

## INFLUÊNCIA DO MECANISMO DE INICIAÇÃO NA GEOMETRIA DOS DEPÓSITOS E NA DINÂMICA DAS CORRENTES DE DENSIDADE NÃO CONSERVATIVAS ATRAVÉS DO USO DE MODELOS FÍSICOS

Rafael Manica<sup>1</sup>, Daniel U. de Brito<sup>1</sup>, Rogério D. Maestri<sup>1</sup>, Ana Luisa de O. Borges<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Necod/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre – RS - rmanica@portoweb.com.br

### Resumo –

Neste trabalho foram realizadas no, NECOD/IPH/UFRGS, 28 simulações experimentais de correntes de densidade não conservativas, onde se buscou avaliar os padrões de deposição gerados em duas condições de iniciação da corrente (volume inicial fixo e fluxo contínuo) além de verificar a influência da massa específica da mistura, do tipo de material e do diâmetro dos grãos no depósito gerado. Também foram analisadas as características dinâmicas da corrente (velocidades de avanço) e geométricas (altura da cabeça e do corpo). A partir de análise e tratamento de imagens via computador e da coleta e análise granulométrica do material depositado observou-se que: a velocidade da corrente aumenta à medida que a massa específica/concentração da mistura aumenta; a distribuição dos volumes de depósitos apresentou uma tendência geral de decaimento exponencial; a distribuição dos grãos indica uma segregação dos sedimentos, ao longo do comprimento, estando as frações maiores (correspondentes a areia fina) presentes nas zonas mais proximais do canal e com os grãos mais finos chegando até as regiões mais distais. Os resultados apresentados nas simulações mostram a eficiência da modelagem física no estudo dos depósitos turbidíticos, permitindo uma primeira comparação entre diferentes mecanismos de remobilização de sedimentos (causa) com os resultados (consequência).

Palavras-Chave: aporte de sedimento; correntes de turbidez; modelagem física; turbiditos

### Abstract –

This study presents 28 physical simulations of non-conservative density currents used to evaluate its depositional patterns. Two different triggering mechanisms were employed: lock gate and fluid injection. The influence of mixture specific gravity, material type and grain size were also checked. Dynamic and geometric features, such as head velocity and head/body height, were registered. The results show velocity increasing of the flow as its concentration grows; the deposition volumes present a general tendency of exponential decline; the grain size range of the deposits decreases towards the distal portion of the channel. The results obtained have showed the efficiency of physical modeling in the study of turbidites, allowing the establishment of correlations between the currents and its deposition patterns.

Keywords: triggering mechanism, turbidity current, physical modeling, turbidites

## 1. Introdução

O estudo de correntes de densidade não conservativas, ainda hoje não é bem fundamentado, tanto na sua teoria, quanto na prática. A dificuldade encontrada pelos pesquisadores reside no monitoramento desses fenômenos em escala natural levando a uma série de incertezas quanto aos processos de iniciação, transporte e deposição destas correntes. Bass et al (2002) comenta que estas correntes são eventos raros e fortemente inacessíveis. Conseqüentemente, a sua dinâmica é menos compreendida do que a dinâmica de canais de superfície livre. Na escala geológica de tempo, estes fluxos são o principal mecanismo de dispersão de sedimentos nos ambientes de águas profundas (Kneller e Buckee, 2000; Bass et al 2002),

Essas dificuldades no monitoramento nos leva a uma série de incertezas quanto aos processo de iniciação, transporte e deposição destas correntes. Em escala natural, os sistemas deposicionais turbidíticos são depósitos sedimentares formados, principalmente, pelo sedimento que constitui as correntes de densidade não conservativas, os quais são transportados e depositados ao longo dos anos.

Devido a porosidade e a outras características geológicas, estes sistemas contêm os principais reservatórios de hidrocarbonetos do mundo, e, conseqüentemente, de rochas geradoras de hidrocarbonetos, sendo o principal alvo de interesse da indústria de petróleo Shanmugam (2002), destaca que a cruz do paradigma dos turbiditos cerca em torno dos desacordos entre as propriedades hidrodinâmicas da correntes de turbidez e seus depósitos gerados.

A dificuldade de ligar a dinâmica das correntes de turbidez com as características dos turbiditos garantem o uso de métodos alternativos como simulação em laboratório ou numérica. A simulação deste fenômeno em modelo reduzido, permite o total controle nas condições de contorno dos ensaios e de seus resultados, mas que exige o conhecimento de leis de semelhança que permitam transferir os resultados do modelo para o protótipo (sistema real) Manica (2002).

Middleton (1970) destaca que as vantagens da investigação experimental são que o processo pode ser diretamente observado e que as condições do experimento podem ser controladas diretamente pelo investigador, assim pode-se correlacionar, as características da corrente com o depósito gerado. Kneller e buckee complementam dizendo que O avanço tecnológico tem permitido compreender melhor a morfologia das correntes de gravidade e estrutura da turbulência nesta correntes.

Stow e Mayall (2000) destacam que o aporte de sedimentos (volume, fonte, natureza e tamanho do grão) é o mais importante na determinação da natureza do depósito final. Porém, na prática, essa estimativa da quantidade e qualidade de sedimento, é difícil. Middleton e Hampton (1973) destacam três tipos de mecanismo de iniciação: a remobilização do sedimento depositado na plataforma ou na cabeça do talude continental, originada pela ocorrência de eventos catastróficos; pela descarga fluvial em oceanos, e pela surgência no talude de aquíferos provocados pelo rebaixamento do nível de base.

Em laboratório estes mecanismos são simulados de duas maneiras; através da remobilização de um volume limitado de material que tem sua duração quase instantânea (onda solitária), ou ainda, por uma quantidade de material distribuído ao longo do tempo, caracterizado por uma alimentação contínua de material. Na modelagem de correntes de densidade com volume inicial fixo, o canal é normalmente dividido em duas seções por uma comporta delgada. De um lado da comporta fica o fluido denso e do outro o fluido ambiente. Tão logo a comporta é retirada, o fluido denso começa a formar a corrente e uma contra corrente do fluido ambiente flui na direção oposta (Simpson, 1997). Já na modelagem de correntes de densidade com fluxo contínuo, o fluido mais denso é normalmente preparado num tanque auxiliar, o qual garantirá um suprimento constante de material durante a execução do ensaio.

Este trabalho visa a avaliação dos padrões de deposição gerados pelas correntes de densidade não conservativas, em canal de declividade variável de pequeno porte, nas duas condições citadas acima, além de verificar suas características dinâmicas; como velocidades e aceleração, e características geométricas, como a altura da cabeça e do corpo.

Espera-se avaliar, a distribuição dos volumes/espessuras de depósitos ao longo do comprimento do canal, o comportamento dos grãos, por faixas granulométricas ao longo deste comprimento, correlacionar os depósitos gerados nas duas condições de admissão de materiais, além de verificar a influência das seguintes variáveis da corrente no depósito: a massa específica da mistura, tipo de material e o diâmetro dos grãos. Com estas simulações, espera-se colaborar para o entendimento dos fenômenos naturais, buscando relacionar a formação das correntes (causa) com o depósito gerado (conseqüência), além de contribuir para o estudo da modelagem física de correntes de densidade não conservativas no Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 2. Metodologia e Aparato Experimental

As 28 simulações foram realizadas no Nucleo de estudos de correntes de densidade do IPH/UFRGS utilizando um canal retangular bidimensional com as seguintes dimensões: 300x12.5x15cm, (Figura 1). A declividade foi fixada em zero graus. Numa das extremidades (300cm) existe um compartimento de dispersão de material (25x15x30cm) para evitar a reflexão da corrente. Para as simulações dos eventos catastróficos (pulso) era colocada uma comporta delgada a 30cm do início do canal. Este compartimento formado possuía dois misturadores manuais para manter a mistura homogênea. Já para os ensaios por alimentação fluxo contínuo, foi utilizado um sistema de alimentação independente ao canal, com um reservatório de alimentação em forma de funil. Na saída do funil tem uma tubulação (25mm) com um

registro esfera que controla a vazão de entrada de material e um difusor no fim que distribui o fluxo lateralmente no canal.



Figura 1. Canal bidimensional de declividade variável

As simulações eram compostas por misturas de água e sedimento, totalizando 4litros. Três tipos de materiais (carvão 205 e 207 e calcário) com duas massas específicas da mistura (1010 e 1022kg/m<sup>3</sup>) e duas composições granulométricas (0.297-0.125mm e 0.125-0.053mm), foram utilizados (tabela 1). Para cada grupo eram realizadas duas repetições de corridas. A letra “P” junto ao número do grupo representa ensaios por volume inicial fixo e a letra FC corresponde aos ensaios por fluxo contínuo de material.

Tabela 1. Características das simulações

Grupo	Material	Granulometria do material (mm)	Massa Específica da mistura (kg/m <sup>3</sup> )
1P e 1FC	Carvão 207	0,297 - 0,125	1022
2P e 2FC	Carvão 207	0,297 - 0,125	1010
3P e 3FC	Carvão 205	0,125 - 0,053	1010
4P e 4FC	Carvão 205	0,125 - 0,053	1022
5P e 5FC	Carvão 205	0,297 - 0,125	1010
6P e 6FC	Carvão 205	0,297 - 0,125	1022
7P e 7FC	Calcário C	0,125 - 0,053	1022

Os resultados foram determinados a partir da coleta do material depositado a cada 50cm para a realização da análise quantitativa (granulometria e volume de depósito) e de técnicas de visualização (câmeras digitais) e tratamento de imagens, via métodos computacionais, dos ensaios para avaliação das características geométricas (altura da cabeça e do corpo) e dinâmicas da corrente (velocidade de avanço).

### 3. Resultados

Os resultados destes ensaios podem ser divididos em duas etapas: a primeira relacionada à caracterização da corrente e a segunda na caracterização dos depósitos formados por elas.

### 3.1 Velocidade de avanço

Nos ensaios por pulso, nota-se na figura 2a, que para um mesmo material e com uma mesma granulometria dos grãos, quanto maior a massa específica da mistura, maior é a velocidade média atingida pela corrente. Isso é explicado pelo aumento da diferença de massa específica relativa entre os meios. Para o caso do mesmo material, porém com granulometrias diferentes (grupos 3P, 4P, 5P e 6P), os valores médios indicam que a diferença de massa específica continua sendo mais preponderante, na definição da velocidade da corrente do que a diferença no tamanho dos grãos. Verifica-se, também, que os materiais mais densos geram correntes, com velocidades médias mais lentas.

Nos ensaios por fluxo contínuo verifica-se na figura 2b que, para um mesmo material, com a mesma granulometria, quanto maior a massa específica, maior é a velocidade. No caso dos grupos 3FC e 4FC essa diferença foi pequena. Já para os grupos 3FC, 4FC, 5FC e 6FC o comportamento foi diferente do observado nos ensaios por pulso, onde a corrente formada por material com granulometria mais fina, desenvolveu velocidade maior do que com granulometrias mais grossas, independentemente da massa específica da mistura. Verifica-se também, que à medida que vai aumentando a massa específica do material menor são as velocidades.

Comparando as velocidades atingidas pela corrente nas duas modalidades de ensaio, nota-se que a ordem de grandeza da velocidade dos ensaios por fluxo contínuo de material é menor do que os valores para o pulso de material.

### 3.2 Distribuição Longitudinal do Depósito

Avaliando a distribuição dos volumes de depósitos (figura 3a) nota-se que, independente das características dos ensaios, o padrão de deposição apresentou uma tendência geral de acúmulo de material, da ordem de 50%, nas regiões mais proximais do canal (0-100cm) e acúmulo de material, da ordem de 10%, canal nas regiões mais distais do canal (150-200cm). As exceções foram naqueles ensaios que ocorreu reflexão da corrente de densidade (3P, 5P e 7P). Através de análise granulométrica dos depósitos (Figuras 4a, 5a e 6a) pode-se notar que as frações maiores (correspondente a areia fina) ficam retidas nas zonas mais proximais do canal (até 75cm) e; à medida que o tamanho do grão vai diminuindo, aumenta a capacidade do grão de atingir distâncias maiores. O comportamento das partículas com tamanho correspondente a silte foi praticamente homogêneo ao longo do comprimento do canal, com pequenas oscilações em torno de um valor médio (5%).

Com relação à distribuição dos volumes de depósitos gerados pelos ensaios por fluxo contínuo de material, analisando a figura 3b, nota-se que, para cinco dos sete grupos analisados, o comportamento foi similar independente das características dos ensaios. O fato é que esses dois grupos (3FC e 4FC) possuem as granulometrias mais finas, os quais tem uma maior capacidade de se manter em suspensão durante o desenvolvimento da corrente. Novamente, o padrão de deposição apresentou uma tendência. O acúmulo de material, da ordem de 90%, nas regiões mais proximais do canal (0-75cm) e acúmulo de material, da ordem de 5%, canal nas regiões mais distais do canal (150-200cm). Analisando a granulometria dos depósitos (Figuras 4b, 5b e 6b) podemos notar que as frações maiores (correspondentes a areia fina) ficam retidas nas zonas mais proximais do canal (até 50cm), as frações intermediárias (correspondentes a areia muito fina) conseguem atingir distância um pouco mais longas (150cm), e com os grãos mais finos chegando até as regiões mais distais do canal.

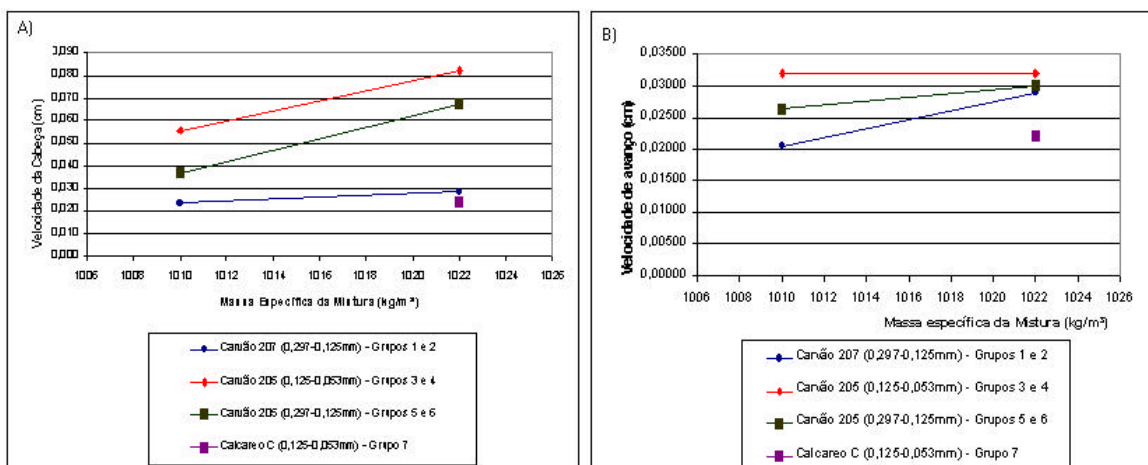


Figura 2. Velocidade vs. Massa específica da mistura - a) ensaios por pulso; b) ensaios por fluxo contínuo

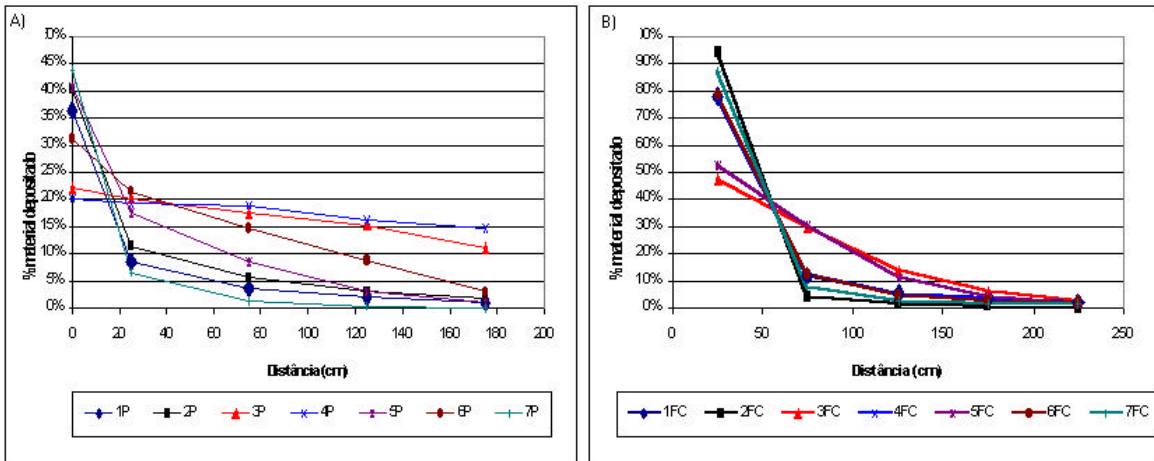


Figura 3. Distribuição longitudinal do depósito - a) ensaios por pulso; b) ensaios por fluxo contínuo

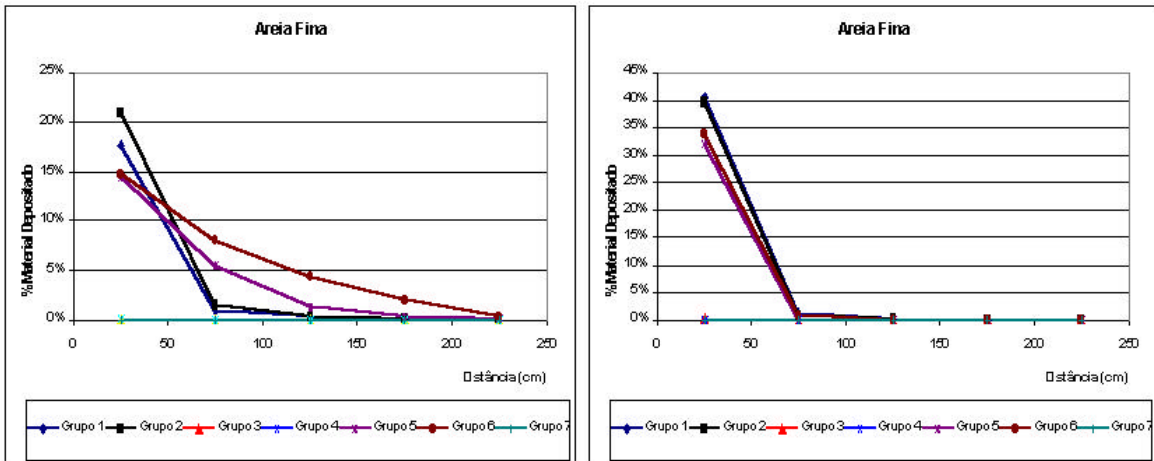


Figura 4. Distribuição dos depósitos por faixas correspondentes a areia fina - a) ensaios por pulso; b) ensaios por fluxo contínuo

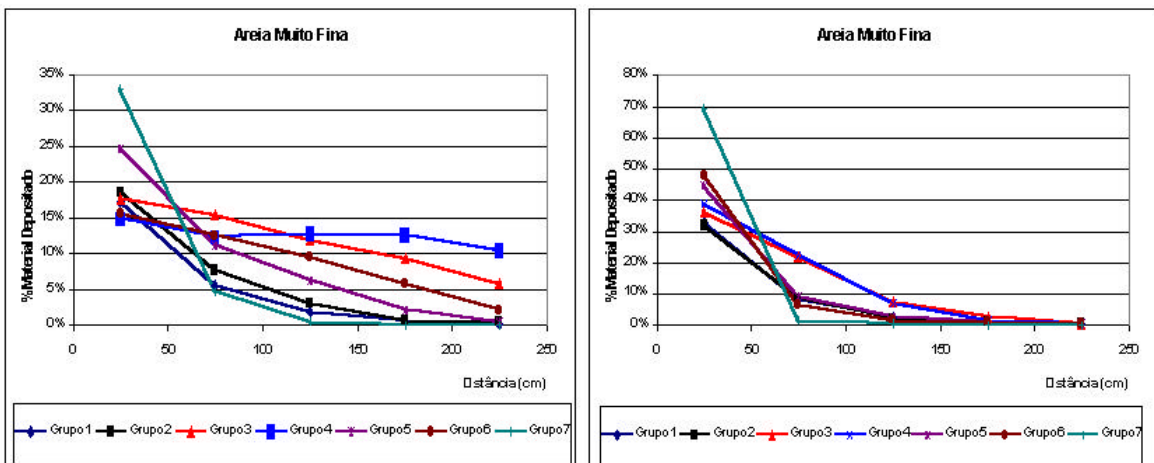


Figura 5. Distribuição dos depósitos por faixas correspondentes a areia muito fina - a) ensaios por pulso; b) ensaios por fluxo contínuo

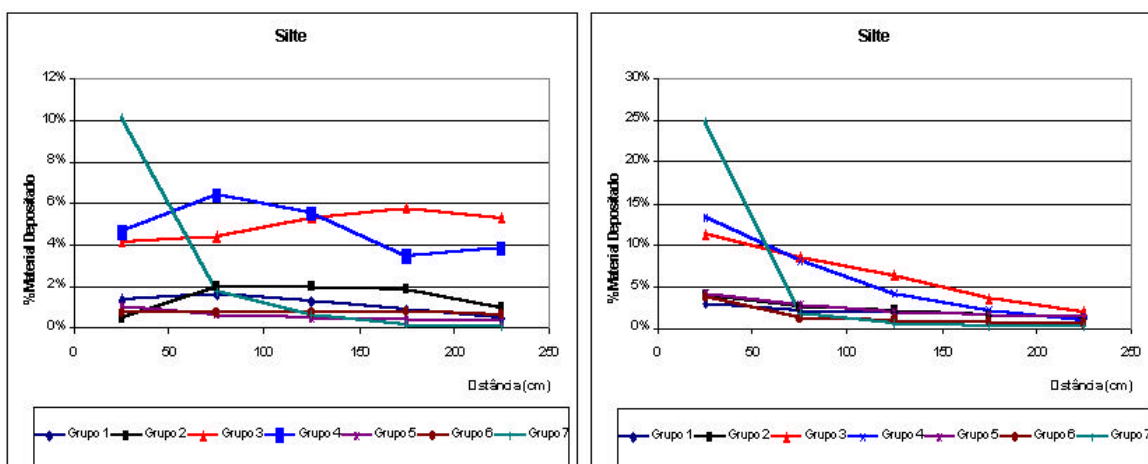


Figura 6. Distribuição dos depósitos por faixas correspondentes a silte - a) ensaios por pulso; b) ensaios por fluxo contínuo

#### 4. Conclusões

A análise dos resultados, avaliada sob o ponto de vista da distância percorrida pela corrente, indicam um padrão de deposição varia tanto sob o aspecto quantitativo, quanto qualitativo. Quantitativamente, nota-se uma tendência de volumes de depósito similares a uma exponencial, com grandes quantidades nas regiões mais próximas a fonte e reduzindo drasticamente nas regiões mais distantes dela. Outros estudos (Middleton, 1967; Middleton and Neal, 1989; Gladstone et al, 1998 apud Baas et al, 2002) também apresentam este comportamento. Esta tendência ocorreu tanto para a condição de admissão de material, em, fluxo contínuo quanto por pulso de material. Qualitativamente, notou-se uma segregação dos sedimentos independente das características de iniciação da corrente, onde os grãos mais grossos se encontram nas regiões mais próximas à fonte de material, enquanto que os grãos mais finos se espalham à medida que a distância aumenta. Não foram notadas estruturas de tração nos depósitos, isso pode ser explicado pelo tempo de duração do experimento ser muito curto Baas et al, (2002).

Quanto às características dinâmicas, os resultados das velocidades médias de avanço da corrente, comprovaram uma correlação com a massa específica da mistura e com a densidade do material utilizado.

Os resultados apresentados nas simulações mostram a eficiência da modelagem física no estudo dos depósitos turbidíticos, permitindo uma primeira comparação entre diferentes mecanismos de remobilização de sedimentos (causa) com os resultados (consequência), além de servir como ferramenta confiável para diminuição das incertezas no processo de caracterização de reservatórios e exploração de hidrocarbonetos.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP/CTPETRO e ao PROFEX/PETROBRAS, na figura de seu Coordenador Geol. Ciro Appi, pelo apoio financeiro; bem como a toda a equipe do Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade do Instituto de Pesquisas hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

#### 6. Referências

- BAAS, J. H.; KERSTEREN, W. V.; POSTMA, G. 2002. Deposits of depletive quasi-steady high density turbidity currents: a flume of bed geometry, structure and texture In press.
- KNELLER, B.; BUCKEE, C. 2000. The structure 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.
- 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.; HAMPTON, M. A. 1973. Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows. In: *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. New York, Wiley, p. 197-218.
- STOW, D. A. V.; MAYALL, M. 2000. Deep-water sedimentary systems: New models for the 21<sup>st</sup> Century. *Marine and Petroleum Geology*, Guilford, v. 17; p. 125-135.