

Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

CONTROLE DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS DE CORRENTES DE TURBIDEZ

Rafael. Manica¹, Antônio C. Del Rey², Ana. Luiza de O. Borges¹, Rogério D. Maestri¹

¹ Necod/IPH/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 –
Cx. Posta 15029 - Porto Alegre – RS - rmanica@portoweb.com.br

² Petrobras- Petróleo Brasileiro S.A, Av. Fernando Ferrari 1000 Cx. Postal 019010 -
Vitoria ES – delrey@petrobras.com.br

Resumo

Este estudo visa demonstrar os efeitos da variação da vazão de alimentação de uma corrente de turbidez simulada experimentalmente num modelo físico tridimensional nas suas características geométricas, dinâmicas e deposicionais, visando compreender seus mecanismos de iniciação, transporte e deposição e relacionar os resultados encontrados com os depósitos turbidíticos em escala natural. Ao todo foram realizados nove ensaios com três diferentes vazões (10, 20 e 30l/min). A corrente foi simulada através de mistura de água e carvão mineral com três eventos consecutivos em cada. Os resultados apresentados mostram um claro controle da vazão de alimentação das correntes nos seus depósitos. Há um deslocamento no sentido do fluxo das características do depósito com o aumento das vazões. Os dados evidenciam a complexidade da evolução do fluxo de correntes de densidade envolvendo acelerações e desacelerações que indicam ter um reflexo direto nos processos de erosão, transporte e deposição. A presença de inúmeras formas de leito associadas a processos de tração observadas nos ensaios, tanto nas porções confinadas como nas não confinadas, nos dão uma indicação de que muitas estruturas de tração que desenvolvem estratificação podem estar sendo desprezadas ou pouco evidenciadas em corpos arenosos espessos presentes nos turbiditos naturais.

Palavras-Chave: Simulação Física; Vazão de alimentação; Correntes de turbidez; turbiditos

Abstract

The present study aims to investigate the flow rate variation effects over the geometrical, dynamical and depositional features of turbidity current in a 3-D physical model. Triggering mechanisms, transportation and depositional processes will also be evaluated, attempting to match the results of physical modeling to those found in natural outcrops. Nine experiments have been carried out with three different flow-rate feeders. The material used in the simulations was a mixture of water and mineral coal. Each experiment was composed of a series of three consecutive simulated currents. The results indicate that the flow rate clearly influences the deposit formation. A displacement of the bed forms towards the flow direction can be noticed as the flow rates are increased. The data evidence the complex evolution of the flow of gravity currents, with complex patterns of accelerations and decelerations, which may have a direct effect in the erosion, transportation and deposition processes. The presence of several bed forms associated to traction processes in the confined and non-confined sections of the channel, give an indication that a lot of traction structures which develop stratification can have been ignored or show little evidence in natural thick sandstones.

Keywords: Physical simulation, Flow rate feeder; Turbidity currents; turbidites

1. Introdução

A diversidade de ambientes em se desenvolvem os sistemas deposicionais turbidíticos dificultam sobremaneira estudo e a sua caracterização geológica. Estes fatos associados à importância econômica que estes depósitos sedimentares tem apresentado geraram uma grande complexidade na sua classificação e na definição dos processos geológicos a eles associados. Os estudos de registros naturais (afloramentos, testemunhos, etc) e de laboratório (modelagem física e numérica), buscam de alguma forma a elucidar sob alguns aspectos a sua origem e o seu comportamento ao longo do tempo e do espaço. Através destas buscas tem se procurado entender melhor o tipo de formação de uma corrente de turbidez, tempo de sua ocorrência, quantidade e qualidade de sedimento remobilizado, concentração do fluxo e efeitos de topografia. A modelagem física permite que sejam realizadas simulações dos fluxos geradores de tais sistemas. Esta modelagem apesar de suas simplificações permite que sejam formuladas hipóteses sobre os parâmetros condicionadores do processo visando assim, o entendimento de partes do complexo fenômeno de formação dos depósitos sedimentares turbidíticos. Este estudo visa abordar alguns aspectos destes processos, demonstrando os efeitos da variação da vazão de alimentação uma corrente de densidade nas características geométricas, dinâmicas e deposicionais em um modelo físico tridimensional. Busca também, compreender melhor os mecanismos de iniciação, transporte e deposição destas correntes e relacionar os resultados encontrados na modelagem física com os depósitos turbidíticos em escala natural.

2. Aparato e Procedimento Experimental

As simulações foram realizadas num modelo físico tridimensional de geometria simplificada construído no NECOD/IPH/UFRGS representando um talude e uma bacia continental. A figura 1 mostra as características do modelo. O canal representa um talude que apresenta três seguimentos: um trecho plano de 0,85 m onde é feita a alimentação das correntes, um plano inclinado com 8,3° de 3,30 m e um seguimento final com 2,70 m e inclinação de 2,6°. A bacia tem o fundo plano. No centro do canal foi construída uma calha parabólica com 0,20 m de largura e 0,08m de profundidade para confinar o fluxo. No final do tanque há um canal de drenagem que captura o material da corrente evitando a reflexão da corrente.

Ao todo foram realizados nove ensaios (três séries de três repetições). O material utilizado nas simulações foi uma mistura de água ($\rho=997 \text{ kg/m}^3$) e carvão mineral ($\rho=1190 \text{ Kg/m}^3$) representando a corrente de densidade, com massa específica de 1020 kg/m^3 . Em cada ensaio, foram simuladas três correntes consecutivas (40 litros), com vazões de 10, 20 e 35 litros/minuto, totalizando um volume total de 120 litros de mistura. O tamanho dos sedimentos utilizado variava de areia média a silte. Os demais parâmetros da corrente foram mantidos constantes. O registro dos resultados foi realizado através de duas câmaras digitais, onde se estudou a geometria e a velocidade de avanço das correntes. Após os ensaios, o modelo era esvaziado lentamente e o depósito resultante analisado. Uma ponta linimétrica mecânica mediu a espessura dos depósitos ao longo do canal e foi realizado o registro fotográfico dos depósitos através do uso de câmera fotográfica digital. Foram recolhidas amostras do material sedimentado no modelo e da mistura injetada no início e final dos fluxos para avaliação da distribuição granulométrica e da densidade da corrente. Este tipo de simulação representa uma remobilização de material não instantânea, caracterizando um fluxo contínuo de matéria.

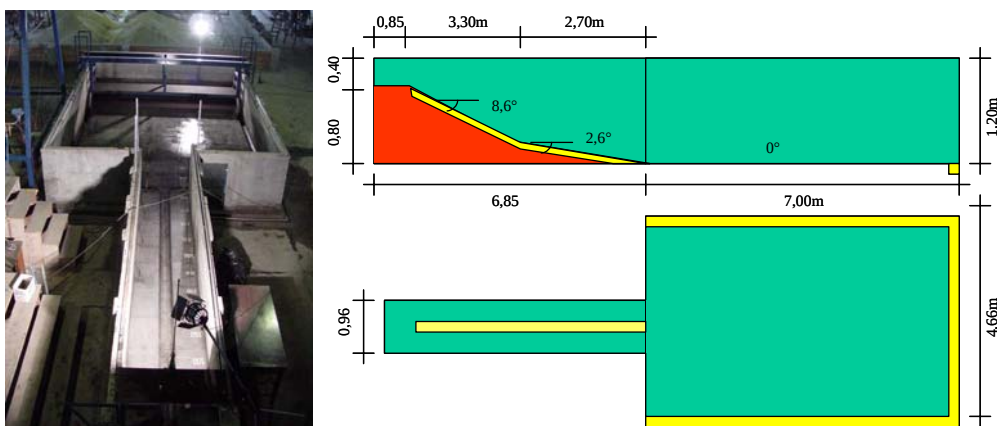


Figura 1 – Canal tridimensional de geometria simplificada

3. Resultados Aparato e Procedimento Experimental

Após cada simulação eram coletados os seguintes resultados para a posterior análise dos resultados:

3.1. Velocidade da Corrente

A figura 2 apresenta um gráfico da velocidade intervalar de avanço da corrente, determinada a cada de 0,25 m, em função da distância contada a partir do ponto de alimentação área fonte.

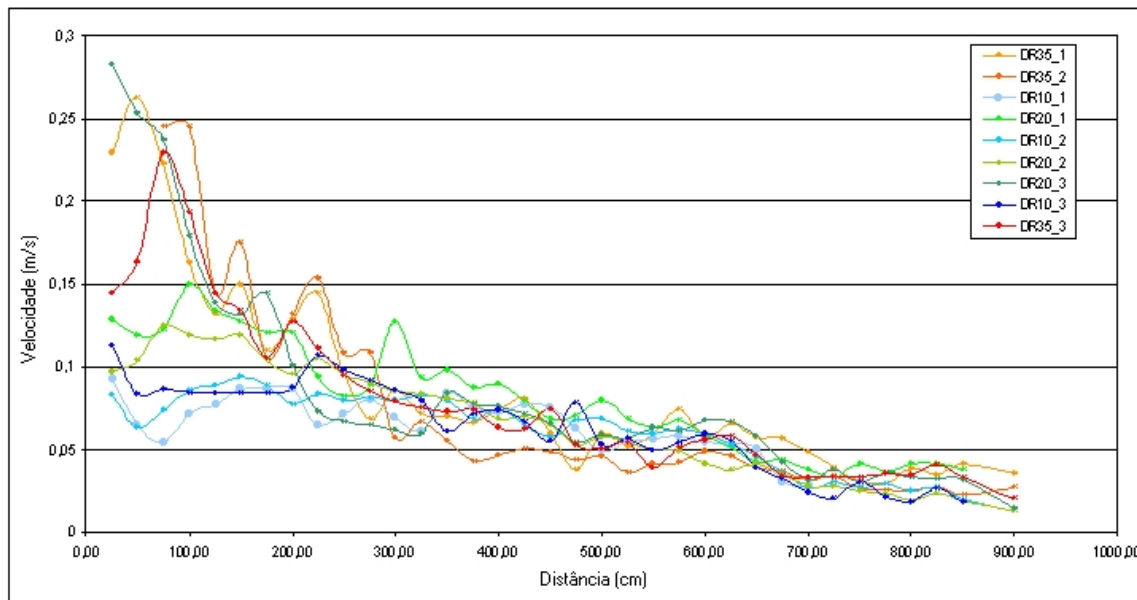


Figura 2 – Variação da velocidade ao longo da distância

Na figura nota-se que a velocidade para as três vazões apresentou um comportamento decrescente. Nos primeiros 250cm verifica-se uma diferença significativa no comportamento das correntes alimentadas com mais altas vazões (DR35). Estas passam por uma rápida desaceleração que parece estar relacionada a uma busca de equilíbrio entre a quantidade de movimento (momentum) do jato de saída do tubo alimentador e a inércia do meio aquoso principalmente nas vazões maiores. Com as vazões intermediárias (DR20) notas-se uma desaceleração continua enquanto nas baixas (DR10) verifica-se que a velocidade se mantém constante neste intervalo. A partir deste ponto até o final do aparato nota-se um declínio praticamente linear da velocidade. Além desta característica geral do fluxo notam-se flutuações periódicas das velocidades em torno da tendência média devido a fenômenos internos da corrente que acelera e desacelera periodicamente. Isso foi discutido por Del Rey et al. (2003) e está associado a ondulações na interface entre a camada basal (mais concentrada) e a superior da corrente (diluída pelo desprendimento de vórtices).

3.2. Espessura do Depósito

Na figura 3, temos um gráfico onde são representadas as espessuras dos depósitos medidas no eixo do canal por uma ponta limimétrica mecânica. Nela, pode-se verificar os diversos padrões de variação das camadas sedimentadas durante os ensaios. De um modo geral, verifica-se que o aumento da vazão desloca o pico de maior deposição no sentido de deslocamento da corrente. As vazões maiores tendem a formar depósitos com menor variação da espessura ao longo do canal. A vazão menor forma depósitos espessos próximos ao início da corrente indicando que a turbulência interna da corrente não é capaz de em manter o sedimento em suspensão. Isto provoca uma grande perda de massa logo no início de seu deslocamento até que seja atingido um equilíbrio interno entre as forças inerciais e gravitacionais. Situação contrária ocorre no caso de altas vazões onde os depósitos só começam a se desenvolver quando a corrente sofreu uma forte desaceleração.

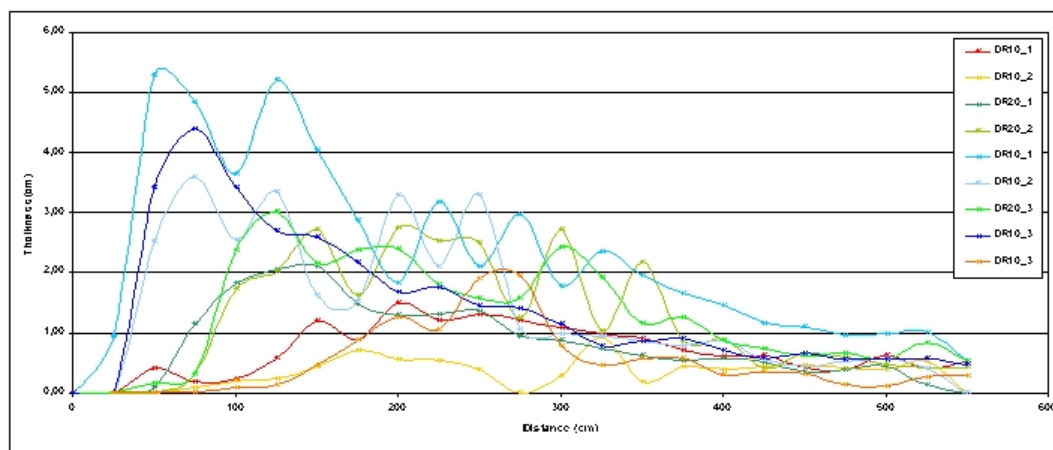


Figura 3 – Variação da espessura ao longo do canal

3.3. Granulometria do Material Depositado

Através da figura 4 pode-se visualizar a capacidade de transporte das correntes para cada faixa granulométrica analisada. As frações com grãos superiores a 0,125mm apresentam uma relação direta entre o pico deposicional e a variação de vazão, sendo menor e mais próximo da fonte a corrente que tinha a menor vazão e aumentando quase linearmente a medida que foi aumentada a vazão. As frações entre 0,125 e 0,088mm mantêm uma correlação com as espessuras dos depósitos, porém as partículas conseguem se manter ao longo de toda extensão do canal. As frações entre 0,088 e 0,063mm são deslocadas para as áreas mais distais dos depósitos tendo seu pico de deposição próxima ao ponto de desconfinamento das correntes. Já as frações menores que 0,063 mm foram depositadas preferencialmente nas porções mais distais.

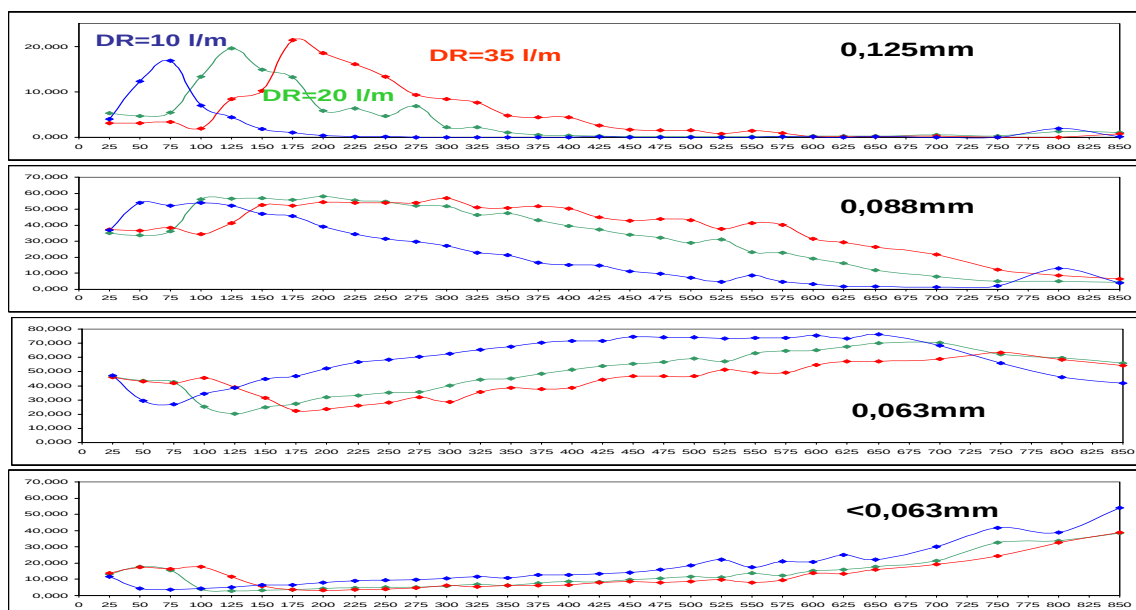


Figura 3 – Variação da granulometria ao longo do depósito gerado

3.4. Formas de leito

Na figura 5 podem ser observadas as formas de leito tratativas desenvolvidas pelos depósitos no trecho confinado do canal. Nelas podemos identificar uma sucessão bem definida feições que se deslocam no sentido do fluxo de acordo com a vazão inicial das correntes. Nas áreas mais proximais são desenvolvidas ondulações de crista reta que passam a ondulações com forma de convexa no sentido do fluxo. Estas são seguidas por um trecho com cristas retilíneas/irregular passando no trecho final a uma crista em forma seta no sentido do fluxo. Nota-se também que há uma tendência geral de redução do comprimento de onda e da altura destas formas de leito.

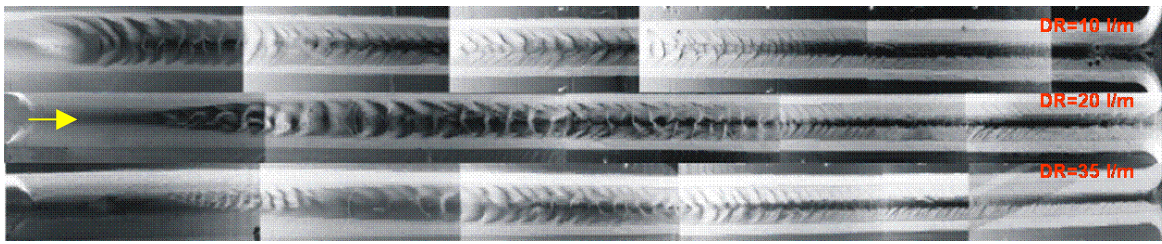


Figura 5 – formas de fundo geradas nas simulações (fonte à esquerda)

4. Discussão

As observações realizadas sobre a dinâmica das correntes de densidade nos levam a novas possibilidades sobre sua capacidade de erosão, transporte e deposição. A alternância de aceleração e desaceleração em alta frequência do fluxo nos permite explicar a geração de depósitos contínuos de arenitos com variações internas de granulometria, alternando sedimentos mais grossos em fases de aceleração e mais finos nas desacelerações possibilitando todo tipo de gradação interna em uma mesma camada. Este é um ponto que tem trazido muita controvérsia sobre a dinâmica das correntes de densidade que normalmente recaem em discussão sobre a sua reologia (Shanmugan, 2002; Mulder e Alexander, 2001; Kneller e Buckee, 2000). As variações de baixa frequência na velocidade da corrente ao longo do canal indicam a possibilidade de em um único evento ocorrer alternância cíclica de erosão e deposição tanto na vertical quanto na horizontal.

Pela característica da estrutura interna das correntes estudadas podemos situar os nossos experimentos no esquema de fácies e transformações de fluxo proposto por Mutti et al, 1992. Os depósitos estariam compreendidos entre as fácies F4 a F9 que correspondem ao escoamento no regime: turbulento, expansivo, reconcentração de sedimento e transformações gravitacionais. As seqüências de formas de leito verificadas possuem uma forte ligação com as fácies F4/F5-Plana, F6- Ondulações Linear e Sinuosa e F7/F8/F9- Ondulações Lineares/Irregulares e Pontagudas (Mutti et al., 1992).

5. Conclusões

Os resultados apresentados mostram um claro controle da vazão de alimentação das correntes nos depósitos por elas gerados. Há deslocamento no sentido do fluxo das características do depósito com o aumento das vazões.

Os dados evidenciam a complexidade da evolução do fluxo de correntes de densidade envolvendo acelerações e desacelerações que indicam ter um reflexo direto nos processos de erosão, transporte e deposição.

A presença de inúmeras formas de leito associadas a processos de tração observadas nos ensaios, tanto nas porções confinadas como nas não confinadas, nos dão uma indicação de que muitas estruturas de tração que desenvolvem estratificação podem estar sendo desprezadas ou pouco evidenciadas em corpos arenosos espessos.

6. Referências

- DEL REY, A. C., VIANA, A. R., MANICA, R., MAESTRI, R. D. e BORGES, A. L. 2003 -Impact of flow oscillations in the depositional geometry and architectural elements distribution of sand-rich density current-driven deposits- AAPG Annual meeting – Salt Lake- EUA
- KNELLER, B.; eBUCKEE, C. 2000. “The estructure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of some recent studies and their geological implications”. *Sedimentology*, Oxford, v.47, Suppl. 1, p. 62-94.
- MULDER, T.; ALEXANDER, J. 2001. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, Oxford, v.48, p. 269-299
- MUTTI, E.; TINTERRI, R.; REMANCHA, E.; MAVILLA, N. ANGELLA, S.; FAVAL, L. 1999. An introduction to the analysys of ancient turbidite basins from an outcrop perspective. Tulsa: AAPG 86p. (AAPG Course Notes, 39).
- SHANMUGAM, G. 2000. 50 years of the turbidite paradigm 1950s-1990s. Deep-water processes and facies models: a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, Guilford, v.17. p.285-342.