A INFLUÊNCIA DO ARRASTE DE SEDIMENTOS NA MEDIÇÃO DE DESCARGA COM O ADCP

Flávio M. Moreira[1]; Adriano S. Santos [1]; Paulo César S. Martins[2] & Cristiane R. Melo[2]

Resumo - A Cia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM tem utilizado o Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP em campanhas de medições de descarga liquida em estações da Rede Hidrométrica Nacional. A medição com ADCP apresenta a vantagem de rapidez na obtenção dos dados e uma grande facilidade operacional. Em parte das estações medidas, especialmente em situações de grande transporte de sedimentos, tem-se constatado que as vazões determinadas com o ADCP apresentam valores inferiores aos obtidos pelos processos convencionais. Sabendo-se que o equipamento utiliza o fundo do rio como referência para determinar a direção e velocidade dos filetes líquidos, é de se supor que a subestimativa das vazões seja causado pelo arraste de partículas sólidas pela corrente, problema conhecido como FUNDO MÓVEL.

Abstract - CPRM – The Brazilian Geological Service has been using in field campaigns, the Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP, taking measurements of liquid discharge in stations of the National Hidrometric System. The measurement with ADCP presents some advantages, like speeding up the data obtaining and the operational easiness on this work. Part of the measured stations, especially in situations of great sediments transport, show a peculiar attitude: it has been verified that certain flows with ADCP present minor values when correlated to data obtained by the conventional processes. Being known that the equipment uses the bottom of the river as a reference to determine the direction and speed of the liquid threads, it is of supposed that the under-estimation of the flows is caused by some kind of drags of solid particles by the current, a problem usually known as “fundo móvel” in portuguese, or “moving bottom”.

Palavras-chave – ADCP, Fundo Móvel.

[1] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM/SUREG-RE, Av. Sul, 2291 – Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.: (81) 34283205; e-mail: flaviomoreira@fisepe.pe.gov.br

INTRODUÇÃO

A utilização do ADCP oferece indiscutíveis vantagens em relação ao molinete convencional. As mais importantes são a rapidez na obtenção das vazões, o que para rios de regime torrencial, com variações bruscas no nível da água, permite acompanhar em pequenos intervalos a relação entre a cota e a vazão e a facilidade operacional, que prescinde da estabilização do barco (o que nem sempre é viável em situações de enchente) e independe da trajetória. Observe-se, ainda que em rios de grande porte, a ancoragem e o correto alinhamento do barco na seção transversal do rio e a determinação de seu posicionamento é trabalhosa e nem sempre precisa.

Temos constatado porém que, em situações de grande transporte de sedimentos, as vazões medidas são subestimadas, comparadas aos métodos usuais. Este fato normalmente é decorrente da situação "fundo móvel", em que o fundo do rio, que seria uma referência estável para os sensores do aparelho, apresenta partículas sólidas em deslocamento no sentido da corrente e que acabam por afetar o cálculo do posicionamento da embarcação e da velocidade do fluxo.

OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi o de avaliar o efeito do movimento das partículas do fundo do rio no valor da descarga medida com a ADCP.

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE O EQUIPAMENTO E AS MEDIÇÕES

O experimento foi realizado com o ADCP modelo BBRD 1200 da RD INSTRUMENTS (foto 1). A programação inicial dos trabalhos previa a utilização do *software WINRIVER*, mas após inúmeras tentativas não conseguimos conexão entre o ADCP e o notebook utilizando uma porta PS2, porta disponível no notebook. Posteriormente, obtivemos informações de não haver registro da conexão ADCP ↔ NOTEBOOK por meio desta porta. Devido a este imprevisto nos restou a alternativa do uso de outro notebook, com configuração mais simples, e que só suportava o software transect para aquisição dos dados de campo.

Foto 1.ADCP Utilizado nas Medições

Com o equipamento e software utilizados tínhamos a alternativa de trabalhar com os modos de operação 1 (dynamic states) ou 4 (moderate states). Optamos pelo modo 4 por ter uma aplicação típica mais próxima das condições encontradas no campo no momento da visita. O modo 4 é utilizado na maioria dos cursos d'água com mais de 3 m de profundidade e com velocidade moderada. Outros modos de operação, como o 5 e 8, não estão disponíveis com o firmware que dispomos no ADCP.

Para avaliar a ocorrência do fundo móvel efetuamos a determinação do valor da descarga líquida com o ADCP, uma comparação ADCP x MOLINETE em uma vertical e a uma verificação de movimento de partículas no fundo do rio.

Em cada estação visitada foram efetuados medições com o ADCP, com um mínimo de 10 travessias do rio em sentido alternado. O resultado das medições (média das travessias consideradas satisfatórias) foi comparado com a curva de calibragem das estações.

Após as medições com o ADCP, a embarcação era estabilizada através de ancoragem e efetuada medida da velocidade em diversos pontos da vertical com um molinete convencional, simultaneamente ao uso do ADCP, para comparação dos resultados.

Com a embarcação ainda estabilizada determinou-se, para um intervalo de tempo maior, a velocidade e o deslocamento acusado pelo ADCP para a embarcação (que teoricamente deveria ser nulo).

Avaliou-se, ainda, para um percurso de ida e volta numa seção transversal do rio (com aquisição contínua de dados pelo ADCP), com retorno ao ponto inicial, se haveria distância medida

pelo aparelho, sendo plausível que essa distância dividida pelo tempo do percurso corresponde-se a velocidade média com que as partículas de fundo estivessem se deslocando.

RESULTADOS

Para apresentação dos resultados, selecionamos dados obtidos em cinco estações: Rio Itapecuru em Cantanhede (33680000), Rio Longá em Tinguis (34980000), Rio Mearim em São Luiz Gonzaga (33286000), Rio Grajaú em Aratoí Grande (33380000) e Rio Pindaré em Alto Alegre (33080000).

Comparação de Vazões – ADCP, Medições Convencionais e Curva Chave

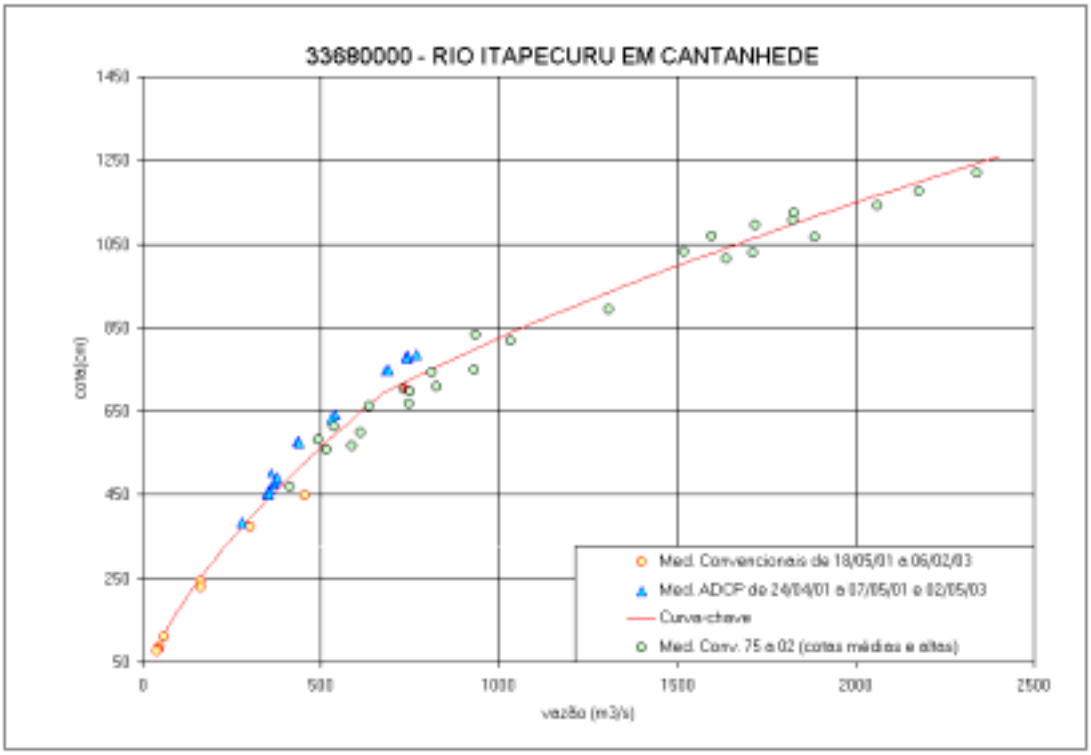

Figura 1 - Comparação de Vazões (Estação Cantanhede)

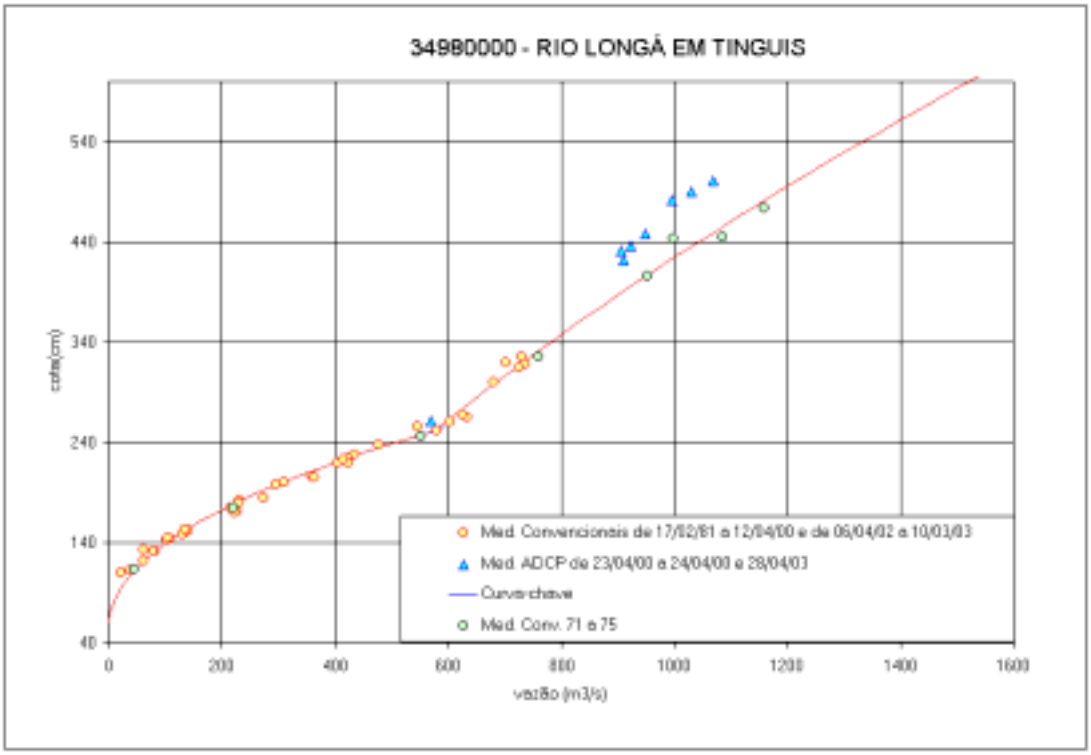

Figura 2 - Comparação de Vazões (Estação Tinguis)

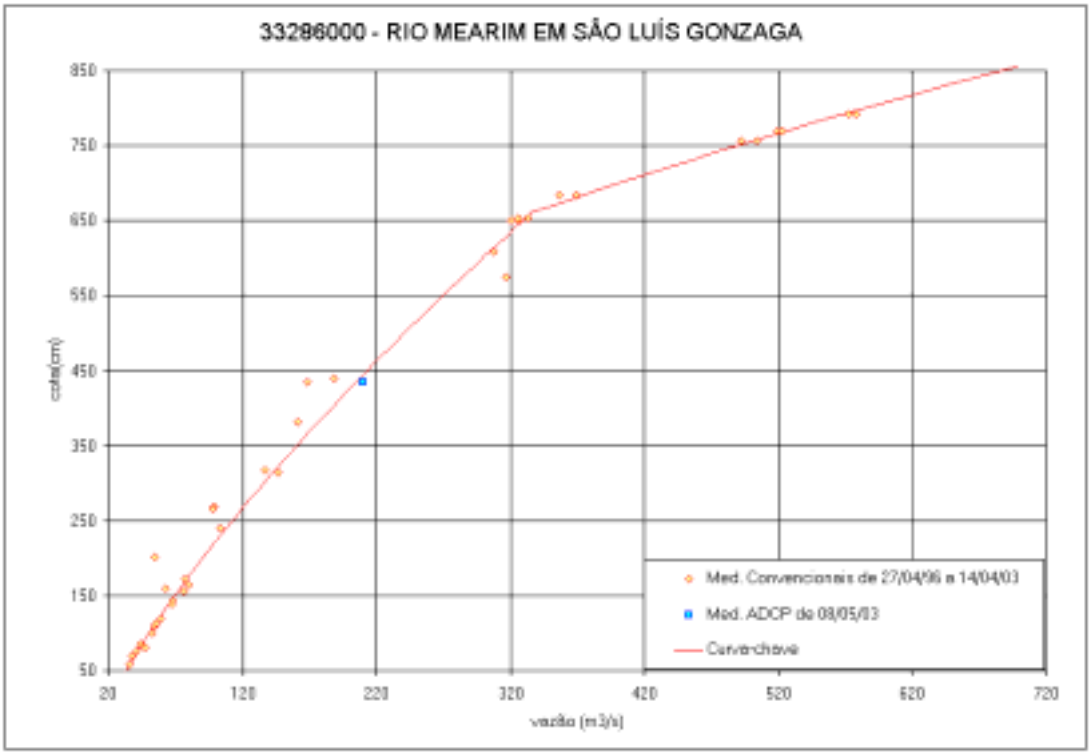

Figura 3 - Comparação de Vazões (Estação São Luiz Gonzaga)

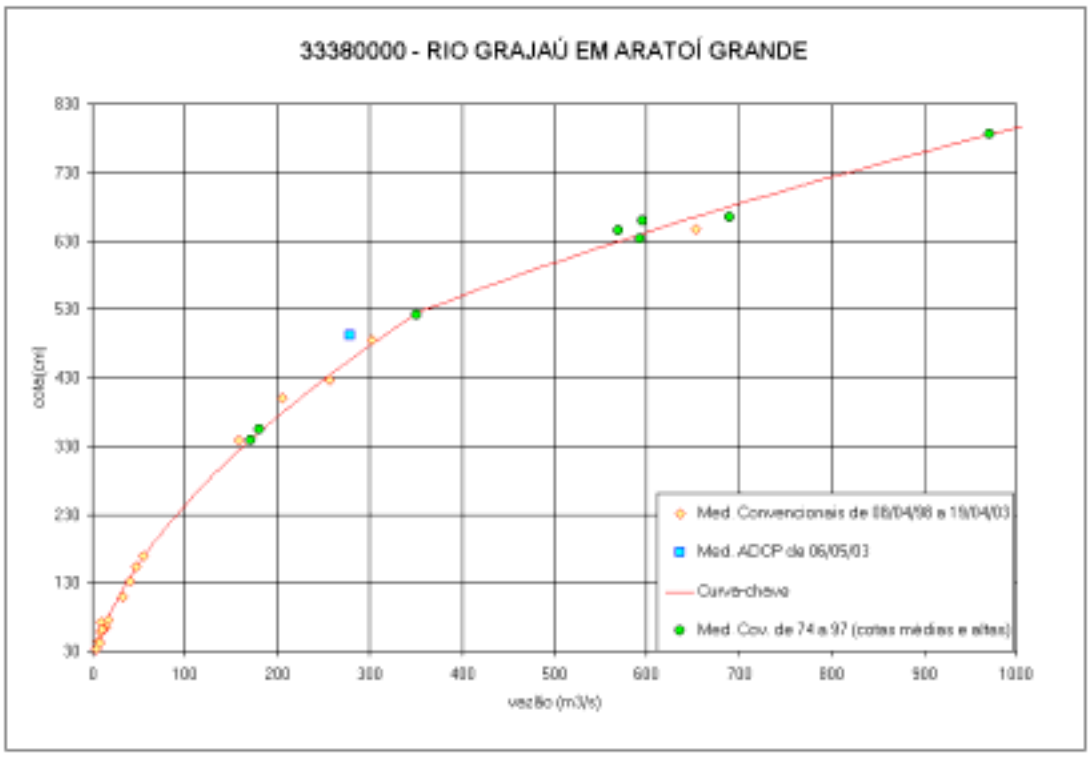

Figura 4 - Comparação de Vazões (Estação Aratoí Grande)

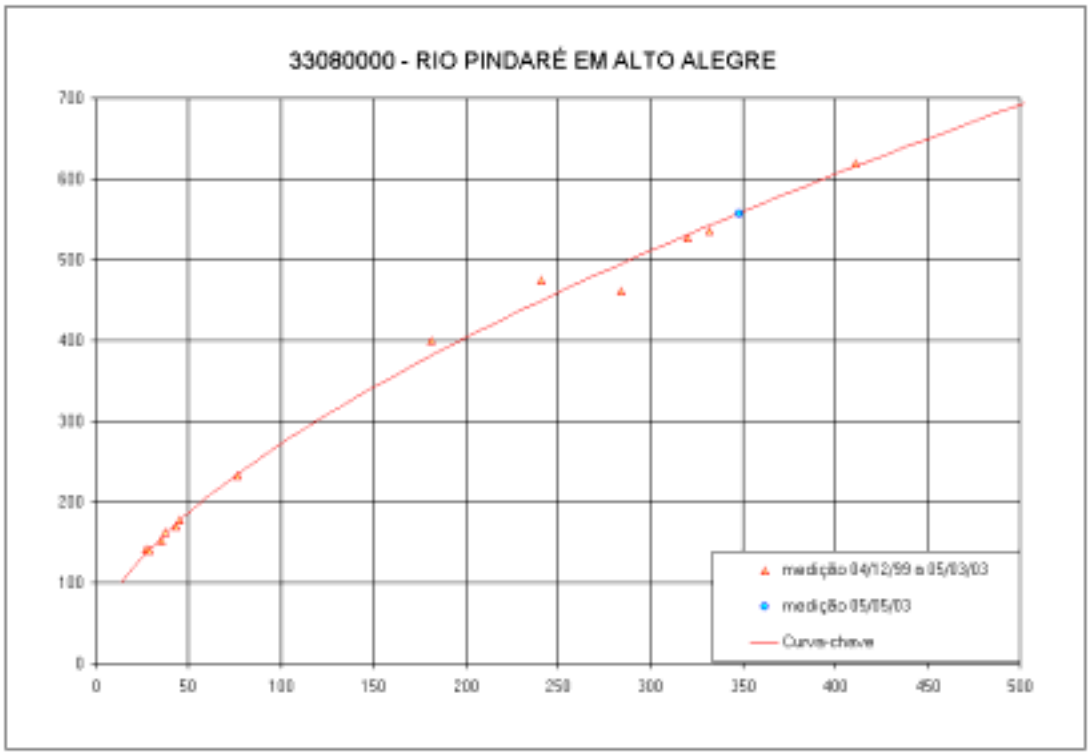

Figura 5 - Comparação de Vazões (Estação Alto alegre)

Conforme se observa nas figuras, as medições executadas com o ADCP nas estações de Cantanhede, Aratoí Grande e Tinguis apresentaram resultados inferiores aos obtidos pela curva-chave. Observa-se, ainda, que os desvios crescem com o aumento das vazões e velocidades.

Sabendo-se que o transporte sólido de fundo também aumenta com o aumento da velocidade da corrente, pode-se pressupor um problema de "fundo móvel". Já nas estações de Alto Alegre e São Luiz Gonzaga, praticamente não houve desvio.

Comparação de Velocidade na Vertical – ADCD e Molinete

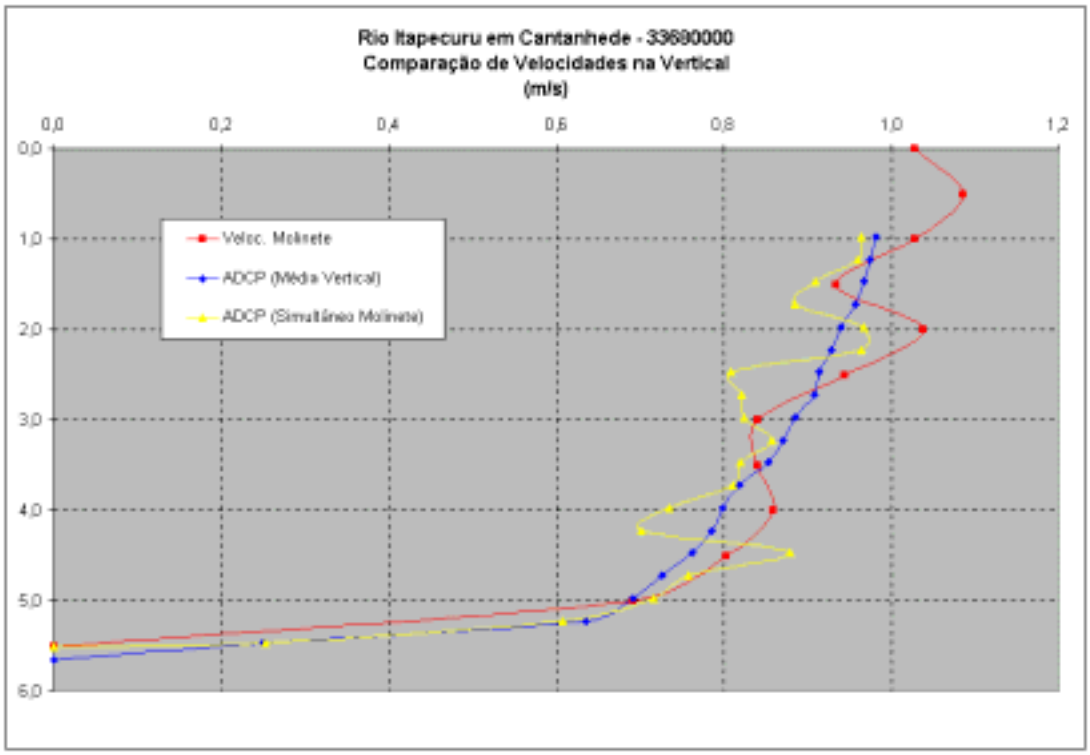

Figura 6. Comparação de Velocidade na Vertical (Estação Cantanhede)

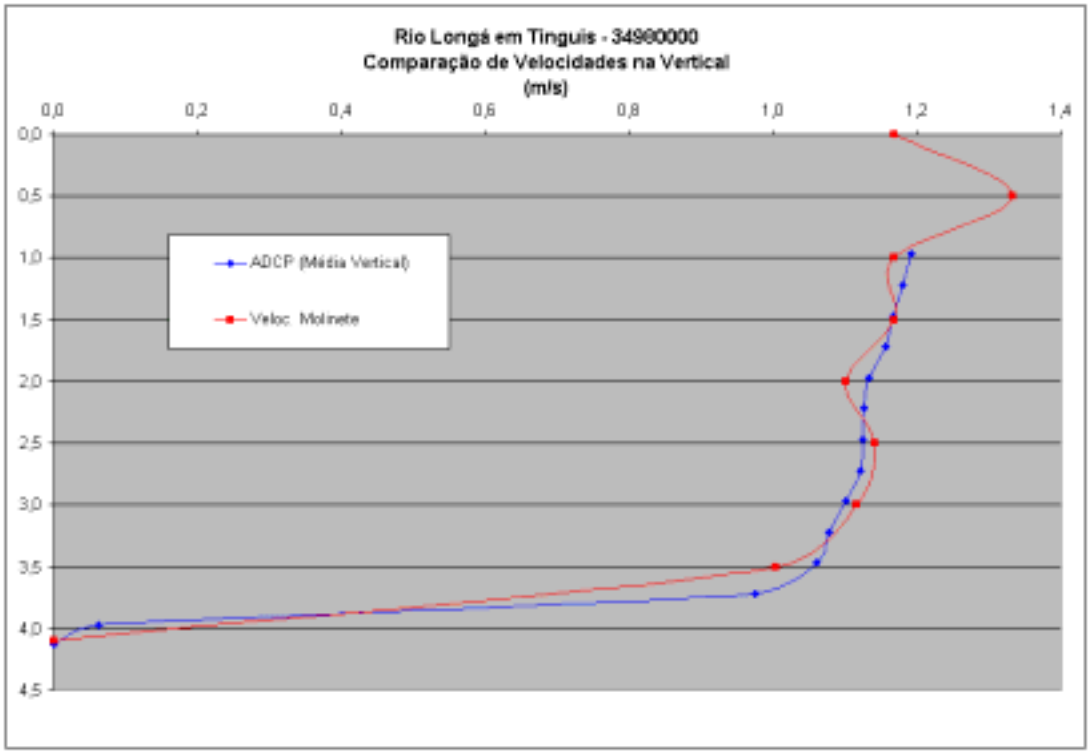

Figura 7. Comparação de Velocidade na Vertical (Estação Tinguis)

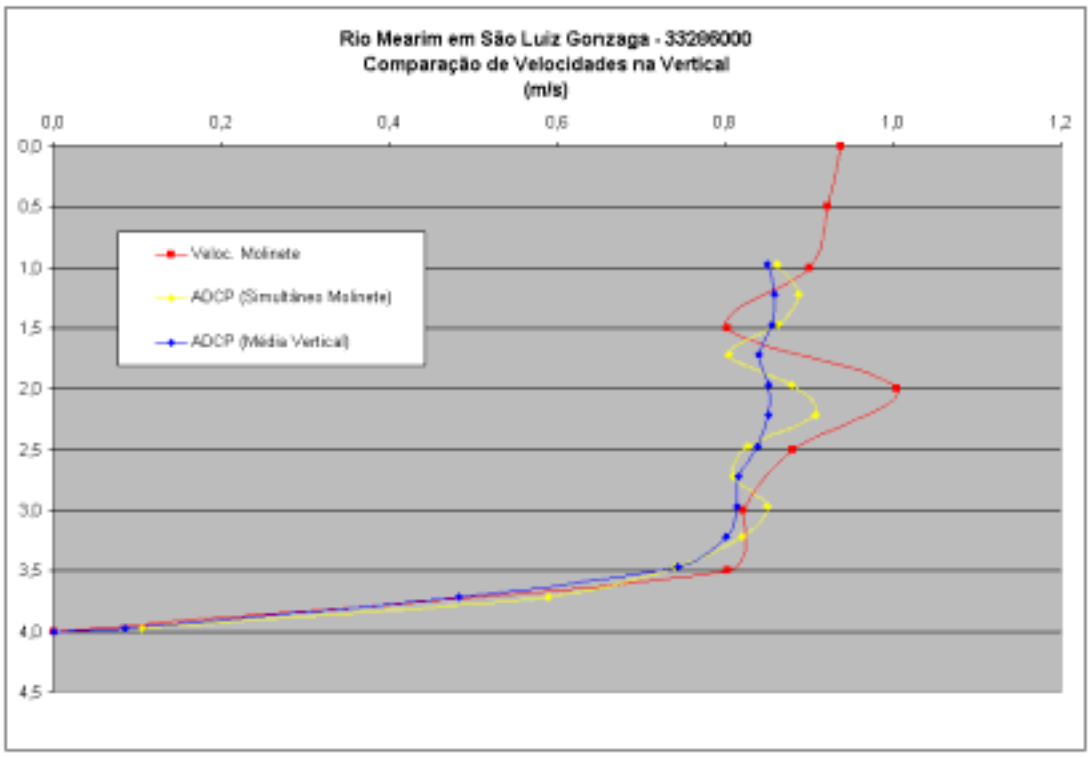

Figura 8. Comparação de Velocidade na Vertical (Estação São Luiz Gonzaga)

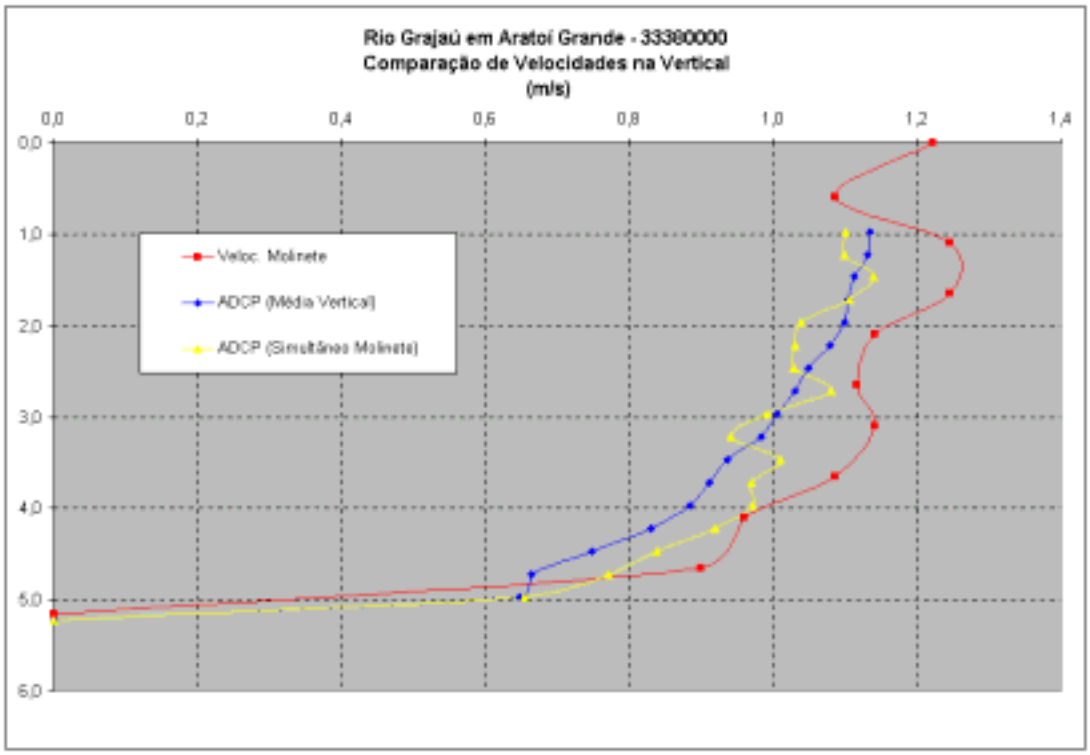

Figura 9. Comparação de Velocidade na Vertical (Estação Arotoí Grande)

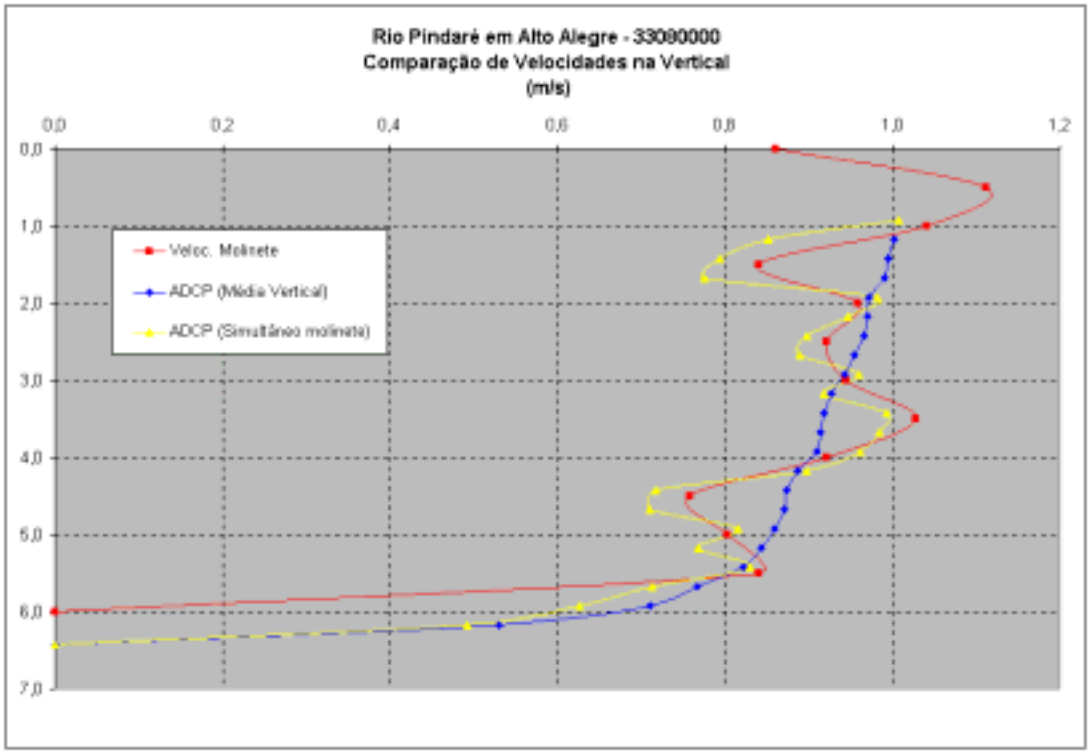

Figura 10. Comparação de Velocidade na Vertical (Estação Alto Alegre)

Nos gráficos acima é mostrado, para uma dada vertical da seção transversal (com a embarcação ancorada), as velocidades medidas com um molinete hidrométrico e a média das velocidades acusadas pelo ADCP, simultaneamente as medidas do molinete. É mostrado também a curva média das velocidades determinadas pelo ADCP durante todo intervalo de tempo em que o barco esteve ancorado. Esta curva apresenta-se bem mais uniforme do que as pontuais, indicando que a velocidade da corrente apresenta variações cíclicas ao longo do tempo, conforme é observado nas figuras 11 e 12.

Comparando-se a velocidade média na vertical, simultaneamente entre o molinete e o ADCP, obtida por ponderação, verifica-se que o molinete apresenta valores maiores que o ADCP. No entanto, como há pontos dispersos, e a faixa não amostrada pelo ADCP é relativamente grande, a comparação não é conclusiva, para efeito de correção nos resultados.

Tabela 1. Desvio entre Vel. ADCP e Vel. Molinete

Estação	Alto Alegre	Aratoí Grande	Cantanhede	São Luiz Gonzaga	Tinguis
Vel. Molinete	0,883	1,053	0,871	0,825	1,077
Vel. ADCP	0,849	0,983	0,841	0,809	1,038
Desvio (%)	-0,039	-0,066	0,034	-0,019	0,036

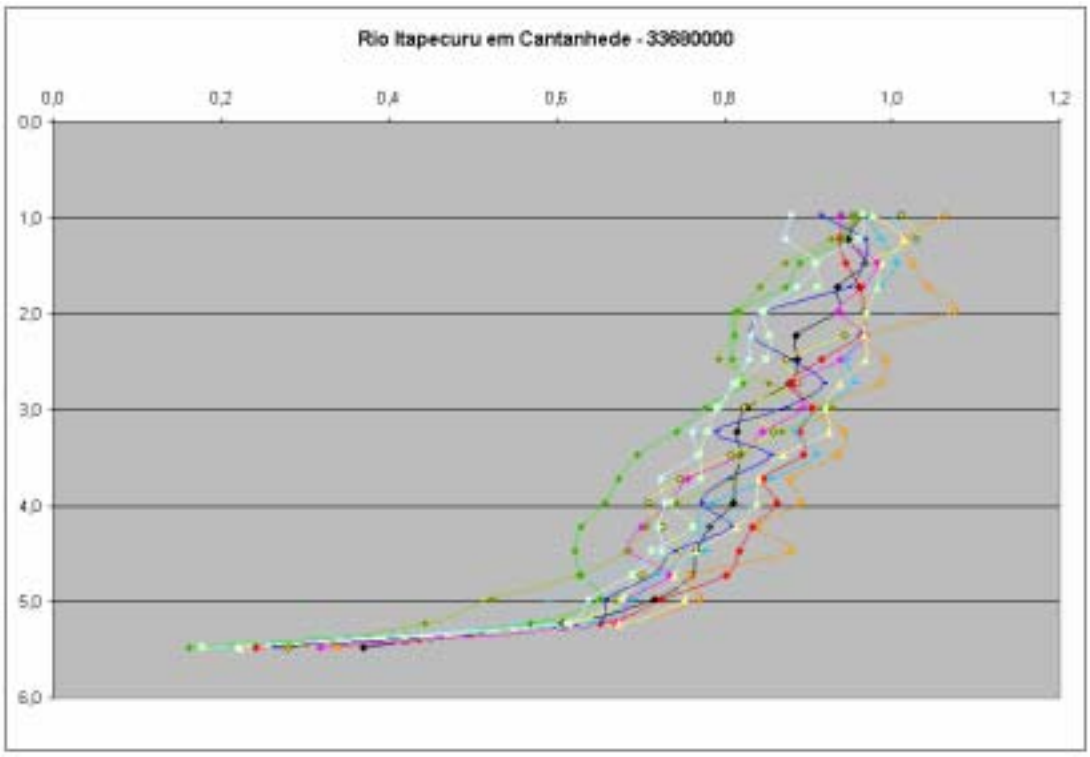

Figura 11. Velocidades Medidas com o Barco Ancorado (Estação Cantanhede)

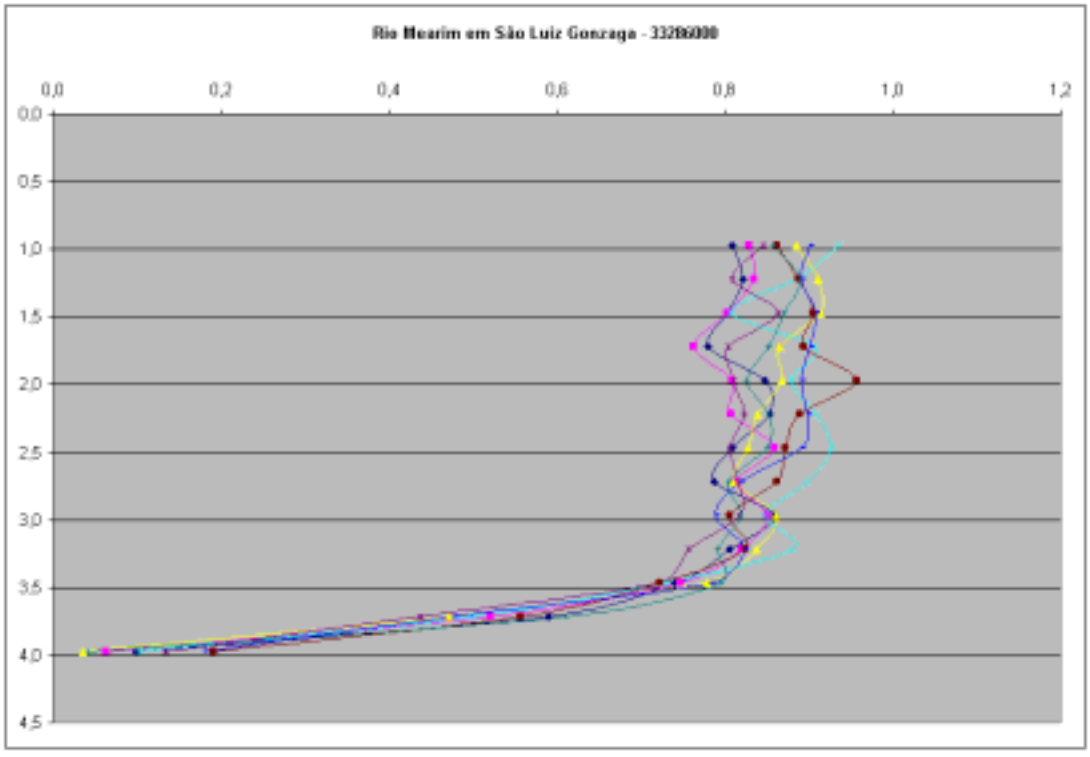

Figura 12. Velocidades Medidas com o Barco Ancorado (Estação São Luiz Gonzaga)

A título de curiosidade, mostramos nos gráficos acima a variação detectada pelo ADCP para a velocidade na vertical durante cada medida pontual efetuada com o molinete (em intervalos de 40s). Teoricamente a velocidade na vertical deveria ter uma conformação parabólica. Na prática, isso só ocorreu quando ampliamos o tempo de amostragem, como pode ser visto nas figuras 12 e 13. Como a

conformação parabólica também não ocorreu nas medidas com o molinete, deve-se pensar em aumentar o tempo das determinações pontuais de velocidade com molinete, que hoje usualmente é de 40 segundos.

Deslocamento Acusado pelo ADCP para o Barco Durante a Ancoragem

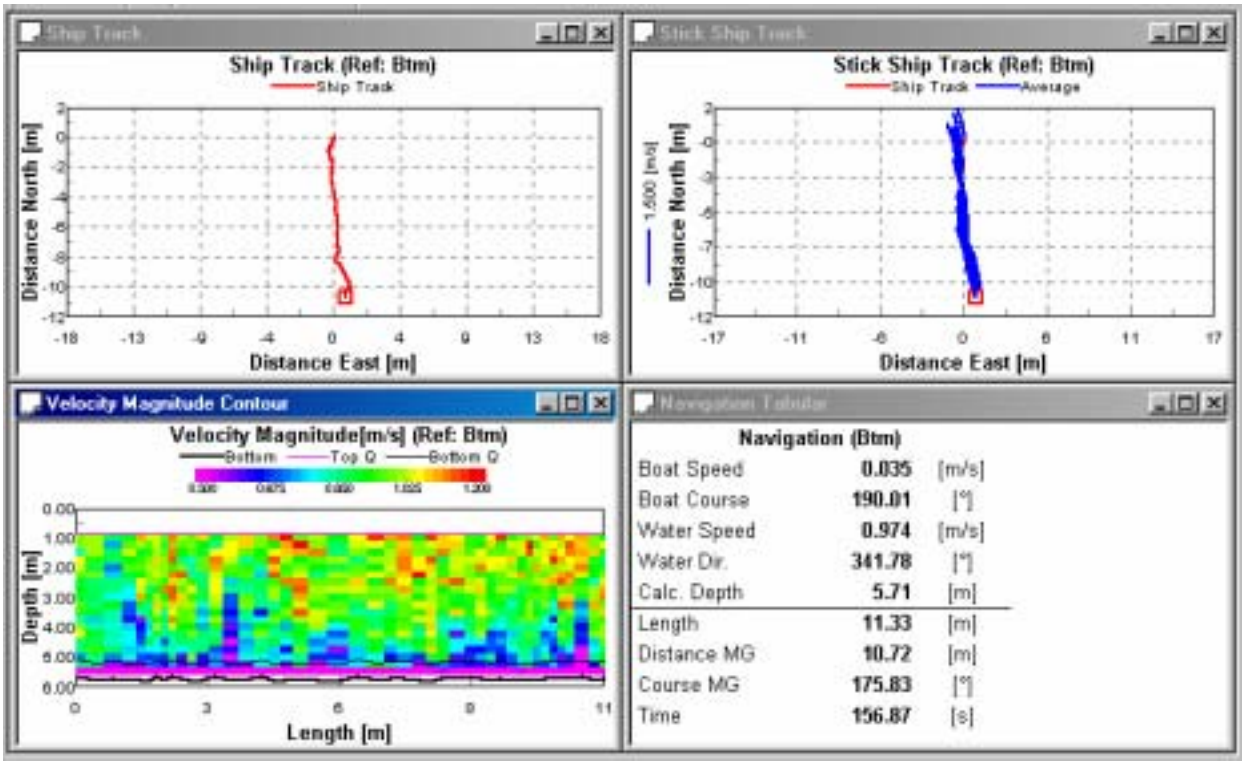

Figura 13. Rio Itapecuru – Estação Cantanhede

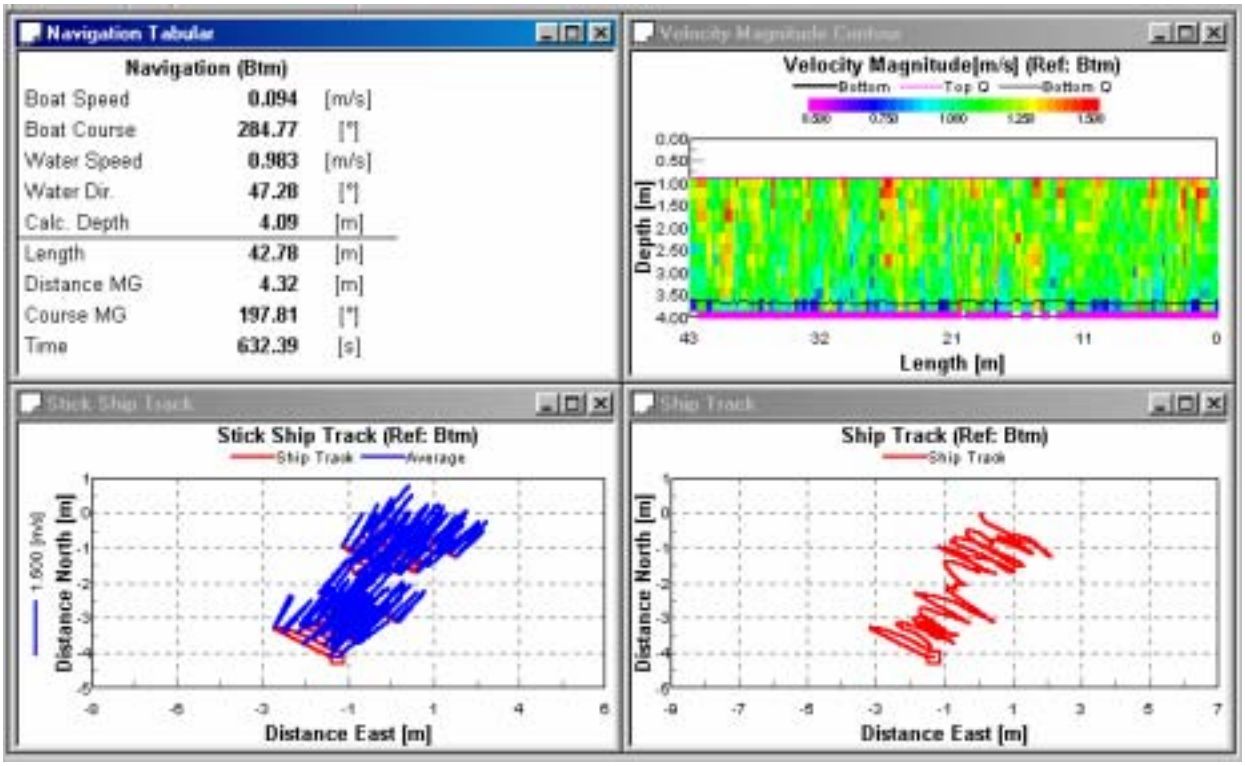

Figura 14. Rio Longá – Estação Tinguis

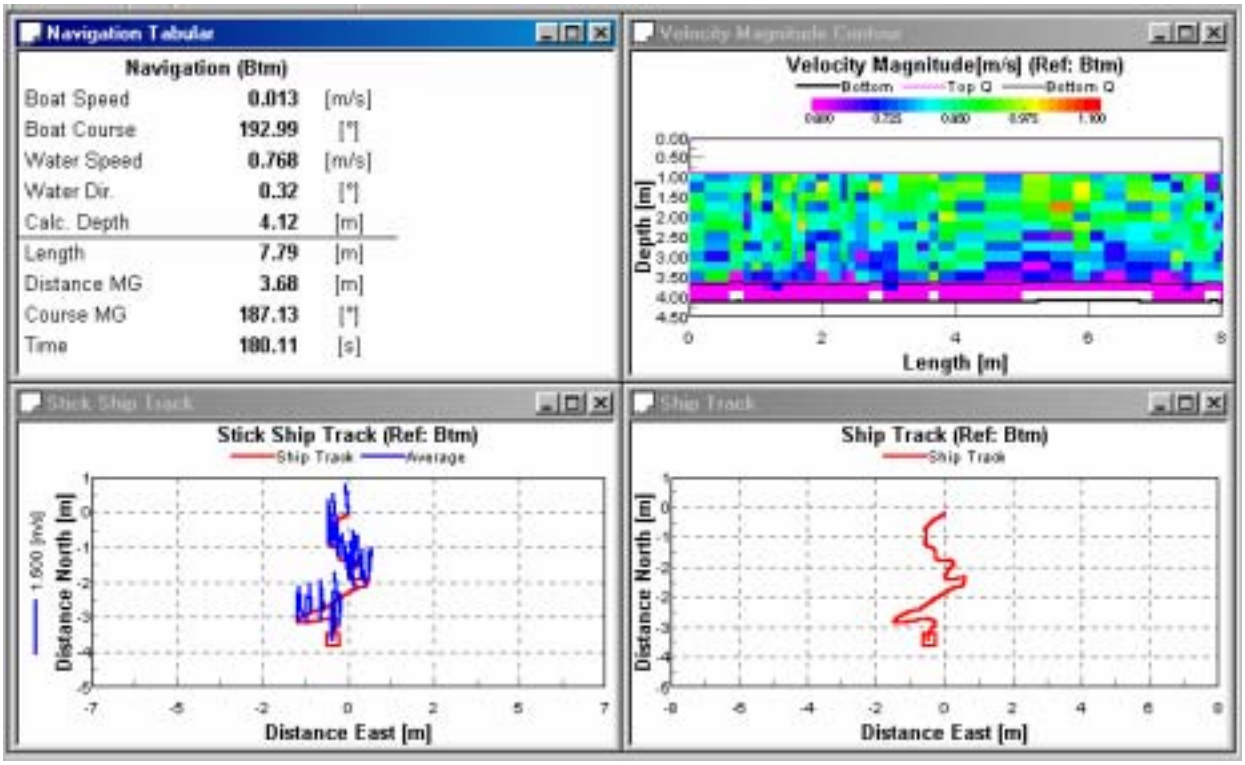

Figura 15. Rio Mearim – Estação São Luiz Gonzaga

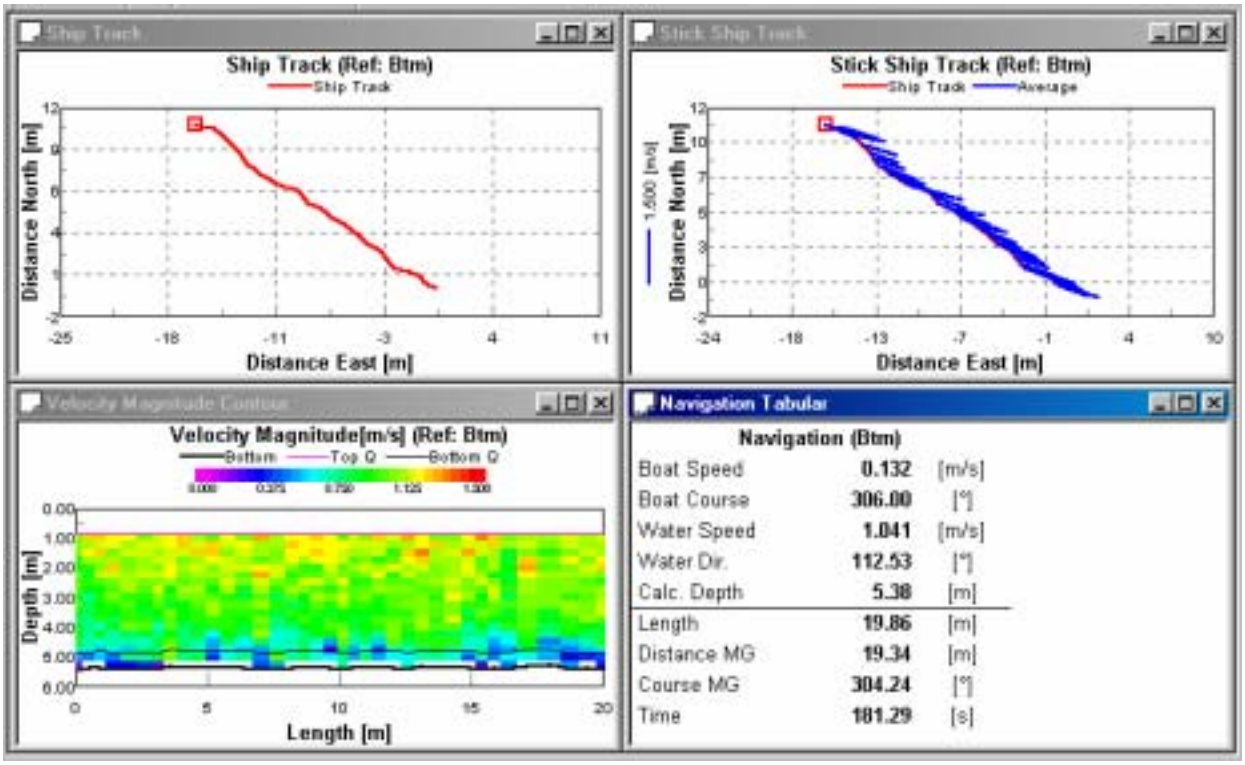

Figura 16. Rio Grajaú – Estação Aratoí Grande

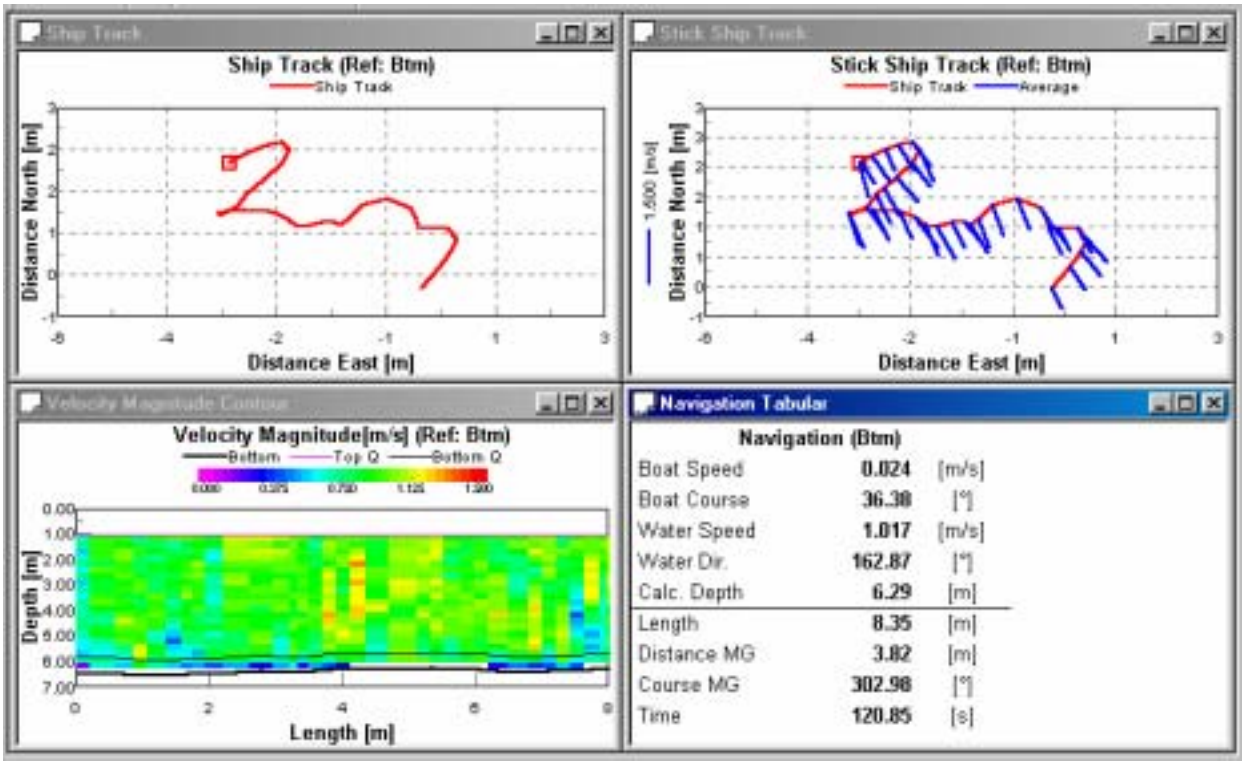

Figura 17. Rio Pindaré – Estação Alto Alegre

Nas figuras acima verifica-se que enquanto a embarcação se encontrava ancorada, o ADCP acusou um deslocamento, parte transversal, mas basicamente contrário ao sentido da corrente. Admitindo-se que não houve arraste da âncora, tal deslocamento deve corresponder ao movimento de partículas sólidas no fundo do leito do rio. A partir dos dados da distância percorrida e do tempo da medição apresentados no quadro "Navegation Tabular", pode-se calcular a velocidade média com que as partículas de fundo se deslocavam, como visto na tabela 2:

Tabela 2. Cálculo da Velocidade das Partículas do Fundo

Estacao	Distancia (m)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)
Cantanhede	10,72	156.87	0,068
Aratoí Grande	19,34	181,29	0,107
Tinguis	4,32	180,11	0,006
Alto Alegre	3,68	682,39	0,027
São Luiz Gonzaga	3,82	120,85	0,032

Com a velocidade média das partículas de fundo, pode-se corrigir as vazões medidas pelo ADCP:

Tabela 3. Correção da Vazão do ADCP

Estação	Data	Cota (cm)	Qcurva (m^3/s)	Q_{ADCP} (m^3/s)	Desvio	Área (m^2)	Vel. Barco (m/s)	$Q_{não medida}$ (m^3/s)	$Q_{total ADCP}$ (m^3/s)	Desvio
Cantanhede	02/05/03	502	423	359,8	-0,15	464,5	0,068	31,6	391,4	-0,07
Aratoí Grande	06/05/03	492	316	278,9	-0,12	338,5	0,107	36,2	315,1	0,00
Alto Alegre	05/05/03	557	347	348,0	0,00	478,0	0,027	12,9	360,9	0,04
S Luiz Gonzaga	08/05/03	435	205	210,2	0,03	283,5	0,032	9,1	219,3	0,07
Tinguis	28/04/03	262	599	630,7	0,05	590,0	0,006	3,5	634,2	0,06

Conforme se observa na tabela 3 acima, o desvio nas estações de Cantanhede e Aratoí Grande foi sensivelmente reduzido. Já para as demais estações, houve um pequeno aumento nos desvios, mas dentro da margem de erro admitida para as curvas-chaves. As estações medidas se situam em rios de planície, sendo um fato normal pequena dispersão no resultado das medições, causada pelas variações da declividade da linha d'água nos estágios de subida e descida das águas.

Avaliação da Travessia do Barco Ida e Volta

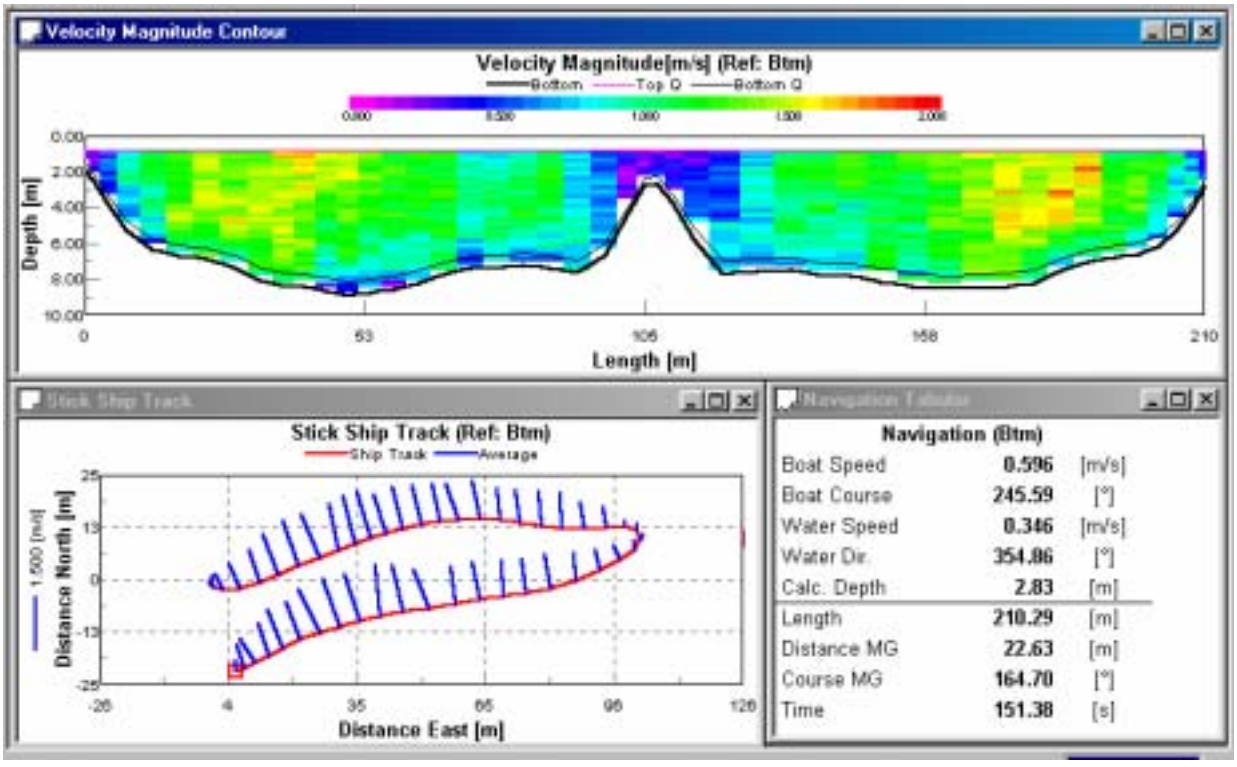

Figura 18. Rio Parnaíba em Fazenda Veneza – 34660000 - 08/04/2000 - Cota: 307cm

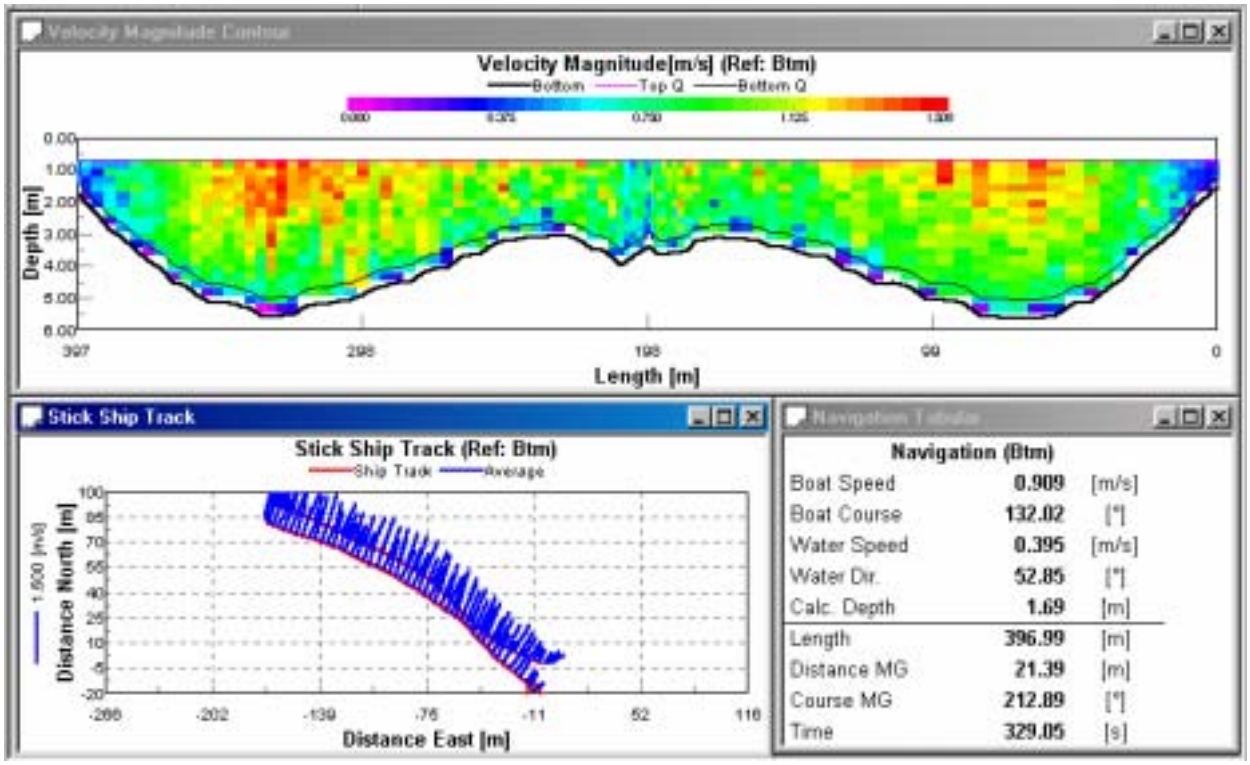

Figura 19. Rio Itapecuru em Cantanhede – 33680000 - 24/04/2001 - Cota: 786cm

Nas figuras acima são apresentadas duas situações de travessia ida e volta do rio, com funcionamento contínuo do ADCP e retorno ao mesmo ponto inicial. Nessa situação, a distancia determinada pelo ADCP deveria ser nula, não o sendo, essa distância pode ser atribuída ao deslocamento médio das partículas sólidas do fundo do rio durante o percurso da embarcação. Nesse caso, a velocidade média do fundo do rio seria:

Estação	Distância(m)	Tempo(s)	Velocidade (m/s)
Cantanhede	22,63	151,38	0,149
Faz. Veneza	21,39	329,05	0,065

No caso de Cantanhede, que corresponde a medição efetuada em 24/04/2001, na cota 786cm, a vazão medida pelo ADCP foi de 769m^3/s e a área da seção de 730m^2, enquanto a vazão obtida da curva-chave seria de 899m^3/s, correspondendo a um desvio de 17%. Se acrescentarmos, a vazão medida pelo ADCP, o produto da área da seção transversal pela velocidade média das partículas de fundo (730 x 0,149=109m^3/s) teremos uma vazão total de 878m3/s, redundando em um desvio pouco superior a 2% em relação a curva-chave.

Para Fazenda Veneza, apresentamos uma medição efetuada em 08/04/2000, na cota de 307cm. A vazão medida foi de 745m^3/s e a área da seção transversal de 801m^2, enquanto a vazão obtida da curva-chave seria de 796m^3/s. Acrescida da vazão não medida pelo ADCP, devido ao

movimento do fundo (801 x 0,065 = 52m^3/s), teríamos uma vazão total de 797m^3/s, praticamente igual a obtida pela curva-chave.

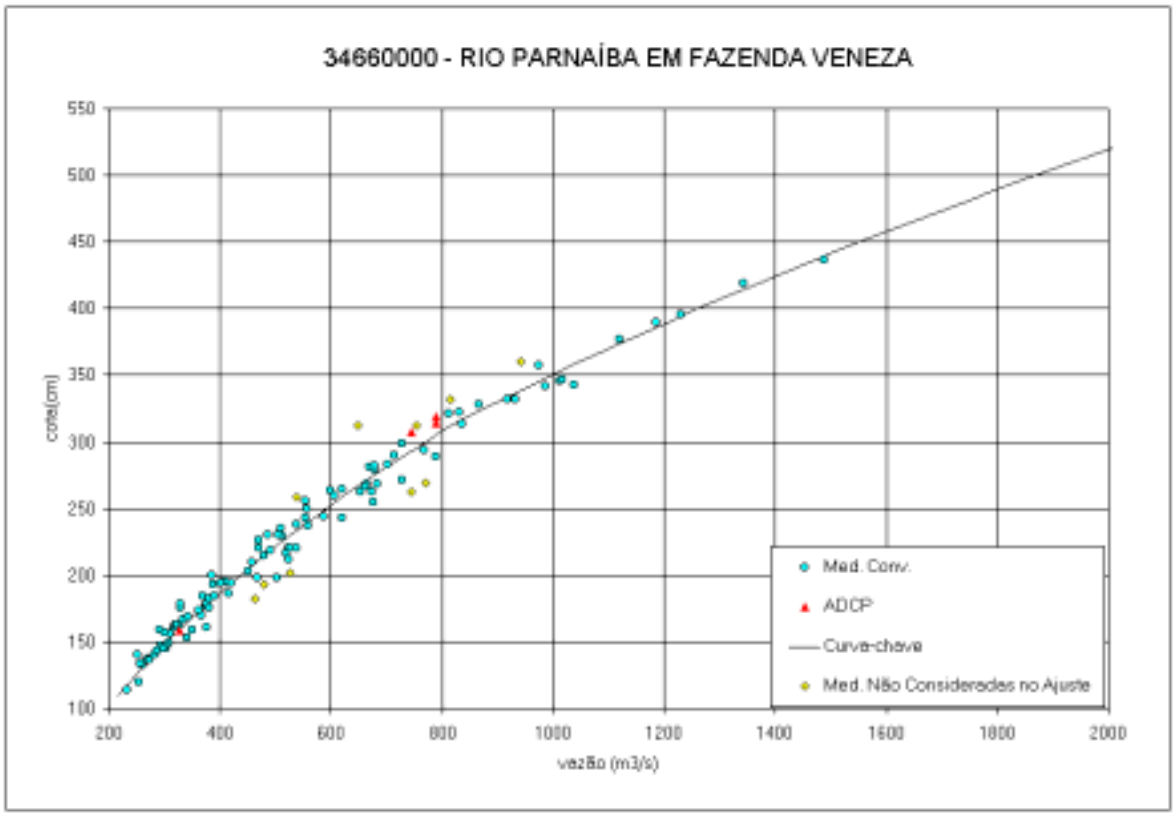

Figura 20. Comparação de Vazões (Estação Fazenda Veneza)

CONCLUSÕES

A rapidez e a facilidade operacional na execução de medições de descarga com o ADCP o tornam um equipamento de fundamental importância para a definição de curvas-chaves, especialmente em seu trecho superior, onde as medições pelos processos convencionais nem sempre são possíveis, dada a dificuldade de estabilizar a embarcação e pelo risco que apresenta aos operadores. O uso intensivo do ADCP minimizaria a faixa extrapolada das curvas de calibragem, aumentando a precisão das séries de vazões, principalmente em seus valores máximos.

Deve ser avaliada, porém, a influência do "fundo móvel" nas vazões medidas e as formas mais práticas para correção nos resultados. É necessário, também, pesquisar os módulos e configurações do equipamento mais adequados a cada situação.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de campanhas normais de medição de vazão, mais por curiosidade do que com uma pretensão conclusiva sobre o tema. Mas os resultados obtidos indicam que a estabilização do barco para medir seu deslocamento aparente e a travessia ida e volta com retorno ao ponto inicial (com funcionamento contínuo do aparelho) são métodos satisfatórios

para a correção das vazões medidas. No caso da estabilização do barco, o tempo da medição deve ser ampliado (SIMPSON recomenda 10 minutos). No caso de travessias ida e volta, estas devem ser multiplicadas para se obter uma média dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUYOT J.L, GUIMARÃES V. S., FILIZOLA N. P. – Medição de Vazão em Grandes Rios, Uso do Perfilador Doppler – Acústico de Corrente. O Estado das Águas no Brasil.ANEEL, 1996.

SIMPSON M.R – Discharge Measurement Using an BroadBand Acustc Doppler Current Profiler. USGS, Sacramento. Califórnia, USA, 2001

RD Instruments, Direct Reading BroadBand Acoustc Doppler Corrent Profiler, Technical Manual, San Diego - Califórnia, USA, August.1995.

RD Instruments, User's Manual for The RD Instrument Transect Program (For Use with BroadBand ADCP). San Diego – Califórnia, USA, July.1994.