

CARACTERIZAÇÃO DE FORMAS DE FUNDO GERADAS POR CORRENTES DE TURBIDEZ EM TANQUE ESTRATIGRÁFICO

Gabriel Boger Netto (bolsista) Richard E. Ducker e Rafael Manica (orientadores)

Resumo e introdução

Correntes de turbidez têm por característica possuir turbulência suficiente para manter sedimentos em movimento e manter ativa uma interação da corrente com o leito do corpo em que está presente, formando as chamadas formas de fundo ou formas de leito. Este trabalho visa caracterizar e melhor compreender as formas de leito geradas em um tanque estratigráfico de grandes dimensões (figura 1.a e 1.b). Foram realizados 12 experimentos físicos distintos, em cada qual gerou-se uma corrente de turbidez de baixa densidade com conhecidas vazão, concentração de sedimentos (tendo um Máximo de 2,3% do volume), granulometria destes sedimentos e volume de mistura injetado (tabela 1).

O tanque utilizado é subdividido em três partes sendo a primeira entre 0 e 7,5 m confinada em 1,4 m de largura e com inclinação de aproximadamente 20°. A segunda e terceira partes, denominadas bacia 1 e 2 respectivamente, são planas com 7 m de largura e extensas de 7,5 m até 17 m e de 17 m até 25 m do modelo.

Ensaio	Material (kg)			Volume (m³)	Vazão (l/s)	DMédio (micra)	Cvol. (%)
	Coal	Sand	Kaolin				
1	-	-	-	-	-	-	<2
2	1500	0	0	37,78	7,00	79,10	2
3	3500	5200	125	37,25	5,64	68,19	-
4	0	2000	125	42,01	5,39	90,01	-
5	0	1400	200	71,86	8,52	113,6	-
6	0	1750	250	46,24	7,94	62,63	0,38
7	0	1000	400	36,72	8,74	88,16	1,15
8	0	1000	400	35,40	5,04	108,8	1,1
9	0	2000	300	42,27	4,49	119,7	1,05
10	0	1500	400	42,54	4,27	73,97	0,86
11	0	1000	300	54,42	5,40	180,0	2,31
12	0	1500	500	51,26	4,9	-	1,2

Tabela 1: características das corridas realizadas

Resultados e conclusões

Razão da altura pelo comprimento de onda (h/λ) em relação ao eixo X do tanque

Obtidos perfis longitudinais dos depósitos plotados no AutoCad, foram feitas medições de comprimento, altura e a distância em X entre a máxima altura e o máximo comprimento da forma de fundo, chamada i (figura 3) para três ondulações a cada metro do eixo X do canal, para então uma análise estatística ser executada. No gráfico 1 percebe-se notável tendência de a relação h/λ crescer até certa faixa do eixo X (entre 9500 e 11500 mm), e decrescer após esta faixa.

Tal fenômeno é esperado uma vez que sabe-se que o fluxo turbulento entra na bacia com mais velocidade e energia que o ambiente, o que ocasiona formas de fundo com o comprimento λ maior e logo, diminuição da relação h/λ . Por outro lado, nas regiões à jusante a velocidade é menor e com partículas muito mais finas, ocasionando formas de fundo com baixas alturas h e também diminuindo assim a relação h/λ . Portanto o resultado da análise foi satisfatório e condizente com o esperado.

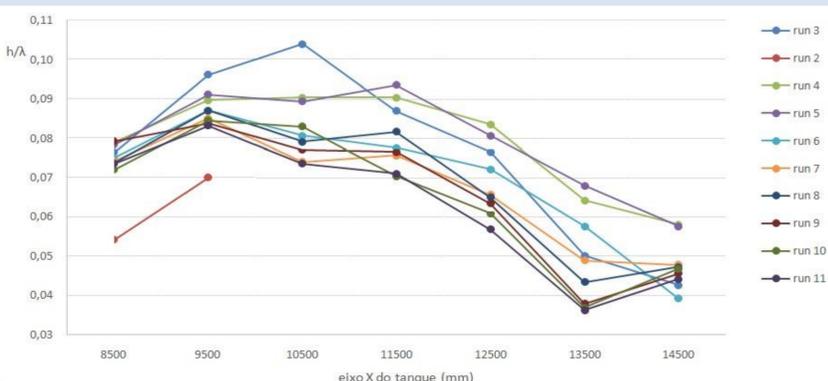


Gráfico 1

Também foram aplicados testes para diferenciação entre dunas e ondulações nas formas de fundo amostradas. No teste descrito por Engelund e Fredsøe (1982) é sugerido que, em canais de laboratório, formas de fundo com comprimento $\lambda < 60$ cm e altura $h < 6$ cm são consideradas ondulações (ripples) e formas de fundo com comprimento de onda λ entre 3 cm e 600 cm são consideradas dunas.

Este teste conclui que as formas de fundo em questão são constituídas em sua totalidade por ondulações. Já o teste descrito por Simons e Richardson (1961) sugere que formas de fundo com comprimento de onda λ medindo entre 15 e 46 cm e altura h medindo entre 0,3 e 3 cm são consideradas ondulações e formas de fundo com comprimento $\lambda > 61$ cm e altura $h > 3$ cm são consideradas dunas, sendo inconclusivo para comprimentos medindo entre 46 e 61 cm. Este teste foi aplicado em duas fases, sendo a primeira analisando os comprimentos das formas de fundo amostradas e a segunda analisando as alturas. Em relação aos comprimentos, o teste foi inconclusivo para 62% das amostras por serem menores do que 15 cm e resultou em ripples para os outros 38%. Já em relação às alturas, o resultado do teste conclui que todas as formas de fundo amostradas são ondulações.

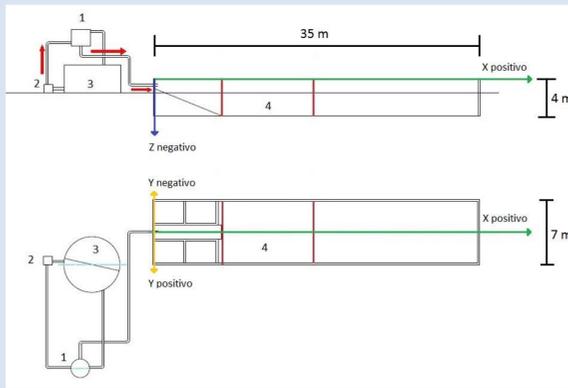


Figura 1.a: esquema do tanque utilizado nos ensaios especificando a referência espacial. Legenda: 1 – reservatório de nível constante. 2 – Bomba. 3 – Misturador. 4 – Bacia 1 do canal, local onde foram analisadas as formas de fundo (limitado em vermelho)



Figura 1.b: Foto do tanque utilizado nos ensaios

Métodos

Os ensaios executados no modelo consistem em um fluido (água+sedimentos) misturado no misturador 3 (figura 1), bombeado pela bomba 2 para o reservatório de nível constante 1, a partir do qual a mistura é injetada no tanque. São coletadas amostras do fluido que está sendo injetado para posterior análise da granulometria, realizada em um granulômetro laser.

Cada ensaio é seguido por um escaneamento completo da superfície do fundo do canal feito por um perfilador a laser (de precisão 0,1 mm), obtendo-se uma matriz de coordenadas X, Y e Z no formato .dat e podendo-se então analisar a superfície. Facilmente se constata a presença de *bedforms* ou formas de leito (figura 2). Com o auxílio do software ImageJ foi possível analisar as imagens da superfície, obtendo-se assim informações como a largura máxima e o comprimento máximo atingidos pelo depósito de cada ensaio, bem como área e perímetro ocupados pelos mesmos.

A análise geométrica das formas de fundo foi feita através do software AutoCad por fixando um ponto do eixo Y, fazendo então um "corte" no depósito (plano X,Z) e analisando dados como distâncias entre cristas, altura das formas de fundo e simetria assim como também foram analisados a migração em X e em Z.

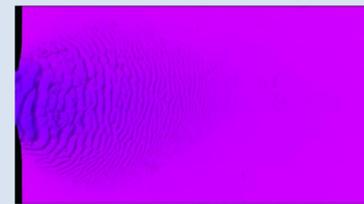


Figura 2.a: vista superior do depósito do ensaio 10

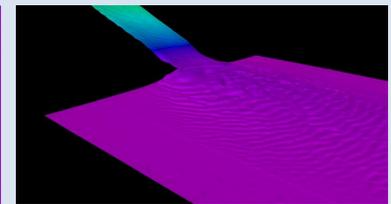


Figura 2.b: Vista tridimensional do depósito do ensaio 10.

Índice de simetria das formas de fundo (i/λ) em relação ao eixo X do tanque

Com os dados i e λ medidos, pôde-se também analisar a relação de simetria i/λ em relação à distancia no canal estudado. No gráfico 2 pode-se observar que a assimetria das formas de fundo é, na grande maioria dos casos, menor que 0,5 (considerado perfeitamente simétrico). Este fato indica que em quase todos os casos a ondulação é menos inclinada a montante e mais inclinada a jusante, tal como na figura 3.

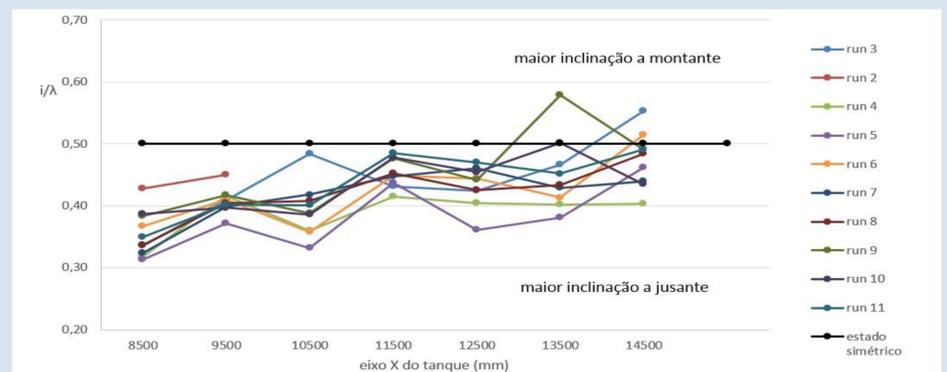


Gráfico 2

Índice de anisotropia em relação ao diâmetro médio do sedimento injetado

Foi aplicada nos depósitos gerados a análise do índice de anisotropia. Primeiramente, foi feita a subtração no eixo Z dos depósitos de ensaios anteriores em relação ao analisado, utilizando o software Petrel. Feito isso e obtidas imagens dos depósitos, foi utilizado o software de tratamento de imagem ImageJ, no qual foram medidas a largura máxima atingida pelo depósito no canal (eixo Y) e o comprimento máximo atingido (eixo X) tal como na figura 4. Obtidos os valores, a razão entre a largura máxima e o comprimento máximo de cada ensaio (L_{max}/C_{max}) é o índice de anisotropia pretendido. Segundo a literatura, o índice de anisotropia é fortemente relacionado à granulometria dos sedimentos no fluxo, dado que quanto maior é um grão, mais rapidamente ele se deposita e, na prática, quanto maior o diâmetro médio dos sedimentos presentes no fluxo, menor o comprimento máximo do depósito destes no canal. Nos experimentos porém (gráfico 3), os resultados não indicaram uma boa relação linear entre essas variáveis. Cabe salientar que as propriedades que estão sendo comparadas são do fluxo de entrada no tanque, e que este pode ter mudado suas propriedades ao longo do seu escoamento.

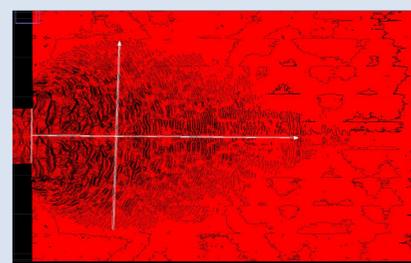


Figura 4: Processamento do depósito do ensaio 8, após o mesmo ter os anteriores subtraídos

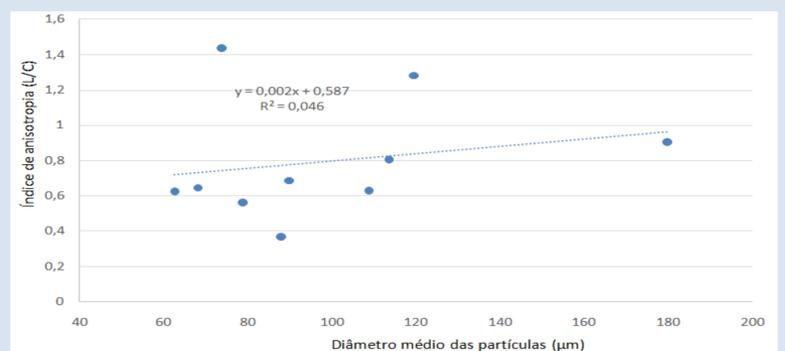


Gráfico 3

Referências

- Engelund and Fredsøe (1982), SEDIMENT RIPPLES AND DUNES, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Simons and Richardson (1961), RESISTANCE TO FLOW IN ALLUVIAL CHANNELS, Geological Survey Professional Paper 422-J.