

Determinação da vazão através da trajetória de um sólido: observações preliminares

Artur Piatti Oiticica de Paiva Josuely Cristainy da Silva Souza

Curso de Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Campus A.C.Simões, Cidade Universitária, BR 104 Norte,

57072-970, Maceió, Alagoas

artur_piatti@yahoo.com.br

Roberaldo Carvalho de Souza

Curso de Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Campus A.C.Simões, Cidade Universitária, BR 104 Norte,

57072-970, Maceió, Alagoas

rcsouza@ctec.ufal.br

Resumo: *O conhecimento da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica em uma região é um fator fundamental para o seu desenvolvimento no que tange aos aspectos ambientais, sociais e industriais. Objetivando minimizar os custos financeiros inerentes as campanhas de campo na determinação da vazão do rio principal da bacia, um dos parâmetros cruciais para esse fim, investigações sobre o comportamento dinâmico de um sólido em relação às águas superficiais do rio estão sendo desenvolvidos.*

Palavras-chave: Vazão, rio, interação sólido-água.

Introdução

O papel desempenhado por partículas sólidas quanto à dispersão e deposição no desempenho de sistemas em grande escala, tais como, emissão em chaminés, spray oriundo de torres de refrigeração, sedimentação em rios e reservatórios, só para exemplificar alguns sistemas, é muito importante. Um elemento essencial no processo de dispersão e deposição é a maneira como os sólidos respondem ao escoamento de um fluido em regime turbulento. Infelizmente, devido à complexidade do fenômeno, não existe até a presente data uma solução analítica a qual incorpore os diversos fenômenos inter-relacionados e intrínsecos ao processo do transporte de sólidos em um meio fluido. O movimento de partículas sólidas num meio fluido tem sido objeto de muitos trabalhos teóricos e experimentais desde o celebre experimento de Arquimedes (350 d.C.). Conforme descrito em [5], o problema em se prevê o comportamento estatístico de uma esfera sólida em um escoamento turbulento é atualmente um dos maiores desafios na mecânica dos fluidos. A equação do movimento de uma partícula esférica sólida em um fluido em repouso foi desenvolvida inicialmente por [1], [2] e [3], *apud* [5]. O presente trabalho tem como objetivo mostrar algumas observações preliminares do comportamento de um sólido com a forma geométrica

de um paralelepípedo, volume variando de 70 a 100 cm³ e massa variando de 30 a 45 g, movimentando-se na superfície de um rio de vazão na faixa de 0,1 m³/s a 2,0 m³/s. Essas observações estão relacionadas às trajetórias do sólido e sua velocidade em relação ao movimento turbulento das águas do rio em estudo visando relacionar a vazão medida através de um molinete fluviométrico com aquela do sólido.

Local do estudo

O local de estudo foi à seção de medição do rio Saúde localizada a 25 km ao norte da cidade de Maceió no estado de Alagoas, como citado no trabalho de Souza e outros (2005). A localização da bacia do rio Saúde dentro do estado de Alagoas é mostrada na Figura 1. Surgindo praticamente no povoado do mesmo nome, o Rio Saúde é formado pela junção do Rio Meirim e do Riacho do Senhor. Tendo como vegetação de sua bacia a Mata Tropical de Encosta, apesar de muito degradada, e uma vegetação de capoeira a qual aparece no cimo dos tabuleiros para o lado oriental. Enquanto que para o litoral há mangues e a vegetação de restinga está muito arrasada, conforme observações realizadas *in loco* e citado em Silva e outros (2006). A Figura 2 mostra a seção de medição no Rio Saúde onde os dados foram coletados na campanha realizada em 02 de novembro de 2005.



Figura 1: Localização da bacia do Rio Saúde.



Figura 2: Momento da medição na seção do rio Saúde realizada em 02/11/2005.

Material e Método

Conforme descrito no item anterior, a seção de medição escolhida foi a do rio Saúde por estar localizada em um local de pouca movimentação humana na época em que as campanhas de campo começaram a ser realizadas, conforme referência [4]. Antes de iniciar os experimentos a seção era preparada e limpa ao longo dos 20m de comprimento usados no experimento desde o ponto onde o sólido era deixado em repouso no centro do leito do rio para ser levado pela correnteza até o ponto de recolhimento. O sólido (“pedra pome”) utilizado para as medições tinha a forma geométrica de um paralelepípedo, volume variando de 70 a 100 cm³ e massa variando de 30 a 45 g, conforme planilha mostrada na Tabela 1, movimentando-se na superfície do rio cuja vazão variou de 0,1 a 2,0 m³/s ao longo do ano. As pedras pomes, por serem porosas, foram revestidas com papel filme para evitar contato com a água, de modo que não houvesse variação na densidade durante os experimentos. As velocidades para a seção principal foram calculadas através das medições realizadas com um molinete fluviométrico para os níveis na superfície, 20%, 40%, 60% e 80% de profundidade. As velocidades na superfície de todas as seções foram calculadas, assim como o levantamento batimétrico foi realizado para todas as seções. Cada uma das seções teve sua corda marcada para cada 40cm com um sinalizador de posição e, no momento em que a pedra passava pela corda, seu registro era feito por observadores no tempo e no espaço.

Resultados e Discussões

A Figura 3 mostra um resultado típico de uma planilha obtida na campanha realizada no dia 02 de novembro de 2005, quando da passagem de algumas pedras marcadas com os números 2 a 8 nas seções de medições 1 a 7. Os sinalizadores de posição para cada seção estavam separados de 40cm um do outro e o tempo de passagem para cada seção era registrado em

segundos. A posição inicial 5-6 equivale à posição em que a pedra foi deixada em repouso a 2,0m da 1ª seção de medição a qual foi sinalizada com os números de 1 a 10.

Tabela 1: Identificação e densidade das pedras pome usadas na medição do dia 02/11/2005.

Pedra(Nº)/ Densidade(g/cm ³)	Lançamento	Vdistan (m/s)	Vdesloc (m/s)
2 / 0,491	1	0.526	0.521
	2	0.587	0.583
	3	0.543	0.539
	4	0.550	0.542
3 / 0,445	1	0.597	0.590
	2	0.545	0.539
	3	0.647	0.609
	4	0.586	0.584
4 / 0,441	1	0.568	0.560
	2	0.586	0.611
	3	0.613	0.611
	4	0.643	0.638
5 / 0,398	1	0.613	0.609
	2	0.525	0.520
	3	0.570	0.560
	4	0.614	0.609
6 / 0,466	1	0.564	0.561
	2	0.524	0.519
	3	0.506	0.502
	4	0.610	0.609
7 / 0,404	1	0.545	0.539
	2	0.595	0.584
	3	0.670	0.668
	4	0.650	0.670
8 / 0,534	1	0.545	0.539
	2	0.595	0.584
	3	0.670	0.668
	4	0.650	0.670
9 / 0,413	1	0.545	0.539
	2	0.595	0.584
	3	0.670	0.668
	4	0.650	0.670
10 / 0,408	1	0.616	0.610
	2	0.505	0.500
	3	0.649	0.583
	4	0.562	0.560

11 / 0,491	1	0.588	0.583
	2	0.615	0.610
	3	0.507	0.500
	4	0.638	0.637
12 / 0,369	1	0.564	0.525
	2	0.562	0.563
	3	0.592	0.616
	4	0.640	0.567
13 / 0,347	1	0.542	0.539
	2	0.560	0.504
	3		
	4	0.523	0.521
14 / 0,394	1	0.544	0.539
	2	0.543	0.539
	3	0.564	0.560
	4	0.617	0.610
15 / 0,406	1	0.527	0.521
	2	0.613	0.610
	3	0.562	0.560
	4	0.590	0.583
16 / 0,413	1	0.566	0.563
	2	0.566	0.560
	3	0.566	0.561
	4	0.543	0.540
17 / 0,415	1	0.539	0.539
	2	0.566	0.560
	3	0.543	0.539
	4	0.587	0.584
18 / 0,446	1	0.565	0.560
	2	0.544	0.539
	3	0.564	0.560
	4	0.546	0.519
19 / 0,345	1	0.546	0.539
	2	0.552	0.539
	3	0.564	0.560
	4	0.591	0.584
20 / 0,416	1	0.572	0.562
	2	0.587	0.583
	3	0.505	0.501
	4	0.543	0.539

RIO_SAÚDE_ DATA 02_/11_/2005_ POSIÇÃO INICIAL5-6.....

LEITURA DA RÉGUA 72CM_ SEÇÃO AFASTADAS A CADA 2,0metros

PEDRA	2	3	4	5	6	7	8
SEÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO
1	4.5	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7
2	5.6	6.7	5.6	6.7	6.7	7.7	6.7
3	4.5	5.6	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6
4	3.4	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	6.7
5	3.4	6.6	5.6	6.6	6.6	6.6	7.7
6	3.3	6.6	5.5	7.7	6.6	7.7	7.8
7	2.2	6.6	4.4	6.7	5.6	7.8	6.7
PEDRA	2	3	4	5	6	7	8
SEÇÃO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO	TEMPO
1	3	3	3	4	3	4	4
2	7	6	7	7	7	7	8
3	11	9	10	10	10	10	11
4	15	13	14	14	14	14	15
5	20	18	18	18	17	18	20
6	23	21	21	22	20	22	23
7	27	24	24	25	23	25	26

Figura 3: Planilha de dados coletados na campanha realizada em 02/11/2005.

A Figura 4 mostra as trajetórias da pedra pome nº 2 para os quatro lançamentos realizados no dia 02 de novembro de 2005. Como pode ser observado nesta figura não existe um padrão de deslocamento das pedras ao longo das seções. A mesma observação pode ser concluída com a experiência da pedra pome nº16 mostrada nas trajetórias da Figura 5 para os quatro

lançamentos realizados no dia 02 de novembro de 2005. Este fato foi verificado em todos os outros experimentos realizados para os diferentes dias e para as diferentes pedras. Outra observação verificada, *in loco* e devidamente registrada, era que dependendo das condições do rio em relação às condições de chuva, temperatura, nível de água e vento, as pedras tinham preferências diferenciadas em relação às margens, em algumas das medições deslocavam-se ao longo das seções para a margem da esquerda e em outras medições para direita.

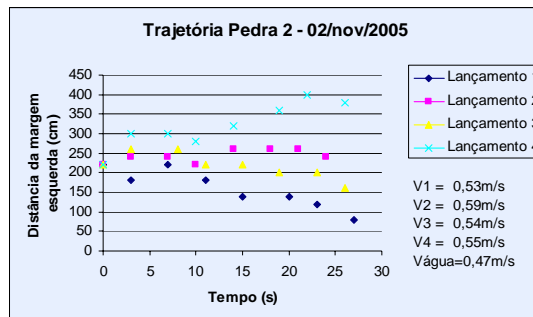


Figura 4: Trajetórias descritas pela pedra pome nº 2 na experiência realizada em 02/11/2005.

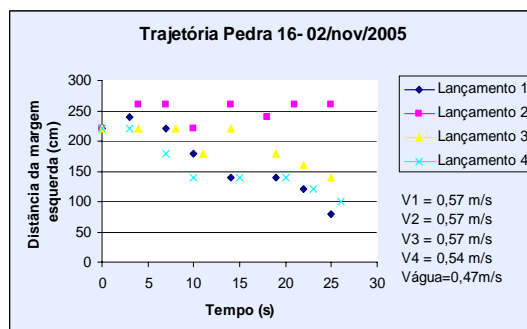


Figura 5: Trajetórias descritas pela pedra pome nº16 na experiência realizada em 02/11/2005.

A velocidade da pedra foi calculada através do gráfico representado por sua trajetória em relação ao tempo de passagem pelos sinalizadores de posição localizados nas seções de medições. Isto é, através do gráfico, para cada tempo e para cada distância correspondente calculava-se a velocidade e, a velocidade média foi calculada somando as distâncias e dividindo pelo tempo total gasto em percorrê-la. Também, foi comparada a velocidade média da pedra com a média das velocidades e verificado que apesar de os valores serem próximo, eles não são iguais. As Figuras 4 e 5 mostram também os valores dessas velocidades e aquele correspondente a velocidade média da superfície da água. A Tabela 2 mostra em detalhes, para o caso da trajetória mostrada na Figura 4, os resultados comparando as velocidades de cada

lançamento e a velocidade média na superfície do rio medida através de um molinete fluviométrico.

Tabela 2. Valores das velocidades do rio e da pedra n° 2 para os 04 lançamentos da experiência realizada no dia 02/11/2005.

Média Superf. (m/s)	Média seção (m/s)	1º Lanc. (m/s)	2º Lanc. (m/s)	3º Lanc. (m/s)	4º Lanc. (m/s)	Média dos Lançam. (m/s)
0,44	0,25	0,53	0,59	0,54	0,55	0,59

Nesta Tabela: Média Superf.(m/s) corresponde ao valor médio das velocidades na superfície medidas ao longo da seção número 4 com o uso do molinete fluviométrico. Média seção (m/s) corresponde ao valor da velocidade média do rio na seção número 4, onde esse valor é calculado levando em conta a área da seção obtida através da batimetria na seção. As colunas 2, 3, 4 e 5 correspondem aos valores da velocidade média da pedra obtidos através da Figura 4 quando da passagem da pedra nas 07 seções de medição para os 04 lançamentos realizados. Média dos Lançam.(m/s) corresponde a média dos valores obtidos nos 04 lançamentos.

Como podem ser observados na Tabela 2, os valores das velocidades médias para os 4 lançamentos, assim como a média, é cerca de 30% maior que a velocidade média medida na superfície da seção do experimento. Essas conclusões são estendidas para todas as outras 18 pedras cujas propriedades são mostradas na Tabela 1.

A Tabela 1 mostra também a comparação entre a velocidade da pedra calculada levando-se em conta a distância percorrida (V_{distan}) e a velocidade calculada levando-se em conta o seu deslocamento (V_{desloc}). Como pode ser observado os valores são praticamente os mesmos.

Conclusões

Observações do comportamento de um sólido sob a forma de um paralelepípedo, volume variando de 70 a 100 cm³ e massa variando de 30 a 45 g, movimentando-se na superfície de um rio cuja vazão variou de 0,1 a 2,0 m³/s ao longo do ano, foram registradas e analisadas, constatando-se a aleatoriedade na trajetória deste sólido. Experimentos estão sendo conduzidos objetivando encontrar relações entre os vários parâmetros envolvidos no comportamento da pedra pome e a seção de medição do rio. Relações estas que envolvem as escalas do movimento no referencial Lagrangeano e o Euleriano. Para isso correlações entre as velocidades da pedra pome nas diversas seções e a velocidade superficial da água do rio determinada com o auxílio de um molinete

fluviométrico estão sendo concluídos objetivando conhecer a vazão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à participação na coleta de dados no campo dos ex-PAESPIANOS Luiz Henrique da Silva, Simone Maria Soares da Silva e Geiza Thâmirys Correia Gomes. Este trabalho só foi possível graças ao financiamento das bolsas PET/SESU/UFAL, além do apoio financeiro e logístico da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL.

Referências

- [1] A. B. Basset, A Treatise on Hydrodynamics, Dover Publications Inc., New York, 6, 1961, Ch.22, p.285.
- [2] J. Boussinesque, Theorie Analytique de la Chaleur, 2, 1903, p.224, Gautier Villars, Paris.
- [3] C. S. OSEEN, Hydrodynamik, 1927, p.132, Leipzig.
- [4] J. O. M. Silva, F. F. Pereira, C. R. S. Barros, C. C. Freire, V. C. B. Souza, R. C. Souza, (2006), Estudo de parâmetros físicos das águas de alguns rios localizados na grande Maceió/Alagoas, In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá/PE, 2006, CD-ROM. ABRH.
- [5] R. C. Souza, B. J. Jones, Transport Processes Of Particles In Dilute Suspensions Turbulent Water Flow. Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ, v. 01, n. 01, 1986, p. 5-34.
- [6] R. C. Souza, C. C. Freire, V. C. B. Souza, J. O. M. Silva, L. C. V. Boas, F. F. Pereira, R. D. B. Cavalcante, D. A. C. Dantas, Monitoramento de alguns rios da grande Maceió: Resultados Preliminares, In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa/PB, CD-ROM. ABRH.