

ANÁLISE PRELIMINAR DA INTERAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO PARA O CÁLCULO DA VELOCIDADE EM UM RIO DE PEQUENO PORTE

*Fabio Farias Pereira¹; Luiz Henrique da Silva²; Simone Maria Soares da Silva²;
Geiza Thamirys Correia Gomes² & Roberaldo Carvalho de Souza³.*

RESUMO --- Análise preliminar do comportamento de um sólido movimentando-se na superfície da água do rio Saúde situado na periferia da grande Maceió/Alagoas foi realizado. Observações sobre a trajetória do sólido e sua velocidade em relação à velocidade superficial da água do rio foram analisadas.

ABSTRACT --- Preliminary analysis of the behaviour of a solid particle in motion in a turbulent water surface flow of Saude river located at the boundary of big Maceio/Alagoas city was realized. Observations of the path of the solid and its velocity in relation to the river water surface velocity were done.

Palavras-chave: interação sólido-água; rio, velocidade.

1) Graduando do Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal (CTEC/UFAL). Campus A.C.Simões, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió/Alagoas. (82) 32141291.

2) Formados pelo PAESPE, CTEC/UFAL. Campus A.C.Simões, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió/Alagoas. (82)-32141291.

3) Professor Associado do Curso de Engenharia Civil do CTEC/UFAL. Campus A.C.Simões, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió/Alagoas. (82)-3214-1291. rcsouza@ctec.ufal.br.

1 – 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 as partículas sólidas 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 partículas sólidas 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 Souza (1986), 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 Basset (1961), Boussinesque (1903) e Oseen (1927), *apud* Souza (1986). Tchen (1947), Corrsin and Lumley (1956) aprimoraram esta equação para o caso de um escoamento não permanente, incluindo os efeitos do gradiente de pressão para um regime turbulento. Mais tarde, Lumley (1957) concluiu que o problema só pode ser resolvido dentro do campo da probabilidade funcional. Isto é, a fim de prevê a probabilidade da partícula no escoamento se mover de um ponto para outro, deve-se integrar a função espaço em todas as possíveis trajetórias entre os dois pontos, a probabilidade de a partícula seguir aquela trajetória. Conforme descrito em Souza (1981), varias aproximações para encontrar a solução da equação de Tchen foram proposta na literatura. As técnicas utilizadas podem ser classificadas em três categorias: analítica, semi-analitica e numérica. Na categoria semi-analitica, os trabalhos de Tchen (1947), Chão (1964) e Hinze (1975) são os pioneiros. Essa técnica consiste em formular a equação do movimento da partícula baseada em observações teóricas e experimentais, numa forma linear. Essa forma de equação pode ser considerada um caso limitante devido a simplificações drásticas realizadas, como apontadas por Hinze (1975). A técnica numérica, como sugerida por Ahmadi e Goldschmidt (1970), *apud* Souza (1981), consiste em uma simulação numérica de um escoamento turbulento, em duas dimensões, na qual as trajetórias da partícula são determinadas. Hirosawa e Jotaki (1978), usando uma representação diferente para as características da turbulência do fluido, incluiu o movimento de “overshooting” das partículas entre um redemoinho (“eddy”) e outro para fazer desaparecer o termo da não-linearidade identificado por Lumley. A técnica analítica não inclui observações experimentais na equação do movimento da partícula. Conforme descrito em Souza (1981), os

primeiros estudos a levar em conta o efeito do “overshooting” de uma maneira puramente matemática foi primeiro estudado por Soo e Peskin (1958) usando o que eles chamaram de probabilidade de encontro da partícula e do fluido. Escrevendo o tensor de correlação Lagrangeano como a média da função de correlação Euleriana em relação à posição incerta da partícula, Pismen e Nir (1978) determinaram o coeficiente de difusão da partícula. Esse resultado foi o mesmo encontrado por Reeks (1977) usando a aproximação proposta por Phythian (1972), a qual consiste em utilizar uma segunda aproximação para a solução da equação do movimento de um ponto através de um campo de velocidade aleatório, isotrópico, homogêneo e em regime permanente, a fim de obter a relação para as escalas de tempo Euleriana e Lagrangeana. A determinação da dispersão de partículas esféricas em um escoamento de um fluido em regime turbulento tem sido objeto de varias discussões até a presente data, pois não existem estudos teóricos convincentes que satisfaçam aos vários pesquisadores do assunto.

O presente trabalho tem objetivo mostrar algumas observações preliminares do comportamento de uma partícula sólida 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 variando de 0,1 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.

2 – LOCAL DO ESTUDO

O local de estudo foi à seção de medição do rio Saúde citado no trabalho de Souza *et al.* (2005). 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 é muito arrasada, SEPLAN/CMA (1979) e observações realizadas pelos autores no local, Silva *et al.* (2006). A localização da bacia do rio Saúde dentro do estado de Alagoas é ilustrada na Figura 1. A caracterização da Bacia do Rio Saúde foi efetuada para alguns parâmetros, conforme pode ser vista no Quadro 1.

A estação limnimétrica do Rio Saúde de coordenadas 25L 211823 8945806 consta atualmente de 02 réguas limnimétricas, conforme Figura 3.



Figura 1 - Ilustração da bacia do rio Saúde e sua localização no estado de Alagoas.

Quadro 1 – Valores de alguns parâmetros físicos da bacia do Rio Saúde, Silva *et al.* (2006).

Área	63 km ²
Perímetro	58 km
Comprimento axial do maior curso d'água	38 km
Comprimento total de todos os cursos d'água	23 km
Coefficiente de compacidade	2,1
Índice de conformação	0,145
Densidade de Drenagem	0,367 km/km ²

A Figura 2 mostra o corte longitudinal do talvegue formador da bacia do Rio Saúde.

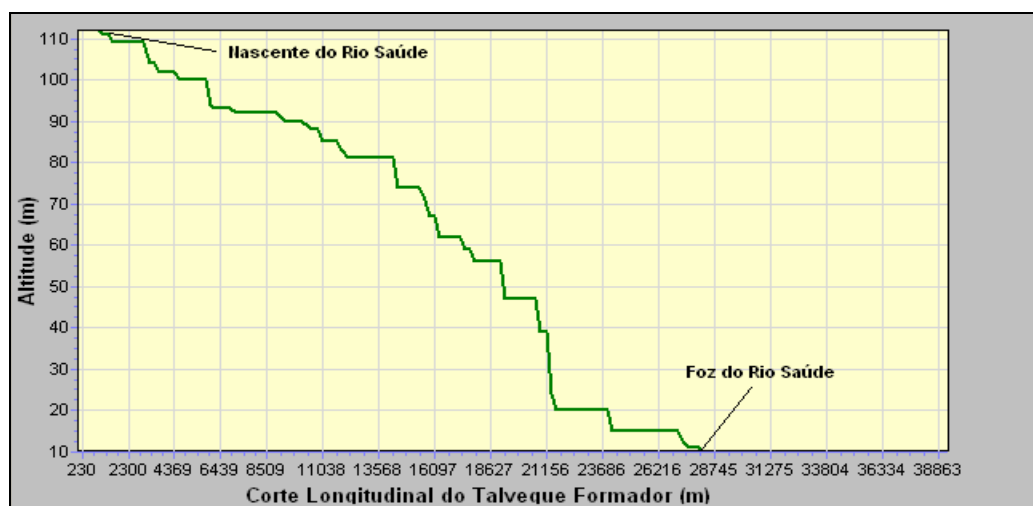


Figura 2. Corte longitudinal do talvegue formador da Bacia do Rio Saúde, Silva e outros (2006).



Figura 3. Leitura da régua limnimétrica instalada no rio Saúde realizada por um dos autores, Luiz Henrique, em 12 de outubro de 2005.

A Figura 4 mostra alguns aspectos da seção de medição quando das primeiras campanhas realizadas no rio Saúde em 12 de outubro e 09 de dezembro de 2005, respectivamente.



Figura 4. A foto mostra a seção de medição em 12/10/2005.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

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, Silva *et al.* (2006). Antes de iniciar os experimentos a seção era preparada e limpa ao longo dos 20m de comprimento usados 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, conforme pode ser visto na Figura 5.



Figura 5. A foto da esquerda mostra o momento em que as margens do rio estavam sendo limpas, enquanto a foto da direita mostra a preparação das seções quando da colocação dos sinalizadores para o registro do posicionamento das pedras pome.

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, movimentando-se na superfície do rio Saúde cuja vazão variou de 0,1 a 2,0 m³/s ao longo do ano. As pedras pome, por serem porosas, foram revestidas com papel filme para evitar contato com a água, de modo que não houvesse variação na sua densidade durante os experimentos.

Os experimentos começaram com sete seções de observações passando para nove nas últimas campanhas, conforme pode visto na Figura 6.



Figura 6. As nove seções de observações da trajetória das pedras pome, em 15 de março de 2007.

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 40 cm 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.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra um típico resultado de uma planilha obtida em uma 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 40 cm um do outro e o tempo de passagem para cada seção era registrado em segundos. A posição inicial 4-5 equivale à posição que 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.

As Figuras 7 e 8 mostram as trajetórias das pedras pome no. 2 e 7 registradas para os quatro lançamentos realizados no dia 02 de novembro de 2005. Como pode ser observado nestas figuras existe um padrão de deslocamento das pedras ao longo das seções. 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 a sua vazão e vento, as pedras tinham preferências diferenciadas em relação às margens, algumas vezes deslocavam-se ao longo das seções para a margem da esquerda e outras vezes para direita.

Tabela 1. Planilha usada durante o registro da passagem das pedras nas seções.

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

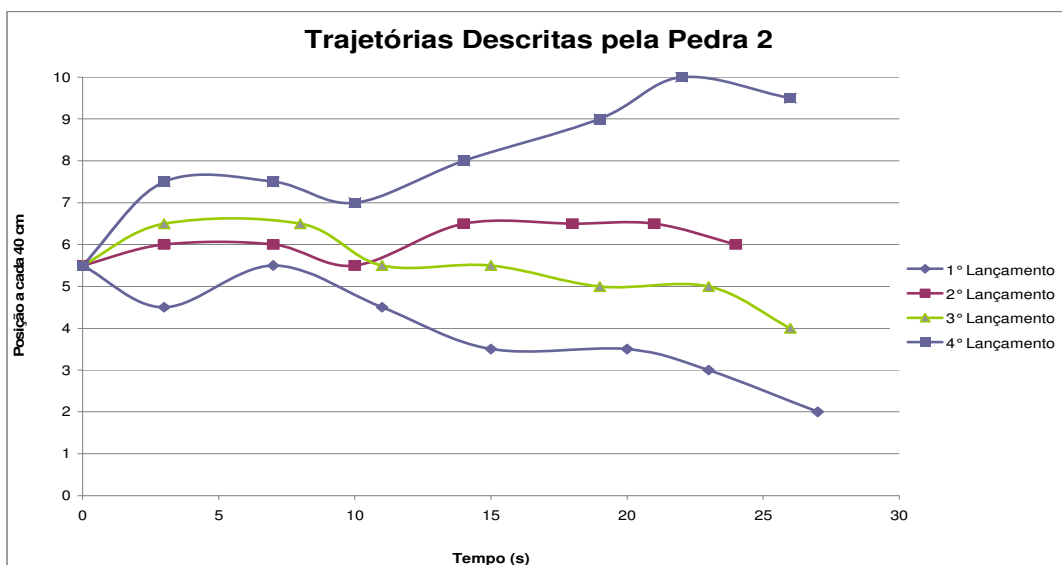


Figura 7. Trajetórias descritas pela pedra pome número 2 para as 04 observações realizadas no dia 02/novembro/2005.

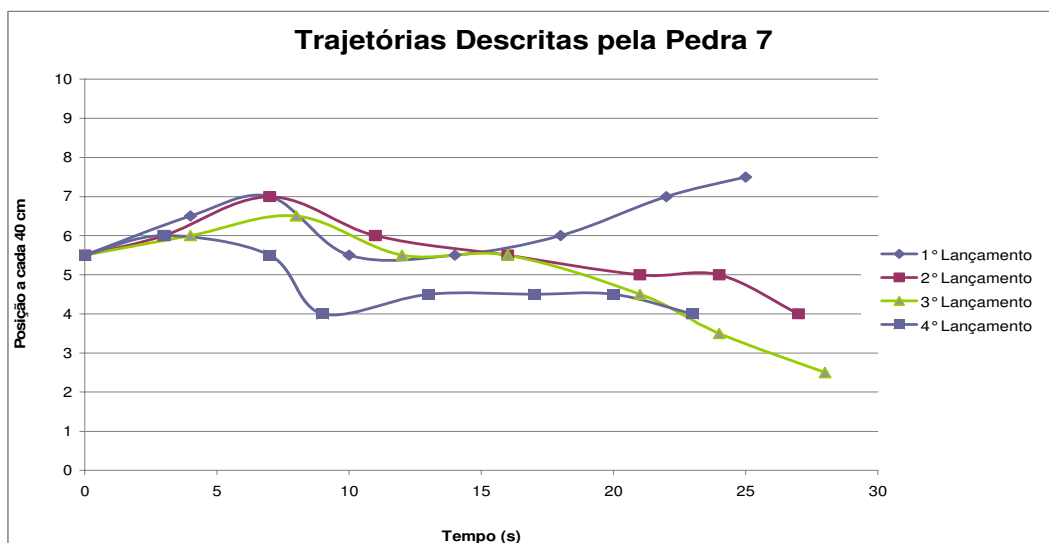


Figura 8. Trajetórias descritas pela pedra pome número 7 para as 04 observações realizadas no dia 02/novembro/2005.

A Figura 9 mostra os perfis batimétricos nas seções da experiência realizadas no dia 02 de novembro de 2005. Como pode ser notado as seções tinham larguras e profundidades diferentes e variaram para as medições realizadas nos diferentes dias, conforme mostra as fotos das Figuras 5 e 6 as quais enfatizam as variações nas larguras das seções.

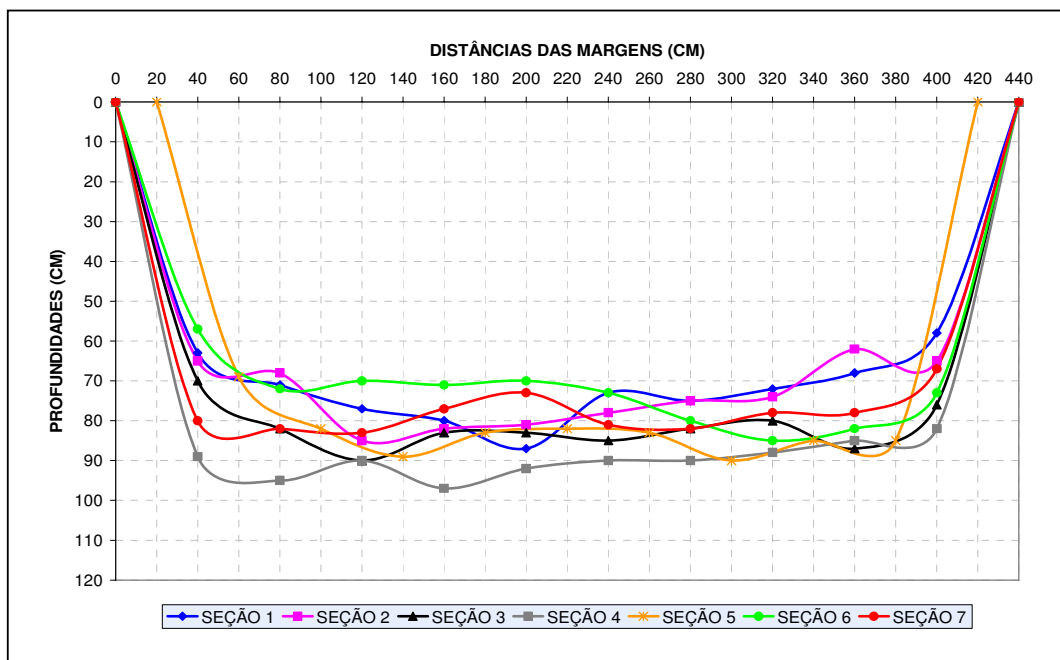


Figura 9. Perfis batimétricos das sete seções de medição do rio Saúde obtidos no dia 02/novembro/2005.

As Figuras 10 e 11 mostram as trajetórias de algumas pedras pome para dois diferentes dias de medições. Apesar dos poucos dados, mas já se pode concluir a aleatoriedade do fenômeno.

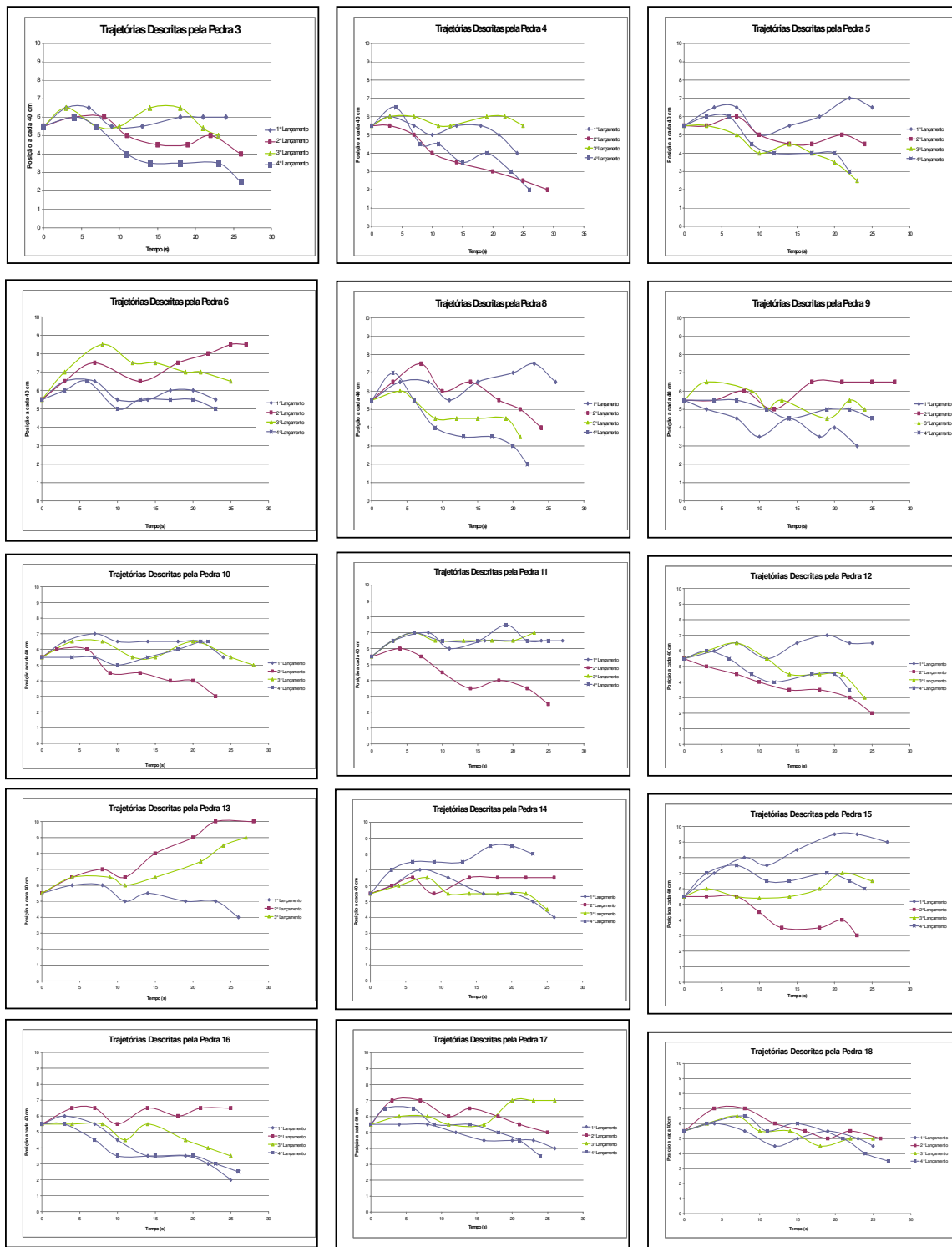


Figura 10. Trajetórias de algumas pedras pome observadas na experiência realizada no dia 02 de novembro de 2005.



Figura 10. Trajetórias de algumas pedras pome observadas na experiência realizada no dia 12 de outubro de 2005.

Algumas observações sobre as trajetórias das pedras pome obtidas *in loco* podem ser enumeradas:

1. A mesma pedra podia ou não sofrer ao mesmo tempo o movimento de rotação e translação, às vezes indo para a margem esquerda e outras para a direita;
2. A mesma pedra não sofria o movimento de rotação e deslocava-se só para uma margem, dependendo das condições do tempo e vazão do rio;
3. Para um mesmo dia as pedras, em geral, tinham uma margem preferencial;
4. O tempo de passagem das pedras pelas seções variava pouco para as diferentes pedras;
5. O fundo das seções variavam sempre para os diferentes dias devido a influencia humana;

5 – CONCLUSÕES

Conforme discorrido no texto, o comportamento da pedra pome ao movimentar-se na superfície da água do rio Saúde no local da seção de medição foi observado como sendo aleatório no que se refere a sua trajetória. 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 relações entre as velocidades da pedra pome nas diversas seções e a velocidade da água do rio determinada com o auxílio de um molinete fluviométrico estão sendo concluídos.

BIBLIOGRAFIA

- AHMADI, G. and GOLDSCHMIDT, B. (1970), “*Analytical Prediction of Turbulent Dispersion of Finite Size Particles*”, Technical Report FMTR-70-3, Purdue University.
- BASSET, A.B. (1961). “*A Treatise on Hydrodynamics*”, Dover Publications, Inc., New York, 6, Ch.22, p.285.
- BOUSSINESQUE, J. “*Theorie Analytique de la Chaleur*”, 2, p.224, Gautier Villars, Paris.
- CHAO, B. T. (1964), “*Turbulent Transport Behavior of Small Particles in Dilute Suspension*”, Oesterreichisches Ingenieur – Archiv, 18, p.7.
- OSEEN, C. S. (1927), “*Hydrodynamik*”, p.132, Leipzig.
- SILVA, J. O. M., PEREIRA, F. F., SOUZA BARROS, C. R. S., FREIRE, C. C., SOUZA, V. C. B. e SOUZA, R. C. (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, CD-ROM. ABRH.

SOUZA, R. C. ; JONES, B. J. (1986). *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, p. 5-34.

SOUZA, R.C., FREIRE, C.C., SOUZA, V.C.B., SILVA, J.O.M., BOAS, L.C.V., PEREIRA, F.F., CAVALCANTE, R.D.B. e DANTAS, D.A.C. (2005), “Monitoramento de alguns rios da grande Maceió: Resultados Preliminares”, In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa/PB, CD-ROM. ABRH, 2005.