



UTILIZAÇÃO DE VELOCÍMETRO ACÚSTICO DOPPLER (ADV) PARA AVALIAR A CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Helenesio Carlos Borges Cabral¹ & Robson Ilha² & Daniela Guzzon Sanagiotto³

RESUMO --- Este trabalho buscou avaliar a possibilidade do uso do Velocímetro Acústico Doppler (ADV) para quantificar a concentração de sedimentos em suspensão (CSS). Utilizou-se oito concentrações e cinco faixas granulométricas do solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico. O experimento foi desenvolvido em laboratório buscando-se em ambiente controlado analisar a resposta do ADV para testes conduzidos em amostras de características conhecidas. Foi construído um aparato experimental, que permite a obtenção dos dados em amostras homogêneas de água e solo. Coletaram-se amostras em diferentes posições do recipiente, totalizando 120 ensaios. Para visualização dos dados e pós processamento utilizou-se o programa Win ADV aplicando o filtro (PSTM). Os dados coletados mostraram o aumento da relação sinal/ruído (SNR) em relação ao aumento da CSS para as cinco granulometrias, havendo boa correlação entre o eco e a CSS. Através das medições foi possível investigar a SNR para diferentes faixas granulométricas e CSS de solo quando em suspensão em água. Foi possível notar que os valores de SNR encontrados não seguiram uma regra determinada em relação à faixa granulométrica do solo. Já no que diz respeito às diferentes CSS, é fácil notar que, em geral, quanto maior a concentração de sedimentos, maior o valor de SNR encontrado.

ABSTRACT -- The main objective of this work was evaluating the possibility of using the Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) to quantify the suspended sediment concentration (SSC). Eight concentrations and five particle sizes of Haplic Cambisol, called Dystrophic, were used. The experiment was developed in laboratory, where a controlled environment was seek to test the ADV response for tests conducted in samples with known characteristics. An experimental apparatus was built, which permits the obtainment of data in homogeneous water and soil. Samples were collected in different positions of the container, totalizing 120 samplings. The software Win ADV was utilized to visualize the data and the post processing, applying the PSTM filter. The data collected showed the increase of signal-to-noise ratio (SNR) in relation to the increase of SSC. By the measurements was possible to investigate the SNR for different particle sizes and SSC of soil when suspense in water. It was noted that the found SNR values did not follow a pattern in relation to soil particle size.. In relation to SSC, it is easy to note that, in general, the higher the concentration of sediments, higher is the found SNR value.

Palavras-chave: Velocímetro Acústico Doppler, concentração de sedimento em suspensão.

¹ Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. CT – UFSM Av. Roraima, 1000 – Bairro Camobi. Santa Maria (RS). Email: helenesio@yahoo.com.br

² Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. CT – UFSM Av. Roraima, 1000 – Bairro Camobi. Santa Maria (RS). Email: ilha.robson@gmail.com

³ Professora Dra. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre – (RS). Email: dsanagiotto@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

O estudo da sedimentologia fluvial tem se tornado a cada dia mais importante na solução de problemas como assoreamento de reservatórios, mudanças da seção do rio, diminuição da qualidade da água. Conforme Paiva et al. (2000), o conhecimento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas.

De acordo com Molinas et al. (2001), dados reais e completos obtidos de medições no campo são muito limitados, devido às dificuldades encontradas na realização de tais medições, sendo que, na sua maioria, os dados provêm de medições realizadas em calhas de laboratório. Estes mesmos autores desenvolveram um trabalho de aplicação de equações para o cálculo do transporte de sedimentos em grandes rios, usando o conceito de potência da corrente em medições de campo.

A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) pode ser obtida por diversos métodos. Hoje em dia são utilizados turbidímetros, equipamentos ultra-sônicos, velocímetros Doppler, para avaliar a CSS. O método mais direto é através de coletas de amostras de água.

O Velocímetro Acústico Doppler, ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), é um equipamento que mede a velocidade das partículas presentes na água através do princípio do efeito Doppler, utilizando transdutores acústicos transmissores e receptores. O transmissor gera um pequeno pulso de som de frequência conhecida, que se propaga na água ao longo do eixo deste feixe. Como o pulso passa pelo volume de medição, a energia acústica é refletida em todas as direções pelas pequenas partículas presentes na água. Parte da energia refletida volta através do eixo receptor, onde é feita a medição da mudança da frequência pelo ADV.

Este deslocamento na frequência medido pelo receptor é proporcional à velocidade das partículas. Outra variável medida pelo equipamento é a SNR (“signal-to-noise ratio”), que representa a relação sinal-ruído. Esta relação é medida em decibel (dB), e corresponde à diferença entre o nível do sinal recebido e o nível de ruído inerente ao processo de transmissão da informação.

Essas características do equipamento e das medições realizadas com seu uso tem sido objeto de algumas pesquisas que visam extrair informações além dos valores de velocidades médias ou instantâneas. Essas informações referem-se à avaliação da turbulência do escoamento e a estimativa da CSS.

O propósito deste trabalho é avaliar a possibilidade do uso do ADV para quantificar a concentração de sedimentos em suspensão.

MÉTODOS E MATERIAIS

Os ensaios foram realizados em laboratório, em um ambiente controlado, testando respostas do ADV para testes conduzidos em amostras de características conhecidas. Para atender essa etapa foi construído um aparato experimental descrito a seguir, que permite a obtenção dos dados em amostras homogêneas de água e solo.

Aparato experimental

Foi construído no Laboratório de Sedimentos (LASED) no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, CT – UFSM, um aparato experimental composto por um recipiente cilíndrico, com altura e diâmetro de aproximadamente 30 cm e 29,5 cm respectivamente. Neste recipiente misturou-se quantidades conhecidas de diferentes tipos e granulometrias de solo em 15 litros de água destilada. Esse aparato (Figura 1) contém um sistema de recirculação composto por uma tubulação de PVC de $\frac{3}{4}$ ", e uma bomba (modelo 70023 de 3410 RPM, $\frac{1}{2}$ CV e 60 Hz).



Figura 1 – Aparato experimental.

O processo de recirculação buscou garantir a homogeneidade da mistura. Realizaram-se testes com o objetivo de assegurar que as misturas ficassem homogêneas, evitando qualquer deposição de sedimento no fundo do recipiente durante a realização dos experimentos.

Equipamento

O equipamento utilizado foi o Micro ADV 16 MHz Sontek/YSI (Acoustic Doppler Velocimeter), conforme a figura 2. Este equipamento é ideal para realizar trabalhos em laboratório, pois possui características como medições da velocidade em três eixos, altas taxas de amostragem de até 50 Hz, faixa de amostragem no volume total de água de 1 cm³ e ampla faixa de velocidade (3 cm/s até 250 cm/s).



Figura 2 – Velocímetro Acústico Doppler.

METODOLOGIA

Metodologia Experimental

No laboratório, verificou-se a possibilidade do uso do ADV para quantificar a concentração de sedimentos em suspensão. Para tanto foi necessário realizar algumas medições com diferentes concentrações e profundidades conhecidas no recipiente.

Foram definidos como parâmetros de configuração do equipamento para os ensaios a frequência de 50 Hz, a faixa de velocidade de 3 cm/s e o tempo de amostragem de 30 segundos.

Para a aquisição dos dados foi utilizado o programa Horizon ADV, recomendado pelo fabricante do equipamento. Mediu-se a temperatura da água no início dos ensaios, informando-a ao

programa de aquisição dos dados e, durante a realização dos ensaios, após cada hora de homogeneização foi realizada novamente a medição.

Para os testes foram utilizadas 8 concentrações de sedimentos conhecidas (5 mg/L, 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L e 1000 mg/L) e 5 faixas granulométricas (63 μ m, 125 μ m, 250 μ m, 500 μ m e 1 mm), nas três posições (a 6 cm, 12 cm e 18 cm do fundo do recipiente), totalizando 120 amostras. O tempo de aquisição dos ensaios com o ADV foi definido em 30 s, totalizando 1500 dados por ponto.

A determinação da granulometria foi feita por peneiras e pelo método da pipeta que, assim como a determinação da textura, está descrito em EMBRAPA (2006).

Para realizar os ensaios, as granulometrias do solo foram separadas em diferentes faixas, conforme as recomendações da NBR 7181/1984, depois de a amostra ser seca ao ar livre e destorroada. Após este processo, foi inserido 1 kg do solo com suas diferentes granulometrias nas peneiras com as malhas passantes de 1 mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 63 μ m e agitados manualmente por aproximadamente 15 minutos e, então, pesadas as porcentagens passantes em cada peneira e colocadas em sacos plásticos, identificando-os.

No primeiro ensaio, foram inseridos no recipiente gradualmente quantidades de sedimentos com granulometria e concentração de 1 mm e de 5 mg/L, respectivamente, e ligado o sistema de recirculação para o processo de homogeneização por um período de dois minutos – tempo esse citado por Guerrero et al. (2011 b). Então o circuito foi desligado e realizaram-se as medições com o ADV na posição a 6 cm do fundo do recipiente, por um período de 30 segundos.

Após esta medição, o sistema foi acionado novamente por mais dois minutos para garantir a homogeneização da mistura solo e água, sendo então desligado o sistema e realizada a medição na posição a 12 cm do fundo do recipiente, no mesmo intervalo de tempo de 30 s. E por último, o sistema foi novamente acionado para realizar o mesmo processo descrito anteriormente, porém com medições a 18 cm do fundo do recipiente. Esse processo foi realizado sucessivamente para as demais granulometrias.

Para realizar os oito ensaios, foram, a partir do primeiro, inseridas gradualmente maiores quantidades de sedimentos, até completar a concentração determinada para o ensaio seguinte.

Após realizar o último ensaio utilizando a CSS máxima de 1000 mg/L para a granulometria de 1 mm, conforme a figura 3, que corresponde a partículas de 501 μ m a 1 mm, foi realizada a

Para a avaliação dos dados do ADV utilizou-se o filtro PSTM, desenvolvido por Goring e Nikora (2002). Esse método é chamado pelos autores de “Phase-Space Thresholding Method”. O filtro foi modificado e implementado no programa WinADV por Wahl (2003). A figura 4 mostra a tela do software WinADV realizando um pós processamento nos dados do ADV.

Para a avaliação dos dados do ADV utilizou-se o filtro PSTM, desenvolvido por Goring e Nikora (2002). Esse método é chamado pelos autores de “Phase-Space Thresholding Method”. O filtro foi modificado e implementado no programa WinADV por Wahl (2003). A figura 4 mostra a tela do software WinADV realizando um pós processamento nos dados do ADV.

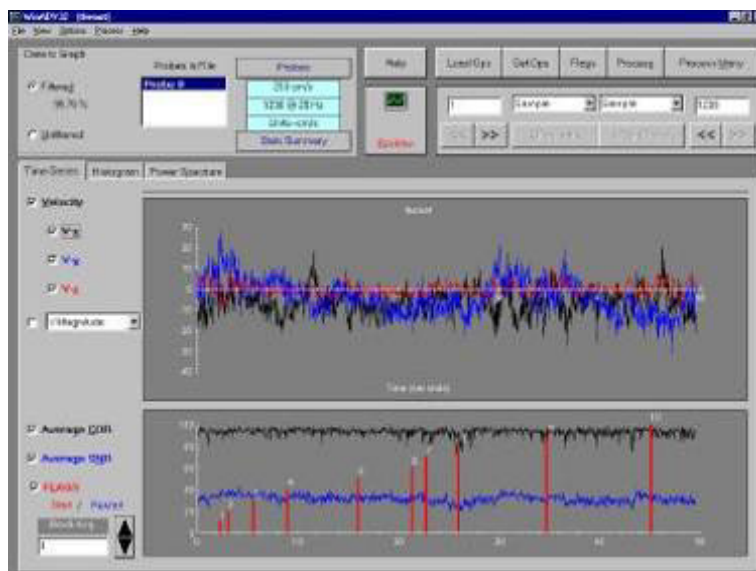


Figura 4 – Tela do Win ADV.

Com a aplicação do filtro nos dados obtidos pelo ADV, tentou-se eliminar dados afetados por algum efeito de ruído (ruído elétrico, ruído proveniente da presença de bolhas na água, entre outros) e manter um grande percentual de dados.

Validação dos parâmetros

Em algumas análises buscou-se uma ferramenta estatística que permitisse avaliar se existe uma diferença significativa entre dois ou mais valores. Para essa avaliação foi utilizado o teste t de Student, com nível de significância de 5%, através do programa Primer, que permitiu verificar se as grandezas podiam ser consideradas iguais ou não dentro de um certo nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a construção de cada gráfico, utilizou-se a média de cada ensaio nas diferentes profundidades e concentrações para cada granulometria e SNR.

Na figura 5 é mostrada a média obtida para os diferentes SNRs após aplicação do filtro (PSTM), para as diversas CSS nas amostras para as diferentes granulometrias.

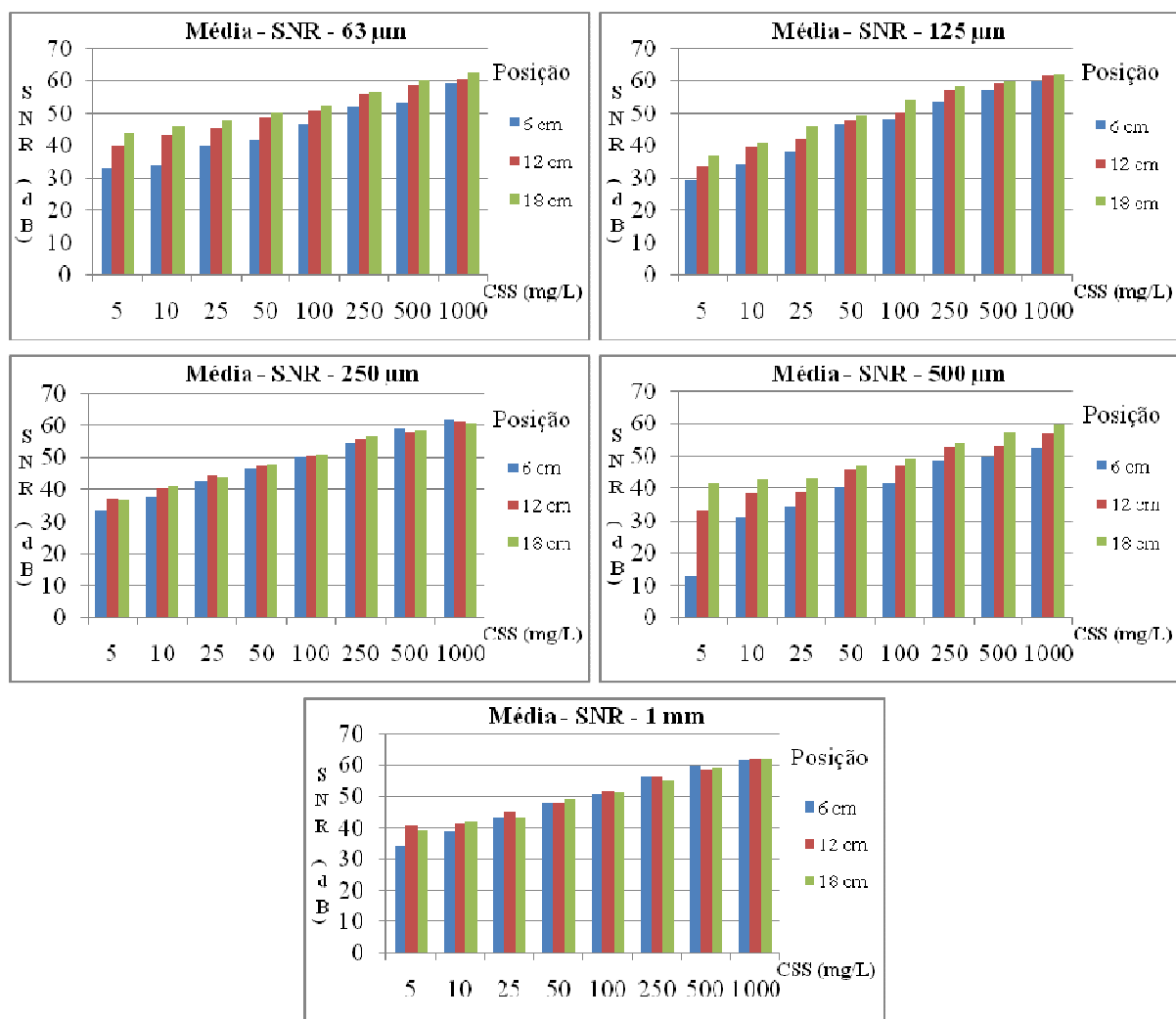


Figura 5 – Média do SNR filtrada (PSTM), solo 3 para as diferentes granulometrias nas posições a 6 cm, 12 cm e 18 cm do fundo do recipiente.

Em todas as granulometrias pode-se verificar claramente a relação da influência da CSS com o aumento do SNR nas diferentes profundidades.

A figura 6 apresenta a variação da média dos SNRs para diferentes CSS e granulometrias. Observa-se nessa figura que o comportamento do SNR tem uma relação direta com a CSS para as diferentes faixas granulométricas utilizada.

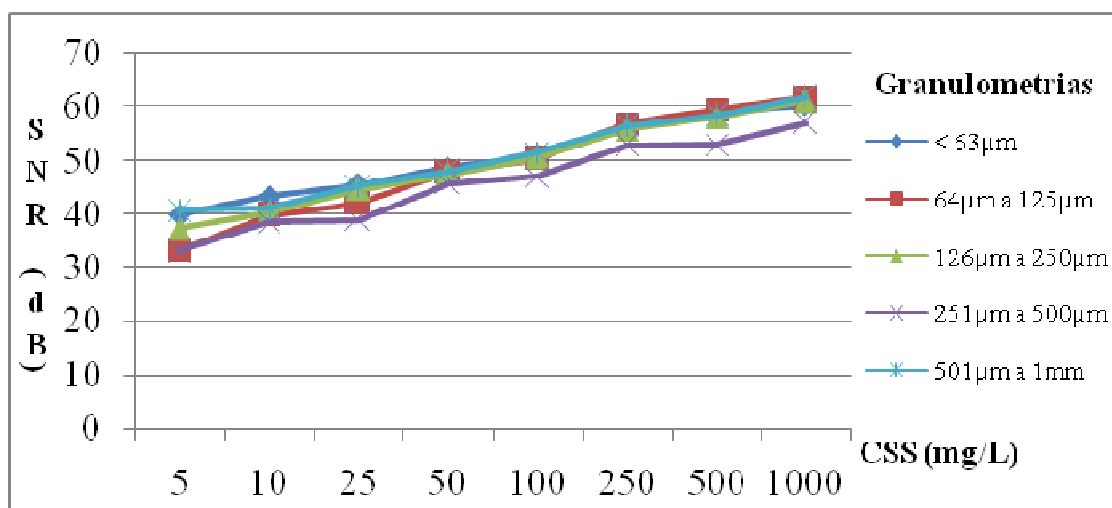


Figura 6 – Variação da média dos SNRs para diferentes CSS e faixas granulométricas, filtrada (PSTM) para a posição a 12 cm do fundo do recipiente.

Com objetivo de analisar se a separação por faixas granulométricas influencia nos resultados, com as mesmas configurações utilizadas nos ensaios, realizou-se um teste com as cinco faixas granulométricas e com o mesmo solo em seu estado integral (sem divisão por faixas granulométricas). Na figura 7 são apresentados a média dos valores não filtrados dos SNRs para as diferentes granulometrias e com o solo integral (todas as granulometrias).

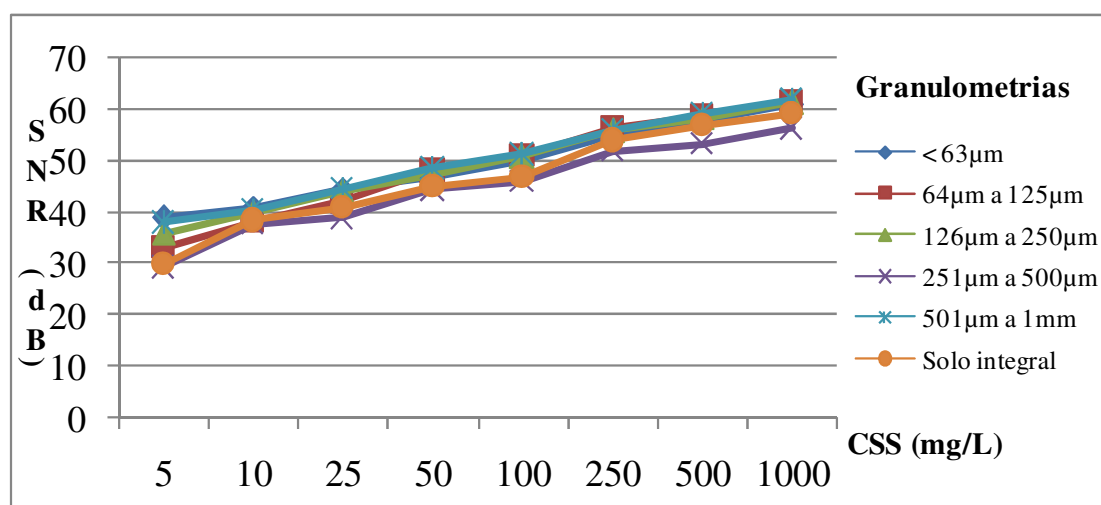


Figura 7 – Média dos valores não filtrados dos SNRs para as diferentes granulometrias e para o solo integral (todas as granulometrias).

O gráfico mostra a relação direta do aumento médio do sinal medido pelo equipamento na proporção que aumentam as concentrações de sedimentos. Pode-se notar um aumento semelhante nas diferentes concentrações a partir da CSS de 5mg/L.

De acordo com os resultados mostrados acima, o comportamento das cinco faixas granulométricas difere, ocorrendo variações médias de SNR de 32 dB a 42 dB para a primeira concentração de 5mg/L, quando a média do SNR para esta mesma concentração para o solo integral foi de 33 dB. Os valores para as demais CSS ficaram próximos do valor médio apresentado para o solo integral.

Esses resultados vem ao encontro do trabalho de Xavier et al (2012), que utilizou um ADV de 6 MHz para faixas granulométricas de 60 μ m a 90 μ m em um recipiente de 40 cm de diâmetro por 50 cm de altura para duas profundidades, de 12 cm e 20 cm do fundo, utilizando sete CSS (0,005 g/L, 0,01 g/L, 0,025 g/L, 0,05 g/L, 0,10 g/L, 0,25 g/L e 0,5 g/L) e duas bombas de aquários para o processo de homogeneização. Foram obtidos valores médios para a CSS de 10 mg/L de 26,52 dB para a profundidade de 12 cm e de 34,88 dB para a posição a 20 cm do fundo do recipiente. Já para a CSS de 250 mg/L os valores de SNR foram de 52,02 dB para 12 cm e 51,49 dB para 20 cm. Foi verificada uma maior intensidade de sinal retroespalhado na parte mais profunda do recipiente, bem como um maior SNR médio, já que quanto maior a quantidade de sedimentos em suspensão maior é o SNR.

CONCLUSÕES

O aparato experimental proporcionou boa homogeneização às diferentes misturas de água e solo, com granulometrias e concentrações de sedimentos em suspensão variadas, permitindo a realização de medições com o ADV.

Através das medições com o ADV em laboratório, foi possível investigar a relação sinal/ruído para diferentes faixas granulométricas e CSS de solo quando em suspensão em água. Notou-se que os valores encontrados para o SNR não seguiram uma regra determinada em relação à faixa granulométrica do solo. Ou seja, não se pode concluir que o aumento da faixa granulométrica indica o aumento do SNR, já que para uma mesma CSS os valores de SNR não necessariamente aumentaram com o aumento da granulometria. Já no que diz respeito às diferentes CSS, é possível concluir que existe uma relação direta entre o aumento das concentrações de sedimentos e o sinal

medido pelo equipamento, já que é fácil notar que, em geral, quanto maior a concentração de sedimentos, maior é o valor de SNR encontrado.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto MAPLU, financiado pelo FINEP e ao CNPq pela bolsa concedida para o desenvolvimento desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. revisão atualizada. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

GORING, D.G and NIKORA, V.I. (2002). Fluctuations of suspended sediment concentration and turbulent sediment fluxes in an open-channel flow. In Journal of Hydraulic Engineering, v. 128 (2), pp. 214-224.

GUERRERO, N.; RÜTHER, M. SZUPIANY. Laboratory validation of acoustic Doppler current profiler (ADCP) techniques for suspended sediment investigations. Flow Measurement and Instrumentation- SciVerse Science Direct, v. 23, pp. 40-48, 2011- B.

MOLINAS, A.; WU, B. Transport of Sediment in Large Sand-Bed Rivers. Journal of Hydraulic Research, Vol. 39, n. 2, Oct., pp. 135-146. 2001.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; PARANHOS, R.M. Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. **Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos**, 2000.

XAVIER, B. C.; SILVA, I. O.; GUIMARÃES, L. G.; GALLO, M. N.; RIBEIRO, C. P.; FIGUEIREDO Jr, A. G.; Estudo experimental e numérico para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão por meio de sinais de espalhamento acústico. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 15p.

WAHL, T. L. Discussion of “ Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data” by Goring, D.G. e Nikora, V. I. Journal of Hydraulic Engineering, v. 125, n. 9, p. 987-988, 2003.