes para ajuste de metodologia, as características das correntes simuladas foram definidas: 5% de concentração volumétrica (sendo 80% dos sedimentos carvão mineral 205 fino e 20% carvão mineral 205) e vazão de injeção de 2 l/min com fluxo contínuo. Através da realização de experimentos no modelo físico e da análise dos dados observados e coletados, pretende-se avaliar a forma como se deu o preenchimento das minibacias (direções preferenciais e velocidade), avaliar o depósito formado (espessuras e distribuição granulométrica) e extrapolar os resultados para o ambiente natural, contribuindo para o conhecimento do processo e servindo de ferramenta complementar na tomada de decisão para a indústria do petróleo.

Materiais e Métodos

Modelo físico

O modelo físico foi construído utilizando escala horizontal (Ex) 1:3000 e escala vertical (Ey) 1:1000, possuindo distorção geométrica (Δ) igual à 3. O número adimensional utilizado na modelagem física das correntes de densidade é o Froude densimétrico: $Fr' = \frac{U}{\sqrt{g'H}}$, onde U é a velocidade do fluxo (m/s), g' é a aceleração da gravidade reduzida (m/s²) e H é a espessura da corrente (m). Respeitando a similaridade de Fr' entre o modelo (m) e o protótipo (p), $Fr'_m = Fr'_p$, e as escalas geométricas estabelecidas, é possível deduzir as escalas de velocidades horizontais (EVx), de velocidades verticais (EVy) – e, portanto, de tamanhos de grãos dos sedimentos – de tempos (Et) e de vazões (EQ) entre o modelo e o protótipo.

Aparato experimental e simulações

Um reservatório de 2000 litros (1) alimenta o reservatório de 80 litros (2), ambos contendo um misturador elétrico (2 e 5) para homogeneizar a mistura de água e sedimento. O medidor de vazão eletromagnético Siemens MAG500 (7) lê a vazão passante (litros/min) que é controlada pelo registro acoplado (7). Os dados de vazão são armazenados no notebook (13) conectado ao medidor. A mistura é injetada no modelo através da tubulação 9. A tubulação 8 é utilizada para coleta de amostras da mistura, no início e no fim do ensaio. Uma câmera fotográfica (11) registra momentos do ensaio a cada 5 segundos e os quatro holofotes (12) asseguram a iluminação necessária para os registros fotográficos. A Figura 1 ilustra a localização dos principais equipamentos utilizados durante os experimentos. Durante os ensaios também operou-se retirando o carvão acumulado no local da injeção, através de um sifão hidráulico, a cada 30 litros de mistura injetados.

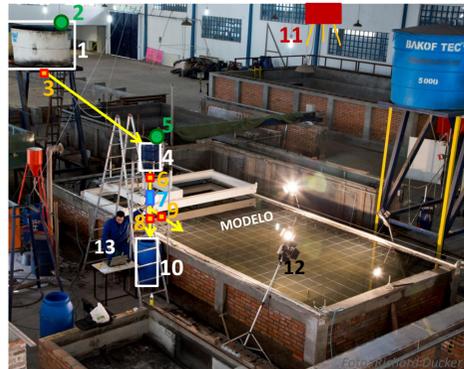


Figura 1: Foto do momento do ensaio com esquema indicativo dos principais equipamentos utilizados durante os experimentos: 1- reservatório 2000 litros, 2-misturador, 3-registro e tubulação, 4- reservatório 80 litros, 5-misturador, 6-registro e tubulação, 7- medidor e controlador de vazão, 8-registro e tubulação, 9-registro e tubulação, 10- reservatório 200 litros (expurgo), 11-câmera fotográfica, 12-holofotes, 13-leitor de dados e notebook.

Após o ensaio, as amostras da mistura injetada são pesadas, colocadas em estufa e, após toda água evaporar, pesadas novamente. Esse procedimento permite o cálculo da concentração volumétrica de sedimentos (Cv) real da mistura. Por fim, são feitas análises granulométricas através de um equipamento analisador de partículas a laser. As análises fotográficas permitem estimar a velocidade de avanço e a trajetória do fluxo no modelo. O depósito formado é interpretado através do levantamento topográfico, realizado pelo distanciômetro a laser MD250 ADV acoplado a uma mesa de coordenadas, interpolado no software Surfer® 8.0 e da análise granulométrica da malha de amostragem, além de observações *in situ*.

Sedimento utilizado nas simulações

O sedimento utilizado no modelo, para representar aquele presente no protótipo (areia média, $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$) foi o carvão mineral ($\rho = 1190 \text{ kg/m}^3$). Carvão mineral, da marca Cardiff, de duas faixas granulométricas diversas foram utilizadas:

- Carvão mineral 205: $0,04 \mu\text{m} < \text{diâmetro} < 242 \mu\text{m}$
- Carvão mineral 205 fino: $0,04 \mu\text{m} < \text{diâmetro} < 140 \mu\text{m}$

Ensaio realizado

Duas séries de ensaios preliminares foram realizadas (E0 e E1 – Fase 1) a fim de avaliar a vazão de injeção, a proporção de carvão mineral 205, a concentração volumétrica, a posição dos equipamentos e outros procedimentos experimentais. Tais características estabelecidas, foram realizadas as séries de ensaios E2, E3 e E4 (Fase 2), detalhadas na Tabela 1. Após cada série de ensaios, o tanque foi esvaziado para a realização do levantamento topográfico e da coleta de amostras do depósito. A mistura de água e sedimentos foi preparada utilizando 80% de carvão mineral 205 fino e 20% de carvão mineral 205 e Cv igual a 5%, resultando em $\rho_{\text{mistura}} = 1007,6 \text{ kg/m}^3$.

Tabela 1: Ensaio realizado e características

Ensaio – Fase 2	Volume de mistura injetado (l)	Vazão média (l/min)	Cv real médio (%)
E2	68,49	2,01	4,52
E2_B	248,17	2,02	3,42
E2_C	188,50	2,03	4,25
E2_D	204,52	1,91	5,58
E2_E	413,70	1,92	5,15
E3	475,35	1,95	4,83
E3_B	473,89	1,97	5,42
E3_C	217,86	1,96	5,21
E3_D	296,17	2,00	4,69
E3_E	237,09	1,94	5,94
E3_F	463,52	1,91	4,79
E4	290,40	1,90	5,06
E4_B	353,61	1,83	5,18
E4_C	418,77	1,95	4,80
E4_D	184,24	1,90	5,56
E4_E	933,00	1,91	5,28
Total ou média	5467,26	1,94	4,98

Resultados

Dinâmica - velocidade de avanço e trajetórias

A análise fotográfica do ensaio E2 e E3 permitiu quantificar a velocidade de avanço da corrente durante o início do ensaio, nas principais trajetórias identificadas, conforme Figuras 2 e 3. A Figura 4 representa a velocidade estimada no modelo e a velocidade no protótipo de acordo com a EVx. A Figura 5, ilustra todas trajetórias identificadas sob a topografia do modelo.

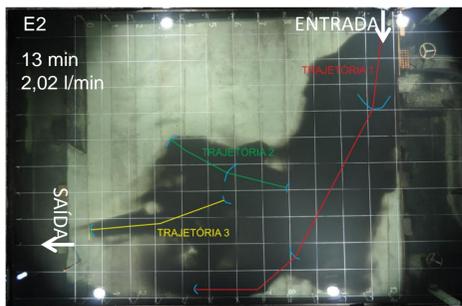


Figura 2: Identificação das trajetórias principais E2 para cálculo de velocidade



Figura 3: Identificação das trajetórias principais E3 para cálculo de velocidade

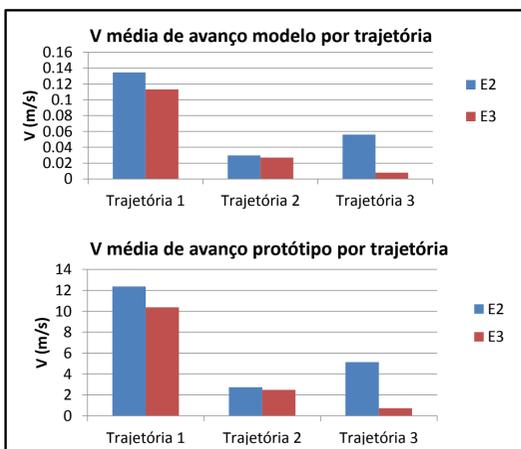


Figura 4: Velocidades de avanço da corrente por trajetória e por ensaio, no modelo (acima) e no protótipo (abaixo)

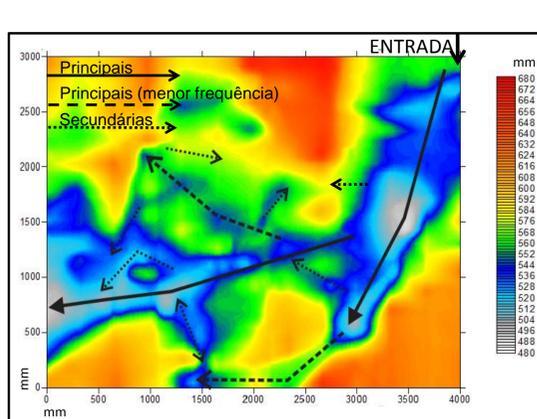


Figura 5: Identificação das trajetórias principais e secundárias no modelo

Depósito – espessura e granulometria

A topografia do modelo foi subtraída dos dados obtidos após a série de ensaios E4 resultando no mapa de espessuras (Figura 6). A análise granulométrica do depósito é abordada no trabalho de Kamila Cardias (2014).

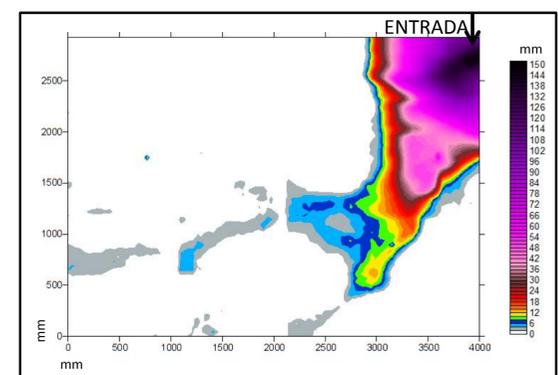


Figura 6: Mapa de espessuras após Fase 2 de ensaios

Como pode-se notar, a velocidade em E2 é maior do que em E3, principalmente durante a trajetória 3. Isso deve-se ao fato de no Ensaio 3 existir um substrato previamente formado em E2, aumentando a perda de energia do fluxo. As trajetórias identificadas, coincidem com os locais onde ocorreu formação de depósito. Nota-se que o depocentro (maior espessura) ocorre na minibacia mais próxima ao local de injeção, enquanto que nas minibacias a jusante a espessura chegou a 4 mm, extrapolando para o ambiente natural, 4 metros. Ainda, verificou-se que apenas a fração mais fina de sedimentos foi para jusante, enquanto que a fração mais grossa limitou-se à parte de montante.

Conclusões e considerações finais

Com os ensaios realizados até o momento, verificou-se que há 2 trajetórias principais ocorrendo concomitantemente, indicadas na Figura 7, que estão sendo responsáveis pela formação do depósito. Complementarmente a essas trajetórias, existem as trajetórias secundárias, que devem ganhar maior importância a medida que as minibacias forem preenchidas (continuação de ensaios em andamento). Na literatura os modelos de preenchimento das minibacias preveem que as minibacias a jusante sejam preenchidas somente após o preenchimento das minibacias a montante, ocorrendo somente passagem de finos em um primeiro momento. Esse fato já está sendo verificado nesses experimentos. Ainda, alguns ajustes na metodologia, como o uso do sifão, por exemplo, estão sendo revistos.

Referências bibliográficas

- LAMB, M., et al. *Surging versus continuous turbidity currents: flow dynamics and deposits in a experimental intraslope minibasin*. Journal of Sedimentary Research, Vol. 74, No 1, January, 2004, p. 148-155.
- BASS, J. H., et al. *Processes and products of turbidity currents entering soft muddy Substrates - Appendix: upscaling of experimental to natural turbidity currents*. GEOLOGY, May 2014; v. 42; no. 5; p. 371-374 GSA DATA REPOSITORY 2014 140.
- MANICA, R. *Geração de Correntes de Turbidez de Alta Densidade: Condições Hidráulicas e Depositionais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre: 2009.
- CARDIAS, K.; MANICA, R. *Estudo granulométrico e deposicional dos turbiditos da formação Calumbi via modelagem física*. Salão de Iniciação Científica – UFRGS, Porto Alegre: 2014.