

IMPLICAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E CINEMÁTICAS DE CORRENTES DE DENSIDADE OBTIDAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS NO ESTUDO DE DEPÓSITOS TURBIDÍTICOS.

Eduardo Puhl¹, Richard E. Dücker¹, Ana Luiza de O. Borges¹, Rogério D. Maestri¹

¹ Necod/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre – RS – eduardo.puhl@ufrgs.br

Resumo – Este estudo fez uso de cerca de 90 imagens digitais, correspondentes a 15 simulações de correntes de densidade, realizadas no NECOD/IPH/UFRGS em um canal bidimensional. As simulações foram divididas em cinco grupos, dos quais um conservativo (água+sal) e outro não-conservativo (água+sedimento), já os outros três, intermediários. As imagens correspondem ao perfil das correntes em seis pontos de referência do canal, obtendo-se parâmetros geométricos (altura da cabeça e do corpo) e dados cinéticos (velocidade e tempo de percurso). Com estes dados foram criadas relações entre as cinco misturas. As correntes conservativas (material dissolvido) apresentaram menores parâmetros geométricos, desaceleração e tempo de percurso, e um maior valor de velocidade média em comparação as correntes não-conservativas (material suspenso). Com esta análise concluímos que, a porção fina (representada pelo sal) tem um papel importante no escoamento, modificando o seu comportamento geométrico e dinâmico. Como consequência, há modificações no registro deposicional apresentado nestas simulações, principalmente no comportamento das partículas mais grossas dentro do escoamento. Extrapolando esses resultados para o ambiente natural, podemos inferir através do tipo de depósitos (presença de finos, grossos, entre outros) características do fluxo que o gerou, auxiliando o entendimento dos processos sedimentares que ocorreram dentro deste determinado ambiente.

Palavras-Chave: correntes de densidade; correntes de turbidez; turbiditos; modelagem física.

Abstract – This study makes use of 90 digital images, corresponding to 15 density current simulations, carried out in a bi-dimensional channel at NECOD/IPH/UFRGS. The mixtures employed for the simulations ranged from completely conservative (water+salt) to completely non-conservative (water+sediment) behaviors with three intermediate states. Those images show the current in six different points along the channel. Geometric (head/body height) and kinetics (velocity and elapsed time) parameters were obtained. These data allowed the establishment of relationships between the five mixtures used. The conservative currents (dissolved material) had presented smaller values for the geometric parameters, deceleration and total elapsed time, furthermore they presented a larger value for average velocity in comparison to the non-conservative currents (suspended material). With such analysis we conclude that the fine sediment in suspension, simulated by dissolved salt, plays an important role in the flow, modifying its geometric and dynamic behavior. As a consequence, the depositional records in these simulations were also altered, mainly in the behavior of the coarsest particles inside the flow. By extrapolating these results for the natural environment, one can infer, through the type of deposit (presence of finer/thicker sediment), the characteristics of the flow that generated it, helping to understand the sedimentary processes involved.

Keywords: density currents; turbidity currents; turbidites; physical modeling

1. Introdução

Correntes de densidade são fluxos gravitacionais que fluem pela ação diferencial da gravidade causada pelo contraste entre o fluxo e o meio circundante. Esta diferença de densidade pode ser causada por diversos fatores: diferença de temperatura, presença de material dissolvido ou material suspenso, ou a combinação destes fatores.

As correntes de densidade podem ser divididas em dois grupos distintos: correntes conservativas e não-conservativas, o primeiro grupo é formado por material dissolvido dentro da corrente (avalanches e o movimento de massas de ar com diferentes temperaturas são exemplos destas correntes), já o segundo grupo, é formado por material suspenso, ou seja, fluxos de sedimentos (por ex.: água da chuva ou da neve derretida que desce as altas montanhas, lavando a terra até a bacia do lago, e tempestades ou terremotos que geram o fluxo dentro dos oceanos)

As correntes de material dissolvido (conservativas) foram analisadas inúmeras vezes por estudiosos no passado (Middleton, 1966; Britter e Simpson (1978), Gladstone et al, 1998, entre outros), seus parâmetros geométricos e cinéticos foram observados de várias maneiras. Mas, com a corrida do petróleo, estes estudos se voltaram para as correntes não-conservativas (Kuenen e Migliorini, 1950, Middleton, 1967, Ávila, 2002 entre outros), as quais são responsáveis pela formação de boa parte dos reservatórios mundiais de petróleo. Sua simulação e estudo são bem mais complexos do que os anteriores, o que intensificou ainda mais os trabalhos realizados sobre este fenômeno.

Este trabalho parte da análise destes dois grupos das correntes de densidade, observando em cada caso a dinâmica do processo e a geometria formada pelo fluxo. Nas correntes conservativas será analisada a capacidade de equivalência do material dissolvido com a parte fina (argila) da corrente. Dentro processo de desenvolvimento das correntes de material suspenso (não-conservativas) o estudo irá observar a deposição e erosão do material e sua influência do fenômeno.

Partindo-se de ensaios realizados, em que a proporção de material suspenso e dissolvido dentro dos fluxos foram variados (Dücker et. al. 2003), este estudo irá realizar uma análise através de imagens digitais a fim de obter relações geométricas e cinéticas entre estes dois grupos de correntes de densidade. Para tanto serão analisadas 90 imagens digitais correspondentes a 15 simulações de correntes de densidade, dentro disso alguns parâmetros foram analisados nas correntes e comparados entre si, como: altura da cabeça e do corpo da corrente e distância da cabeça. Também se utilizou a velocidade e tempo de evolução da corrente.

Espera-se com isso aprimorar as pesquisas das correntes de densidade, as quais são de grande importância em vários processos naturais. Pretendemos auxiliar no entendimento do fenômeno para que a busca e identificação dos reservatórios de hidrocarbonetos formados sejam facilitadas.

2. Metodologia

2.1. Realização dos Ensaios

Os ensaios analisados correspondem a uma série de 15 simulações realizadas no NECOD (Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade), em canal bidimensional com as dimensões de 300 x 12,5 x 20cm (figura 1), a metodologia utilizada nos ensaios foi de fluxo contínuo, conforme Manica (2002) e Ávila (2003). Foram criadas seis referências ao longo do canal para a comparação das imagens, as quais estão espaçadas em intervalos de aproximadamente 50cm. Em cada ponto de referência do canal foi obtida uma imagem digital, totalizando 90 imagens analisadas.



Figura 1. Canal bidimensional.

Para medir a influência dos materiais dissolvidos e suspensos dentro das correntes foram criadas cinco diferentes proporções de carvão e sal (Tabela 1). O fluido ambiente usado foi água e para cada mistura foram feitas 3 repetições de ensaio.

Tabela 1. Relação das misturas.

	Carvão (%)	Sal (%)	ρ (g/cm ³)	V(l)
Mistura 1	0	100	1010	4
Mistura 2	25	75	1010	4
Mistura 3	50	50	1010	4
Mistura 4	75	25	1010	4
Mistura 5	100	0	1010	4

Apesar da forma apresentada pela tabela 1, as porcentagens de cada material não remetem ao peso de material utilizado. Por exemplo, na mistura 3 foram adicionados aproximadamente 12,5g/litro de sal e 25g/litro de carvão, não formando então a razão de 1:1. Mas, estas porções correspondem a 50% de suas concentrações volumétricas para alcançar $\rho = 1010 \text{ g/dm}^3$.

2.2. Tratamento das Imagens Digitais

Com a obtenção das imagens digitais dos fluxos nos seis pontos de referência, foi utilizado o programa Image Tool® para a medição dos parâmetros geométricos. Este software gratuito possui muitas opções no tratamento de imagens. O método utilizado para a análise consiste na medição dos parâmetros geométricos da corrente (figura 2) que são: altura do corpo (h_{corpo}), altura da cabeça (h_c) e distância da cabeça (d_c). Definidos respectivamente como: distância entre o fundo do canal e a interface do corpo da corrente, distância entre o fundo do canal e a interface da maior altura da cabeça da corrente e, distância entre o nariz da corrente e o ponto em que ocorre a cabeça da corrente. Para a determinação do ponto de ocorrência da cabeça da corrente foi usado o seguinte conceito: o limite entre cabeça e corpo da corrente ocorre no ponto de maior inflexão da interface a partir do nariz da corrente.

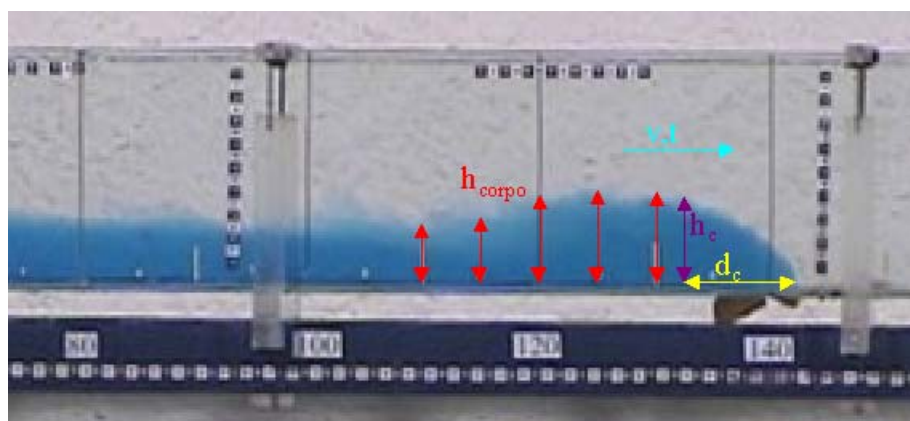


Figura 2. Ilustração dos parâmetros geométricos medidos com a ferramenta Image Tool®.

Neste estudo a altura do corpo foi medida a cada 5cm do canal, e no futuro outros parâmetros podem ser medidos para que a análise seja ainda mais completa, mas em vista dos outros estudos realizados anteriormente estes foram os parâmetros pelos quais vimos maior possibilidade de comparação.

Para a obtenção dos parâmetros cinéticos, velocidade e tempo de percurso, destas correntes foram utilizados softwares de edição de vídeos, tais como Adobe Premiere 6.0®.

3. Resultados

Os resultados foram divididos em dois grupos: geométricos e cinéticos.

3.1. Geométricos

As análises geométricas se utilizam os valores dos parâmetros geométricos obtidos pelo tratamento da imagem digital.

Em relação a figura 3, o uso da altura da cabeça e altura do corpo média em relação à distância do canal, nos mostra que aparentemente as misturas que possuem menos de 50% de sedimentos mantiveram os valores praticamente iguais, já nas misturas com porcentagem de sedimentos acima de 50% ocorreu um aumento gradual no valor. No

entanto, nos dois casos o aumento dos valores nas misturas mistas (de carvão e sal) é pouco significativo, enquanto este aumento é bem maior em relação à mistura com 100% de sedimentos.

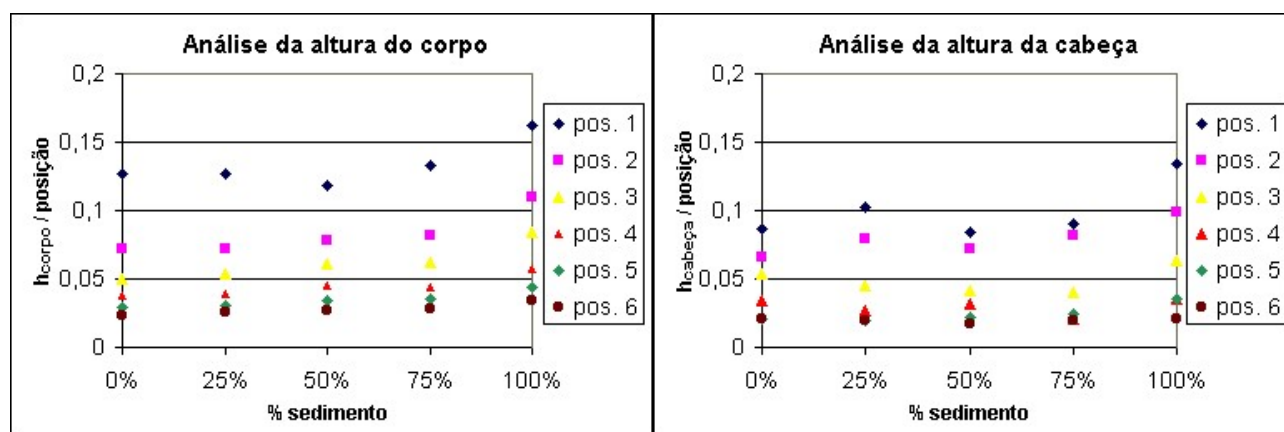


Figura 3. Relação entre - a altura do corpo média (a), altura da cabeça média (b) - e a distância da entrada do canal com a porcentagem de sedimentos em cada mistura, medido em cada posição de referência.

Na figura 4 foi desenvolvida uma análise da diferença entre a altura máxima (figura 4a) e mínima (figura 4b) com a altura média do corpo nas seis posições do canal. Verificamos que a oscilação deste valor é grande e não linear ao longo do canal. A figura também mostra que as maiores oscilações correspondem às misturas com maior porcentagem de sedimentos, e observando a mistura conservativa vemos que há um crescimento gradual e na parte distal ocorre um ponto máximo seguido por uma decaimento da diferença.

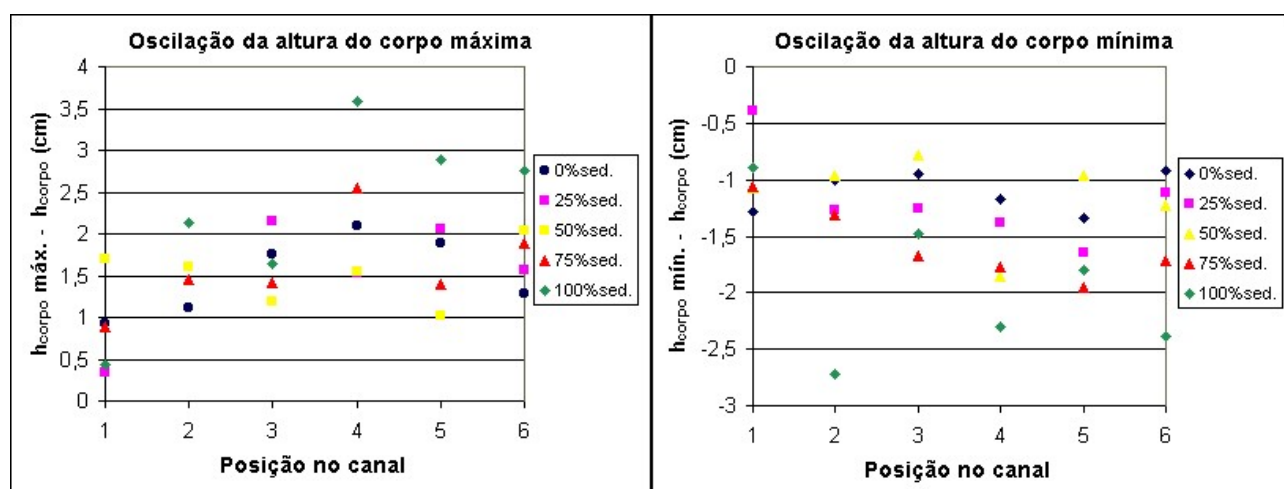


Figura 4. Relação entre - a altura do corpo máxima (a) e mínima(b) - e a altura do corpo média medida em cada posição de referência no canal, relacionado as diferentes misturas.

3.1. Geométricos

Com os dados de velocidade e tempo obtidos foi possível fazer um outro estudo. Num primeiro momento a relação entre a velocidade e a velocidade média da corrente ao longo de cada posição do canal nos mostra (fig. 5a), que a desaceleração da corrente não-conservativa é bem significativa em relação as outras e praticamente linear.

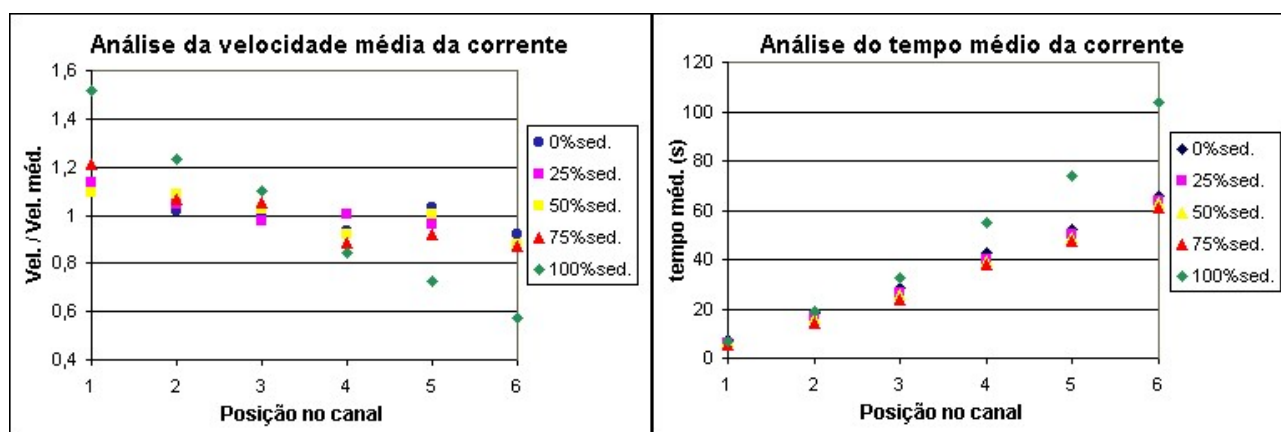


Figura 5. Relação entre - a velocidade pontual e velocidade média (a) e tempo médio de percurso da corrente (b) - em cada posição de referência no canal, relacionado as diferentes misturas.

A análise do tempo (fig. 5b) confirma a expectativa do gráfico anterior mostrando que a mistura que leva maior tempo de trânsito no canal é aquela formada com 100% de sedimentos. Entretanto, numa análise mais criteriosa, vê-se que partindo da mistura com 0% de sedimentos até a mistura com 75% o tempo de percurso vai diminuindo. Isto pode mostrar que existe um ponto ótimo de mistura entre material dissolvido e suspenso.

4. Conclusões

Observando cada um dos dois tipos de correntes podemos verificar algumas características dos fluxos, no caso das correntes conservativas

Tabela 2. Diferenças entre fluxos conservativos e não-conservativos

Característica	Fluxos Conservativos	Fluxos Não-conservativos
Altura do corpo	Menor ↓	Maior ↑
Altura da cabeça	Menor ↓	Maior ↑
Velocidade	Maior ↑	Menor ↓
Desaceleração	Menor ↓	Maior ↑
Tempo de percurso	Menor ↓	Maior ↑

A tabela nos dá uma visão qualitativa das duas correntes e com a análise dos gráficos obtidos no estudo podemos especular algumas hipóteses sobre a dinâmica, os mecanismos e os fenômenos envolvidos.

Tendo em vista a performance cinética das correntes conservativas e da geometria do fluxo, podemos sugerir que a matriz formada pela presença de material dissolvido se mostra menos passível a entrada do fluido ambiente dentro da corrente, mantendo sua concentração inicial por mais tempo, portanto apresentando uma velocidade maior e mais constante.

Em contra partida podemos esperar das correntes não-conservativas que sua matriz não seja tão concentrada, podendo-se aludir que por ser formada de material insolúvel ocorram processos de erosão e deposição deste material. Portanto a matriz formada dentro da corrente é mais suscetível a entrada do fluido ambiente, e a conseqüente dissolução dentro do corpo, acarretando uma menor velocidade de evolução e uma maior desaceleração do fluxo.

Podemos encarar as diferenças entre estes dois fluxos como a diferença entre a porção fina, conservativa, e a porção grossa, não conservativa, de uma corrente de turbidez oceânica. A porção fina terá mais eficiência em levar o material mais longe da fonte mantendo uma velocidade quase constante, ao contrário da porção mais grossa que irá perder concentração, desacelerará rápido e depositará o material na parte proximal.

Observando a figura 5 podemos dizer que, abrangendo as cinco misturas, o ponto ótimo de porcentagem sal/carvão é entre 60% e 80% de carvão, pois extrapolando os valores da velocidade e tempo esta faixa de mistura é a que obteve o melhor resultado cinético. E, como as misturas tinham a mesma massa específica, este resultado pode indicar menor perda de concentração durante o ensaio.

No fenômeno natural os fluxos são compostos pelos dois tipos de material, e eles entram em interação ao longo do processo. A proporção suposta corresponderia o ponto em que esta interação atingiria um equilíbrio e a corrente de turbidez alcançaria uma eficiência cinética, transportando o material mais longe da fonte.

Na figura 3 podemos notar, dentro dos valores encontrados, que a influência dos dois tipos de material (dissolvido e suspenso) tem uma diferente variação. Observando a diferença entre a mistura “0%sed.” com a de “25%sed.” vemos que entre os valores encontrados não ocorre muita variação, já entre a mistura “100%sed.” com a de

“75%sed.” fica clara a grande mudança de valores entre essas duas misturas. Concluímos que uma pequena porção de material dissolvido cria uma maior variação dos valores geométricos do fluxo que uma porção de material suspenso.

Com esta análise concluímos que, a porção fina tem um papel importante no escoamento, modificando o seu comportamento geométrico e dinâmico. Como consequência, há modificações no registro deposicional apresentado nestas simulações, principalmente no comportamento das partículas mais grossas dentro do escoamento.

Extrapolando esses resultados para o ambiente natural, podemos inferir através do tipo de depósitos (presença de finos, grossos, entre outros) características do fluxo que o gerou, auxiliando o entendimento dos processos sedimentares que ocorreram dentro deste determinado ambiente.

8. Referências

- AVILA, M. D. (2003) Modelagem física de correntes de densidade no estudo de depósitos turbidíticos. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BRITTER, R. E.; SIMPSON, E. J. 1978. Experiments on the dynamics of a gravity current head. *Journal of Fluid Mechanics*, Cambridge, v.88, p.223-240.
- DÜCKER, R. E.; ÁVILA, M. D.; MAESTRI, R. D.; BORGES, A. L. de O. 2003. Influence of the Finer Material Portion in Physical Simulation of Density Currents. AAPG Annual Meeting 2003, p. A-45.
- Gladstone, C., Phillips, J. C. & Sparks, R. S. J. 1998 Experiments on bidisperse, constant volume gravity currents: propagation and sediment deposition. *Sedimentology* 45, 833–844.
- KUENEN, P.H.H. e MIGLIORINI, C.I. 1950. Turbidity currents as a cause of graded bedding. *Journal of Geology*, v.58, 91-127.
- MANICA, R. 2002. Modelagem física de correntes de densidade não conservativas em canal tridimensional de geometria simplificada, 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MIDDLETON, G. V. 1966a. Experiments on density and turbidity currents I. Motion of the head. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Ottawa, v.3, p. 523-546.
- MIDDLETON, G. V. 1967. Experiments on density and turbidity currents III. Deposition of Sediment. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Ottawa, v.4, p. 475-505