

MEDIÇÃO DE VAZÃO PELO MÉTODO ACÚSTICO DOPPLER (ADCP) - AVANÇADO

Professor Paulo Everardo Muniz Gamaro

UNIDADE 1 OPERAÇÕES BÁSICAS DO ADCP COM FUNDO MÓVEL

APRESENTAÇÃO

Prezado aluno

O curso ADCP avançado é uma sequência do curso ADCP básico e em essência contribui, de forma mais aprofundada, com a melhoria da sua performance profissional em atividades de campo, considerando a utilização de tecnologias de medição com enfoque mais preciso e de maior alcance.

Nesta unidade de estudos online, correspondente a 12h, denominada Operações Básicas do ADCP com Fundo Móvel, você tem acesso a informações sobre modos de operação que o ajudarão a ter “terreno” para melhor sustentar as suas atividades em campo. Assim, para esta unidade de estudos online pretende-se que você seja capaz de:

- Explicar os modos de operação do ADCP;
- identificar a presença de fundo móvel;
- eleger corretamente o método para aplicação de fundo móvel;
- interpretar as variáveis relacionadas a medições com DGPS e ecobatímetro.

Bom estudo!

1 MODOS DE OPERAÇÃO DO ADCP¹

Uma das primeiras referências da existência de som sob a água se encontrou em anotações do grande gênio arquiteto e engenheiro Leonardo da Vinci em 1490 com o seguinte: "... se você faz sua embarcação parar, coloca um tubo com a uma extremidade na água, e a *outra extremidade em seu ouvido, você ouvirá navios a grande distancia de você*".

A partir desse registro pode-se afirmar que gradativamente o ser humano foi buscando formas de identificação de sons e desenvolvendo tecnologias para tal fim. Atualmente as exigências em relação aos modos de operação se apresentam com maior nível de exigência em termos de precisão e, em decorrência de tais exigências, cada vez mais a tecnologia vem sendo uma aliada aperfeiçoando ou criando instrumentos com vistas à agilidade e precisão de medições.

O ADCP é um dos exemplos de avanço da tecnologia no campo das medições, ou seja: é um equipamento acústico de medição de vazão que utiliza o efeito Doppler (mudança observada na frequência de uma onda qualquer resultante do movimento relativo entre a fonte e o observador) transmitindo pulsos sonoros de frequência fixa e escutando o eco que retorna das partículas em suspensão (sedimentos e plâncton). Estes materiais, na média, movem-se com a mesma velocidade da massa da água em que se encontram.

Por essa perspectiva de desenvolvimento e suporte tecnológico, aliam-se métodos de trabalho e, em especial aqui, a abordagem tem como foco o método *Broadband* cujo objetivo deste (método) é o de calcular a velocidade da água com o efeito *Doppler*.

BroadBand

São sistemas coerentes que processam mudança de fases do retorno de sucessivos pulsos e, utilizam series de pulsos n'água ao mesmo tempo. A precisão e faixas de medição são extremamente dependentes da configuração selecionada pelo usuário.

O sinal *BroadBand* por exemplo, é bastante complexo e amplo. Ele não possui uma única maneira de se medir com qualidade nos diferentes ambientes que encontramos na natureza, especialmente em águas rasas. Isso requer o uso diferenciado dos diversos modos de operação para diferentes ambientes e características físicas dos rios entre outros.

Equivale dizer, por exemplo, ao se comparar com as marchas de um carro, se diminuimos a marcha ganhamos força e perdemos velocidade, e vice-versa. Neste caso, se ganhamos precisão e qualidade, perdemos alcance.

¹

Apenas para equipamentos da RDI.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Há vários modos de operação disponíveis para os equipamentos da RDI, mas nem todos os ADCPs possuem todos. Os BroadBands (laranjas) antigos considerados de primeira geração, se utilizavam dos processamentos *Phase II* e *Phase III* e possuíam quatro modos e além destes, haviam mais alguns experimentais (1, 4, 5, 6, 8, 7). Já com a segunda geração, a linha *WorkHorse*, estes modos foram aprimorados e mantidos apenas os realmente utilizáveis.

O modelo “Rio Grande”, já vem de fábrica com os modos para água 1, 5 e 8. A partir da versão 10.13 do Firmware, outros modos ficaram disponíveis, como o 11 e 12, sendo que este último precisa ser adquirido através de compra. Para Firmwares anteriores a versão 5.55, é necessário inserir o comando BR0, porque o BR2 pode causar problemas no *BottomTracking*².

Já a linha *WorkHorse* “Monitor” tem apenas o modo 1, uma vez que é mais utilizado em operações estáticas para estudo de correntes em baías e estuários. Mas se possuir o *BottomTracking*, que precisa também ser adquirido, este deve possuir os modos 1, 4, 5 e 8 para os *Firmwares* anteriores a versão 8.27. As versões posteriores possuem apenas os modos 1, 5 e 8, mas é possível adquirir o 11 e 12. Os modos de fundo todos utilizam o BM 5 podendo ser adquirido o modo 7 para o Rio Grande, indicado na frequência 1200 kHz apenas.

Tipos de Equipamentos e Modos

A Tabela 0.1 indica os modos de operação disponíveis para cada tipo de equipamento da RDI.

Tabela 0.1: Modos de operação disponíveis³

Mode	Broadband	Rio Grande	Workhorse
WM 1	X	X	X
WM 5	X	X	X ¹
WM 8	X	X	X ¹
WM 11		10.13 or >	?
WM 12		10.13 or > ²	?
BM 5 (0-4)	5.xx and >	X	?
BM 7		10.13 or > ²	?

Fonte: USGS (2003).

² Salientamos que a última versão do firmware deve ser sempre atualizada no equipamento.

³ X¹ e X²: apenas se adquirido separado para cada equipamento.

Funcionamento dos Modos

As mudanças dos modos de operação são feitas através do comando WM acrescentado do número do modo. Exemplo: WM1 para modo 1.

1.1.1. Modo 1

É o modo mais robusto, isto é, cobre a maior parte das aplicações, recomendado para locais com turbulência, altas velocidades e mudanças de profundidade bruscas. Sua faixa de operação teórica varia entre 1 e 60 metros⁴, e velocidades ± 10 m/s. Seu comando mais importante é a velocidade ambígua (WV), que pode ser definida como a velocidade relativa máxima que o ADCP mede em outras palavras a velocidade do barco mais da água, que pode conservadoramente ser calculada pela fórmula abaixo:

$$V_a = (V_{wmax} + V_{bmax}) \cdot \text{sen}(20) \cdot 1.5 \quad (32)$$

Ou ainda,

$$V_a = (V_{wmax} + V_{bmax}) \cdot 0.51^5 \quad (33)$$

Mas como um dos cuidados para uma boa medição, é necessário que a velocidade do barco, dentro do possível, não exceda a velocidade da água, então:

$$V_a = V_{wmax} \text{ ou } V_a = V_{bmax}, \text{ O que for maior} \quad (34)$$

Em que:

V_a = velocidade relativa

V_{wmax} = velocidade máxima da água

V_{bmax} = velocidade máxima do barco

Abaixo, inseriu-se a tabela 02, indicativa dos valores mínimos das células, alcance de perfilamento nominal e a velocidade máxima relativa para o WorkHorse Rio Grande. O cálculo do Desvio Padrão do modo 1 é função da frequência, tamanho da célula, frequência maiores em geral tem maior consistência nas medições, e maiores células diminuem o desvio padrão. Os alcances por modo e frequência podem ser vistos na tabela abaixo.

⁴ Workhorse 600 kHz.

⁵ No sistema internacional SI (m/s).

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Tabela 0.2: Valores mínimos das células para o alcance de perfilamento nominal.

Water Mode	1200 kHz	600 kHz	300 kHz	Remarks
<i>Minimum Recommended Depth Cell Sizes, in centimeters</i>				
1	25	50	100	
5	5	10	20	
8	5	10	20	
<i>Maximum Profiling Ranges, in meters (feet)</i>				
1	20 (66)	60 (197)	130 (426)	Nominal range
5	4 (13)	8 (26)	16 (53)	Maximum range
8	4 (13)	8 (26)	16 (53)	Maximum range
<i>Maximum Relative Velocities, in meters/sec (feet/sec)</i>				
1	10 (32.8)	10 (32.8)	10 (32.8)	
5	0.5 (1.64)	1.0 (3.28)	1.0 (3.28)	
8	2 (6.56)	2 (6.56)	2 (6.56)	

Fonte: USGS (2003).

Modos de alta resolução

Os modos de alta resolução, são aqueles que por suas características de processamento do sinal singular, permitem medir os perfis com uma maior resolução, quer seja vertical, quer seja no bin, porém tem a desvantagem de serem mais frágeis, isto é, mais propensos a erros devido ao ambiente da medição. São eles: os modos 5, e 11. Suas vantagens são medir em ambientes mais rasos por medirem mais perto do transdutor (5 e 11), e terem Desvios Padrão muito menores que os outros modos (Tabela 0.3).

Os modos chamados de alta resolução (5 e 11) na realidade se utilizam do processamento pulso a pulso, de alta precisão e resolução, e de menor desvio padrão. No entanto, são os modos mais frágeis e mais sensíveis, por isso requerem ambientes tranquilos para medir.

Entenda-se tranquilo como sendo águas sem muita turbulência, leitões sem muita rugosidade, e velocidade e profundidades limitadas.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Tabela 0.3: Tabela Sugerida para os modos de alta resolução no lugar da Tabela 0.4

Mode	Bin Size (cm)	Pings/sec	Single-Ping Standard Deviation	1-Second Standard Deviation	Minimum Depth (2cells)
1	50 (25)	2	18 cm/s	12.7 cm/s	2.32 (1.39) m
5	10 (5)	2	0.4 cm/s	0.3 cm/s	0.67 (0.67) m
11	10 (5)	2	0.4 cm/s	0.3 cm/s	0.67 (0.51) m
12	50 (25)	15	18 cm/s	2.6 cm/s	2.32 (1.39) m
12	25 (12)	15	36 cm/s	9.3 cm/s	1.39 (0.91) m

Fonte USGS (2003).

Tabela 0.4: Tabela excluída do novo manual

	Mode 1	Mode 5	Mode 8
Typical application	Fast water of all depths. Rough and dynamic situations. Good in streams too fast or deep for modes 5 & 8.	Slow, shallow streams with velocities < 0.5 m/sec with low shear and/or turbulence.	Shallow streams with velocities < 1 m/sec and with moderate shear (rough bed) and/or turbulence. Works in shallow water where mode 5 does not work well.
Minimum recommended cell size (meters)	0.50* 0.25	0.10 0.05	0.10 0.05
Recommended Cell Size (meters)	0.50 0.25	0.10 0.05	0.10 0.05
Single ping standard deviation (cm/s) (using rec. cell size)	18.0 18.0	0.3 0.4	5.2 7.8
First range cell (meters)	0.87 0.56	0.50 0.35	0.50 0.35
Minimum profiling range (meters)	1.7 1.0	1.6 0.9	0.9 0.6
Maximum profiling range (meters)	45 12	7.0 3.5	7.0 3.5
Maximum relative velocity (m/s)	10 m/sec	0.5 m/sec	1 m/sec

~~*600 kHz values are in bold font, and 1200 kHz values are in regular font. Specifications are for 25 cm blank, 10° C temperature, and 0.0 ppt salinity.~~

Fonte: RDInstruments, (1989).

1.1.2. Modo 5

É um modo coerente pulso a pulso, ou seja, os pulsos são virtualmente independentes, o processamento do sinal ocorre entre os pulsos, logo o Lag é igual à profundidade. Então a velocidade ambígua varia com a profundidade. O processamento pulso a pulso se utiliza do Phase Shift, que como vimos é muito preciso, mas está limitado pelo Lag e pela velocidade ambígua (

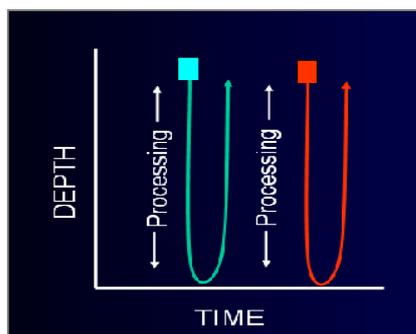
Figura 0.1).

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

O comando da velocidade ambígua máxima aqui é o WZ devendo ser deixado 5 cm/s. Ao se aplicar a equação 35, com $V_{amb} = 0,05\text{m/s}$ do comando, obteremos o lag perto de 8 metros, que é a profundidade máxima para este Modo para um sistema de 600 kHz.

É importante que o BottomMode seja o 5 (BM5), pois o ADCP usa o pulso de fundo para determinar a profundidade e estabelecer o “Lag”. Um exemplo para mostrar que a velocidade ambígua máxima varia com a profundidade é com a mesma fórmula calcular-se a V_{amb} para a profundidade de 2 metros e encontrar $0,2\text{ m/s} \neq 0,05\text{ m/s}$.

Figura 0.1: Processamento dos pulsos dos modos 5 e 11.



Vimos que mesmo com a velocidade ambígua igual a $0,05\text{ m/s}$ o modo 5 mede velocidades perto de 1m/s na sua profundidade máxima, isto é possível porque o modo 5 utiliza uma medição estimativa da velocidade ambígua em uma porção da vertical chamada “ AmbiguityResolvingBin”ou ARB.

Esta medição é feita usando “Time Dilation” que é uma medição sem problemas de ambigüidade, mas com muito ruído e imprecisa, e usa esta velocidade para estimar a velocidade da célula mais próxima do centro da ARB⁶. É usada como velocidade de referência, isso essencialmente mostra onde pode ocorrer mudança de fase.

Os modos 5 e 11 usam a procura célula a célula que com a velocidade de referência e a velocidade ambígua estabelece a faixa de velocidades permitida para cada célula.

Cálculo da velocidade ambígua bin a bin:

Utiliza a velocidade de referência e velocidade ambígua da célula de resolução de ambigüidade (ARB) para estabelecer as velocidades permitidas para cada célula (bin). A velocidade de referência é igual ao quociente entre a velocidade medida e o “Time Dilation”.

⁶ ver posição do ARB no modo 11.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Exemplo: Velocidade de referência = 20 cm/s os limites de velocidade possível de ser medida no bin por "Phase Shift" serão a velocidade de referência \pm a velocidade ambígua ($WZ=0,05$ m/s): logo, entre 15 e 25 cm/s. Para as células seguintes imediatamente próximas a velocidade de referência usada é 75% da velocidade da ARB e 25% da medida.

No caso de uma das células possuírem erro de velocidade ambígua, isto não é um problema desde que as outras células não o tenham, pois a velocidade do ensemble será a média. Portanto, os erros que aparecem serão devido unicamente ao erro da ARB que quando acontece da bad em todo o ensemble. O ARB requer local de baixa turbulência, alta correlação e alta amplitude de retorno.

O volume de água usado pelo Modo 5 é muito menor que do Modo 4 ou 1, ou não poderia medir em rios rasos. Para os antigos BroadBand (BB) necessita ter entre 0,26 e 4 metros, já para o Rio Grande, entre 0,26 e 0,5 metro. A profundidade de água usada é dependente da profundidade do perfil (vertical). Para o BB que usa um volume de água maior, fica mais aberto a erros causados pela turbulência e/ou variações naturais de velocidade. O volume menor usado pelo Rio Grande o torna mais robusto para locais mais rasos.

O limite de velocidade da água para o modo 5 é de 1 m/s devido à susceptibilidade do "Time Dilation" a ruídos, por isso um limite foi colocado no Modo 5, vinte e duas vezes o WZ , em outras palavras 1m/s. Isto é questionável, pois há situações que mede velocidades maiores.

Há um bug no modo 5, onde se o número de células (bins) multiplicado pelo tamanho do bin for menor que o total do lag do perfil, o perfil no fundo e top são constantes e o meio do perfil da "bad".

$$V_a = \frac{C^2 \cdot \cos \theta}{8 \cdot F_s \cdot L} \quad (35)$$

Em que:

V_a = Velocidade ambígua (m/s)

C = Velocidade do som (m/s)

F_s = Frequência (Hz)

L = lag (m)

Resumo do Modo 5:

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

- Verdadeiro Modo coerente pulso a pulso;
- Pulsos são virtualmente independentes;
- Ocorre processamento entre (sub) pulsos;
- Necessita velocidades muito baixas;
- Velocidade ambígua varia com a profundidade;
- Desvio Padrão muito Baixo;
- Cálculo da velocidade ambígua célula a célula;
- Não funciona em locais com turbulência.

Desvio Padrão do *Modo 5*

A precisão da medida da velocidade é função da razão entre a variação de fase pela variação do tempo (equação 36). Como o modo 5 tem um “Lag” muito longo é muito preciso e pode chegar a ser 2 ordens de magnitude mais preciso que o modo 1 e uma ordem mais precisam que o modo 8. Veja abaixo, a

Tabela 0.5 do fabricante.

Tabela desvio diferentes operação.

	Mode 1	Mode 5	Mode 8
Typical application	Fast water of all depths. Rough and dynamic situations. Good in streams too fast or deep for modes 5 & 8.	Slow, shallow streams with velocities < 0.5 m/sec with low shear and/or turbulence.	Shallow streams with velocities < 1 m/sec and with moderate shear (rough bed) and/or turbulence. Works in shallow water where mode 5 does not work well.
Single ping standard deviation (cm/s) (using rec. cell size)	18.0	0.3	5.2 Questionável 7.8

0.5: Valores para o padrão para os modos de

Fonte: RDInstruments (1996).

$$\frac{d\Phi}{dT}$$

(36)

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

1.1.3. Modo 8

Apesar de não ser um modo de alta resolução, identificou-se como necessário agrupá-lo neste contexto, uma vez que suas medições são normalmente nos mesmos ambientes que se necessitam os modos deste grupo.

Idêntico ao modo 5 a única diferença é a maneira como o eco do sinal é processado, o que faz uma grande diferença. O modo 8 usa apenas o “Time Dilation” e por isso tem desvio padrão maior, apesar do modo 8 poder operar em locais de maior turbulência. A tabela -0.6 apresenta os desvios padrões dos Modos 5 e 8.

Para se conhecer os valores, deve-se verificar a Tabela 0.3. Esta apresenta correções para o menor tamanho de célula, conforme etiqueta inserida (dados em vermelho na Tabela 0.4). A velocidade máxima permitida pelo modo 5 também é questionada e deve sempre se tentar medir antes de optar pelos modos 1 ou 8, mostradas nestas tabelas.

Algumas tabelas nos manuais mais novos foram simplesmente retiradas, indicando que não devem mais ser seguidas (Tabela 0.4) ou seguidas com cuidados. Neste caso, sugerimos utilizar os valores da tabela aqui inserida com correção (Tabela 0.3).

Tabela 0.6: Desvio padrão para os modos 5 e 8 versus a velocidade relativa e o intervalo do perfil

Frequency (kHz)	Relative Water Velocity (Water + ADCP)	Maximum Profiling Range (m)		Standard Deviation (cm/s)	
		Mode 5	Mode 8	Mode 5	Mode 8
600 kHz (25cm Cell Size)	50 cm/s	7.0	7.0	0.3	3.0
	100 cm/s	6.9	7.0	0.5	5.2
	200 cm/s	2.3	6.3	1.4	16.5
1200 kHz (10cm Cell Size)	50 cm/s	3.5	3.5	0.4	4.7
	100 cm/s	3.5	3.5	0.7	7.8
	200 cm/s	-	3.3	-	24.7

Fonte: RDINSTRUMENTS (1999).

Resumo do Modo 8:

- Similar ao modo 5
- Mede a velocidade usando o Time Dilation;
- Não tem problemas de ambigüidade;
- Potencialmente maior possibilidade para grandes erros de velocidade;

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

- Desvio Padrão aproximadamente 10 vezes maior que modo 5;
- Pode funcionar onde modo 5 falha.

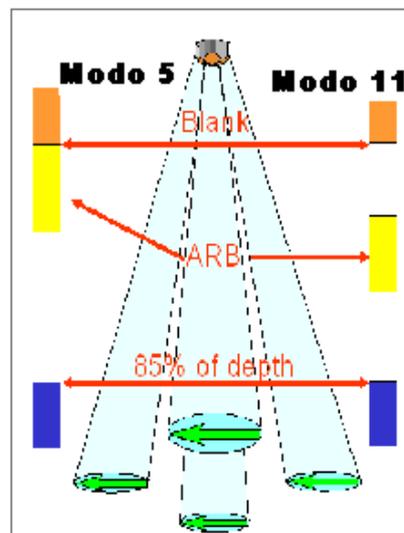
1.1.4. Modo 11

Funciona de maneira similar ao modo 5, com pulsos independentes, $TL = \text{Lag} = \text{profundidade}$, mede mais perto dos transdutores que o modo 1 e 12. Tempo de residência dos *scatters* é importante, logo a velocidade relativa deve ser baixa. Calcula a ambigüidade com *Time Dilation*, e requer baixa turbulência. Suas diferenças são na posição do ARB.

Comparação da “ambiguity resolving beam”(ARB)

A Figura 0.2 abaixo, mostra a posição do ARB para os modos. A posição do modo 11 é mais representativa do perfil.

Figura 0.2: Posicionamento ARB para os modos 5 e 11



Fonte: USGS (2003)

O ARB do modo 5 se inicia logo após o *blanke* vai até 0,6 m ou 85% da menor profundidade medida pelos 4 feixes no perfil, o que for menor. Já o ARB do modo 11, se localiza no máximo a 2,3m de profundidade, e a meia distância entre o blank e 85% da menor profundidade medida pelos feixes no perfil. Ambos não têm ARB em profundidades menores que 0,3 metros.

Outra fundamental diferença é que no modo 5 se não for possível medir o ARB ele não mede de forma nenhuma (mostra *bad ensemble*), já o modo 11 se não consegue a

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

velocidade de referência mede ignorando-a, mas fica vulnerável a erros de ambigüidade. Em síntese o modo 11 move o ARB para perto do meio da profundidade do perfil. Permite medir em modo coerente 5/3 mais fundo que o modo 5.

A experiência adquirida com os modos de alta resolução, tem se baseado no uso de um ADCP de 600 kHz. O modo 5 tem realmente correspondido e por vezes ultrapassado certos limites dentro de determinadas condições. Já o modo 11 apresenta sempre um grau mais alto que o esperado de descorrelação junto ao fundo, acarretando com isto uma maior área extrapolada.

1.1.5. Modo 12

O modo 12 funciona de maneira similar ao modo 1 com vários pulsos por ensemble, com algumas vantagens adicionais e uma desvantagem. Por exemplo, Em dois ensembles de um pulso no modo 1: primeiro são lidos os sensores de direção, pitch, roll e temperatura, o pulso é enviado, o retorno do eco é processado, o dado é transformado nas coordenadas xyz, e finalmente o dado é enviado ao PC, só então o mesmo processo começa para o segundo ensemble de um pulso.

Para o ensemble do modo 1 de vários pulsos, mostrando aqui com dois pulsos, o processo é similar exceto no final do primeiro pulso em que os dados não são enviados ao PC. Ao invés disto, no fim do processo do segundo pulso é tirada a média dos dois pulsos para só então ser enviada ao PC.

O modo 12 é um modo de alta resolução que pode alcançar altas taxas de pulso por segundo (20Hz) com isto obter mais amostras e reduzir o ruído nas medições de velocidade utilizando células menores que as permitidas normalmente para cada frequência.

Este modo, apenas toma amostras dos sensores no começo do pulso então processa os dados de um número específico de sub-pings (na realidade modo 1 de sub-pings). A diferença para um ensemble de múltiplos pings do modo 1 esta em:

- Pulsar mais rápido;
- É tirada a média dos pulsos antes da transformação, isto reduz a chance de erros de ambigüidade;
- Os sensores são lidos apenas uma vez.

A desvantagem é este último, em que devemos tomar o cuidado na medição para que estes sensores não se modifiquem, isto inclui evitar ondas ou movimentação dentro do barco, velocidade do barco o mais constante possível etc.

Visualização da alta taxa no modo de Pulso do modo 12

Pulso único modo 1 (1 pulso/ensemble – 2 ensembles)
SensorPulsoProcessamentoTransformaçãoComunicação.
SensorPulsoProcessamentoTransformaçãoComunicação.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

MultiPulso modo1 (2 pulso/ensemble – 1 ensemble)
SensorPulsoProcessamentoTransformação.
SensorPulsoProcessamentoTransformaçãoTiramédiaComunicação.

Modo 12 (4sub-pulsos)
SensorPulsoProcessamento.PulsoProcessamento.PulsoProcessamento.PulsoProcessamento.TiramédiaTra
nsformação Comunicação.

Há dois comandos especiais para o modo 12. O comando WO e WZ que define quantos sub-pings serão utilizados na média e o tempo entre eles para que um não interfira com outro.

Por exemplo:

WO 10, 0004 → tempo entre pulsos por centésimos de segundo.
→ número de pulsos no ensemble.

Lembrando que os sensores (pitch e roll, direção etc.) são lidos apenas no começo do processo, logo o movimento do barco precisa ser constante durante os sub-pulsos para evitar erros. A recomendação é para manter a duração do pulso para o modo 12 igual ou menor que 1 segundo. A profundidade e velocidade máxima são as mesmas que para o modo 1.

Células menores podem ser utilizadas pelo modo 12 em águas mais rasas devido ao seu pulsar mais rápido diminuir o ruído aleatório, mas células menores que as indicadas para o modo 1, terão conseqüentemente um aumento deste ruído.

Apesar de não ter sido totalmente testado, células menores que as células mínimas dos modos 5 ou 11 podem ser utilizadas com o comando WK que é idêntico ao WS, mas terá sempre prioridade sobre o WS quando inserido, não importa onde esteja inserido o WS.

Tabela x de pulsos e tempo recomendados para modo 12

Maximum Bottom Depth	Minimum Ping Times (WO or TP) 1200KHz	Minimum Ping Times (WO or TP) 600KHz	Minimum Ping Times (WO or TP) 300KHz
5m	40msecs	60	80
10m	60	60	80
20m	80	80	100
50m	80	200	300
100m	NA	250	350

Considerações a se ter em conta

- Quanto maior Lag, menor DP, maior possibilidade erro V_{amb} ;

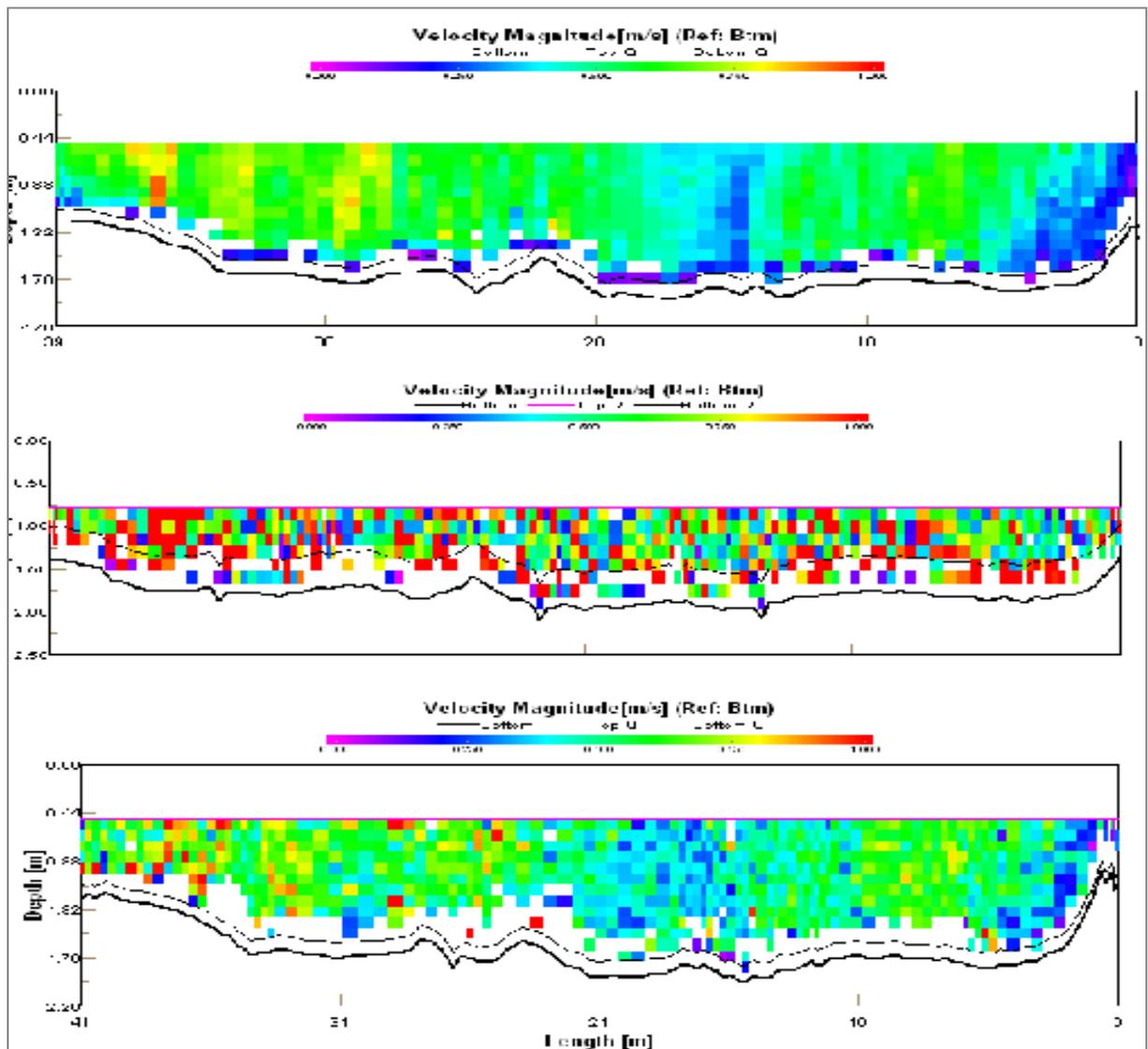
Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

- Maior Bin, maior Lag maior Distância primeiro bin e último bin (enésimo) → menor coluna de água medida;
- V_{amb} baixa → DP baixo, maior possibilidade de erro de ambigüidade.
- Maior Lag, maior possibilidade de descorrelação.

Exemplo do uso dos diferentes modos para uma mesma seção

Abaixo é ilustrado um conjunto de travessias de uma mesma seção, com os diferentes modos, com um ADCP Rio Grande de 600 kHz. A Figura 0.3 seguinte apresenta as direções da corrente em relação ao traçado do barco, sendo possível perceber nos dois conjuntos de figuras os desvios padrão dos modos.

Figura 0.3: Exemplo de diferentes modos para a mesma seção.

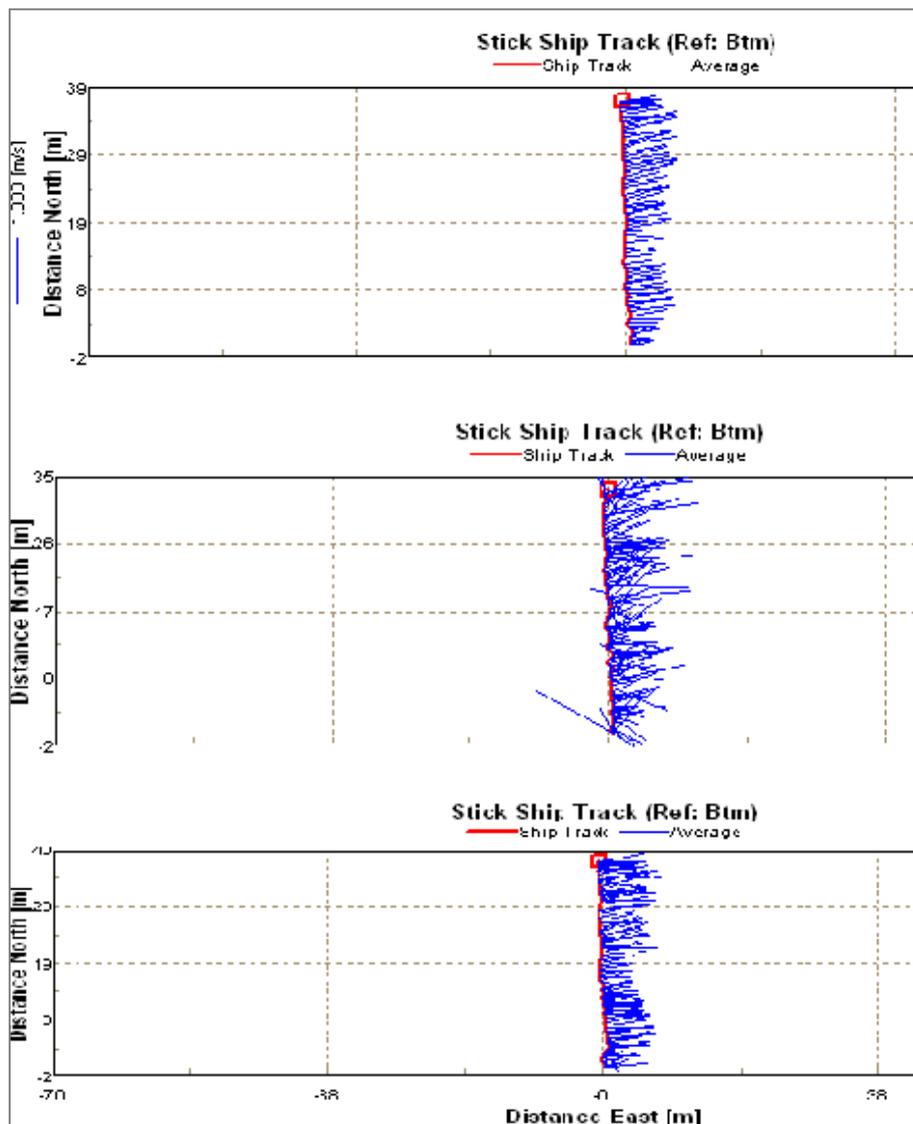


Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

De cima para baixo: modo 5, modo 1 e modo 8. O modo 1 mostra o problema de erros de direção por ruído, causado devido ao tamanho da célula (0,15 m) menor que o indicado (0,50), e teve que permitir o cálculo com três beams. Já o modo 8 fez uma medição razoável para o tamanho do seu desvio padrão. O melhor é o modo 5, coerente em toda a travessia.

A Figura 0.4 mostra a média das direções da corrente na mesma seqüência, resalta o modo 1 com as direções não muito paralelas devido aos ruídos comentados acima, e o alto desvio padrão aqui devido ao tamanho da célula.

Figura 0.4: Média das direções da corrente para os modos 5, 1 e 8.



Modos de fundo

Ao realizar uma medição de vazão o ADCP, também se pode medir a velocidade e a direção do barco usando a técnica chamada BottomTracking. Estas medições também

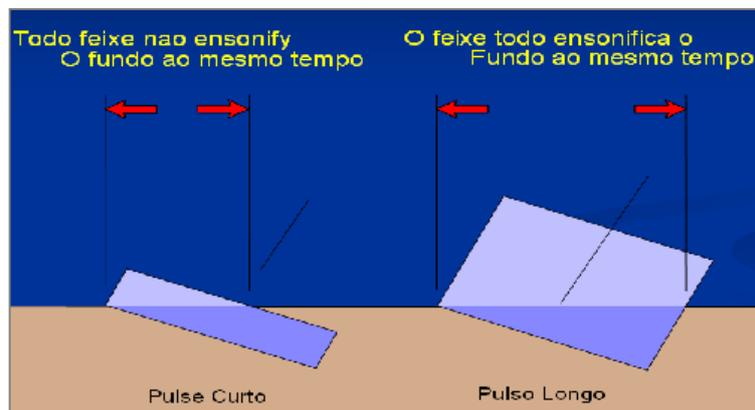
Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

utilizam o efeito Doppler, mas não usa o mesmo pulso que para a água. Os pulsos de fundo tem comprimentos de transmissão muito mais longos que os pulsos da água e também são usados para medir a profundidade.

Para este pulso medir precisamente a profundidade e o efeito Doppler do leito do rio, precisa “ensonificar” uniformemente o fundo para receber um retorno de eco uniforme. Se o pulso não for longo o suficiente, retornará um eco primeiro das partes do feixe mais próximas do ADCP e sucessivamente das demais áreas. O ângulo do feixe é diferente para as áreas mais próximas ou distantes, e isto afeta o efeito Doppler.

Um pulso longo ensonificando inteiramente no fundo irá produzir uma estimativa de velocidade do instrumento precisa e estável, muito mais precisa do que as obtidas do perfilamento da água. A Figura 0.5 mostra as diferenças de leitura de fundo por diferença de comprimento do pulso.

Figura 0.5: Diferença de leitura de fundo.



Fonte: USGS (2005).

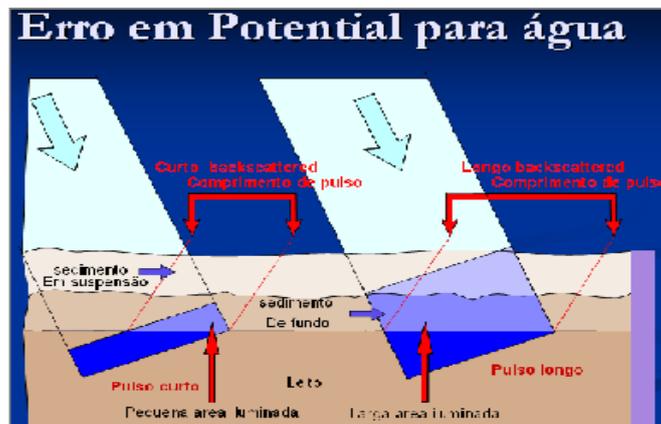
No entanto um pulso longo pode causar erros na água. Um pulso longo quando ensonifica o fundo, o sedimento sobre o fundo também é ensonificado e incluído no sinal de retorno do eco. Logo, o eco de um sinal de pulso longo pode conter um erro inserido pelo sedimento na coluna de água logo acima do leito. Se um sedimento em movimento é detectado pelo pulso do BottomTracking, o barco apresentará uma aparente velocidade para montante e a velocidade da água para jusante será reduzida e assim a vazão apresentará um erro para menor que o real.

O comprimento do pulso de fundo é expresso em percentual de profundidade da coluna de água, e é dirigido pelo comando &R. O comprimento padrão se usando o WinRiver é de 20 por cento. A

Figura 0.6 mostra os erros por comprimento de fundo devido há sedimentos depositados no leito.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

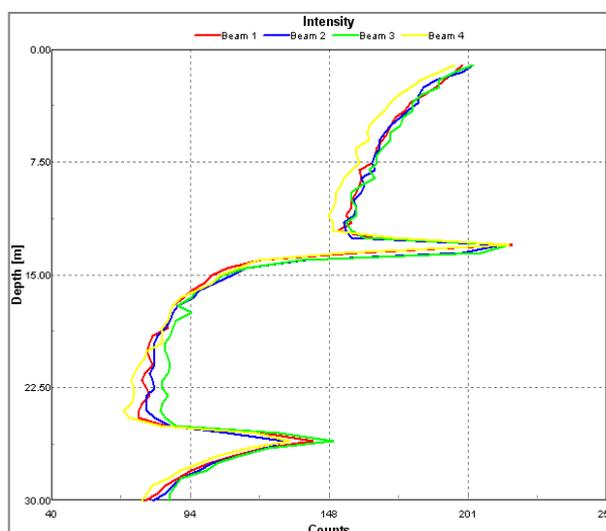
Figura 0.6: Erros por comprimento de fundo



Fonte: USGS (2005)

O RSSI (*ReflectedSignalStrengthIndicator*) é o indicador da força do sinal refletido, ou intensidade do Eco (backscatter), como mostra a Figura 0.7. Ao se verificar em um perfil de Intensidade do Eco no WinRiver e desabilitar o “markbadbellowbottom” (F3,), o sinal deverá ter a forma abaixo ilustrada.

Figura 0.7: Indicador do sinal de reflexão.



A energia vai diminuindo até que bate no fundo onde muito mais energia é refletida de volta, podendo-se ver então um grande pico. Na realidade está sendo mostrado um pulso de água como ilustração, mas o de fundo não é muito diferente. Pode-se observar

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

também que mais abaixo existe um segundo pico, abaixo do fundo, chamado múltiplo sendo causado pelo sinal acústico refletido no leito e retornando à superfície, então refletindo na superfície e no fundo uma segunda vez. Aproximadamente o dobro da profundidade do primeiro detectado pelo primeiro pico.

Como o pulso para água, o pulso de fundo consiste em repetições de um código, mas o BottomTrack é processado diferentemente que os pulsos para a água. O eco do sinal (backscatter) passa por um filtro que amplia o pico do RSSI causado pelo reflexo de fundo.

Uma vez localizado este pico, o efeito Doppler é determinado naquela porção do pulso. Devido à quantidade de repetições do código disponível no BottomTracking, o sinal refletido pode ser processado com lag variável para medir mais precisamente a velocidade do aparelho em relação ao fundo.

Há dois comandos diretos para o BottomTracking para melhorar a detecção do fundo em condições de fundo móvel. No caso do BA, que estabelece a amplitude do filtro de saída necessário para processar o bottomping, se o sinal refletido não tiver amplitude suficiente o efeito Doppler não poderá ser computado e um badbottomtrack e baddepth serão reportados. O valor padrão para o BA é de 30 counts.

Da mesma maneira, o resultado da auto correlação dos pulsos codificados precisa ser suficiente para permitir uma medição precisa da mudança de fase (phasechange), e com isto computar precisamente a velocidade do aparelho. A mínima correlação permitida é estabelecida pelo comando BC é de 220. Estes comandos não devem ser mexidos a menos que se conheça perfeitamente a implicância das modificações feitas.

O modo de operação para o fundo é o *BottomMode5* e está disponível em todos os equipamentos Rio Grande, e deve ser sempre utilizado a não ser em situações específicas.

1.1.6. Modo de fundo 7

O Bottommode7 é o novo modo para fundo desenvolvido para ser utilizado em águas rasas. Utiliza a técnica de múltiplos Lags para obter uma medição de fundo mais precisa em um alcance de profundidades. Este método utilizado pelo bottommode7 leva mais tempo que o BM5, logo ele torna a taxa de pulsos do ADCP mais lenta. É sugerido pela fabrica que funciona melhor em seções com grande inclinação de fundo, mas não foi ainda testado satisfatoriamente. Este modo deve ser adquirido para os aparelhos de 1200 mais antigos. Não é indicado para os Rio Grande de 600 kH.

2 MEDIÇÕES EM SEÇÃO COM FUNDO MÓVEL

Um dos erros mais comuns em nosso território nas medições Doppler é o que ocorre quando se realiza medições em locais com fundo móvel sem se dar conta disso e, tomamos o valor medido como o verdadeiro. Isto ocasiona uma medição sempre a menor, que se utilizada repetidamente fornecerá uma Curva-chave subdimensionada. Isto se deve devido a grande maioria de nossas equipes de campo não realizarem o teste para verificação de fundo móvel.

Saiba mais...

Fundo Móvel é a falsa determinação do fundo do rio, pelos equipamentos acústicos, em locais onde existe grande concentração de sedimentos que se deslocam no leito do rio (Rainville, 2004).

Este tipo de erro ocorre quando os sedimentos carregados junto ao fundo são lidos pelo equipamento como se fosse o leito (GAMARO, 2003), introduzindo assim um erro na velocidade do barco que é calculada com esta leitura, como a velocidade medida pelo ADCP é uma velocidade relativa, ou seja, velocidades da água mais do barco, para se conhecer a velocidade da água é preciso extrair a velocidade do barco, que neste caso estará maior que o real, ocasionando uma velocidade da água a menor, logo o mesmo acontecendo à vazão.

Este fenômeno não foi muito levado em conta até meados de 2002 quando se passou a incluir nos procedimentos de uma medição Doppler o teste do fundo móvel, com isto se descobriu que havia mais seções com este problema que supúnhamos, e havia locais com um já longo histórico de medições e até curvas chave com este erro inserido.

Foi desenvolvido um método para correção parcial destas medições (GAMARO, 2003), e vários métodos propostos para realizar a medição se descobrimos ter fundo móvel ao realizarmos o teste, este capítulo irá falar sobre estes métodos e suas vantagens e desvantagens.

2.1 TESTE DO FUNDO MÓVEL

Para se verificar se há fundo móvel em uma seção é necessário que se mantenha o barco parado⁷ por um período maior que 5 minutos medindo-se a velocidade. Após este período que quanto maior melhor a detecção, comparar o DMG (DistanceMadeGood) com o Lenght, se forem muito diferentes é sinal de que pode haver fundo móvel, para sabermos se este valor é considerável temos que calcular a velocidade do fundo móvel e compará-la com a velocidade média da seção durante o teste.

⁷

Ancorado, no motor com ponto de referencia, no cabo etc.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Exemplo: Rio Iguatemi 2005 com um ADCP 600 kHz e um ADP 1500 kHz

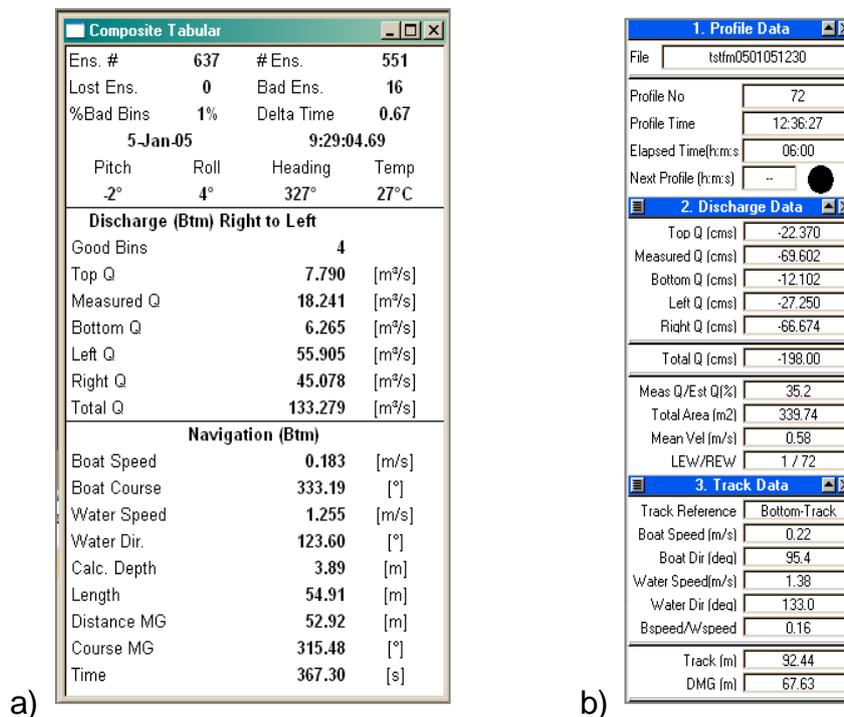
$$V_{fm} = \frac{DMG}{Time} = \frac{52,92}{367,30} = 0,1441$$

$$\frac{67,63}{360} = 0,1879$$

A primeira observação é que as velocidades são percebidas diferentemente pelas diferentes freqüências. Freqüências maiores percebem maiores velocidades do fundo.

A segunda observação é de que não temos a menor idéia do peso destas velocidades para a medição.

Figura 0.8: Comparação das velocidades no teste de fundo móvel.



Para avaliar esta velocidade do fundo é preciso estabelecer a razão da velocidade do fundo móvel pela velocidade média da água durante o teste (Percentual de Relevância), se for maior que 1 % (Rainville 2002)deve ser feita uma correção na medição ou utilizar algum método para evitar o erro (Gamaro, 2005).

$$\frac{V_{fm}}{V_m} = \frac{0,1441}{1,151} = 0,125$$

ou 12,5 %

$$\frac{0,1879}{0,58} = 0,3239$$

ou 19,4 %

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Uma vez verificada que o Fundo móvel é hora então de definir como medir, entre os métodos abaixo:

- DGPS acoplado
- Método da Subseção
- Seção por Seção
- Ecobatímetro Acoplado
- Método do Azimute
- Método do Loop

A utilização do DGPS já foi discutida no capítulo anterior.

2.1.1 Método da Subseção Média

Neste método é feita uma correção da vazão através do cálculo da vazão perdida calculada com a velocidade do fundo móvel. É um método que apenas atenua o erro inserido pelo fundo móvel, e é usado em locais com dificuldade para utilizar outros métodos, quer pela dificuldade da seção, quer pelo tempo despendido nos outros métodos.

Consiste em se calcular a velocidade do “fundo” usando os dados do teste de fundo móvel, que teoricamente deve ser feito antes de iniciar a medição, logo ganha tempo. Parte do pressuposto que o teste deve ser realizado buscando-se o local de maior velocidade da água, ou local potencialmente propício para maior velocidade do fundo.

Tomemos o exemplo acima (ADCP 600 kHz):

$$V_{fm} = 0,1441$$

A fórmula para correção é a seguinte:

$$Q_{\text{corrigida}} = Q_{\text{medida}} \left[\frac{(V_{\text{medida}} + V_{\text{fm}})}{V_{\text{medida}}} \right] \quad (02)$$

$$V_{\text{média}} = Q/A \rightarrow 188,77 / 196,64 = 0,960 \text{ m/s}$$

Q = vazão tirada da medição de vazão:

A = Área da medição de vazão

$$Q_{\text{corrigida}} = 188,77 \left(\frac{(0,96 + 0,14)}{0,96} \right) = 217,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este método tem muitas suposições que o levam a uma incerteza de precisão, mas reduz o erro e em certos locais e devido ao tempo é o mais prático e rápido.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

As incertezas provem de:

- Um único local para medir a velocidade de fundo, e nem sempre o local de maior velocidade é o de maior arrasto de fundo, ou representa a distribuição do fundo móvel ao longo da seção.
- O balançar do barco pode afetar a medida da velocidade de fundo.

2.1.2 Método das Subseções

Este método é uma tentativa de melhorar a qualidade do método anterior. Nele são feitos mais testes de fundo móvel, de preferência espaçados regularmente. Este método também é usado para seções conhecidas onde se queira medir em locais de melhor qualidade dos dados de fundo. Calculam-se as velocidades de fundo em cada um dos testes e utiliza-se a média destas velocidades para calcular a vazão perdida.

Exemplo: rio Solimões em Manacapuru, ADCP WH Monitor 300 kHz.

Seção rochosa na margem esquerda e arenosa na margem direita. Foram realizados 20 testes de fundo móvel em uma seção de 3080 m de largura. Destes testes calculamos as velocidades do fundo das quais tiraremos a média que multiplicada pela área teremos a vazão de correção que deve ser acrescentada a vazão medida.

$$Q_{medido} = 100.334 \text{ m}^3/\text{s com ADCP.}$$

Tabela 0.7: Exemplo de testes realizados com fundo móvel.

Teste	V _{fm}	Percentual de Relevância
1	0,005	1,25
2	0,006	0,92
3	0,020	2,34
4	0,012	1,27
5	0,023	2,09
6	0,018	1,66
7	0,017	1,78
8	0,010	0,91
9	0,035	3,62
10	0,030	2,66
11	0,012	0,98
12	0,1	9,73
13	0,036	4,39
14	0,044	5,12
15	0,047	6,29

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

16	0,059	8,49
17	0,007	0,94
18	0,016	2,23
19	0,009	1,33
20	0,006	1,31
Media	0,026	

Verificamos que conforme o teste é realizado mais próximo da margem direita maior é o coeficiente de relevância, e que apenas em 4 testes não houve relevância. Logo deve ser feita a correção.

$$Q_{\text{corrigida}} = Q_{\text{medida}} + \overline{V_{fm} * A}$$

$$Q_{\text{corrigida}} = 100\,334 + (0,026 \times 82\,628) = 102\,482 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão esperada seria próxima de 104200 m³/s, valor encontrado na medição com molinete de barco não ancorado, apesar desta não ser padrão para conferir uma medição com Doppler, isto nos mostra que o método busca diminuir o erro ocasionado pelo fundo móvel e não corrigi-lo. Podemos contar ainda como desvantagem que:

- Demanda tempo
- Não há como corrigir o balanço do barco no teste.
- Seção transversal deve ser perpendicular a corrente

2.1.3 Método de Seção por Seção

Constitui em realizar uma medição de vazão como se fora uma medição convencional, porem utilizando o ADCP/ADP para fazer a leitura de velocidades de cada vertical (Utilizar a referencia como "none"), as distancias entre as verticais é medida no momento da tomada de velocidades, normalmente a cabo, e a profundidade utilizada é a media entre o começo e o fim do tempo em cada vertical. (JOHNSON, 2004).

Utilizando o exemplo acima (Manacapuru -2005), o valor total medido pelo método foi de 104.640 m³/s mais uma vez comparando com a vazão do molinete encontramos apenas uma diferença de 440 m³/s, ou seja, menos de 1%.

Uma variação deste método para melhor. No passado o calculo era feito em uma planilha eletrônica tipo Excell, mas hoje as empresas disponibilizam para compra softwares que

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

realizam o cálculo. A empresa Sontek o software Stationary, a TRDI o Sectionbysection, e a Nortek já é esta a forma de fazer a medição⁸.

2.1.4 Utilização do Ecobatímetro acoplado

Neste caso as profundidades são tiradas do Ecobatímetro, e desta leitura ira sair à velocidade do barco a ser deduzida da velocidade relativa. A tabela 3 mostra as pequenas diferenças de vazão por travessia e a diferença da média que é a medição propriamente dita.

Há grandes erros de magnitude próximos a margens muito rasas no caso estudado, pois a frequência do Eco estava preparada para 30 metros, e mesmo sendo um eco que muda a frequência em locais rasos sua rapidez em fazê-lo não foi suficiente para evitar algumas leituras erradas (

Figura 0.9).

Figura 0.9: Erros de magnitude próximos à margem rasa.

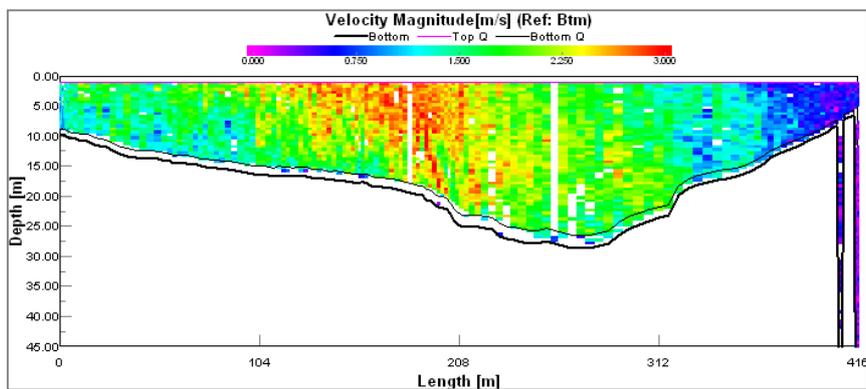


Tabela 0.8: Comparativo Medição com Ecobatímetro x Medição com BTrack em seções sem fundo móvel.

Travessias	Vazão c/ Eco	Vazão c/Btrack	Diferen ça	Percentual
1	12772,5	13006,39	233,889	1,80
2	12553,64	12761,66	208,024	1,63
3	12406,88	12665,06	258,175	2,04
4	12604,2	12825,39	221,191	1,72
Media	12584,31	12814,62	230,319	1,80
Desvio padrão	150,811	143,834	-6,977	
Coeficiente Variação	0,01	0,01		

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

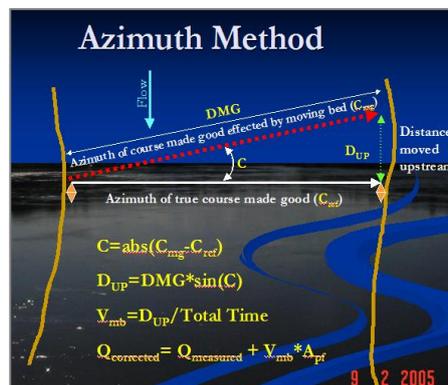
Conclusão: Método eficiente para locais de fundo móvel, tem como negativo a utilização de outro equipamento e outro operador na equipe, que implica em maior custo operativo e a compra de um Ecobatímetro. Espere problemas em locais com variações grandes de profundidade, bem como seções muito profundas.

2.1.5 Método do Azimuth

O método consiste em estabelecer locais para início e fim da travessia, medir o azimuth desta direção, após calibrar a bússola realizar medição normal, Ver o ângulo da travessia e corrigir conforme as fórmulas descritas na

abaixo.

Figura 0.10 – Método Azimuth.



2.1.6 Método do Loop

Este método consiste em realizar uma travessia medindo com o equipamento Doppler e descrever um oito, tendo o cuidado de chegar ao mesmo ponto de saída a menos de 50 cm (p ex.umabóia). Toma-se o DMG que é a distancia aparente entre o início e o fim do loop e dividi-se pelo tempo total do loop para obter a velocidade do fundo móvel. (Eq. 03)

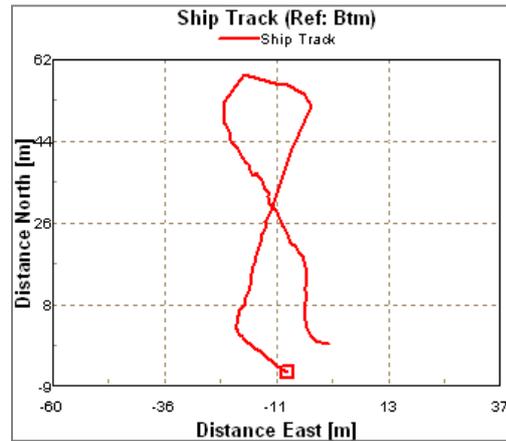
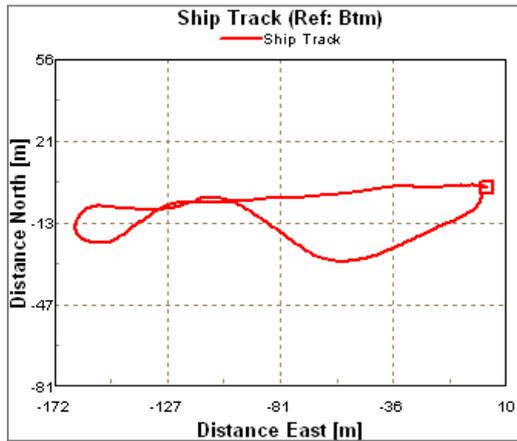
A seguir realiza-se uma medição com o ADCP/ADP que é a medição com o ruído do fundo móvel e se corrige somando a ela a vazão não computada do fundo móvel que é tirada da Eq.04.

Figura 0. 11: Método Loop: a) seção sem fundo móvel e b) seção com fundo móvel.

a)

b)

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado



A velocidade do fundo móvel é a distancia entre o ponto inicial e o apresentado (DMG) dividido pelo tempo total do loop.

Saiba mais

Os próximos tópicos focalizam procedimentos de campo para operação de medidores Doppler na presença de fundo móvel (FM) e procedimentos para medição acústica utilizando-se do método seção por seção.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

3 PROCEDIMENTOS DE CAMPO PARA OPERAÇÃO DE MEDIDORES DOPPLER NA PRESENÇA DE FUNDO MÓVEL (FM)

Notas de Campo 06 - rv. 0.0
10 de junho de 2010

Com o surgimento dos equipamentos acústicos Doppler, novas possibilidades foram criadas para aplicação em diversos setores da Hidrometria, como em estudos de direção das correntes d'água em baías e rios; medições de descarga sólida, além da líquida, estudos sobre o comportamento hidráulico da seção, entre outros. Além disso, os equipamentos possibilitaram inúmeras vantagens, como a determinação da descarga líquida em menor tempo, diminuição da equipe e consequentemente em menor custo.

Foram possibilitadas medições de vazão em épocas de cheias, que eram consideradas perigosas nas medições de vazão com o modo convencional. Além disso, com os equipamentos acústicos é possível de se medir as descargas líquidas em regimes não permanentes. Entretanto, algumas dificuldades surgiram com o uso de tais equipamentos acústicos, como a necessidade de operadores com maior qualificação e a problemática de medições de descarga líquida em locais com leito arenoso, que ocasiona o Fundo Móvel.

Fundo Móvel é a falsa determinação do fundo do rio, pelos equipamentos acústicos, em locais onde existe grande concentração de sedimentos que se deslocam no leito do rio. (Rainville, 2004).

Como o sedimento se desloca no fundo, o equipamento acústico “confunde” o fundo real com o fundo em movimento, inserindo um erro na velocidade relativa e consequentemente da água. Normalmente, o leito do rio é medido para se estimar a velocidade da embarcação/equipamento e assim, estima-se a velocidade da água. Como o sentido do sedimento é o mesmo que a da água, o equipamento acústico percebe um deslocamento fictício do barco em sentido contrário ao do sedimento de fundo, ou seja, que existe movimentação do barco para a montante. Com o deslocamento do barco para montante, o cálculo da vazão final será inferior ao real, necessitando, deste modo, de uma correção na vazão medida pela travessia somando ao valor da vazão de fundo móvel correspondente às condições locais e temporais.

Até o início do Século XXI correções de vazão em locais onde ocorrem Fundo Móvel não eram realizadas. Desde a descoberta da existência de Fundo Móvel nas medições realizadas na cheia do rio Mississipi em 1993, várias formas de se compensar ou corrigir estas medições tem sido utilizado. Assim, este procedimento indica as técnicas que devem ser utilizadas em locais onde ocorrem fundo móvel (Gamero, 2007).

3.1 FUNDO MÓVEL: COMO DETECTAR?

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

A melhor forma de detectar fundo móvel é manter parada a embarcação em um ponto do rio, com o equipamento medindo entre 5 (cinco) e 10 (dez) minutos, verificando o deslocamento aparente da embarcação. Porém, ressalta-se que existem situações que a velocidade da água fica “jogando” o barco e a avaliação fica difícil e requer experiência. Leva-se em conta ainda a localização do ponto na seção transversal para detectar o fundo móvel, pois nem sempre o local de maior velocidade representa o ponto de maior fundo móvel, logo provavelmente teremos que fazer o teste em mais de um ponto (Gamaro, 2003).

Existem outros indicativos da existência do Fundo Móvel quando uma travessia é realizada com a referência “Bottom Tracking”, como: A largura (“Length/Track”) ser muito diferente da distância percorrida (“Distance MG”), grandes diferenças entre “Q/A” e “flow speed”, aumentos na velocidade do barco sem motivos aparentes e a ocorrência de uma leve curvatura para montante no “ship track” (Gamaro, 2003).

3.1.1 Métodos de Correção de Vazão onde há Fundo Móvel

Dentre os métodos de correção de Fundo Móvel, serão explicitados (Gamaro, 2008):

- Loop
- GPS;
- Azimute;
- Sub-Seção.

Os métodos podem ser utilizados com os equipamentos acústicos da RDI (p.e., ADCP 600kHz) e Sontek (p.e., ADP-M9).

3.1.1.1 Loop

É um método de correção na vazão causado pelo Fundo Móvel, consiste em realizar uma travessia medindo com o equipamento Doppler e descrever um oitão, tendo o cuidado de chegar no mesmo ponto de saída (p ex. uma bóia) (Mueller & Wagner, 2006); (Gamaro, 2007).

Inicialmente, deve-se calibrar a bússola do equipamento acústico. O valor da calibração deve ser inferior a 1°, caso contrário deverá repetir a calibração. Com valores de calibração maiores que 1°, no caso de se fazer o Loop, são gerados erros ainda maiores.

O segundo passo é instalar algum objeto como referência, para o operador do barco e do equipamento acústico, para iniciar e finalizar o Loop na mesma posição, como por exemplo, uma bóia ou um pano amarrado no cabo (caso o cabo esteja esticado de margem a margem).

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

O terceiro passo é configurar o equipamento acústico de forma idêntica a uma travessia padrão, porém nomeando-a como "LOOP". Quando iniciar a travessia inserir o valor de 0,1 para o início e fim da travessia, com qualquer configuração em relação ao tipo de margem (inclinada, reta, etc), para a extrapolação nas margens.

Depois, o equipamento deve ser percorrido de margem a margem, retornando-o para a margem inicial, exatamente no mesmo ponto de partida (Figura 1). A velocidade do barco deve ser a mais uniforme e constante possível. A princípio, a vazão deve ser nula, assim como o valor do "Distance Made Good (DMG)", que é a distância em linha reta aparente entre o início e fim da travessia. Caso o valor do DMG for significativo, comprova-se que existe Fundo Móvel na seção (Figura 2) (Gamaro, 2007).

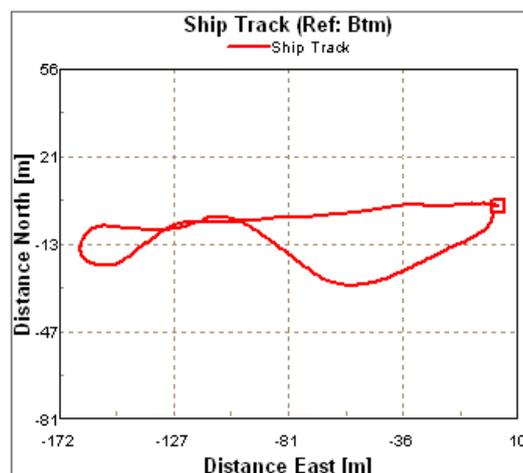


Figura 1 Método do Loop em seção sem fundo móvel

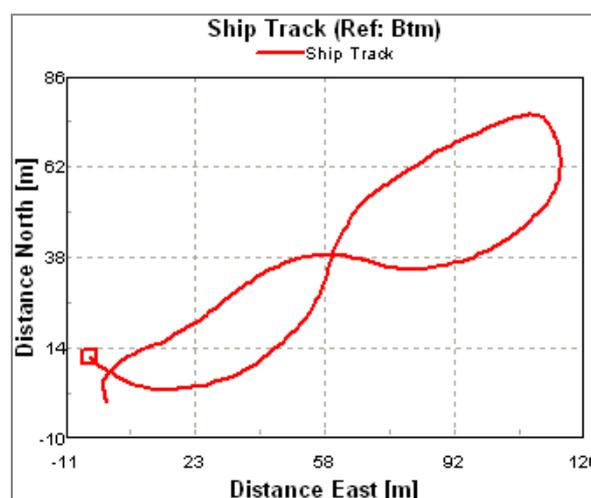


Figura 2 Loop realizado em seção com fundo móvel

Dividindo o valor do DMG pelo seu respectivo tempo total (duração) (T) do loop é obtida a velocidade de fundo móvel (V_{fm}) (Equação 1).

$$V_{fm} = \text{DMG} / T$$

(1)

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Em locais onde há Fundo Móvel, a posição final do Loop sempre será a montante da posição inicial.

Cuidados na prática do LOOP:

- O tempo mínimo de duração do Loop é de 3 minutos;
- A velocidade do barco não deve ultrapassar 1,5 vezes a velocidade da água;
- A área a ser computada deve ser perpendicular a direção do escoamento (esta opção pode ser modificada no WinRiver, para equipamentos acústicos da RDI, na opção “F3”, “Processing”, “Crosssectional Area”, escolhendo a opção “Parallel to Average Course”).

Multiplicando o valor da V_{fm} (velocidade de fundo móvel) pela área da travessia é obtida a vazão de fundo móvel, que somada com a vazão medida pela travessia (com referência Bottom Tracking) resulta na vazão corrigida (vazão real) (Equação 2).

$$Q_{\text{corrigida}} = Q_{\text{medida}} + V_{fm} * A \quad (2)$$

Em que: V_{fm} = Velocidade do fundo móvel (m/s);

DMG = distância aparente entre o fim do loop e a bóia (m);

T = tempo total do loop (s);

$Q_{\text{corrigida}}$ = Vazão corrigida (m³/s);

Q_{medida} = Vazão medida (m³/s);

A = área retirada das medições (m²).

Para corrigir a vazão, é somada a vazão medida com a média de quatro travessias (referência “Bottom Tracking”) e acrescenta-se o produto da velocidade do fundo móvel calculada com o Loop pela Área retirada da medição.

Erros que devem ser conhecidos associados ao método do Loop:

- Erros sistemáticos da bússola (neste caso, a bússola deve ser calibrada);
- Falha no exato posicionamento do equipamento no ponto de início e fim;
- Não uniformidade da velocidade do barco;
- Tempo demasiado longo nos locais próximos às margens (aumenta o tempo de duração, o que resulta em um menor valor de Velocidade de Fundo móvel);
- Erros e incertezas nas medições do fundo, devido a elevada carga de sedimento de fundo (soluções: Aumentar o BP1 para BP2, acoplar um EcoBatímetro, trocar o equipamento para um de frequência inferior);

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

- Irregularidade da seção, que pode acarretar perdas de fundo (solução: nos locais onde há mudanças bruscas do fundo, deve-se diminuir a velocidade do barco, a fim de conseguir medir toda a seção).

O método do Loop citado é calculado de modo simples (Equações 1 e 2), porém não leva em conta o formato da seção transversal e da correlação espacial do transporte de sedimento. Em vista disto, foi desenvolvido o software LC pela USGS, que lê os dados exportados do WinRiver (ASCII) do Loop, faz uma análise dos dados para depois fazer a correção do fundo móvel.

O software estima a velocidade do escoamento próximo ao fundo, para cada vertical, com a aplicação da extrapolação de fundo a partir da equação potencial, com potência de 1/6 (Chen, 1989; Simpson & Oltman, 1993). Além disso, é desconsiderado o trecho próximo a margem em virtude das baixas velocidade da água, que ocasionam baixas velocidades de fundo móvel. Além disso, o software computa a magnitude e a direção do “Distance Made Good” (DMG). Com a discretização da velocidade de fundo móvel para cada vertical e da direção e magnitude do DMG, é então estimada a velocidade de fundo móvel da seção transversal (Mueller et. al., 2010).

Dentre as vantagens do método “Loop” destaca-se a não necessidade de ancorar o barco para a correção da vazão em locais onde há fundo móvel, o que acarreta em redução de tempo, redução de custo e maior segurança para os operadores.

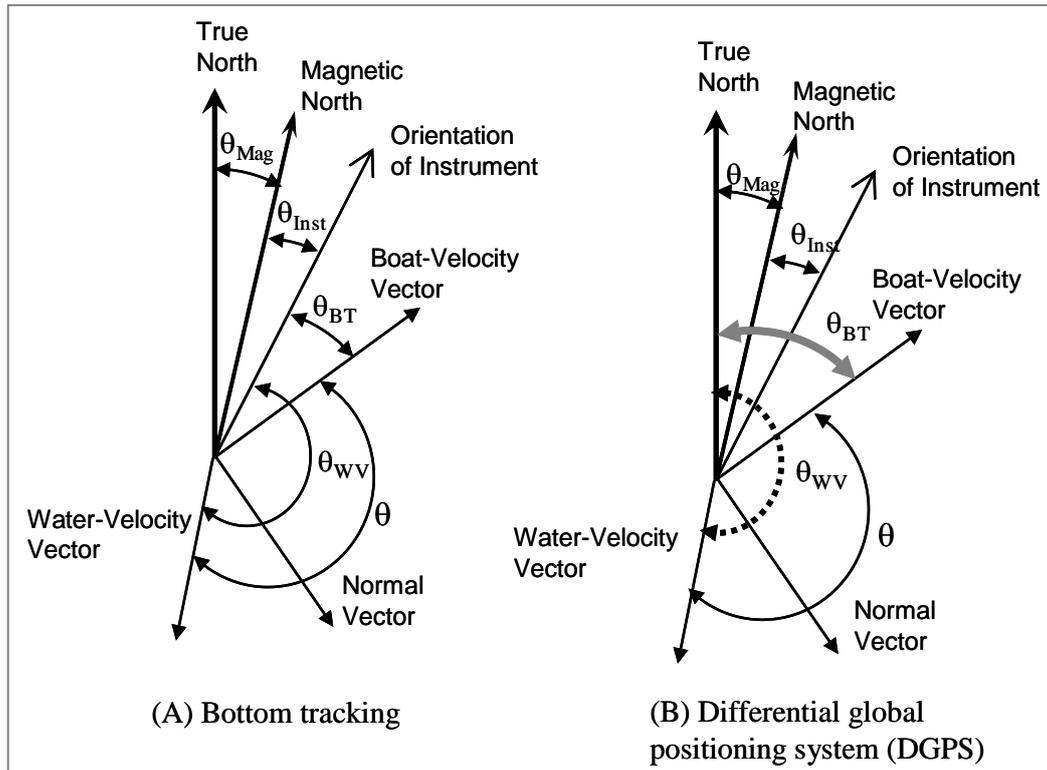
3.1.1.2 GPS

O uso de GPS em locais onde há fundo móvel é outra alternativa, entretanto, para alguns locais e condições, não geram resultados confiáveis. O GPS é utilizado para a identificação da velocidade do barco durante a travessia, ou seja, a referência do barco não é mais o fundo do rio e sim a rede de satélites. Deste modo, deve-se modificar a referência da medição de vazão para GGA ou VTG, tanto para os equipamentos acústico da RDI quanto aos da Sontek. Com a operação do GPS acoplado ao equipamento acústico, alguns **cuidados** devem ser tomados, como:

- Para toda medição de vazão com GPS acoplado é necessário a calibração da bússola interna do equipamento acústico;
- Inserção da declinação magnética, correspondente ao local e data da medição. A declinação é a diferença (em graus) entre o Norte Verdadeiro e Norte Magnético (Figura 3), pois o equipamento acústico utiliza uma bússola interna (referência Norte Magnético) e o GPS utiliza o Norte Verdadeiro. A declinação pode ser obtida por mapas magnéticos, via software GeoMag ou pela diferença do ângulo, para uma travessia, com a referência “Bottom Tracking” e GGA, porém este método não é o mais eficaz em virtude do erro do “Bottom Tracking” em locais onde há fundo móvel;

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Figure 3. Vectors illustrating the difference between bottom-tracking and differential global positioning system (DGPS)-referenced boat-velocity vectors



Fonte: adapted from Mueller, 2002.

- Utilizar GPS com correção, ou centimétrica, como o DGPS (correção diferencial de satélites ou estações fixas) ou com correção milimétrica, como o RTK (correção em tempo real, a partir do sinal recebido dos satélites e de uma antena instalada na margem da seção de medição);
- Utilizar uma máscara de 10° nos GPS, pois elimina os satélites que estão próximos ao horizonte, cujos erros são maiores;
- Posicionar a antena do GPS no eixo do equipamento acústico;
- Minimizar o Pitch e Roll, para não criar uma falsa velocidade do barco, devido a maior movimentação da antena em relação ao barco;
- Conferir o valor do HDOP (representa a geometria horizontal dos satélites), o valor deve ser menor que 2 e depende do dia, hora, local. Caso resultar em valor acima de 2, recomenda-se repetir a medição;
- Conferir a qualidade do GPS (2 para DGPS, 4 para RTK);
- Conferir as mudanças de satélites. Quanto maior o número de mudança de satélite maior o erro inserido na medição da vazão. Para medição com RTK torna-se mais importante a minimização das mudanças de satélites;
- Tomar cuidados em medições próximas de obstáculos, como em pontes e vegetação densa nas margens, pois estas obstruções causam o efeito de multicaminhamento e até a perda do sinal do satélite, inserindo erros na medição de vazão.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Além dos cuidados citados acima, deve ser de conhecimento do operador que o sinal do satélite sofre efeito do multicaminhamento devido a lâmina d'água do rio, que fica ao redor do barco; erros de sincronização de relógios entre o ADCP e o Satélite, além de erros no sinal do satélite devido a anomalias na atmosfera, que altera a velocidade da onda e prejudica a precisão do GPS.

Dentre as informações recebidas pelo GPS, são utilizadas nas medições acústicas as variáveis VTG e GGA:

GGA: Informação de posição e não de velocidade;

- A velocidade é computada no WinRiver ou RiverSurveyor a partir de 2 consecutivos valores de GGA, computando a distância e dividindo-a pelo tempo entre os 2 valores de GGA;
- Necessita de correção diferencial para precisão aceitável;
- É afetada por multicaminhamentos.

VTG: Informação de velocidade e não de posição;

- Baseado no efeito Doppler do sinal do satélite emitido e recebido;
- O efeito de multicaminhamento não afeta o VTG;
- Não necessita de correção diferencial;
- Cuidados com valores de VTG para baixas velocidades;
- Cuidados com perdas de satélites;
- Nem todos GPS são capazes de receber a informação VTG

Atualmente a variável mais utilizada por pesquisadores da USGS é a VTG, em virtude de sofrer menos interferência pelo multicaminhamento, mudança de satélites e distorções da ionosfera (Mueller et. al., 2010).

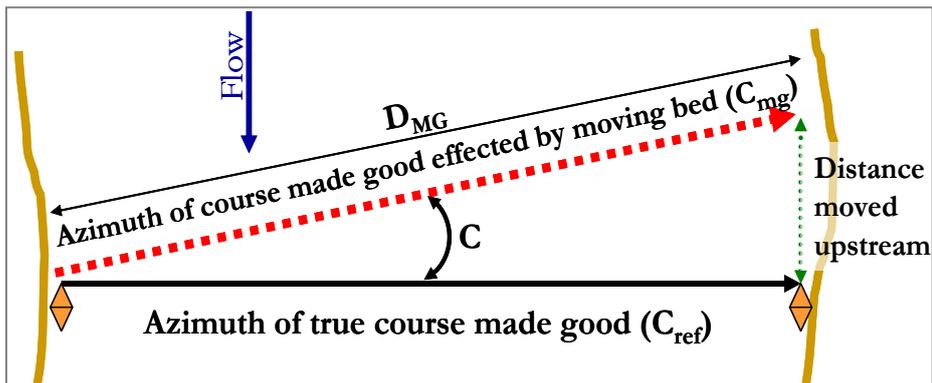
3.1.1.3 Azimute

Quando medições de vazão são realizadas através de travessias, podemos aplicar o método do azimute. Para uma seção onde tem a direção do trajeto da travessia é deslocada para montante, devido a falsa detecção de movimentação do fundo, causada pelas partículas de fundo móvel, o ângulo entre a direção da travessia e o norte é conhecido como azimute.

Quando se é conhecida o azimute real de início e fim de uma travessia e o equipamento acústico estiver devidamente calibrado, deve-se realizar a diferença entre os ângulos reais do azimute e o ângulo medido na travessia (figura 4)

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Figura 4 – ilustração do método do Azimute



- Inicialmente, deve-se calibrar a bússola do equipamento, com valor inferior a 1°;
- Configurar o equipamento de forma padrão, idêntica a uma medição de vazão;
- Realizar uma medição de vazão, de preferência utilizar uma bússola de mão para identificar o azimute no momento da travessia ou utilizar o azimute conhecido da seção;
- Posteriormente, determinar a diferença de ângulos entre o azimute da seção e o azimute medido no momento da travessia. Este ângulo deve ser direcionado para a montante (Equação 3):

$$C = |C_{mg} - C_{ref}|$$

Sendo,

C = diferença dos azimutes (°);

C_{mg} = azimute obtido pelo equipamento acústico (°);

C_{ref} = azimute medido com bússola de mão ou determinado anteriormente.

Assim, a velocidade de fundo móvel (V_{fm}) pode ser calculada como:

$$V_{mb} = \frac{D_{MG} \times \sin(C)}{T}$$

Em que:

DMG = Distance Made Good (m);

Sin (C) = seno do ângulo C;

T = Tempo de duração para a travessia.

Multiplicando a velocidade de fundo móvel com a área perpendicular a travessia (“Parallel to Average Course”) e somando com a vazão medida (referência “Bottom Tracking”), é obtida a vazão corrigida pelo método do Azimute.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Atenção: deve-se tomar cuidado de qual referência o Azimute está sendo trabalhado: Norte Magnético ou Norte Verdadeiro. Quando é utilizada uma bússola de mão e a bússola do equipamento acústico, ambos estão sendo baseados pelo Norte Magnético. Entretanto, se o azimute de referência for estimado por coordenadas de satélite, este azimute está referenciado pelo Norte Verdadeiro, enquanto que o equipamento acústico está referenciado pelo Norte Magnético. Neste caso, existe a possibilidade de efetuar 2 operações: usar a declinação magnética no valor do azimute de referência, para que os dois azimutes se baseiem no Norte Magnético; ou inserir o valor da declinação magnética nas travessias e utilizar os dois azimutes se baseando no Norte Verdadeiro.

Dentre as vantagens do método “Azimute” destaca-se a não necessidade de ancorar o barco para a correção da vazão em locais onde há fundo móvel, o que acarreta em redução de tempo, redução de custo e maior segurança para os operadores. Além disso, não há a necessidade de se realizar novas travessias, caso do método “Loop”, pois a própria medição de vazão pode ser utilizada para a estimativa do método do Azimute. Entretanto, quando utilizamos o método, deve-se ter o conhecimento que pequenos erros na determinação dos ângulos geram grandes erros na distância. Em vista disso, quanto maior a seção, maior a distância do ponto inicial e final da travessia e melhor a precisão para o cálculo do ângulo (azimute).

3.1.1.4 Subseção

O método constitui na permanência estática do barco em verticais, em locais onde há maiores velocidades (locais com maior probabilidade de existir fundo móvel). Deste modo, são determinadas as velocidades de 1 a 20 verticais, na seção, sendo necessário permanecer por 300 segundos realizando a medição de vazão, com a referência “Bottom Tracking”.

Para este método, o equipamento acústico deve ser configurado de modo padrão (idêntico a uma travessia), porém deve-se nomeá-lo como “ScbSc”. Para calcular a velocidade de fundo móvel, deve-se dividir o valor do “Distance Made Good” (metros) com sua respectiva duração (segundos). Com os valores das velocidades de fundo móvel para cada vertical, pode-se determinar sua relevância, dividindo-a pela velocidade real (referência “None”). No caso da relevância ser maior que 1%, existe fundo móvel na região da vertical em questão.

A velocidade de fundo móvel da seção é a média das velocidades de fundo móvel de cada vertical. Multiplicando-a pela área transversal medida, vazão de fundo móvel é determinada. Finalmente, deve-se somar a vazão de fundo móvel com a vazão medida a partir de travessias (referência “Botom Tracking”), obtendo a vazão corrigida. É imperativo anotar as distâncias e os valores do DMG e sua duração em uma planilha de campo, além de qualquer observação que o operador julgar importante.

O método tem como vantagem a determinação temporal da velocidade de fundo móvel

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

para cada vertical, o que melhora sua precisão. Deste modo, quanto maior o número de verticais nas quais são realizados testes de fundo móvel, maior a precisão do método. Entretanto, o para a realização do método demanda de tempo, além de não ter como corrigir o balanço do barco.

4 PROCEDIMENTOS PARA MEDIÇÃO ACÚSTICA UTILIZANDO-SE DO MÉTODO SEÇÃO POR SEÇÃO

Notas de Campo 07 - rv.1.0
20 de junho de 2010

4.1 DEFINIÇÃO

Seção por Seção é um método de medição de vazão que integra a tecnologia “Doppler” com a metodologia tradicional. O método consiste na realização de medições de velocidades em verticais, com equipamento acústico, de modo que o equipamento/barco fique estacionário em cada vertical.

O número de verticais e espaçamento deve ser utilizado do mesmo modo que uma medição convencional (molinete) (ISO/FDIS 748:2007(E)). A velocidade de cada vertical multiplicada pelas respectivas áreas resultam em vazões parciais, que por sua vez, se somadas, resulta na vazão total da seção em questão. Deste modo, o equipamento acústico mede a velocidade e a profundidade para cada vertical, necessitando que o Hidrometrista meça as distâncias entre cada vertical, até a margem, ou PI (Ponto Inicial). Este método não é utilizado para corrigir a vazão de fundo móvel e, sim, representa uma medição real de vazão, na seção escolhida.

4.2 PREPARAÇÃO

A preparação da seção de medição deve ser feita de forma idêntica a uma medição convencional. Caso seja feita medição convencional em conjunto, fazer uso das mesmas verticais para validar a comparação.

- Utilizar o Software WinRiver 1.06 para equipamentos TRDI e, Stationary, para Equipamentos Sontek. O software RiverSurveyourLive não é capaz de processar medições em Seção por Seção (ao menos até a versão 1.51).
- A nomenclatura dos arquivos da medição Seção-por-seção deve identificá-lo como tal, com o nome da estação e as siglas “**ScbSc**”, p.ex. PSILVA**ScbSc**.000. De preferência, criar uma pasta com o nome “**ScbSc**”, separando-a de uma medição em travessias.
- A configuração da medição deve ser identida a uma travessias, de acordo com o “*Procedimentos De Campo Para Operação de Medidores Doppler, Notas de Campo 04*”.
- Modificar a referência da velocidade para “None”, ou seja, o pulso de fundo será igual a zero (BP0), igualando a velocidade relativa pela velocidade da água. Deste modo o

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

efeito do fundo móvel é eliminado para o cálculo da velocidade em cada vertical. **CUIDADO:** O equipamento deve permanecer estático (parado) durante a medição de velocidades, caso contrário, qualquer movimentação do barco/equipamento será incorporada na estimativa da velocidade da água, tornando o valor da velocidade imprecisa.

- Medir o azimute do cabo na seção de medição, em relação ao Norte Magnético ou Verdadeiro.
- **Medir o valor da régua**, com o respectivo horário, antes de iniciar a medição de vazão e ao final.

4.3 A MEDIÇÃO

- O tempo das tomadas de velocidades deve ser 2x (duas vezes) o tempo utilizado para o molinete. Quando não for realizada medição com molinete, **120 segundos** de gravação por vertical. Os “*bad ensembles*” significam perda de 1s, sendo que devem ser recuperados aumentando-se o tempo de tomada de velocidades proporcional a quantidade de “*bad ensembles*” (p.ex., chegando-se ao tempo de 120s, há 20 bad ensembles (=20s); continua-se gravando por mais 20 segundos, totalizando 140s; se aos 140s não houver mais perda de ensembles, finalizar a vertical).
- Atentar para que o barco esteja perpendicular ao cabo e o equipamento esteja alinhado com a vertical correspondente, durante a medição de velocidades. Além disso, atentar para a não movimentação do barco/equipamento, pois esta velocidade do barco será inserida na velocidade da água, tornando-a imprecisa.
- As distâncias iniciais das verticais devem ser acumulativas, tendo como referência o N.A. da margem inicial e para a distância final deve ser inserido o valor 0,1 [m]. Deste modo, para todas as verticais, a extrapolação tem por finalidade armazenar a distância da vertical até a margem, não importando a vazão estimada pela extrapolação. Além disso, deve-se tomar o **cuidado** de inserir a mesma margem (direita, por exemplo) para todas as verticais, pois quando iniciam-se arquivos consecutivos de medição de vazão, o Software automaticamente inverte a lado da margem (se a primeira foi direita, a próxima será esquerda). Caso, for realizado algum equívoco e for invertido o lado da margem, deve ser anotado na planilha de campo, para que no pós-processamento seja feita a correção. A última vertical deve conter a distância final real à margem oposta (se as distâncias baseavam-se na margem direita, por exemplo, na ultima vertical deve ser inserida no início a distância até a margem direita e no final da medição deve ser inserida a distância da vertical até a margem esquerda). Esta etapa é muito importante, pois depende do operador medir e anotar adequadamente as distâncias, tanto no software como na planilha de campo, para que não haja dúvidas para o cálculo da vazão.
- Atentar na linguagem do Software para preencher as distâncias até as margens: Em softwares em inglês a representação de um numeral não inteiro é feita com “ponto” e não com “virgula” como no português (deve ser inserido o valor de 0.1 ou invés de 0,1). Este cuidado deve ser tomado para todos os tipos de configurações (medição em travessia, Loop, ScbSc, Fundo Móvel, etc).

4.4 ANÁLISE E CÁLCULO DA MEDIÇÃO

- A profundidade da vertical a ser utilizada é a média entre a primeira e a última vertical medida (“Right” e “Left” “Depth”).
- Os valores de velocidade (valor absoluto e direção), profundidade e distâncias até a margem são resgatados no software de pós-processamento do ADCP “WinRiver” (tecla F12, “Discharge History Tabular”).
- Verificar discrepâncias nas velocidades médias das verticais e profundidades. Comparar esses dados com os obtidos com o molinete.
- O cálculo de vazão para ambos deve ser o método meia-seção.
- Verificar o ângulo da direção das correntes, esta deve ser por volta de $\pm 90^\circ$ em relação ao azimute da seção de medição. **CUIDADO:** Os ângulos medidos pelo equipamento acústico são baseados no Norte Magnético. Deste modo, o Azimute a ser considerado deve ser também baseado no Norte Magnético. Caso o Azimute seja estimado com dados de GPS (Norte Verdadeiro), o mesmo deve ser corrigido para o Norte Magnético, aplicando a correção da Declinação Magnética que pode ser obtida com o Software GeoMag, de acordo com o local de data da medição. Caso o arquivo que contém as velocidades do Seção por Seção estiver com o valor da declinação magnética, **CUIDADO**, os ângulos das velocidades estarão referenciadas pelo Norte Verdadeiro, mesmo com a opção “None”. Deste modo, o Azimute deve estar baseado pelo Norte Verdadeiro também. Para ângulos com diferenças maiores que 10° comparado ao ângulo perpendicular ao Azimute, DEVE ser realizada a correção dos ângulos. A correção tem que ser feita pois quando o método da meia-seção é utilizada, implicitamente a velocidade tem que ser perpendicular a área da seção para a vazão ser calculada. Quando há um ângulo maior que 10° , a velocidade não está mais perpendicular a seção e, assim, o valor absoluto da velocidade não representa a velocidade real para a operação de sua multiplicação pela área.

4.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS

- O método é o mais preciso para a estimativa de vazão (quando aplicado correções de direção e quando realizado de modo eficiente, sem movimentação do barco e correta calibragem da bússola), pois há uma análise temporal do comportamento das velocidades na vertical medida, detectando as micro e macroturbulência do rio. Deste modo, quanto maior o tempo de amostragem e maiores verticais amostradas na seção, melhor a precisão do método;
- O método discretiza a seção em verticais, tornando-o ineficaz em medições com poucas verticais;
- Há a necessidade de permanecer estacionário no ponto de medição, deste modo ou o barco é ancorado ou é passado um cabo de margem a margem. A ancoragem ou passadas de cabo são impossíveis de serem realizadas em determinados rios (com mais de 300 m de largura, com grandes profundidades e velocidades), o que torna o processo perigoso.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

- Devido a ancoragem e o processo ser realizado em verticais, o método torna-se demasiado demorado, sendo impossibilitado de ser feito em escoamentos não permanentes, com grande variação de nível (subida ou descida).

4.7 ISO/FDIS 748:2007(E):

Segundo a ISO 748:2007, dependendo da largura do rio, recomenda-se modificar o número de verticais a serem utilizadas para a medição de vazão, por exemplo, para rios maiores que 5 metros recomenda-se medições no mínimo em 22 verticais (Tabela 1).

1.1.7. Tabela 1

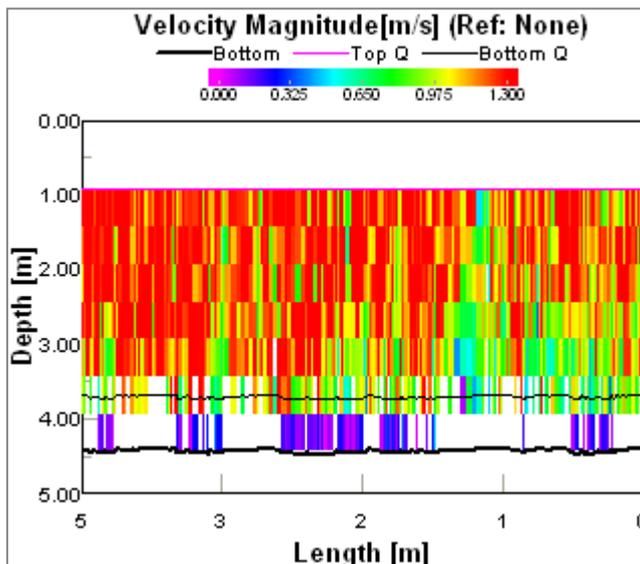
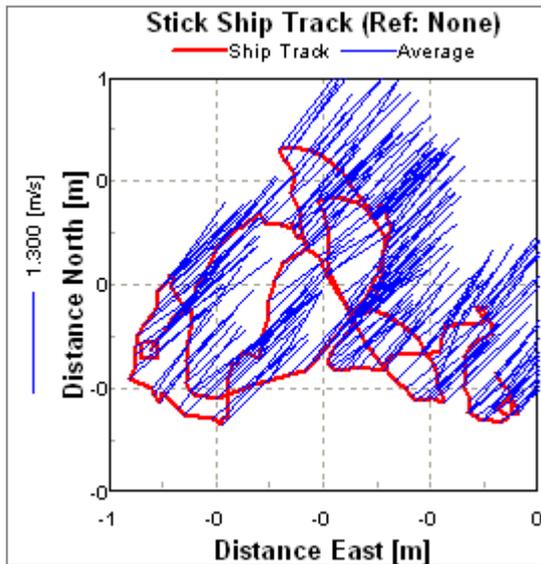
Largura (m)	Nº de verticais
< 0,5	5 a 6
> 0,5 e < 1,0	6 a 7
> 1,0 e < 3,0	7 a 12
> 3,0 e < 5,0	13 a 16
> 5	> 22

Além disso, a vazão a ser medida em cada vertical deve ser de preferência menor que 5% que a vazão total, com limite máximo de 10% da vazão total (rios com mais de 5 metros de largura). Finalmente, segundo a ISO 748:2007 o tempo mínimo para uma amostragem de velocidade de um ponto (caso do molinete) deve ser 30 segundos.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

Ilustrações de uma vertical medida com o método Seção por Seção:

Software: WinRiver *Stick Ship Track*, *Velocity Magnitude*, *Composite Tabular* e *Discharge History Tabular*.



Não são

WinRiver Playback Mode [Default: wmv] (FLO_S16004w.000>FLO_S16004w.001) FLO_S16004r.000

File Edit View Settings Playback Window Help

Velocity Magnitude Contour

Velocity Magnitude[m/s] (Ref: None)

— Bottom — Top Q — Bottom Q

0.00 0.325 0.650 0.975 1.300

Depth [m]

Length [m]

Composite Tabular

Enrs #	2000	# Enrs	243
Lost Enrs	0	Bad Enrs	0
%Bad Enrs	0%	Delta Time	0.50
Start	15-May-10		11:29:53.16
Pitch	4°	Heading	18°
Roll		Temp	19°C
Discharge (None) Right to Left			
Good Enrs	5		
Top Q	0.000	[m/s]	
Meaned Q	0.000	[m/s]	
Bottom Q	0.000	[m/s]	
Left Q	0.206	[m/s]	
Right Q	26.213	[m/s]	
Total Q	26.419	[m/s]	
Navigation (None)			
Boat Speed	0.000	[m/s]	
Boat Course	0.00	[m]	
Water Speed	1.195	[m/s]	
Water Dir	41.64	[m]	
Calc. Depth	4.00	[m]	
Length	0.00	[m]	
Distance MG	0.00	[m]	
Course MG	0.00	[°]	
Time	120.55	[s]	
GPS Position			
Latitude	22° 58.306441"		
Longitude	54° 33.927470"		

Stick Ship Track

Stick Ship Track (Ref: None)

— Ship Track — Average

Distance North [m]

Distance East [m]

1.300 [m/s]

Referência:

Medição de Vazão pelo Método Acústico - Avançado

Discharge History Tabular				
File Name	# Ens.	Start Time	Total Q [m³/s]	Start Bank
FLO_SbS000r.000	243	11:25:34	2.157	Right
FLO_SbS001r.000	243	11:29:29	8.766	Right
FLO_SbS002r.000	243	11:32:17	15.616	Right
FLO_SbS003r.000	243	11:35:04	22.528	Right
FLO_SbS004r.000	243	11:37:52	26.419	Right
FLO_SbS005r.000	243	11:41:31	35.829	Right
FLO_SbS006r.000	242	11:44:31	34.808	Right
FLO_SbS007r.000	243	11:50:13	38.214	Right
FLO_SbS008r.000	243	11:54:06	40.242	Right
FLO_SbS009r.000	242	11:57:18	47.674	Right
FLO_SbS010r.000	243	12:02:50	48.629	Right
FLO_SbS011r.000	242	12:05:57	50.254	Right
FLO_SbS012r.000	242	12:11:39	46.745	Right
FLO_SbS013r.000	242	12:14:41	54.880	Right
FLO_SbS014r.000	243	12:20:21	52.007	Right
FLO_SbS015r.000	242	12:22:52	60.346	Right
FLO_SbS016r.000	242	12:25:51	58.485	Right
FLO_SbS017r.000	242	12:31:22	53.876	Right
FLO_SbS018r.000	242	12:34:23	53.454	Right
FLO_SbS019r.000	242	12:39:51	53.543	Right
FLO_SbS020r.000	243	12:42:41	46.182	Right
FLO_SbS021r.000	243	12:46:22	48.293	Right
Average	243		40.861	
Std. Dev.	1		16.319	
Std./ Avg.	0.00		0.40	

story Tabular				
Boat Speed [m/s]	Avg Course [°]	Q/Area [m/s]	Flow Speed [m/s]	Flow Dir. [°]
0.000	0.00	0.272	0.430	41.85
0.000	0.00	0.527	0.840	43.84
0.000	0.00	0.691	0.961	42.88
0.000	0.00	0.800	1.123	59.99
0.000	0.00	0.796	1.162	43.55
0.000	0.00	0.904	1.203	59.49
0.000	0.00	0.780	1.184	58.86
0.000	0.00	0.801	1.241	59.06
0.000	0.00	0.716	1.240	42.84
0.000	0.00	0.794	1.174	58.92
0.000	0.00	0.703	1.034	59.81
0.000	0.00	0.726	1.042	61.32
0.000	0.00	0.608	0.915	46.37
0.000	0.00	0.692	0.897	62.57
0.000	0.00	0.644	0.924	62.78
0.000	0.00	0.699	0.964	45.88
0.000	0.00	0.651	0.906	64.86
0.000	0.00	0.581	0.821	49.63
0.000	0.00	0.551	0.746	65.07
0.000	0.00	0.521	0.772	46.40
0.000	0.00	0.436	0.755	65.49
0.000	0.00	0.406	0.539	48.94
0.000		0.650	0.949	
0.000		0.152	0.220	
0.00		0.23	0.23	

Tecla F12 do Software WinRiver "Discharge Hhistory Tabular"

REFERÊNCIAS

Gamaro, P. E. **Compensação das vazões medidas com ADCP em seções com fundo móvel**". Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

Gamaro, P. E. **Primeira Análise dos Métodos para Correção ou Medição de Vazão em Seções com Fundo Móvel**. Congresso da ABRH, São Paulo, SP;2008

Gamaro, P.E. **IV Curso de Medidores de Vazão Acústico Doppler**. Apostila módulo básico. Revisão 1.1, 2008;

Johnson, K. **Section by section ADCP discharge measurements**. "Anais do Hydroacoustic Workshop – San Diego CA 2004;

Mueller, D.S. Use of acoustic Doppler instruments for measuring discharge in streams with appreciable sediment transport". **In Conference of Hydraulic Measurements and Experimental Methods**, Estes Park, Colorado, 2002, Proceedings: Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers; 2002

Mueller, D.S., and Wagner, C.R. **Application of the loop method for correcting acoustic Doppler current profiler discharge measurements biased by sediment transport**. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006–5079, 26 p.2006

Mueller, D.S., Wagner, C. R, and Winkler, M. F. **Best Practices for Measuring Discharges with Acoustic Doppler Current Profilers**. USGS Report; 2010

Rainville F. ADCP Technical note on moving bed test. **In: Anais do Hydroacoustic Workshop**. San Diego CA 2004;

Simpson, M.R. and Oltmann, R.N. **Discharge measurement using an acoustic Doppler current profiler: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2395**, 34 p.

Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) - Avançado

