

Programa para Obtenção de Vazão Sólida em Suspensão com Dados do Perfilador Acústico - ADCP

E. R. Taniguchi, LACTEC, F. R. Terabe, LACTEC, J. J. Ota, LACTEC, H. Buba, COPEL, L. F. Gonçalves, COPEL

Resumo – Obter dados para avaliação do transporte de sedimentos em suspensão em rios e reservatórios é tarefa que apresenta dificuldades de realização, demanda tempo considerável, onerando desta forma os custos para a realização de medições em campo. O ADCP – *Acoustic Doppler Current Profilers* já vem sendo utilizado com sucesso na medida de velocidades de escoamentos. Devido às características do funcionamento e do princípio de operação, além de sua finalidade básica este equipamento fornece também informações que podem ser associadas à concentração de sedimentos em suspensão. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um programa utilizando os dados do ADCP para estimar a vazão sólida em suspensão.

Palavras-chave — ADCP – vazão sólida em suspensão - medição acústica de sedimentos – Transporte de sedimentos.

I. INTRODUÇÃO

O conhecimento da vazão sólida em suspensão em cursos de água, reveste-se de especial importância na medida em que a quantificação dos sedimentos em suspensão possa ser utilizada para tomar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar impactos ambientais e avaliar perda de capacidade de armazenamento em reservatórios. Entretanto, é grande a dificuldade de obter os dados de campo.

Atualmente muitos estudos têm se orientado no desenvolvimento de novas técnicas de medição. Sistemas baseados em princípios acústicos e óticos são de grande praticidade, porém, ainda estão em fase de estudos. Os sistemas óticos vêm apresentando boa correlação entre concentração de sedimentos e sinal de saída, porém, necessitam ser introduzidos no fluxo e posicionados em cada ponto de medição. Os sistemas acústicos apresentam a grande vantagem de não ser intrusivo no escoamento e permite obter a vazão sólida com os mesmos dados obtidos para o cálculo da vazão líquida. Este trabalho visa contribuir com os estudos em transporte de sedimentos, apresentando um método para a obtenção da vazão sólida em suspensão utilizando o método de Deines (1999) na conversão dos sinais do ADCP em concentração de sedimentos.

II. MÉTODO DE DEINES

A equação (1) proposta por Deines (1999) converte intensidades de eco registradas pelo ADCP em concentração de sedimentos em suspensão tomando como referência uma concentração de sedimentos e uma intensidade de eco efetuadas simultaneamente.

E. R. Taniguchi trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (e-mail: edie@lactec.org.br).

F. R. Terabe trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (e-mail: terabe@lactec.org.br).

J. J. Ota trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e professor da Universidade Federal do Paraná (e-mail: ota@lactec.org.br).

H. Buba trabalha na Companhia Paranaense de Energia (e-mail: homero@copel.com).

L. F. Gonçalves trabalha na Companhia Paranaense de Energia (e-mail: luiz.goncalves@copel.com)

$$C_i = 10^{\left[\log C_r + \frac{K_M (E_{C_i} - E_{C_r})}{10}\right]} \quad (1)$$

onde:

C_i = concentração de sedimentos em suspensão estimada na posição i (mg/l);

C_r = concentração de sedimentos em suspensão medida no nível de referência para calibragem (mg/l);

E_{C_i} = intensidade do eco correspondente à posição i (dB);

E_{C_r} = intensidade do eco correspondente ao nível de referência (dB).

K_M = Coeficiente de ajuste

Conforme mostrado em [2], a análise dos dados obtidos mostrou que os resultados são melhores quando o incremento de intensidade do eco ($E_{C_i} - E_{C_r}$) é multiplicado por um coeficiente K_M , igual a 0,45. Observou-se que os resultados também são melhores quando se utiliza como referência a camada à meia profundidade.

A concentração de sedimentos de referência deverá ser obtida a partir de um amostrador mecânico ou ótico. A figura 1 ilustra o processo.

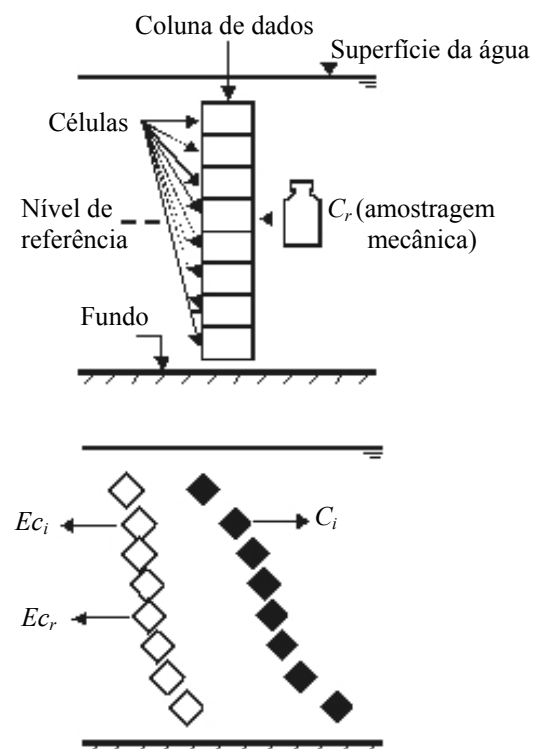


Figura 1. Representação do método de conversão de sinal acústico em concentração de sedimentos.

III. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A. ADCP - Perfilador Acústico De Corrente por Efeito Doppler

O perfilador acústico utilizado neste estudo foi o modelo *Workhorse Rio Grande 1200Khz*, tipo *Broad Band* fabricado pela *RD Instruments*. Conforme mostrado na figura 2.



Figura 2. Perfilador acústico de corrente (ADCP).

B. Amostrador Mecânico

Utilizou-se o modelo USP-61 mostrado na figura 3. Este tipo de amostrador é fabricado de forma que a amostra de água e sedimentos seja coletada com a mesma velocidade local do escoamento. A amostra é armazenada em um recipiente interno e é analisada posteriormente em laboratório.



Figura 3. Amostrador mecânico USP-61

C. Amostrador Ótico

Utilizou-se também nos estudos um medidor de turbidez instalado em uma sonda multisensor. A sonda foi acoplada a um cabo de aço com lastro na extremidade para se manter mais próximo possível de um alinhamento vertical. A movimentação do conjunto foi efetuada com o auxílio de um guincho, conforme mostrado na figura 4. Fabricado pela *Hidrolab*, a sonda modelo *Datasonde 4a* é um equipamento de campo para análise da qualidade da água. Além da turbidez, a sonda mede temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxi-redução.

O medidor de turbidez é do tipo autolimpante, incorpora um mecanismo de limpeza da lente do sensor, evitando incrustações de sedimentos. Consiste de um emissor infravermelho de 880 nm de comprimento de onda e um fotodiodo detetor. Utiliza luz infravermelha para diminuir a influência

da luz ambiente. O sensor mede a intensidade de luz refletida a 90 graus da fonte de luz e produz leituras em *NTU's* (*Nephelometric Turbidity Units*).



Figura 4. Sonda multisensor Hidrolab

IV. PROGRAMA PARA CONVERSÃO DE INTENSIDADE DE ECO EM CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

O programa para conversão dos sinais acústicos registrados pelo ADCP em concentração de sedimentos em suspensão, foi desenvolvido na linguagem Delphi. Este tipo de linguagem além de fornecer excelente interface com o usuário (linguagem orientada a objeto), permite utilizar um sistema de banco de dados que vários outros programas podem acessar sem dificuldades

O programa desenvolvido faz uso dos arquivos gerados pelo próprio ADCP, durante a medição de vazão líquida, para a obtenção da vazão sólida em suspensão.

Conforme mostrado na figura 1, o ADCP registra dados ao longo da vertical, em forma de células, de forma que a seção medida é representada por várias colunas contíguas.

O programa *WinRiver* utilizado pelo ADCP para aquisição e processamento dos dados é capaz de gerar um arquivo no formato texto contendo as informações referentes às vazões líquidas, velocidades do escoamento e intensidade do sinal acústico, em cada célula medida. O programa de conversão utiliza este arquivo para o cálculo da estimativa de vazão sólida em suspensão. Como este arquivo está no formato de texto e fora do padrão banco de dados, é necessário efetuar uma conversão dos textos representativos dos números para valores numéricos e armazenar no formato de banco de dados. Como o ADCP utiliza as leituras dos 4 sensores para definir o valor da intensidade do eco em cada célula, o programa desenvolvido calcula a média das medidas e transfere para um outro arquivo os registros relativos às intensidades de eco, vazões e profundidades respectivamente, desprezando os dados que extrapolam o perfil de profundidades. Com a aplicação da equação (1) do método de Deines (1999) obtém-se a concentração estimada para os sedimentos em suspensão para cada célula da seção.

O ADCP não é capaz de medir os dados próximos ao fundo e à superfície do escoamento. No caso da vazão líquida, o programa *WinRiver*, dispõe de dois métodos para fazer a extrapolação. Utilizar o valor medido na célula mais próxima ou fazer ajuste através de curva de potência para

essas regiões. O programa desenvolvido para medição do transporte de sedimentos em suspensão considera para intensidade do eco correspondente à região próxima ao fundo e próxima à superfície do escoamento os valores obtidos nas células próximas da mesma vertical. Ainda com relação a essas regiões, algumas células apresentam valores de intensidade de eco muito elevado devido à influência do fundo e da superfície livre no sinal acústico. O programa desenvolvido também faz uma verificação para estas células, utilizando um coeficiente de ajuste de fundo (Caf). Se a razão entre a concentração estimada de uma célula e a concentração da célula anterior ficar maior que o valor fixado em Caf, o programa desenvolvido corrige a concentração para o mesmo valor da célula anterior.

Nas duas áreas junto às margens não é feita a aquisição de dados pelo ADCP. A vazão líquida em cada área é estimada com base na distância da margem à vertical adjacente onde se fez a aquisição de dados, na velocidade média obtida nessa vertical e no formato da área em questão. Para o cálculo da vazão sólida nas margens, adotou-se no programa utilizar a média das concentrações de sedimentos obtidas na primeira e na última vertical. Como a seção medida pelo ADCP é dividida em várias células, cada célula tem a sua respectiva concentração de sedimentos, a vazão líquida e a intensidade de eco.

A vazão sólida é calculada como igual ao produto da vazão líquida pela concentração de sedimentos. Multiplicando-se as vazões líquidas pelas respectivas concentrações de sedimentos em suspensão, obtém-se as vazões sólidas para cada célula. A soma das vazões sólidas de cada célula fornece a vazão sólida pela seção de medida.

V. APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE CONVERSÃO

O programa de conversão de intensidade de eco em concentração de sedimentos, cuja página está mostrada na figura 5, necessita das seguintes informações:

- Arquivo texto dos dados da seção: este arquivo é obtido pelo programa *WinRiver* após o levantamento do perfil de velocidades da seção. A página do programa de conversão exibe os arquivos disponíveis no diretório selecionado.
- Calibragem da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e intensidade do sinal acústico: Medição simultânea e no mesmo local da concentração de sedimentos em suspensão (por amostragem mecânica ou óptica) e do sinal acústico (ADCP).
- Coeficiente K: É o coeficiente K_M da equação (1). Conforme apresentado em (2), quando o incremento de intensidade do eco ($Ec_i - Ec_j$) é multiplicado por um coeficiente $K_M=0,45$ obtém-se resultados melhores.
- Coeficiente de ajuste para o fundo (caf): devido às características do ADCP, os dados próximos ao fundo, mostram-se às vezes com valor muito elevado e não representam a real situação. Caso a razão de concentração de sedimentos de uma célula em relação a anterior apresente valor superior ao valor do coeficiente, a concentração adotada será a da célula anterior.

De posse desses dados o programa calcula a vazão líquida e a vazão sólida.

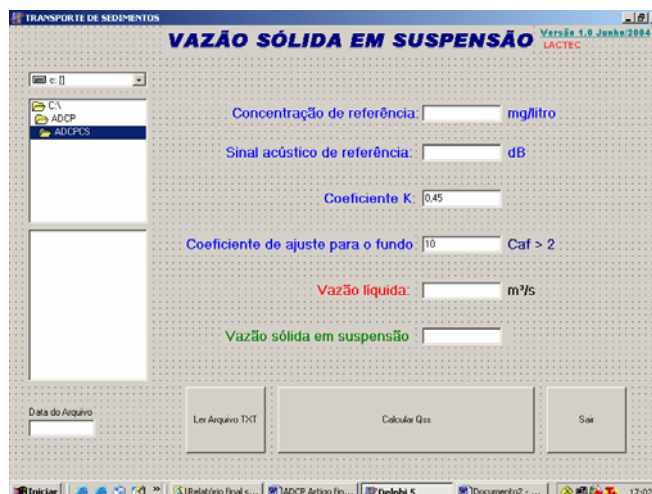


Figura 5. Página do programa para cálculo da vazão sólida em suspensão.

A tabela I mostra os resultados obtidos para a estimativa da vazão sólida nos rios: Iguaçú em 2003, Ivai em 2003 e 2004 e no rio Piquiri em 2003.

TABELA I
RESULTADOS DE VAZÃO LÍQUIDA E VAZÃO SÓLIDA.

Local e ano da medição	Medida	Conc. Ref (mg/l)	Eco Ref. (dB)	Vazão Líq. (m³/s)	Vazão Sol. (kg/s)
Rio Iguaçú-2003	1	104,61	93,55	866,22	90,42
Rio Iguaçú-2003	2	104,61	93,55	871,31	93,25
Rio Iguaçú-2003	3	104,61	93,55	864,05	87,04
Rio Ivai-2003	1	8,5	84,25	399,69	3,88
Rio Ivai-2004	1	11,2	86,08	399,83	4,88
Rio Ivai-2004	2	11,2	86,08	379,52	4,49
Rio Piquiri-2003	1	23,5	81,83	332,05	9,32
Rio Piquiri-2003	2	23,5	81,83	327,31	9,30

VI. CONCLUSÕES

O programa de conversão das intensidades de eco em concentrações de sedimentos em suspensão apresenta-se como uma forma rápida e eficiente para a determinação da vazão sólida em escoamentos. O programa foi desenvolvido em linguagem Delphi, pelo fato de que esta linguagem já é bastante conhecida no meio científico, é de fácil programação e permite desenvolver interfaces muito amigáveis para o usuário.

A amostragem mecânica ou óptica, requer o posicionamento da sonda em cada ponto de medição, portanto requer a ancoragem da embarcação. O uso do ADCP associado ao programa desenvolvido vem facilitar de forma considerável o trabalho de campo. A concentração de sedimentos pode ser obtida em qualquer posição da seção sem necessidade de amostragem no local desejado. As dificuldades apresentadas pelo ADCP na medição de dados junto aos contornos (fundo, superfície, margem direita e margem esquerda), são resolvidas pelo programa desenvolvido de forma similar à solução adotada pelo programa do ADCP (*WinRiver*).

O cálculo da vazão sólida passa a ser efetuado levando em conta as variações das velocidades e das concentrações de sedimentos ao longo da seção de escoamento.

Com o uso do programa o levantamento de dados para a estimativa da vazão sólida poderá ser efetuado de forma simultânea com o levantamento de dados para o cálculo da vazão líquida. A utilização de uma sonda ótica no levanta-

mento da concentração de referência vem também contribuir para facilitar os trabalhos de campo.

O programa desenvolvido permite uma significativa redução de custos operacionais, e poderá ser utilizado como uma poderosa ferramenta no estudo de transporte de sedimentos.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. K. Deines, "Backscatter estimation using broadband Acoustic Doppler Current Profilers". In: S. P. Anderson, E. A. Terry, J. A. R. White, A. J. William, (Ed.). Working Conference on Current Measurement, 6, 1999, San Diego. Proceedings, San Diego, 1999. p. 249-253.
- [2] F. R. Terabe, "Estudo sobre o uso do perfilador acústico de corrente por efeito Doppler (ADCP) para medição do transporte de sólido em suspensão". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- [3] B. Sonnino, "Desenvolvendo aplicações com Delphi 5". São Paulo: Makron Books, 2000, 301p.