

**MEDIÇÃO DE VAZÃO PELO MÉTODO ACÚSTICO DOPPLER
(ADCP) – BÁSICO**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	03
1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE MEDIAÇÃO DE VAZÃO EM CURSOS D'ÁGUA.....	04
2 INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE POSTOS FLUVIOMÉTRICOS.....	06
2.1 MEDIÇÃO DE NÍVEIS	08
2.1.1 Erros Mais Comuns.....	10
2.1.1.1 Consequência dos Erros de Medição de Níveis.....	11
2.2 MEDIDAS DE VAZÃO.....	14
2.2.1 Análise de Consistência.....	17
2.3 A Determinação da Curva Chave.....	19
2.3.1 Método Gráfico.....	20
2.3.2 Método Analítico.....	21
3 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ACÚSTICA, COM DESTAQUE PARA O EFEITO DOPPLER.....	25
4 HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DOS MEDIDORES ACÚSTICOS COM BASE NO EFEITO DOPPLER.....	26
5 TIPOS DE MEDIDORES ACÚSTICOS DE VAZÃO	27
6 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO: NARROWBAND, BROADBAND E PULSO COERENTE.....	29
6.1 Processamento do Sinal.....	29
6.1.1 Pulso Incoerente ou NarrowBand.....	29
6.1.2 Spread Spectrum ou BroadBand.....	30
6.1.3 Coerente Pulso a Pulso.....	30
7 PROCESSAMENTO DOS DADOS COLETADOS PELOS MEDIDORES.....	30
7.1 Porque o Ranger Gates se Sobrepõe?.....	34
7.2 O que estabelece a Profundidade da Primeira Célula?.....	35
7.3 Sistemas de Coordenadas.....	37
7.4 Operação do ADCP.....	40
8 MODOS DE OPERAÇÃO.....	41
9 TERMINOLOGIA DE INTERESSE SOBRE OS MEDIDORES ACÚSTICOS: TERMINOLOGIA DOPPLER.....	44

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

9.1 Terminologia DOPPLER.....	45
10 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS NA COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	46
10.1 Software Winriver – Rd Instruments.....	48
10.1.1 O Software.....	48
10.1.2 Configuration Wizard.....	50
10.1.2.1 A Função F3.....	52
10.1.2.2 Recording.....	52
10.1.2.3 Processing.....	53
10.1.2.4 Discharge.....	54
10.1.2.5 Edge Estimates.....	54
10.1.2.6 DS/GPS/EH.....	54
10.1.2.7 Chart Properties 1 e 2.....	54
10.1.2.8 Commandes.....	54
10.1.2.9 Workspaces.....	55
10.1.2.10 Janelas Importantes.....	56
10.1.2.11 Velocity Magnitude Contour	56
10.1.2.12 Ship Track.....	56
10.1.2.13 Intensity Profile.....	57
10.1.2.14 Séries de Tempo Velocidade da Água e do Barco.....	57
10.1.2.15 Average Correlation Contour.....	58
10.1.3 Software river Surveryour – Sontek.....	60
10.1.3.1 Como Configurar.....	62
10.1.3.2 Controladores da Qualidade de Medição.....	62
10.1.3.3 Pós-Processamento.....	64
10.1.4 Software River Surveyour Live – Sontek.....	65
10.1.5 Software Stationary – Sontek.....	68
REFERÊNCIA.....	70

1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE MEDIAÇÃO DE VAZÃO EM CURSOS D'ÁGUA

Em razão da importância da água e das crescentes preocupações ambientais nas diversas atividades desenvolvidas pelo homem, está evoluindo progressivamente em todo mundo um novo conceito integrado de planejamento, gestão e uso dos recursos hídricos, onde, através de um conjunto de medidas técnicas, administrativas e legais, busca-se uma resposta eficaz às necessidades humanas e às exigências sociais para melhorar a utilização da água.

Para um gerenciamento adequado dos potenciais hidráulicos disponíveis no mundo, é fundamental conhecer o comportamento dos rios, suas sazonalidades e vazões, assim como os regimes pluviométricos das diversas bacias hidrográficas, considerando as suas distribuições espaciais e temporais, que exige um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, cuja confiabilidade torna-se maior à medida que suas séries históricas ficam mais extensas, envolvendo eventos de cheias e de secas (IBIAPINA et al., 2003). Antes porém, vamos a alguns conceitos básicos para melhor compreensão sobre o que o curso vai abordar.

Hidrometria

A hidrometria é a ciência que mede e analisa as características físicas e químicas da água, incluindo métodos, técnicas e instrumentação utilizados em hidrologia (PROSSIGA, 2003).

Fluviometria

Dentro da hidrometria pode-se citar a fluviometria, que abrange as medições de vazões e cotas de rios. Os dados fluviométricos são indispensáveis para os estudos de aproveitamentos hidroenergéticos, assim como para o atendimento a outros segmentos, como o planejamento de uso dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e socioeconômica (IBIAPINA et al., 2003).

Estação hidrométrica

Uma estação hidrométrica é uma seção do rio, com dispositivos de medição do nível da água (régua limimétrica ou linígrafas, devidamente referidos a uma cota conhecida e materializada no terreno), facilidades para medição de vazão (botes, pontes, etc.) e estruturas artificiais de controle, se for necessário (STUDART, 2003).

Avaliações da vazão

A avaliação diária da vazão por um processo direto (medição e integração do campo de velocidades na seção transversal) seria excessivamente oneroso e complicado, por este motivo opta-se pelo registro dos níveis do rio e determina-se uma relação entre a vazão e o nível denominada curva-chave. Portanto, a seguir serão descritas: a) A instalação de um posto fluviométrico;

b) A medição dos níveis;

c) A medição de vazão; e

d) A determinação da curva-chave.

2 INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

Segundo Santos (2001), na escolha do local de instalação das estações fluviométricas deve-se procurar um local do rio onde a calha obedece a alguns requisitos básicos:

1. Boas condições de acesso à estação;
2. Presença de observador em potencial;
3. Leito regular e estável (preferencialmente, que não sofra alterações);
4. Sem obstrução à jusante, ou seja, sem controle de jusante;
5. Trecho reto, ambas as margens bem definidas, altas e estáveis, e de fácil acesso durante as cheias;
6. Local de águas tranquilas, protegidas contra a ação de objetos carregados pelas cheias;
7. Relação unívoca cota x vazão.

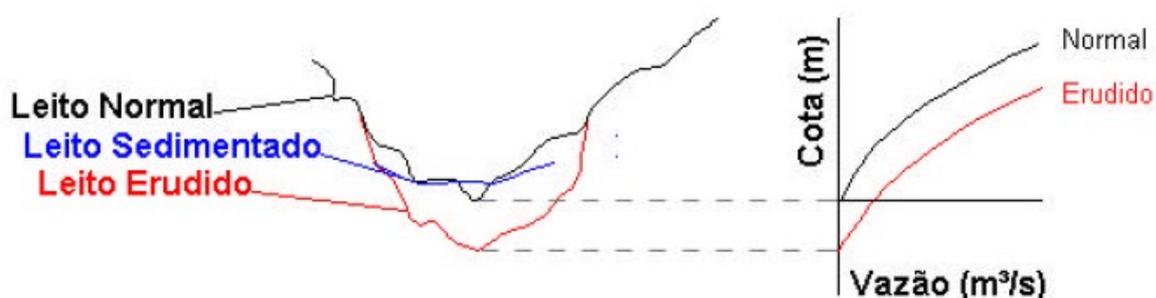
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Denomina-se “controle” a seção do rio que determina o nível de água no local para cada vazão. Na maioria das vezes os fatores preponderantes na escolha da seção de controle são a facilidade de acesso e a existência de um observador nas proximidades. Ao instalar uma estação fluviométrica, sempre se deve levar em conta que, na maioria dos casos, os registros só produzirão resultados através de estudos e análises hidrológicas, depois de muitos anos e que mudanças frequentes de local, mesmo entre locais próximos entre si, levam à necessidade de se repetir muitos trabalhos, além de sempre gerarem um componente de incerteza nos estudos hidrológicos correspondentes.

Assim, de modo geral, devem-se evitar locais onde se supõe que, em breve, possam sofrer alterações que obriguem mudança de local (afogamento por barragem, dragagem do rio, edificações, terraplanagem, etc.). A instalação das réguas deve ser feita a uma distância da margem que permita uma boa visibilidade. As réguas podem ser fixadas em suportes de madeira ou metal, protegidas contra intempéries, enterradas, concretadas na base dos suportes das réguas ou presas a cavaletes, ou peças de pontes conforme as necessidades e facilidades do local (SANTOS et al., 2001).

A importância de o leito ser fixo consiste no fato de que se não for é possível que ocorra erosão depois de uma grande cheia, o que causa uma alteração na curva-chave (Figura 1). Por este motivo, é importante que se priorize a escolha da seção rochosa na seleção da seção, uma vez que só poderá ter alterações na curva-chave por deposição de sedimentos e não por erosão.

Figura 1 - Leito do rio sob condições de erosão e deposição.



Deve-se também evitar seções de controle onde exista controle a jusante, ou seja, o

estreitamento do rio, uma ponte e, principalmente, a confluência de um rio. A confluência a jusante pode, numa cheia, causar remanso. Deve-se ter sempre a seção localizada acima de uma cota de cheia do afluente à jusante. Muitas vezes a seção, em função do remanso, deve ficar a centenas de quilômetros a montante. Caso isso não seja possível, pode-se criar um feixe de curvas chaves. Um exemplo é o efeito do Rio Guaíba sobre o Rio Caí, onde provavelmente o efeito seja sentido somente a uns 70 km, e no Rio Gravataí o efeito do Guaíba ficaria além de Novo Hamburgo. Nestes casos, não se pode evitar o controle de jusante, pois o Guaíba quando sobe seu nível exerce uma pressão maior a jusante do que a montante, o que faz com que as vazões fiquem baixas ou negativas. Ao contrário, quando o nível está baixo, as vazões são maiores, influenciando diretamente nas vazões dos rios Caí e Gravataí.

Quanto à operação de uma estação fluviométrica, consiste basicamente em realizar leituras diárias das cotas pelos observadores e a realização periódica de medições de vazão pelos hidrometristas.

Segundo Santos (2001), as principais atribuições do observador são:

- Fazer diariamente a leitura as 7:00h e as 17:00h;
- Em grandes cheias realizar o maior número de leituras possíveis;
- Instalar réguas sobressalentes em caso de destruição da original e/ou quando houver cotas acima ou abaixo do último e do primeiro lance;
- Informar todas as ocorrências observadas durante as observações;

2.1 MEDIÇÃO DE NÍVEIS

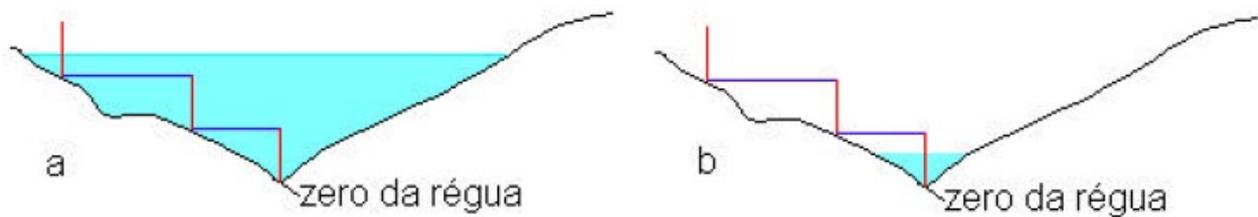
Os níveis de um rio são medidas por meio de linímetros, mais conhecidos como réguas linimétricas e linígrafos. Uma régua linimétrica é uma escala graduada, de madeira, de metal, ou uma pintada sobre uma superfície vertical de concreto. Quando a variação dos níveis de água é considerável, é usual instalar, para facilitar a leitura, a régua em vários lances. Cada lance representa uma peça de 1 ou 2 metros.

Os níveis máximos e mínimos dos lances de réguas a serem instalados devem se definir a partir de informações colhidas junto aos moradores mais antigos da região, de

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

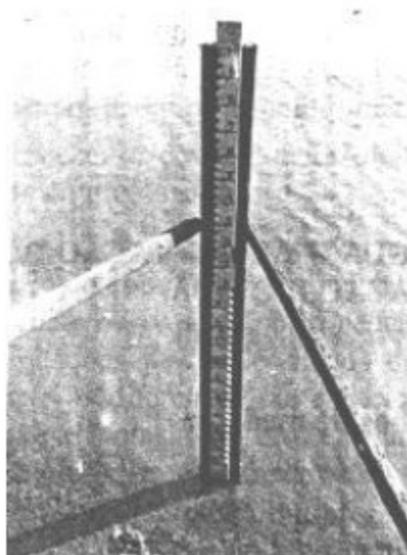
modo a evitar que a água ultrapasse os limites superiores e inferiores dos lances. O zero da régua deve estar sempre mergulhado na água, mesmo durante as estiagens mais severas (Figura 2). Isso evita a necessidade de leituras negativas, que são tradicionalmente uma fonte de erro (SANTOS et al., 2001).

Figura 2 - Lance de réguas instaladas em uma seção do rio em: a) período de cheia; b) regime de estiagem.



Entre essas réguas, as de madeira, com lances de 1 a 2 m, denteadas a cada 2 cm (Figura 3), designadas “Tipo divisão de Águas”, já foram largamente utilizadas e permanecem como alternativa em alguns lugares. O principal mérito desse tipo é o seu custo reduzido e a intercambialidade dos lances, pois a marcação dos metros é, em geral, acrescentada no local (SANTOS et al., 2001).

Figura 3 - Régua linimétrica de madeira.



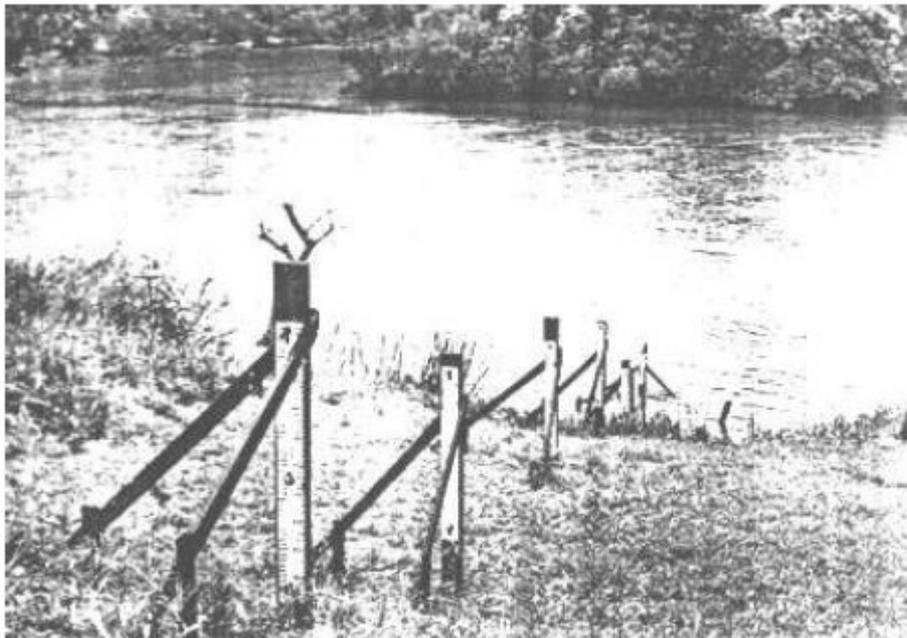
Em contrapartida, a grande desvantagem é a facilidade com que o observador pode cometer enganos na leitura. Esse problema tem levado a varias instituições a substituírem as réguas denteadas de madeira por outros tipos menos sujeitos a erros de leitura, porque são numeradas a cada duas divisões de escala, como é o caso das réguas de metal esmaltadas (Figura 4).

2.1.1 Erros Mais Comuns:

Evidentemente, independente do tipo de régua que é utilizada, as leituras estão sujeitas a uma série de erros, entre os quais se pode destacar:

- a) Os erros grosseiros (resultantes de imperícia ou negligência do observador); e
- b) Os erros sistemáticos, que em geral provém de mudanças casuais ou mal documentadas do zero da régua (SANTOS et al.,2001).

Figura 4 - Régua linimétrica de metal esmaltada em lances.



Entre os erros grosseiros, o mais comum é o erro de metros inteiros, quando o observador se engana com relação ao lance, ou então a invenção pura e simples do registro, quando o observador não realizou a leitura. A comodidade de realizar a leitura a distância (para não descer o barranco da margem do rio) também é uma fonte de erro frequente. Já os erros sistemáticos são as diferenças entre o nível de água correto e o registrado na régua.

Têm suas causas na instalação defeituosa da régua, independem do observador e são sempre de mesmo valor. A causa mais frequente desses erros nas réguas linimétricas reside no chamado deslocamento do zero, isto é, a régua sofreu um deslocamento vertical, fazendo com que sua origem não se situe mais na cota original. Outra causa comum de erro sistemático de leitura nos níveis de água é o afastamento da régua da vertical causado pelo impacto de detritos e barcos (SANTOS et al., 2001).

2.1.1.1 Consequência dos Erros de Medição de Níveis:

Além dos problemas oriundos de observadores negligentes ou mal treinados, as réguas linimétricas apresentam o inconveniente de fornecer apenas uma ou duas observações (em geral as 7:00 e 17:00h), que podem não ser representativas da situação média diária. Pois é possível que tenha ocorrido um máximo ou um mínimo no intervalo entre as duas leituras. Este problema é particularmente importante em cursos de água onde existem usinas hidrelétricas em operação, que normalmente provocam variações rápidas nos níveis de água. Também no caso de bacias hidrográficas pequenas e particularmente bacias urbanas. Para contornar este problema, costuma-se instalar em estações fluviométricas com variações rápidas de nível, registradores contínuos denominados linigrafos (IBIAPINA et al., 2003).

Assim como no caso dos pluviógrafos, em que sempre se instala um pluviômetro ao lado, também o linígrafo não dispensa a instalação da régua, que deve, sempre que possível, ser lida normalmente as 7:00h e 17:00h ou, pelo menos uma vez por dia, permitindo os seus registros :

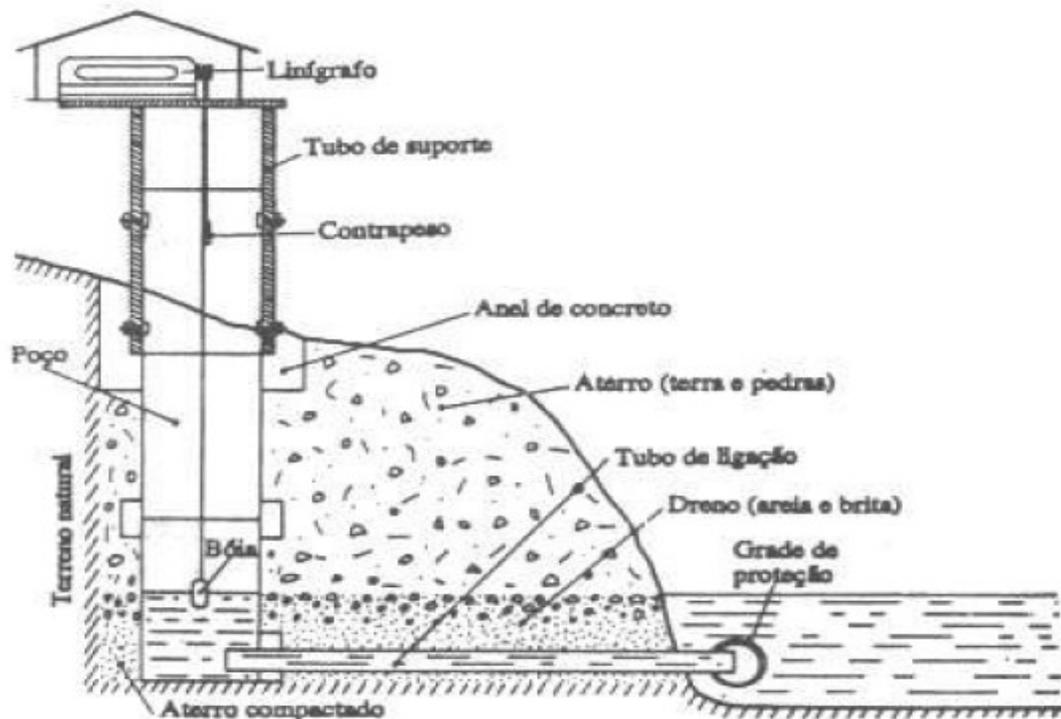
- Detectar prontamente um defeito mecânico do linígrafo;
- Auxiliar na interpretação do diagrama (principalmente evitar que quem examina o linígrama se perca nas chamadas reversões, e;
- Substituir o registro do linígrafo no caso de avaria do aparelho.

Sob o ponto de vista funcional, distinguem-se os linigrafos de bóia (Figura 5) e os de pressão. Os linigrafos de bóia possuem um flutuador preso a um cabo ou uma fita de aço

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

que transmite o seu movimento, decorrente de uma variação de nível de água, a um eixo que desloca um estilete munido de pena sobre um gráfico de papel. Ao mesmo tempo, um mecanismo de relógio faz o gráfico avançar na direção perpendicular ao movimento da pena e a uma velocidade constante (STUDART, 2003).

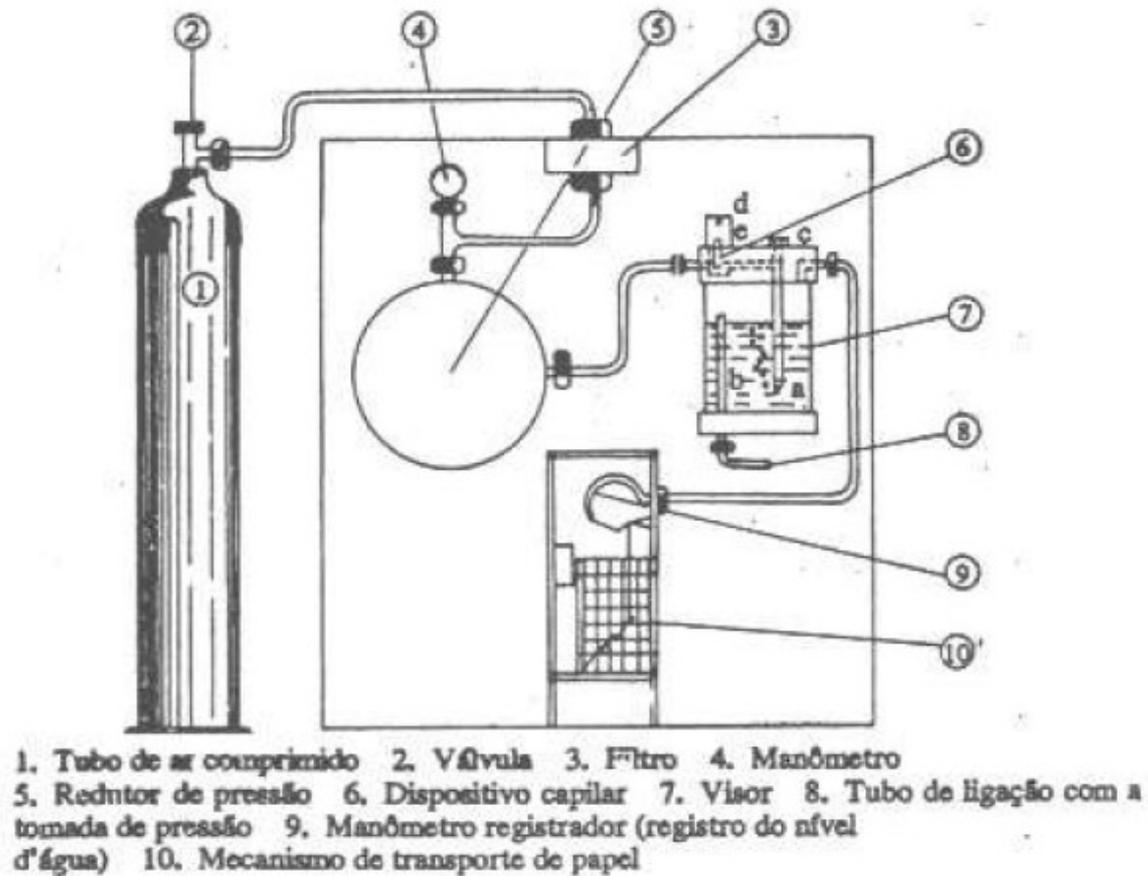
Figura 5 - Instalação de um linígrafo de boia.



O linígrafo de pressão (Figura 6) apresenta a vantagem de permitir, em geral, períodos mais longos sem que haja a necessidade de troca de papel. O linígrafo de boia, em geral exige a troca do papel semanalmente. Outra desvantagem do linígrafo de boia em relação ao de pressão, consiste na instalação muito dispendiosa, a escavação do poço e a construção dos condutos de ligação. Em locais onde há afloramento de rocha ou cobertura de solo muito pequena essa escavação é muito cara e trabalhosa, exigindo o emprego de explosivos (SANTOS et al., 2001).

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 6 - Instalação de linígrafo de pressão de bolhas.



Por essa razão, recentemente, tem-se dado preferência ao linígrafo de pressão, que dispensa a construção do poço. Entre os linígrafos de pressão existe o de bolhas, de concepção mais antiga e pouco usado, e o linígrafo com transdutor eletrônico de pressão, cujo desenvolvimento recente resulta em um equipamento mais compacto e robusto e de custo reduzido.

Em locais ermos, no caso da Amazônia ou do Pantanal, a utilização de linígrafos, que gravam os valores em um arquivo magnético (datalogger), de onde podem ser transferidos diretamente para o computador é mais em função das dificuldades de observação do que pela necessidade de medição contínua no tempo. Já em áreas urbanas o linígrafo é essencial, sendo insuficiente o uso da régua, uma vez que os eventos relevantes podem acontecer em minutos (5, 10, 15, 30 minutos). O custo da instalação de linígrafos em áreas urbanas é muito grande, devido à constante danificação

do equipamento tanto pela população quanto pelo ambiente de escoamento.

2.2 Medidas de Vazão

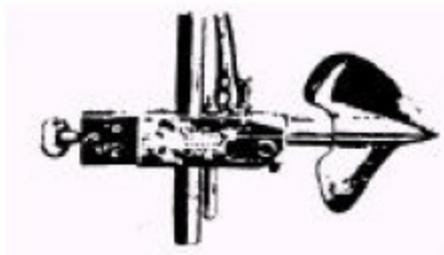
Medição de vazão em hidrometria é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. A vazão ou descarga de um rio é o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo (em geral um segundo).

Como já foi mencionado anteriormente, essa vazão é associada a uma cota linimétrica determinada. A seguir será descrita a determinação da velocidade do fluxo através da seção de controle, a fim de determinar a vazão do curso de água. Os equipamentos mais utilizados para medir a velocidade da água são os molinetes e os ADCPs.

Molinetes: são equipamentos que contém uma hélice que gira quando é colocada no sentido do fluxo da água (Figura 7). O princípio mais utilizado é que a rotação da hélice em torno do eixo abre e fecha um circuito elétrico, contando o número de voltas durante um intervalo de tempo fixo, obtendo-se assim uma relação entre a velocidade do fluxo e a rotação da hélice do tipo:

$$V = aN + b \text{ Eq. 13.1}^1$$

Figura 7 - Molinete para medição de velocidade de fluxos.



O método para determinação da vazão consiste nos seguintes passos (STUDART, 2003):

¹ onde V = velocidade do fluxo; N = velocidade de rotação; e a e b são constantes características da hélice e fornecidas pelo fabricante do molinete, e/ou determinadas por calibração, que deve ser realizada periodicamente (CHEVALLIER, 2003).

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

1. Divisão da seção do rio em certo número de posições para levantamento do perfil de velocidades;
2. Levantamento do perfil de velocidades;
3. Cálculo da velocidade média de cada perfil;
4. Determinação da vazão pelo somatório do produto de cada velocidade média por sua área de influência (Figura 8).

Figura 8 - Medida de vazão com molinete.



O número de pontos que devem ser posicionados os molinetes dependem da profundidade do curso de água em estudo, a Tabela 1 fornece a posição na qual o molinete deve estar em relação à profundidade.

Tabela 1 - Posição do molinete na vertical em relação à profundidade.

Profundidades	Posição
0,15 a 0,60	0,6.P
0,60 a 1,20	0,2.P e 0,8.P
1,20 a 2,00	0,2.P; 0,6.P e 0,8.P
2,00 a 4,00	S; 0,2.P; 0,4.P; 0,6.P e 0,8.P
acima de 4,00	S; 0,2.P; 0,4.P; 0,6.P; 0,8.P e F.

A posição S (superfície) corresponde à profundidade de 0,10m, e a posição F (fundo) corresponde àquela determinada pelo comprimento da haste de sustentação do lastro.

ADCP: 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.

Quando estas partículas se movem em direção ao ADCP, a frequência do som que hipoteticamente seria ouvida nelas teria sua frequência alterada pelo efeito Doppler, proporcionalmente à velocidade relativa entre o ADCP e a partícula. Parte desse som, cuja frequência foi alterada pelo efeito Doppler, é refletida de volta em direção ao ADCP.

Este eco parece ao ADCP como se a fonte fosse a partícula em movimento, e o ADCP percebe o som refletido com sua frequência alterada uma segunda vez pelo efeito Doppler. Portanto, como o ADCP tanto transmite o som como o recebe sem eco refletido, o efeito Doppler aplica-se duplamente e a equação (SANTOS et al., 2001).

2.2.1 Análise de Consistência

Todo dado hidrológico é fruto de uma ou mais observações ou medidas realizadas no campo. As informações hidrológicas são coletadas em estações que, em função do tipo das grandezas físicas observadas, são classificadas em estações fluviométricas, sedimentométricas, fluviométricas, evaporimétricas, meteorológicas, etc. Nessas estações, o dado físico é observado habitualmente por instrumentos automáticos ou não, e, em função de imperfeições da medida, o valor observado em geral difere do valor verdadeiro por uma diferença que recebe o nome de “erro de observação”.

Mais tarde, na manipulação dos dados observados, podem ocorrer alterações involuntárias do valor observado, esse erro denomina-se em geral “erro de transcrição”. Os erros de observação classificam-se, de acordo com a teoria dos erros, em três categorias:

- a) Erros grosseiros;
- b) erros sistemáticos; e
- c) erros fortuitos.

Os **erros grosseiros** resultam de erro humano, como já mencionado. São em geral maiores que a precisão do aparelho e não obedecem a um padrão preestabelecido. Os erros grosseiros mais comuns em fluviometria são (MARINI, 2002; SANTOS et al., 2001):

- Erros de metro inteiro;
- Erro de contagem de dentes;
- Erro de decímetro;
- Leitura em horários diferentes;
- Erro de leitura de régua;
- Invenção de registro;
- Entupimento de condutos do linígrafo;
- Imprecisão do mecanismo de relógio;
- Boia furada;
- Escorregamento do cabo da boia;
- Danificação do equipamento por vandalismo.

Entre os **erros sistemáticos** em fluviometria, os mais comuns são:

- Mudança de zero da régua;
 - Mudança do local;
 - Influência de pontes ou outras obras no nível da água;
 - Laços na curva de descarga, influência de remanso;
 - Alterações do leito.
-
- Já os **erros fortuitos** são:
 - Ondas e oscilações de nível;
 - Variações inferiores à graduação da régua;
 - Escorregamento do cabo de aço na roldana;

- Variações de nível mais rápidas que a inércia do linígrafo;
- Erros de paralaxe na leitura.

A análise de consistência extrai os erros mais grosseiros. A análise de consistência não deve incorrer em erros que pode distorcer os dados. Ou seja, a análise de consistência pode intervir demais na informação. Como exemplo, temos o que ocorre no Pantanal, em que a vazão pode diminuir a jusante e a análise de consistência tenta corrigir esse dado. No entanto, existem indicadores que podem ser usados que fazem o cruzamento de dados de tal forma a dar certeza sobre a verdade da informação.

2.3 A Determinação da Curva-Chave

Curva-chave é a relação entre os níveis d'água com as respectivas vazões de um posto fluviométrico. Para o traçado da curva-chave em um determinado posto fluviométrico, é necessário que se disponha de uma série de medição de vazão no local, ou seja, a leitura da régua e a correspondente vazão (dados de h e Q). A curva chave usa modelo de seção com controle local, ou seja, predominância da declividade do fundo sobre as demais forças do escoamento, como por exemplo, a pressão. Com isso, temos uma relação biunívoca entre profundidade e vazão (PEDRAZZI, 2003).

Segundo Pedrazzi (2003), partindo-se desta série de valores (h e Q) a determinação da curva-chave pode ser feita de duas formas: gráfica ou analiticamente. A experiência tem mostrado que o nível d'água (h) e a vazão (Q) ajustam-se bem à curva do tipo potencial, que é dada por:

$$Q = a(h - h_0)^b \quad \text{Eq. 13.2}^2$$

A equação acima pode ser linearizada aplicando-se o logaritmo em ambos os lados:

$$\log Q = \log a + b \log(h - h_0) \quad \text{Eq. 13.3}$$

² Onde: Q é vazão em m^3/s ;

h é o nível d'água em m (leitura na régua);

a , b e h_0 são constantes para o posto, a serem determinados;

h_0 corresponde ao valor de h para vazão $Q = 0$.

Fazendo $Y = \log Q$, $A = \log a$ e $X = \log(h-h_0)$, tem-se uma equação da reta:

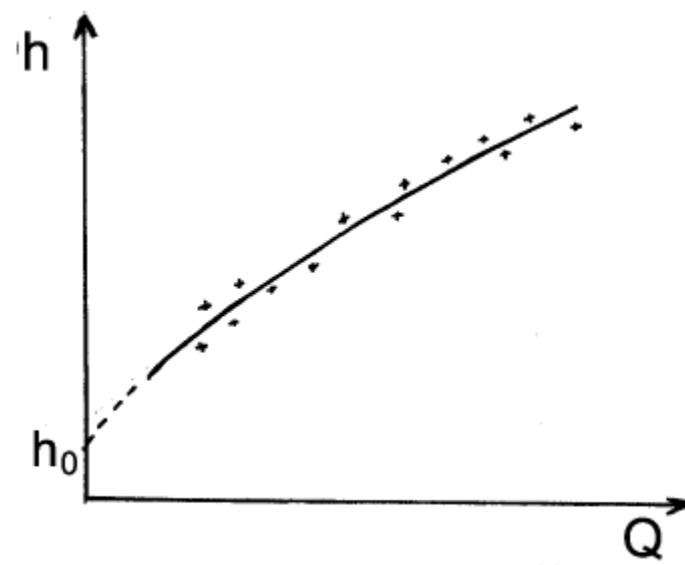
$$Y = a + bX \text{ Eq. 13.4}$$

A maneira mais prática de se obter os parâmetros a , b e h_0 é o método gráfico, que necessita de papel di-log. Entretanto, em face à dificuldade de encontrar este papel no mercado, introduziu-se também, neste curso, o método analítico para a definição das curvas-chaves. A seguir, é apresentado, de forma sucinta, o procedimento de cálculo dos parâmetros a , b e h_0 , utilizando os dois métodos:

2.3.1 Método Gráfico

1. Lançar em papel milimetrado os pares de pontos (h, Q) ;
2. Traçar a curva média entre os pontos, utilizando apenas critério visual;
3. Prolongar essa curva até cortar o eixo das ordenadas (eixo dos níveis); a intersecção da curva com o eixo de h corresponde ao valor de h_0 (Figura 9);

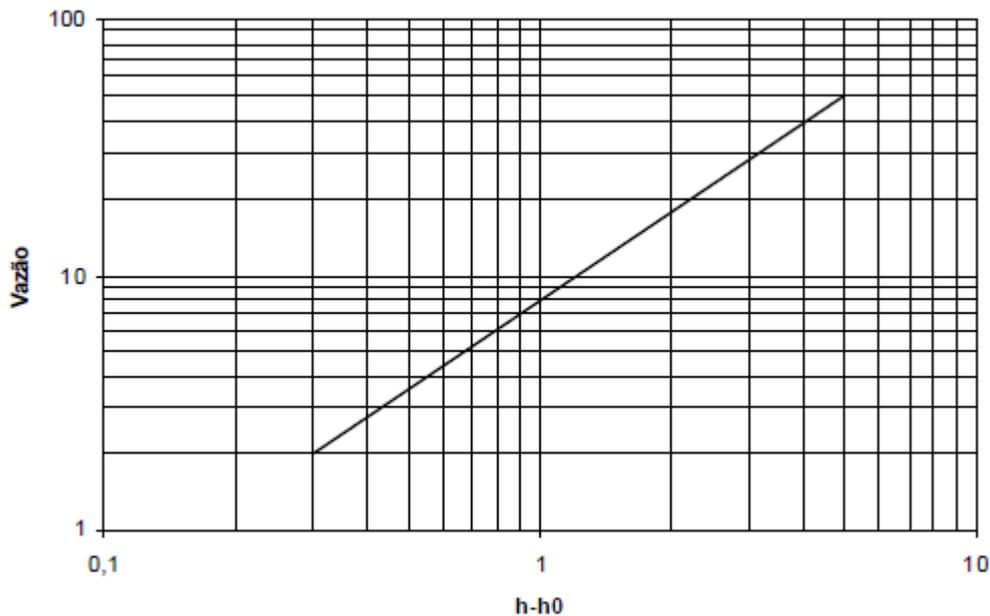
Figura 9 - Relação entre cota e vazão.



4. Montar uma tabela que contenha os valores de $(h-h_0)$ e as vazões correspondentes;
5. Lançar em papel di-log os pares de pontos $(h-h_0, Q)$ (Figura 10);
6. Traçar a reta média, utilizando critério visual;

- Determinar o coeficiente angular dessa reta, fazendo-se a medida direta com uma régua; o valor do coeficiente angular é a constante b da equação da curva-chave;
- Da intersecção da reta traçada com a reta vertical que corresponde a $(h-h_0)$ resulta o valor particular de Q , que será o valor da constante a da equação.

Figura 10 - Relação cota-vazão em papel log-log.



2.3.2 Método Analítico

Apesar de esse método ser um processo matemático, não dispensa o auxílio de gráfico na determinação do parâmetro h_0 . Portanto, aqui valem também os quatro primeiros passos descritos no método gráfico.

Reescrevendo a equação da curva-chave: $Q = a(h-h_0)^b$;

Linearização aplicando logaritmo: $\log Q = \log a + b \cdot \log (h-h_0)$;

A equação acima é do tipo $Y = a + bX$;

Onde: $Y = \log Q$, $A = \log a$ e $X = \log(h-h_0)$.

Os parâmetros a e b da equação da reta $Y = a + bX$ são calculados da seguinte forma:

Como $A = \log a$, o valor de a é obtido pelo antilog A , ou $a = 10^A$. As medições de vazão

utilizando a costumam definir apenas um trecho central da curva. Porém existem problemas nos trechos superiores e inferiores da curva. Os problemas na representação da relação inferior são devidos principalmente à mudança de leito devido à deposição de sedimentos ou erosão. Já o problema na relação superior é a carência de medidas nos eventos extremos. Então o ramo superior e o inferior são os pontos críticos da qualidade da relação.

Assim, para poder estimar as vazões também nessas situações e estabelecer uma série contínua de vazões (hidrograma), a curva de descarga deve ser extrapolada. Essas extrapolações, embora muitas vezes calçadas em maior e ou menor grau nas leis da hidráulica, são sempre de caráter duvidoso, devendo-se realizar medições de vazão fora do intervalo já medido a fim de confirmar ou retificar as extrapolações.

Segundo Santos (2001), existe um grande número de métodos para extrapolar as curvas-chave, sendo os mais comuns:

1. Extrapolação gráfica a sentimento, seguindo-se a tendência do trecho definido pelas medições;
2. Leitura de cotas simultâneas em outra estação próxima, com curva-chave melhor definida;
3. Extrapolação logarítmica;
4. Extrapolação da velocidade média e determinação da área por levantamento topobarmétrico da seção de medição;
5. Extrapolação com base em fórmulas do regime uniforme em canais;
6. Extrapolação por meio de cálculo de remanso;
7. Ajuste de equações nos pontos medidos.

O **primeiro e o último métodos** são os mais sujeitos a grandes erros, caso o trecho a ser extrapolado seja extenso. Essas técnicas são usadas para pequenas extrapolações, superando apenas ligeiramente os pontos medidos.

O **segundo método** é muito usado para a obtenção de curvas-chave em locais próximos a uma régua de curva-chave bem definida. Essencialmente o método consiste em plotar

num gráfico as leituras de régua simultâneas das duas estações e estabelecer uma relação empírica entre essas estações.

O **terceiro método** citado – a extrapolação logarítmica – é a técnica mais utilizada no Brasil para extrapolar a parte superior da curva-chave e não serve para a parte inferior. Para extrapolar uma curva-chave por esse método, desenha-se o trecho definido da curva em papel bilogaritmico e soma-se ou subtrai-se, nas ordenadas do trecho mais alto da curva, uma constante escolhida por tentativa, de tal forma que esse trecho se torne uma reta. Extrapola-se essa curva pelo processo inverso. Sempre que o controle hidráulico da estação permanecer estável e com suas características geométricas constantes, esse processo de extrapolação costuma dar bons resultados. Entretanto, quando mudam as condições de controle os erros podem ser muito grandes.

O **quarto processo** de extrapolação consiste na determinação da área em função da cota a partir do levantamento topobatimétrico da seção de medições. Ao redor dessa curva, marcam-se os valores obtidos para a área a partir das medições de descarga. Paralelamente, locam-se os valores da velocidade média na seção, procurando interpolá-los por uma curva contínua. Deve-se tomar o cuidado de verificar a existência de pontos particulares dessa curva, como, por exemplo, as cotas de transbordamento ou as cotas em que se alteram as características das margens. A seguir, procura-se extrapolar o gráfico de velocidade média em função da cota, tomando cuidado de não ultrapassar a cota correspondente à área nula e orientando-se qualitativamente pelos pontos particulares. Em geral, esse gráfico representa uma forma de S, com ponto de inflexão acima da cota média.

Esse processo é usado com frequência para a extrapolação inferior da curva-chave e tem dado bons resultados. Já para a parte superior os resultados nem sempre são razoáveis, pois falta uma diretriz para extrapolar a velocidade média que, nas vazões altas, apresenta variações nem sempre previsíveis.

O **quinto método** de extrapolação mencionado consiste em aceitar como válidas, na própria seção de medição, as fórmulas de Chezy ou de Manning para o escoamento

uniforme em canais. O método Stevens é a forma mais clássica desta maneira de extrapolar uma curva-chave e baseia-se na fórmula de Chezy:

$$Q = CA R^i \text{ Eq. 13.7}^3$$

Supondo-se constante $C i = K$, resulta:

$$Q = KA R \text{ Eq. 13.8}$$

A R é uma função apenas das características geométricas da seção e pode ser obtida a partir do seu levantamento topobatimétrico. O sucesso do método depende da constância do produto $C i$, o que nem sempre acontece, mas que deve ser verificado com base nas medições de descarga disponíveis.

O **último método** de extrapolação é a possibilidade de extrapolar a curva-chave por meio de cálculo de remanso a partir do controle hidráulico. Esse é o único processo que permite levar em conta a eventual mudança de controle, pois o cálculo de remanso pode ser feito partindo-se alternativamente de duas seções de controle, devendo-se adotar o nível mais elevado.

A dificuldade do método consiste em estimar a rugosidade do canal e a sua variação em função do nível. Se for exigido rigor, deve-se dispor de leituras simultâneas de nível em vários locais ao longo do trecho estudado e determinar os coeficientes de rugosidade a partir das observações dessas réguas. Em situações menos exigentes, pode-se recorrer a valores desses coeficientes obtidos em condições similares.

³Onde: Q = vazão;
 A = área da seção transversal;
 R = raio hidráulico;
 I = declividade superficial;
 C = coeficiente dimensional.

3 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ACÚSTICA, COM DESTAQUE PARA O EFEITO DOPPLER

O efeito Doppler foi descoberto pelo matemático e físico austríaco Christian Johann Doppler (1803 – 1853) em 1842, em Praga, Tchecoslováquia.

Figura 11 - Christian Johann Doppler



Efeito Doppler:

É a mudança de frequência em uma onda sonora quando a fonte está se movendo em relação ao observador, ou vice-versa, ou ambos.

4 HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DOS MEDIDORES ACÚSTICOS COM BASE NO EFEITO DOPPLER

Durante a Segunda Guerra, *San Diego, CA (EUA)* tornou-se o centro de desenvolvimento de sonares para uso militar. Após a Guerra, a marinha americana continuou o desenvolvimento tecnológico de acústica ainda em *San Diego*.

Nas décadas de 70 e 80, sonares começaram a ser usados (ativos e passivos) para fins de pesquisas marítimas (primeiramente geológicas, depois biológicas). Um dos “problemas” do sonar como ecosonda era sempre a presença do efeito Doppler nas medições, considerados até então como efeito indesejável.

Em 1982, dois membros da Universidade da Califórnia, em *San Diego* formaram uma parceria e criaram a *RD Instruments*, e comercializaram o primeiro ADCP para fundeios em águas salgadas na Califórnia. Seus nomes era Fran Rowe e Kent Deines. Kent era o engenheiro responsável por todo o desenvolvimento e Fran cuidava da parte comercial.

No fim da década de 80, Ramon Cabrera, um investigador espanhol, desenvolveu seu mestrado em engenharia elétrica na Venezuela e depois outro em computação na Universidade do *Hawaii*, sob a direção de um dos pais do moderno ADCP, Dr. Eric Firing. Após isso, foi contratado por Kent para trabalhar na *RD Instruments*, pouco depois o norueguês Atle Lohrmann também se juntou a *RD Instruments* para trabalhar na comercialização dessa até então nova ferramenta.

Em 1992, Atle e Ramon, que era neste momento o vice-presidente de pesquisa e desenvolvimento da *RD Instruments*, saíram de lá e criaram a *SonTek*. O Dr. Nick Krauss, do departamento de engenharia hidráulica do exército americano foi o elemento catalisador dessa parceria. O Dr. Nick Krauss forneceu US\$60.000 para Atle e Ramon desenvolverem o primeiro ADV—*Acoustic Doppler Velocimeter*—para medições em laboratório.

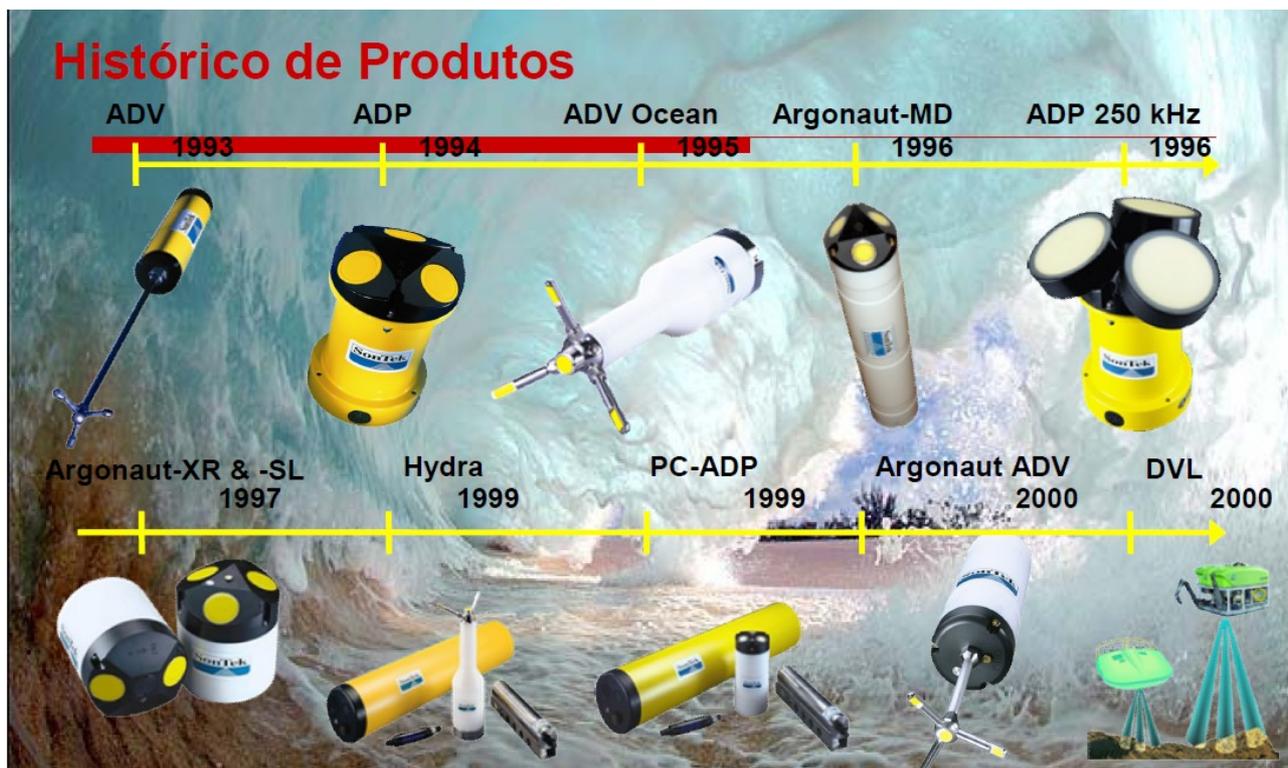
Em 1995, Atle e Ramon desfizeram sua parceria, e Atle voltou para a Noruega para fundar

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

a Nortek. Em 2007, Atle e Ramon tiveram a oportunidade de presentear o visionário Dr. Nick Krauss com o primeiro ADV—*Acoustic Doppler Velocimeter*.

5 TIPOS DE MEDIDORES ACÚSTICOS DE VAZÃO

Fabricantes dos ADCPs e ADPs; medições a vau, embarcada ou estática:



Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico





6 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO: *Narrowband*, *Broadband* e Pulso Coerente:

Todos os medidores *Doppler* utilizam um (ou mais) dos três métodos abaixo para calcular a velocidade da água com o efeito Doppler.

- Pulso Incoerente ou *NarrowBand*;
- Spread Spectrum* ou *BroadBand*;
- Coerente Pulso a Pulso.

6.1 PROCESSAMENTO DO SINAL

6.1.1 Pulso Incoerente ou *NarrowBand*

Transmite pulsos únicos e longos e “ouve” o eco nas partículas medindo a diferença de frequência entre a emissão e recepção.

São medições robustas usadas em uma ampla faixa de velocidades, e permite os maiores alcances para cada frequência. No entanto, possuem uma relativa alta incerteza em curto prazo.

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Medem realmente a diferença de frequência emitida e recebida.

Oferecem incerteza por pulso maior, compensam emitindo mais pulsos por segundo.

6.1.2 Spread Spectrum ou BroadBand

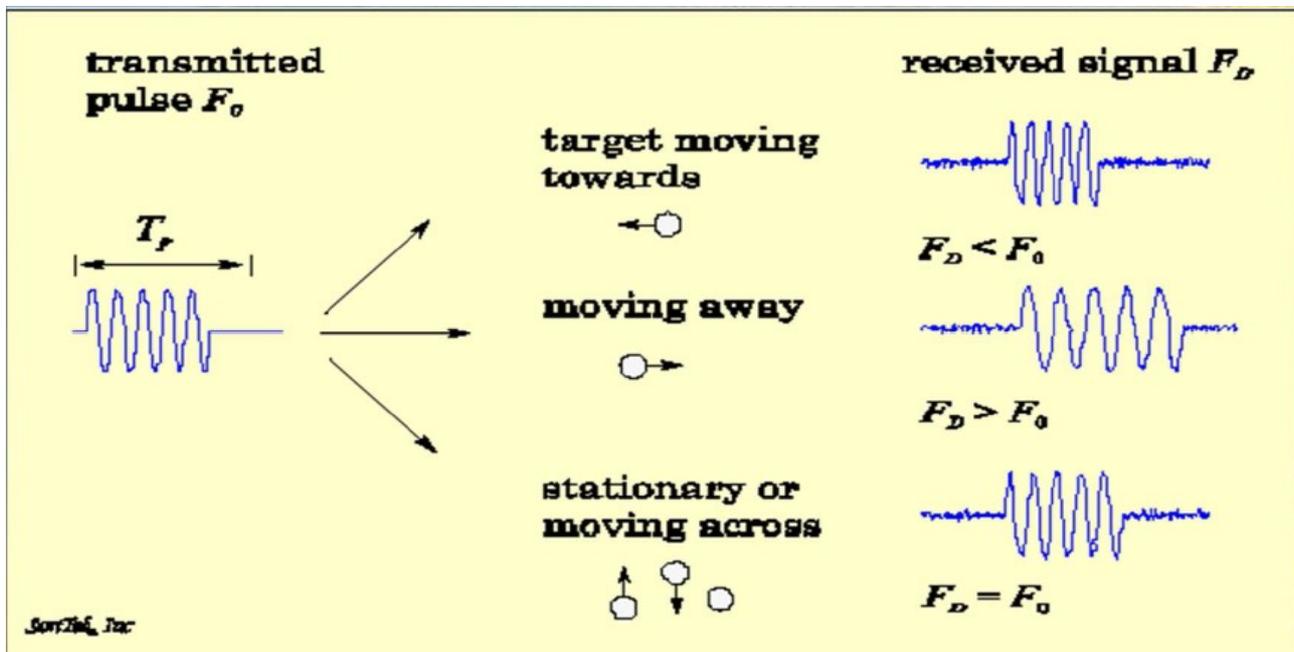
Sistemas coerentes processam mudanças de fases do retorno de sucessivos pulsos, utilizam series de pulsos n'água ao mesmo tempo. Sua incerteza de curto prazo está entre os outros dois métodos. A precisão e faixas de medição são extremamente dependentes da configuração selecionada pelo usuário.

6.1.3 Coerente Pulso a Pulso

É o mais preciso dos três, porem possui grandes limitações de alcance e velocidade. Opera emitindo um sinal e processa seu eco, para então emitir o segundo pulso. Mede então a diferença de fase entre os dois pulsos e o usa para calcular a diferença de frequência (vel. da água).

7 PROCESSAMENTO DOS DADOS COLETADOS PELOS MEDIDORES

Medidores monostáticos *Doppler* de Corrente



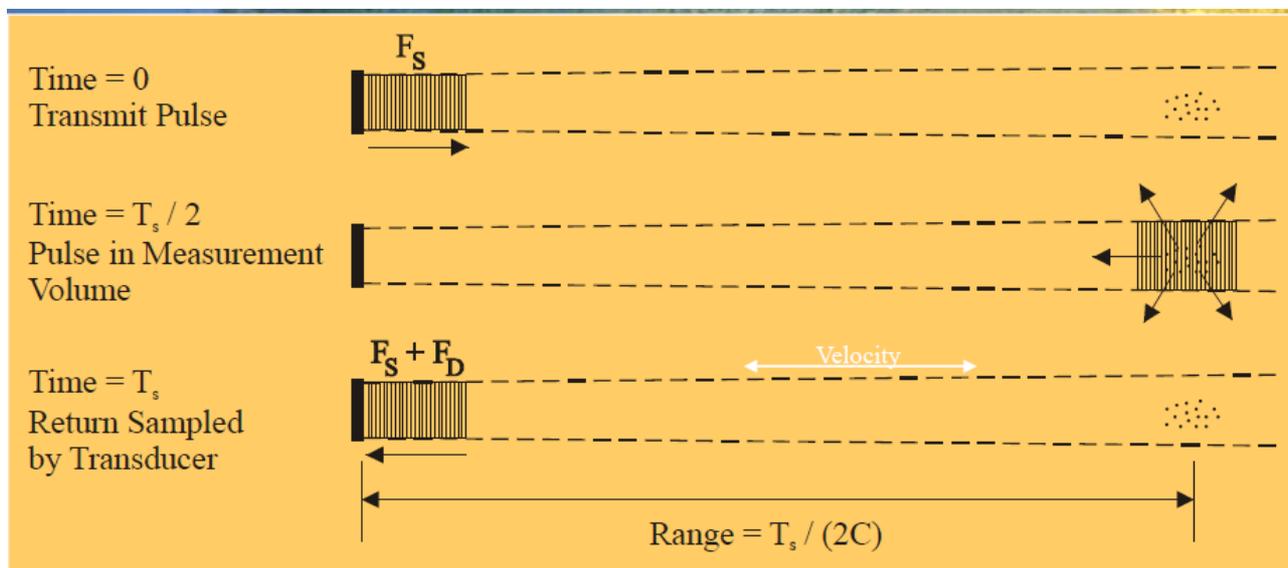
Fonte: Sontek

Apenas a componente da velocidade paralela à direção da propagação produz o efeito *Doppler*.

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

$$FD = \frac{2 V F_s}{C}$$

Um Feixe Monostático *Doppler*



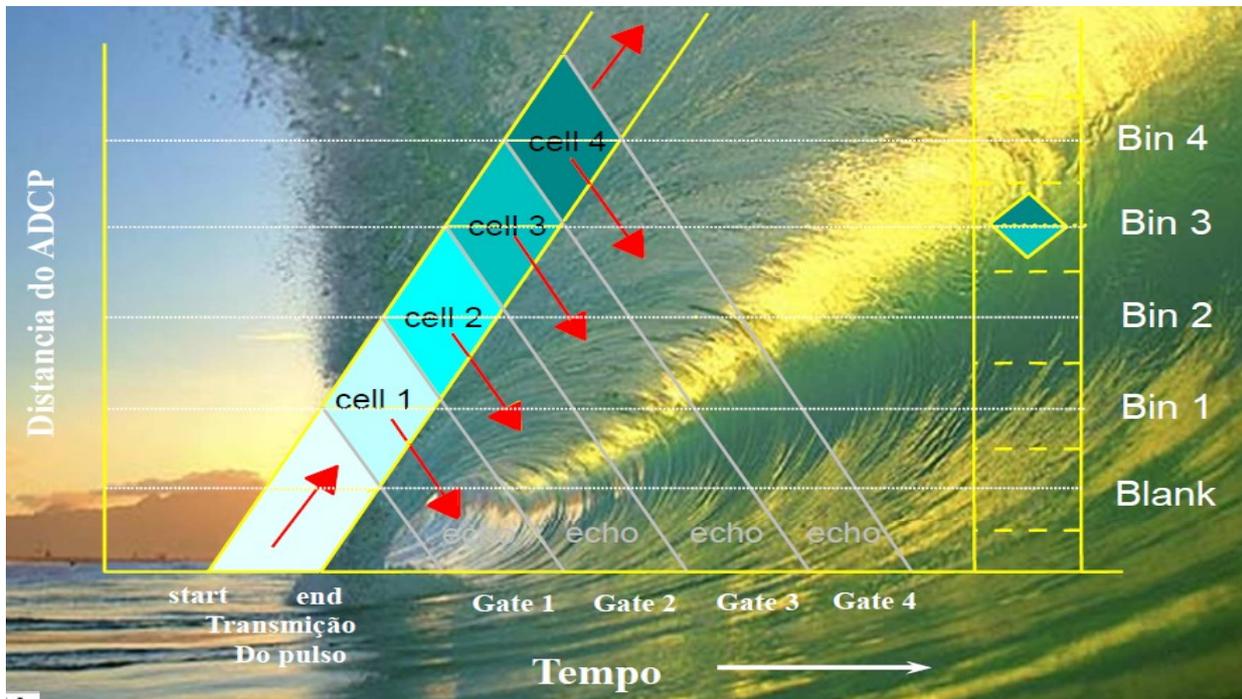
Fonte: Sontek

Transdutores geram um estreito feixe acústico.

- A medida da localização é função do tempo no qual o retorno é amostrado.
- A medida da velocidade é a projeção da velocidade da água no eixo do feixe acústico.

Discretização Horizontal e Vertical - Equipamentos da *RD Instruments*

Range Gating e Pulso Acústico



Fonte: RDI

O tamanho da Célula controla Resolução e Variância do Perfil de Velocidade.

O tamanho do *bin* escolhido pelo usuário estabelece a duração para o *Range Gate* e Transmissão, controlando:

(1) RESOLUÇÃO do Perfil de Velocidade.

Isto é estabelecido direto pelo tamanho do *Range Gate*.

(2) VARIANÇA do Perfil de Velocidade.

Variância: varia inversamente ao número de ecos ouvido no *Range Gate*.

As próximas Figuras mostram que o número de ecos ouvidos varia com o produto ($Transmit \times Range\ Gate$). O tamanho da “*Depth Cell*” estabelece cada um desses, porém, o número de ecos ouvidos varia com o quadrado do tamanho da célula. Então *Variance* varia inversamente com o quadrado do tamanho do *bin* ou o desvio padrão da velocidade data varia inversamente com o tamanho da *Depth Cell*.

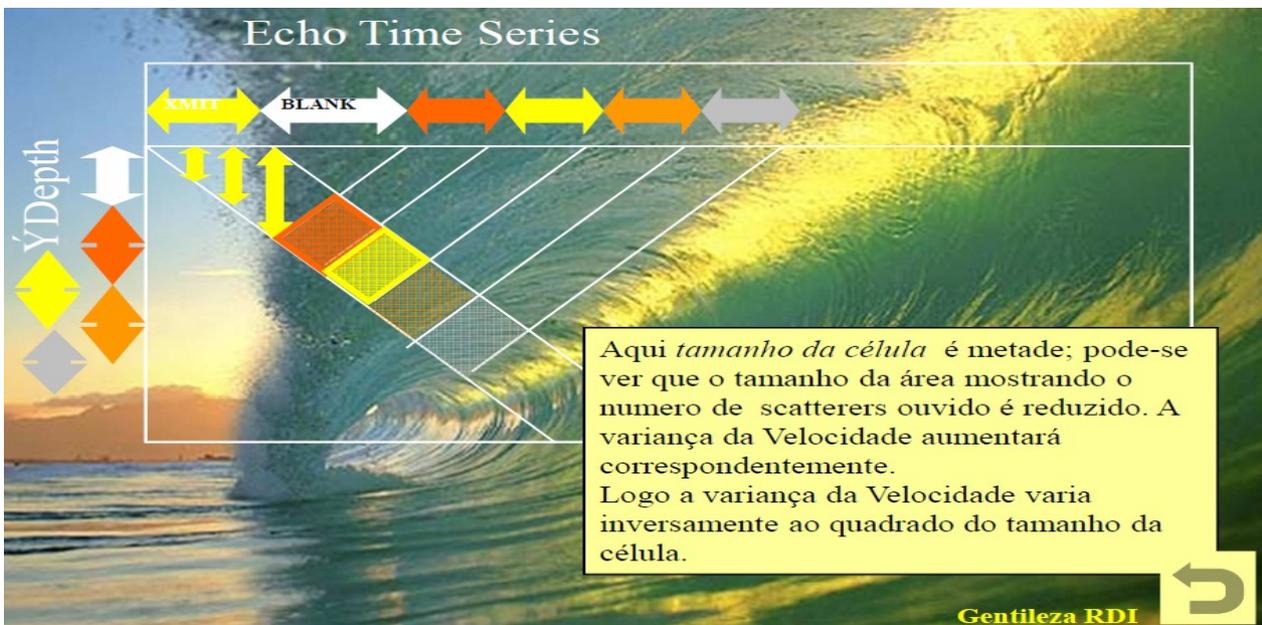
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Resolução & Precisão



Fonte:RDI

Células Menores



Fonte:RDI

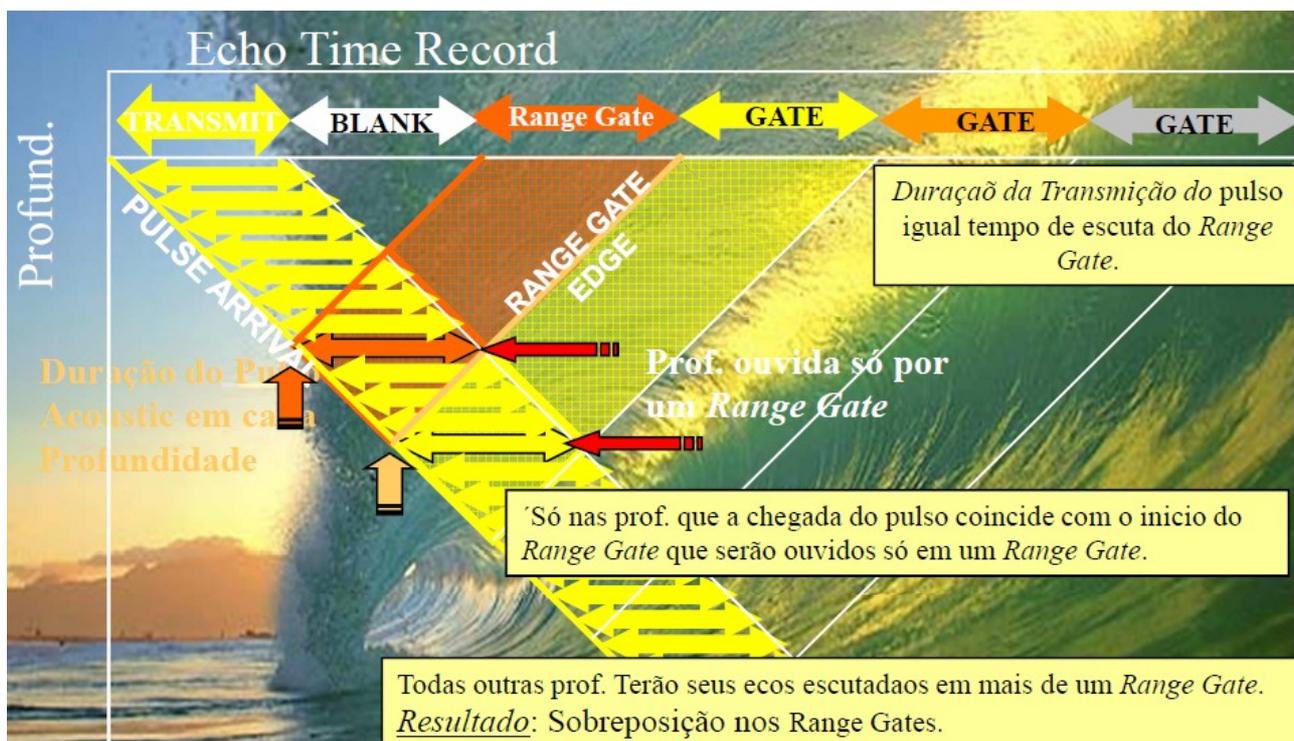
7.1 Porque o Range Gates se Sobrepõe?

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Em qualquer profundidade, o Pulso Transmitido persiste por um período igual à duração do *Range Gate* (*default*). Em algumas profundidades, o tempo de chegada do Pulso Transmitido corresponde exatamente com o início do *Range Gate*. Ecos destas poucas profundidades * serão ouvidos por apenas um *Range Gate*.

Em todas outras profundidades, a chegada do Pulso Transmitido não coincide com o início do *Range Gate*. O Pulso Transmitido irradia ecos por um período que se estende ao próximo *Range Gate*--causando a superposição de profundidade notado aqui. Estas são as mesmas profundidades designadas para a *Depth Cells* no Perfil de Velocidade.

Sobreposição do *Range Gate*



Fonte:RDI

7.2 O Que Estabelece a Profundidade da Primeira Célula?

A profundidade da Primeira Célula é estabelecida em seu meio (não no limite superior). Profundidade da Primeira Célula: pode ser alterada por três fatores do ADCP:

(1) Tamanho da *Depth cell*

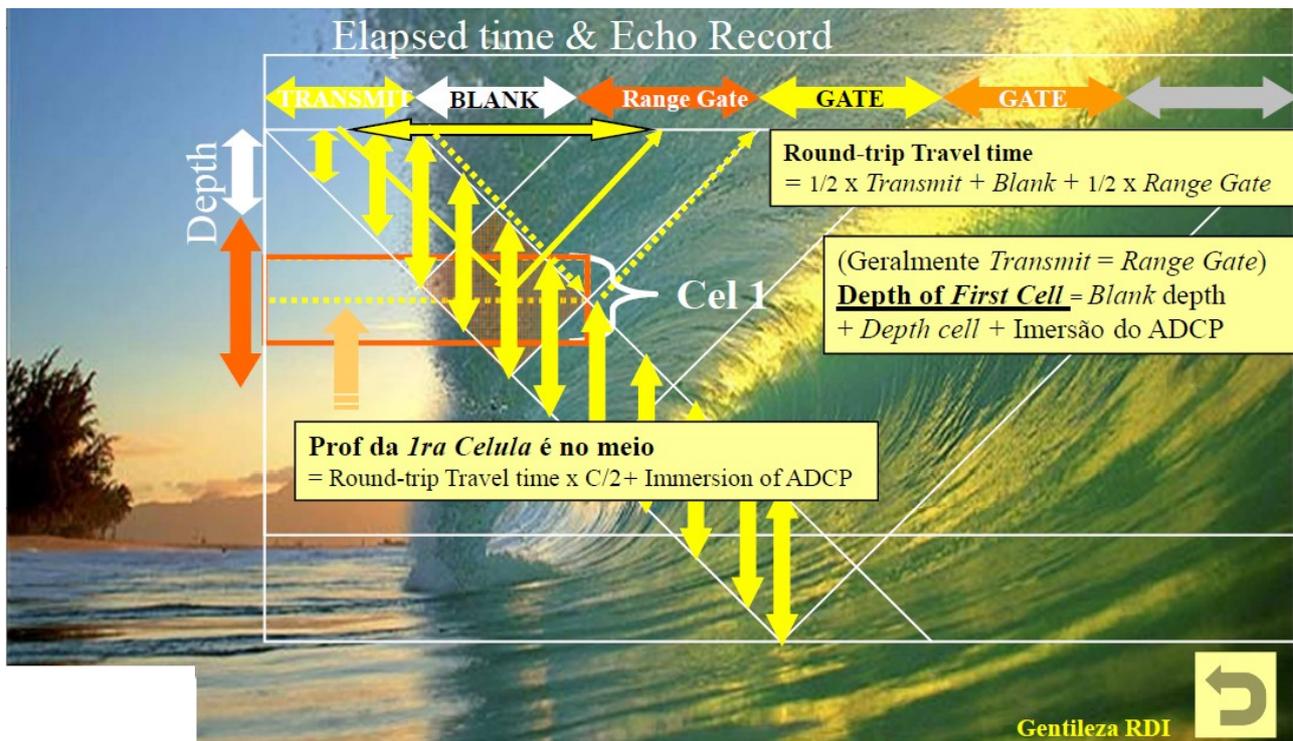
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

- (2) Duração da Transmissão
- (3) Tamanho do *Blank*

Geralmente (*default*) : Prof. Cell #1 = *Blank depth* + *Depth cell* + Imersão

ADCP TIP: Pequenas células é o primeiro meio de trazer a Primeira Célula mais perto da superfície.

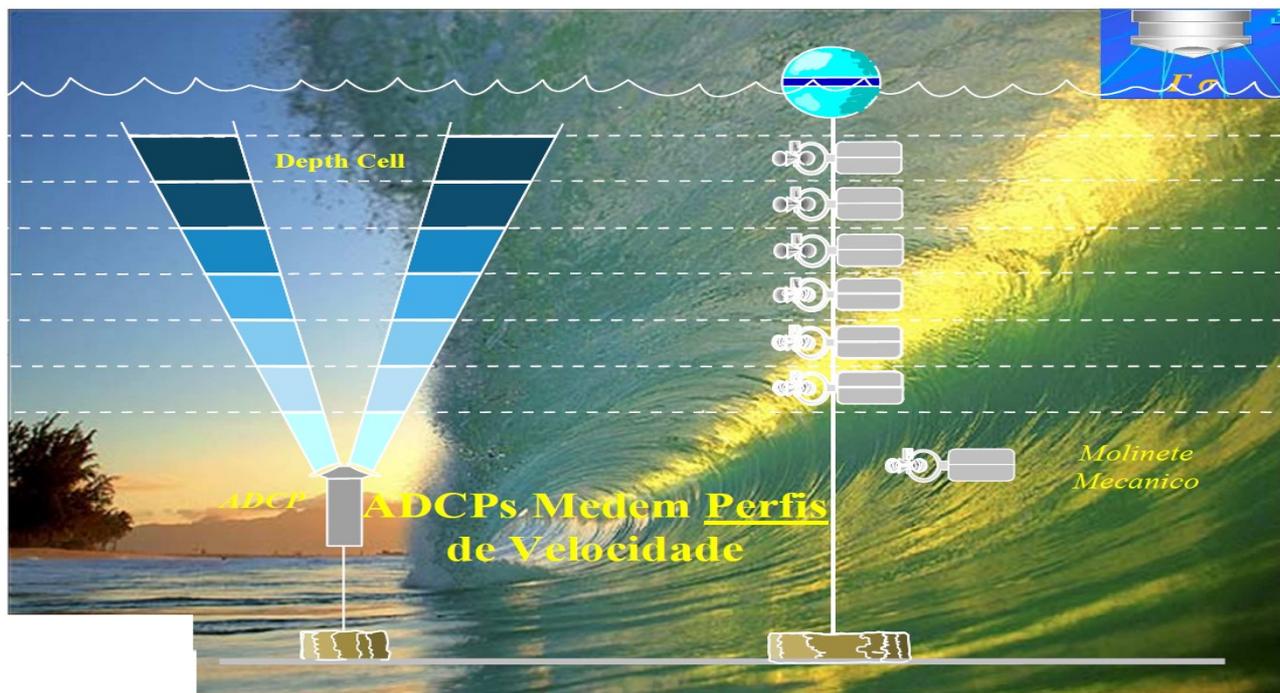
Profundidade da Primeira Célula



Fonte: RDI

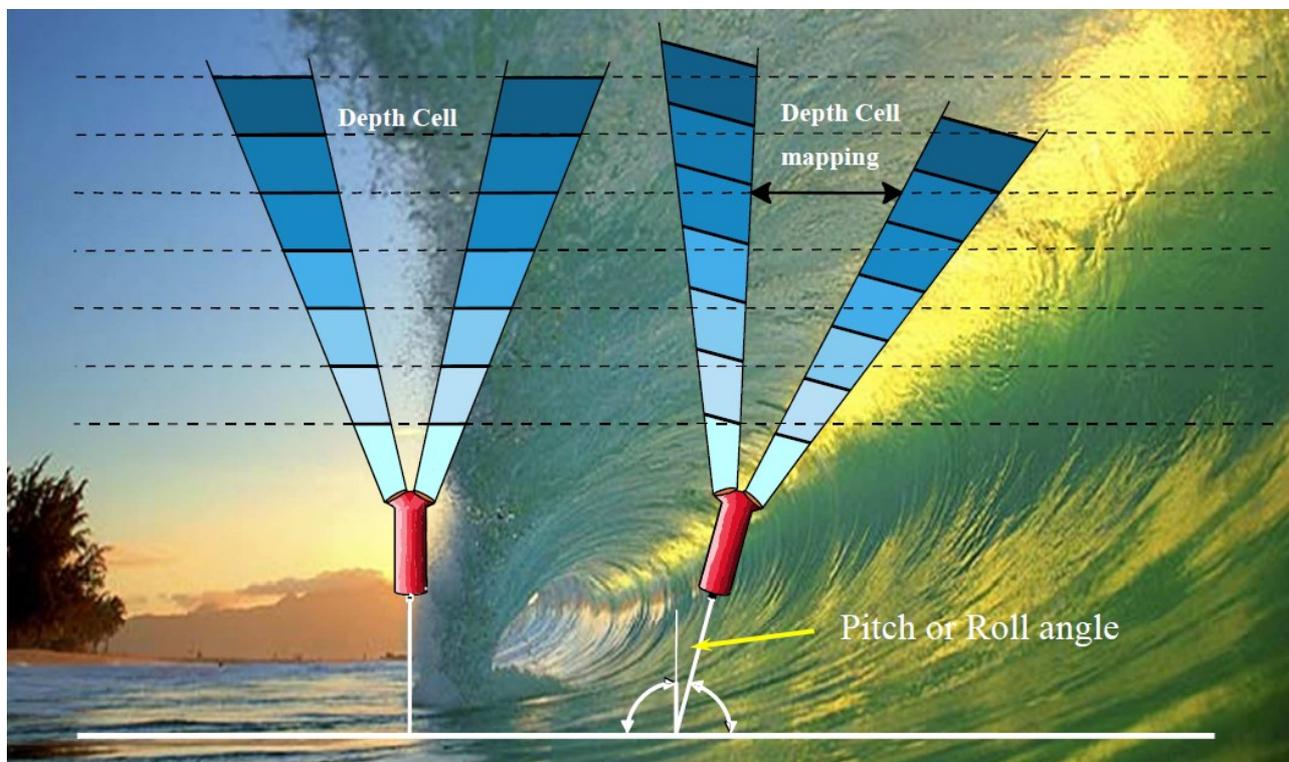
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

ADCPs Medem Perfis de Velocidade



Fonte: RDI

Mapeando célula / Pitch and Roll



Fonte: RDI

7.3 Sistema de Coordenadas

Beam

[EX00nnn]

Radial *velocities*. Sem transformação.

Instrumento

[EX01nnn]

Beam transformação matriz usada, mas não *pitch/roll* ou *heading*. Velocidades giram para coordenadas X-Y-Z. X = *Beams* 3 & 4. Y = *Beams* 1 & 2. Z = Vertical *component*

Ship – (Recommended)

[EX10nnn]

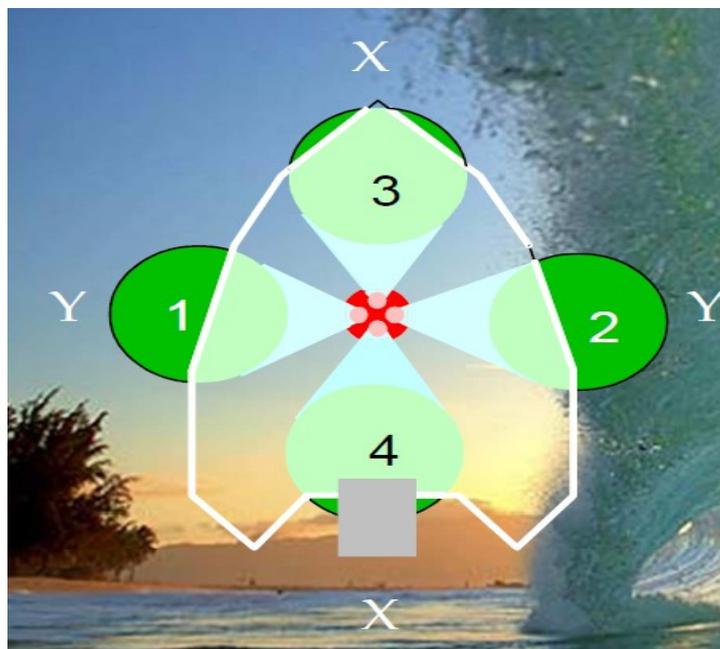
Usada transformação no *Beam*. Aplicado *Pitch/roll*, mas não *heading*. Velocidades giram para coordenadas X-Y-Z.

Earth

[EX11nnn]

Mesma do *Ship*, mas *heading* aplicado, velocidades giram p/ E-W, N-S, Up (ENU).

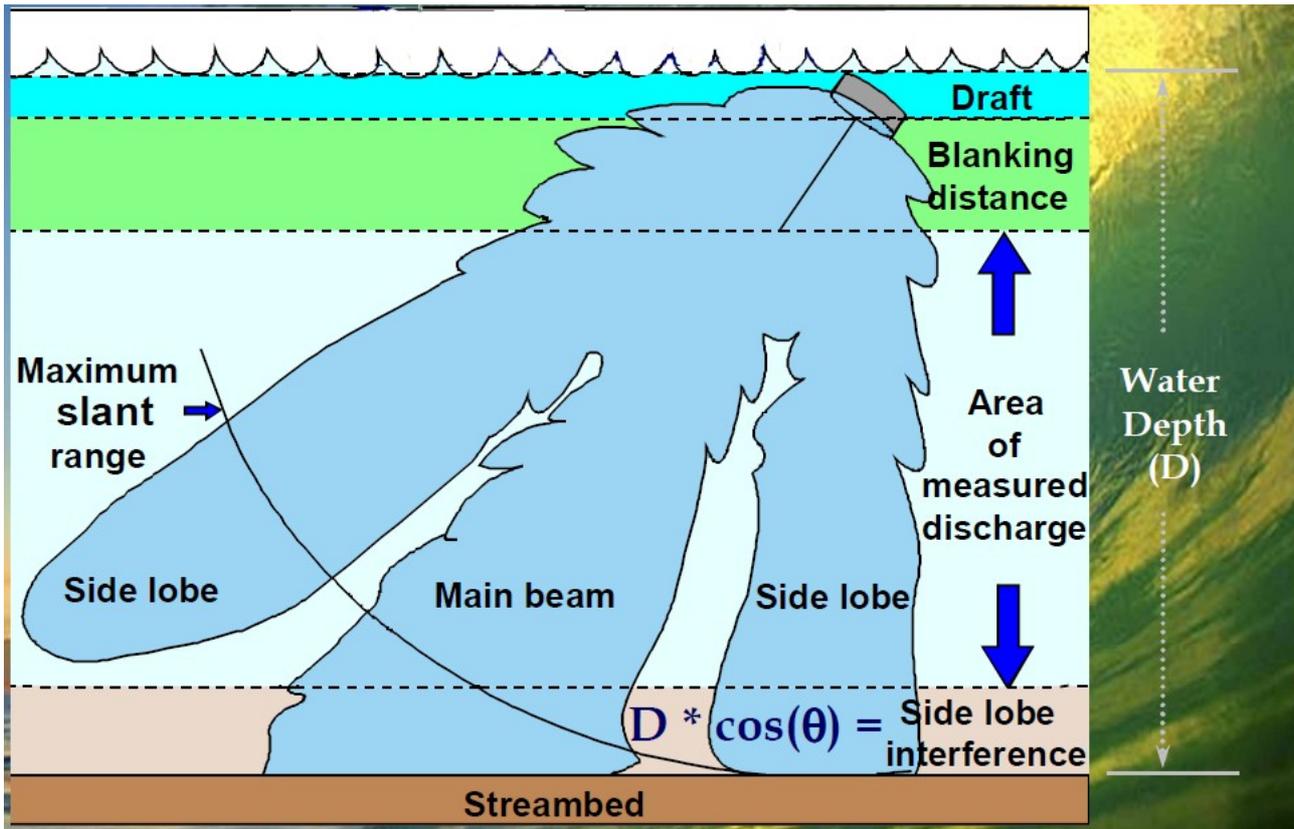
Sistemas de Coordenadas



Fonte: RDI

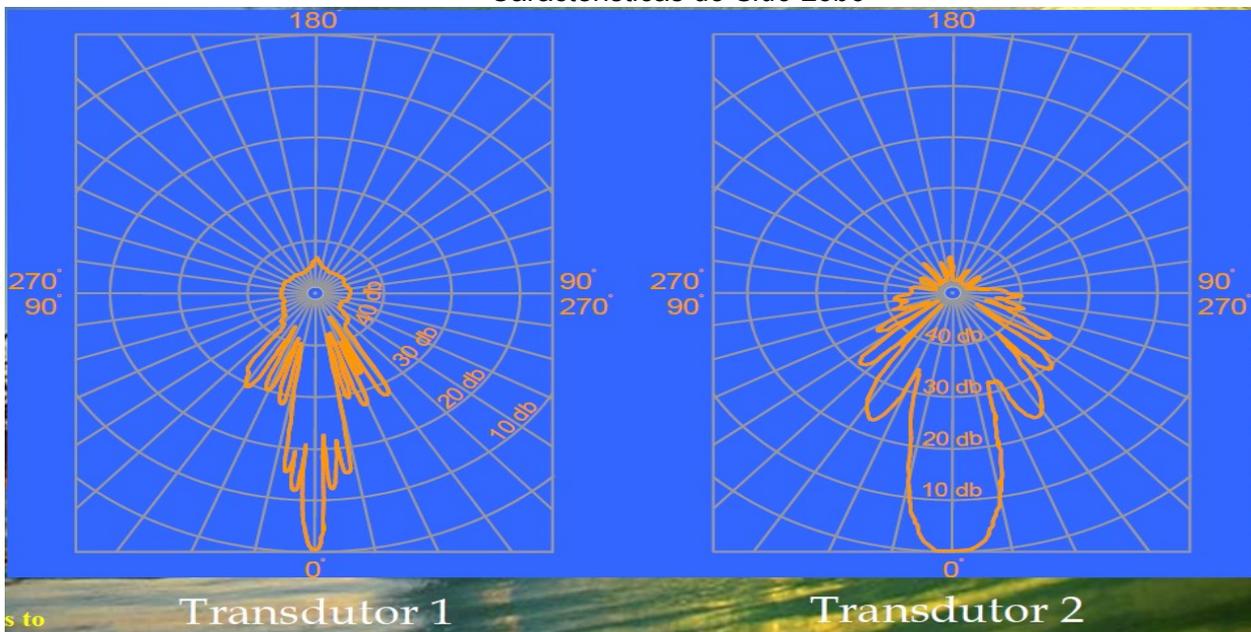
Side Lobes e Alcance de Perfilamento

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico



Fonte: RDI

Características do Side Lobe



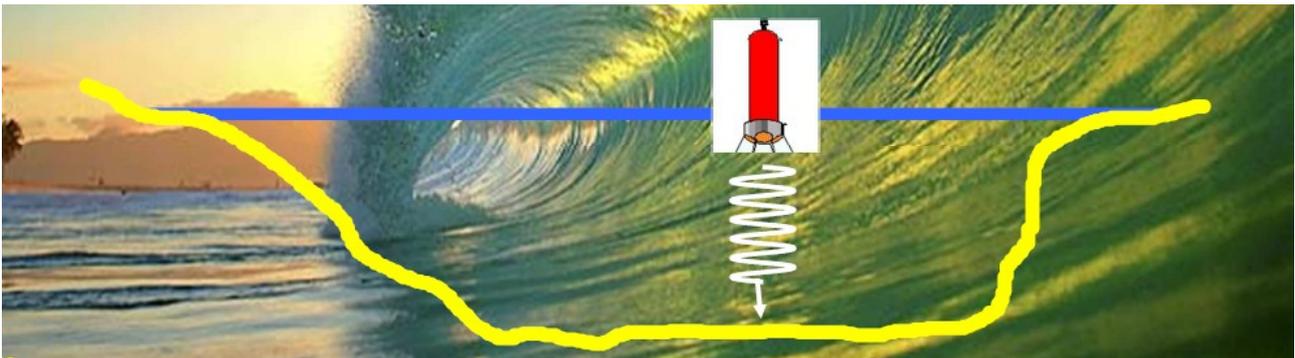
Fonte: RDI

Bottom Tracking

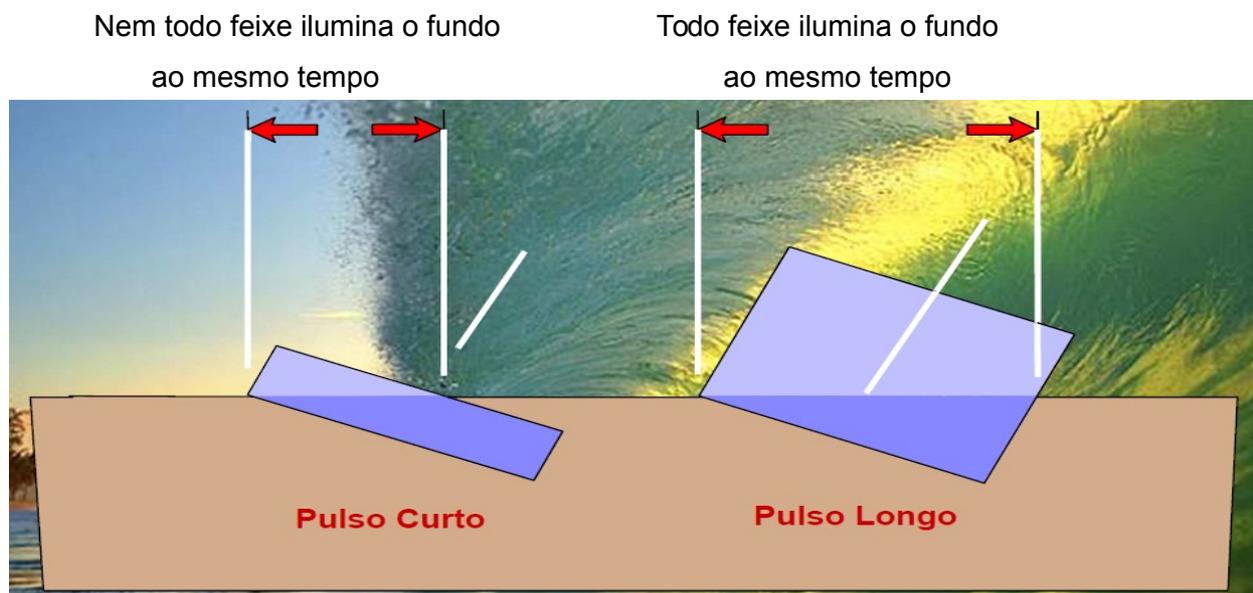
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

- Velocidade do leito ou medições de *bottom-tracking* são similares às medições de velocidade da água.
- Pulsos para *bottom-tracking* são enviados entre os pulsos para medições da água.
- Pulsos para *bottom-tracking* são mais longos que os pulsos da água.
- E também medem profundidade para cálculo de vazão.

Bottom Tracking



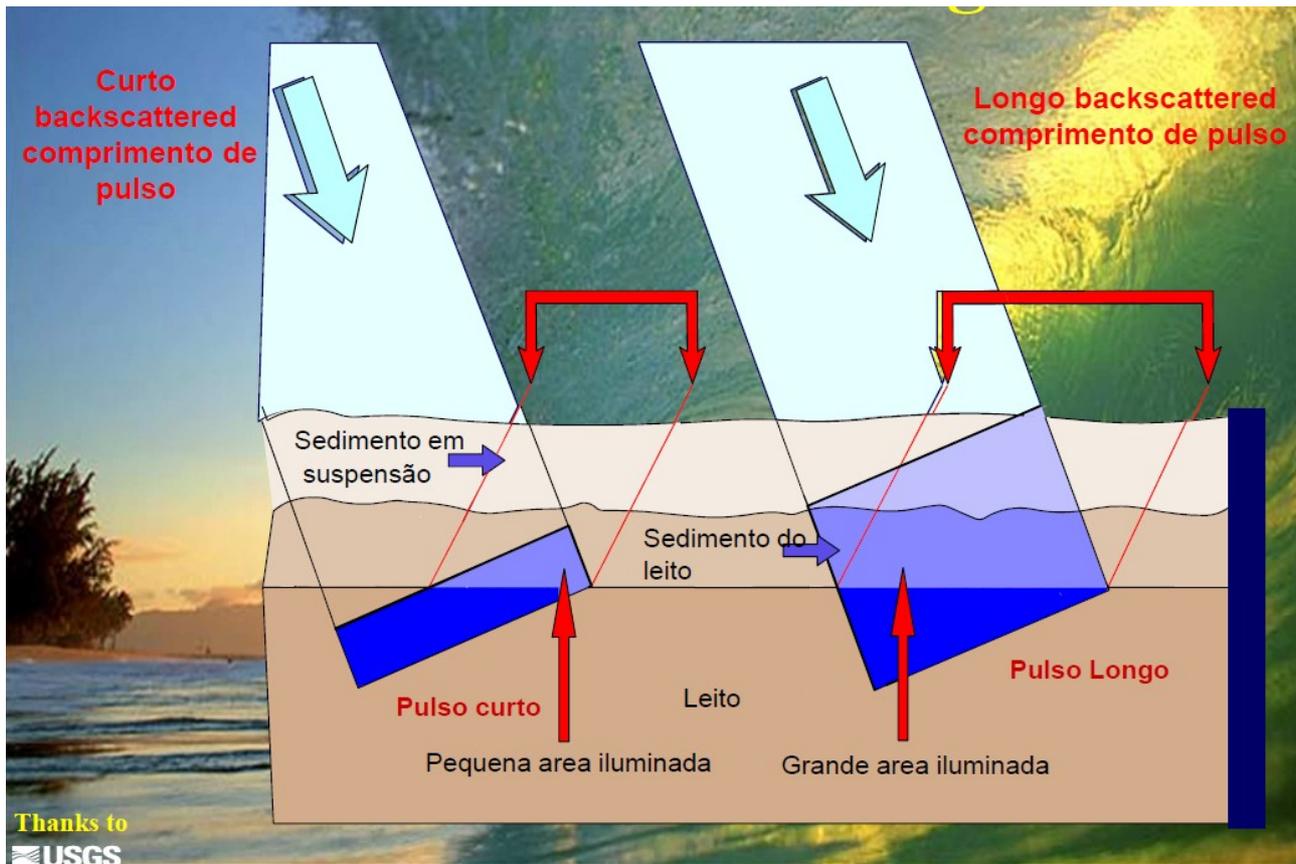
Fonte: RDI



Fonte: RDI

Bottom Tracking

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico



Fonte: RDI

7.4 OPERAÇÃO DO ADCP

Medindo Velocidade da Água

- Mede-se tendo como referência o ADCP
- A Velocidade é medida dos reflexos das partículas na coluna d'água.
- Inclui ambas velocidades, água e barco.
- Pulsos são curtos (RDI's são codificados).
- *Side lobes* podem contaminar dados perto do leito.
- Medições com Phase são precisas, mas podem resultar em erros de ambiguidade.

Medição de Velocidade do Barco

- Serve de referencia para velocidade da água.
- *Bottom tracking*.

- Velocidade medida dos reflexos do leito.
- Pulsos são tipicamente longos para que todo leito seja “ensonificado” ao mesmo tempo (Problema em local c/fundo móvel).
- GPS.

8 MODOS DE OPERAÇÃO

Modo 1 - Modo Robusto

- Bom para “*todos*” os ambientes.
- Padrão para “*Broadband*” => $V_a=480$ cm/sec
- Padrão para Rio Grande => $V_a=170$ cm/sec
- Não usar menos que 170.
- Comando WV.

Modo 4 - Padrão “*Broadband*”

- “Lag” é dependente do tamanho da célula.
- 1/2 do tamanho da célula or $V_a=92$ cm/sec o que for maior.
- Resolve ambiguidade usando *time dilation*.
- Necessita baixa turbulência para completar resolução da ambiguidade.
- Muda para modo 1 em águas rasas.
- NECESSITA SETAR COMANDO WV.
- “Lag” é acertado ou
- 1/2 da *depth cell length* ou $V_a=92$ cm/sec o que for maior.
- Resolve ambiguidade usando *time dilation*.
- Necessita baixa turbulência para completar resolução da ambiguidade.
- Muda para modo 1 em águas rasas.
- NECESSITA SETAR COMANDO WV.

Modo 4 - Broadband Default

- “Lag” é acertado ou
- 1/2 da *depth cell length* ou $V_a=92$ cm/sec o que for maior.
- Resolve ambiguidade usando *time dilation*.

- Necessita baixa turbulência para completar resolução da ambiguidade.
- Muda para modo 1 em águas rasas.
- NECESSITA SETAR COMANDO WV.

Modo 5 – Rios rasos

- Modo pulso-a-pulso coerente.
- Pulsos são virtualmente independentes.
- Processamento ocorre entre os pulsos.
- Requer velocidades muito baixas.
- Velocidade Ambígua varia com profundidade.
- Desvio Padrão muito baixo.
- Cálculo da *velocity ambiguity* célula a célula.
- Não funciona em ares de alta turbulência.

• Modo pulso-a-pulso coerente

- Pulsos são virtualmente independentes.
- Processamento ocorre entre os pulsos.
- Requer velocidades muito baixas.
- Velocidade Ambígua varia com profundidade.
- Desvio Padrão muito baixo.
- Cálculo da velocidade ambígua célula a célula.
- Não funciona em ares de alta turbulência.

Modo 8

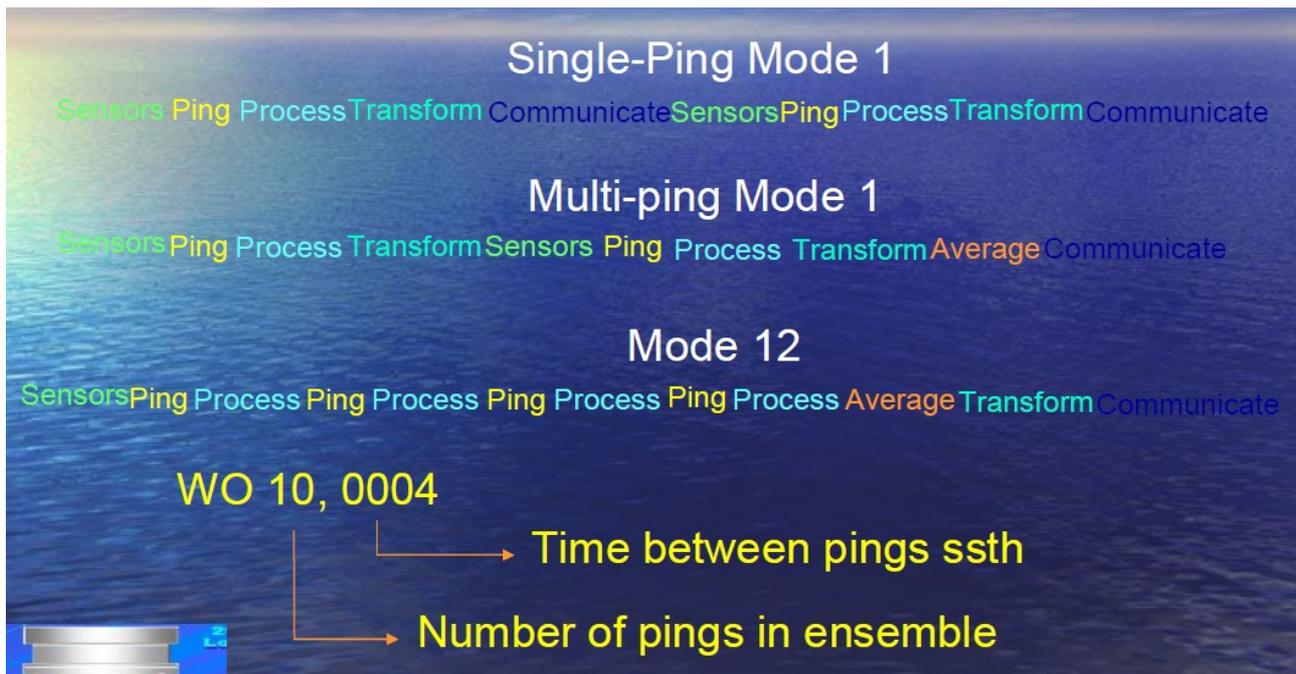
- Similar ao Modo 5.
- Mede velocidade usando *time dilation*.
- Sem problema de ambiguidade.
- Potencial para velocidades muito erradas.
- Desvio Padrão é aprox. 10 vezes maior que Modo 5.
- Pode funcionar onde Modo 5 falha.

Modo 11

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

- Como Modo 5.
- Move “ambiguity resolving bin” para perto da profundidade média.
- Permite medição em modo coerente 5/3 mais profundo que Modo 5.
- Processa em águas tão profundas quanto modo 1 (???)

Modo 12



Fonte: RDI

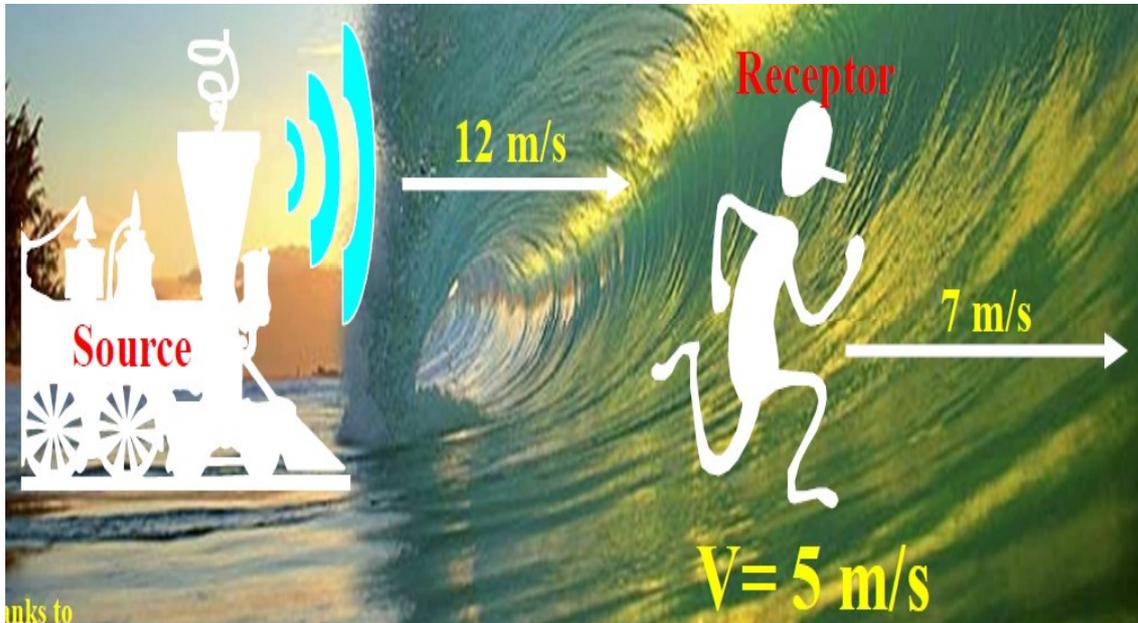
9 TERMINOLOGIA DE INTERESSE SOBRE OS MEDIDORES ACÚSTICOS: TERMINOLOGIA DOPPLER

- ↵ **Beams:** Feixes de Ultra-som.
- ↵ **Transdutores:** Emissores de ondas sonoras, discos cerâmicos que expandem ou contraem com a passagem de uma corrente elétrica.
- ↵ **Pings:** Pulsos Acústicos de uma frequência conhecida (Água e fundo).
- ↵ **Ensembles (“Verticais”):** A média de um conjunto de *pings* para obter o perfil de velocidade da água e/ou a velocidade do barco.
- ↵ **Bad Ensemble:** Ensemble sem qualidade nas velocidades ou com problemas de fundo.
- ↵ **Transect:** Um grupo de ensembles que constitui uma travessia ao final um valor de vazão.
- ↵ **Depth-Cell ou Bin:** Divisão do perfil vertical em segmentos igualmente espaçados.
- ↵ **Bad Bin:** Célula com erro ou sem qualidade requerida.
- ↵ **Bottom tracking:** Método usado para medir a velocidade do barco.
- ↵ **Blank After Transmit:** Faixa não medida diretamente pelo ADCP na superfície.
- ↵ **ADCP Depth ou draft:** Profundidade de imersão do perfilador.
- ↵ **Pitch:** Inclinação do aparelho no sentido eixo longitudinal do barco.
- ↵ **Roll:** Inclinação do aparelho no sentido transversal do barco.
- ↵ **Side Lobe:** Dispersão do sinal fora do feixe principal.
- ↵ **Error Velocity:** Diferença entre a velocidade vertical de dois conjuntos de *beams*.
- ↵ **Bin Mapping:** Correção que garante a homogeneidade horizontal das células, em função do *pitch* e *roll*.
- ↵ **Ambiguity Velocity:** Diferentes velocidades medidas com o mesmo ângulo.

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

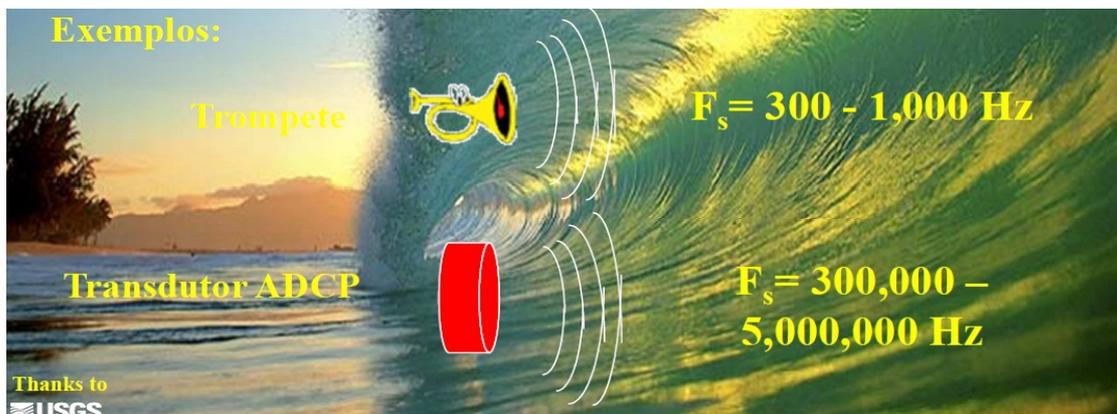
9.1 TERMINOLOGIA DOPPLER

Velocidade Relativa (V) – velocidade relativa entre a fonte de som e a onda sonora do receptor (velocidade na qual o receptor se move em direção à fonte sonora; unidade: m/s)



Fonte: RDI

Frequência Emitida (F_s) – frequência transmitida de uma onda sonora. (unidade: Hz).



Fonte: RDI

Frequência Doppler (FD) – Mudança na frequência da fonte sonora para um observador devido a distancia entre fonte e observador aumentar ou diminuir.

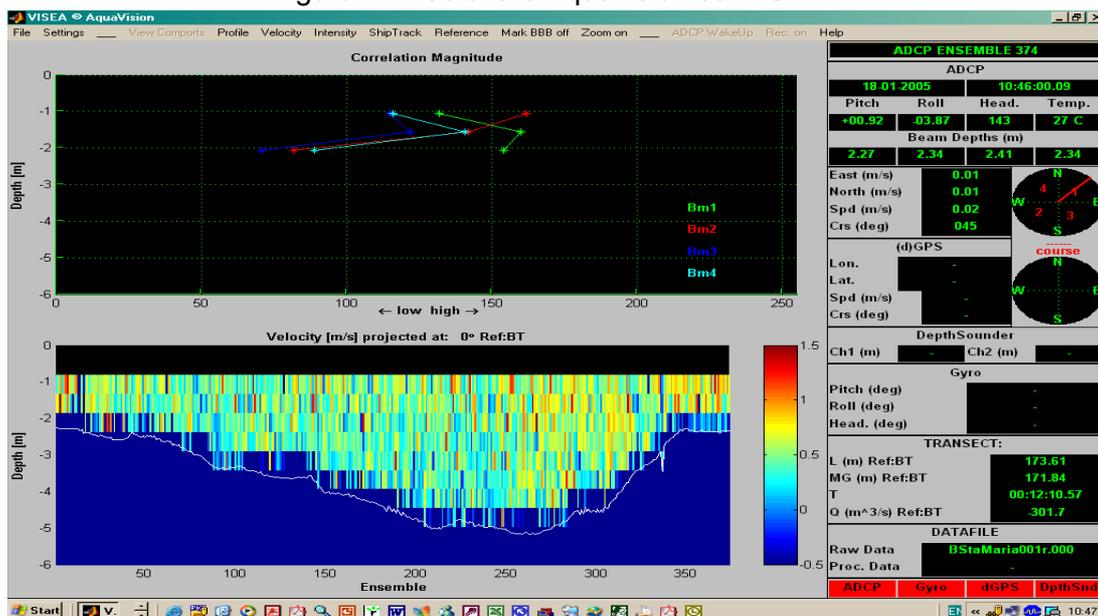
10 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS NA COLETA E PROCESSAMENTO

DOS DADOS

Os softwares utilizados no Brasil, de aquisição ou de pós-processamento, são os que acompanham a compra do aparelho, e são os mesmos tanto para aquisição quanto para o pós-processamento. No entanto, já existem no mercado inúmeros softwares para pós-processamento e até para aquisição, como o da Figura 8.1, cada qual visando uma utilização dos dados coletados pelos equipamentos.

Aqui no Brasil não estão disseminados, mas para certos trabalhos utilizar o software certo pode fazer uma enorme diferença. Mesmo os fabricantes possuem alguns softwares que são para uso mais de correntes e direção de correntes, que podem nos dar uma melhor visualização do que ocorreu em uma medição (Figura 12 e Figura 13)

Figura 12 - Software Aquavision da VISEA.



Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) - Básico

Figura 13 - Software ViewADP da Sontek.

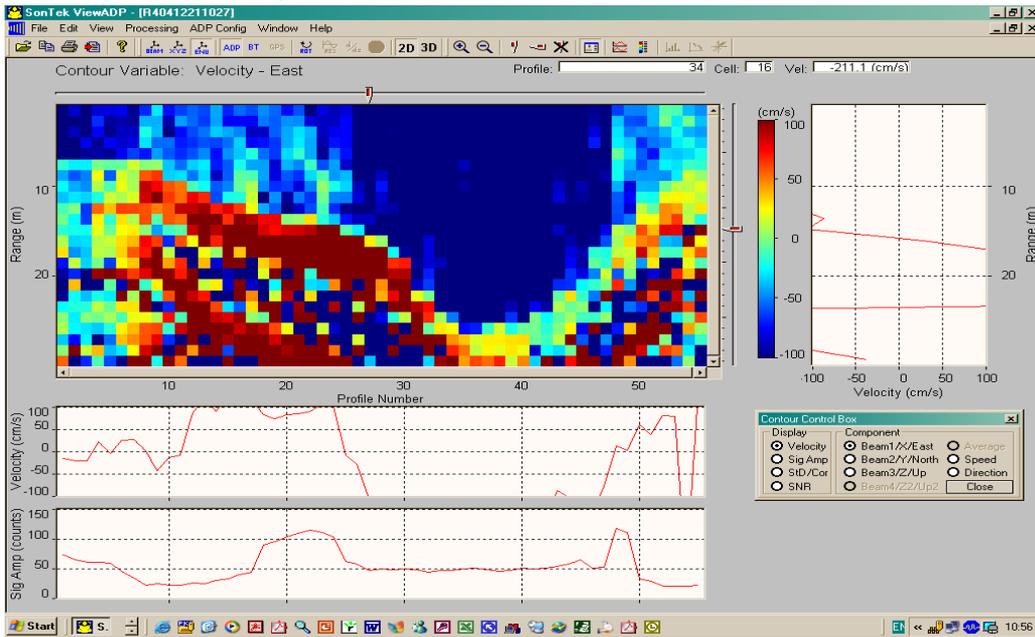
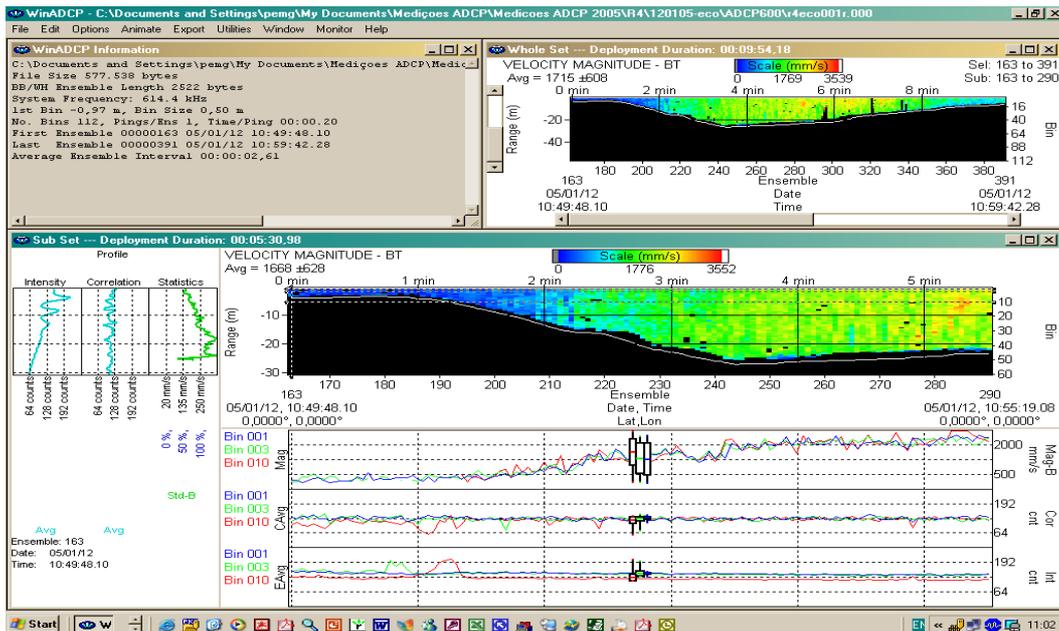


Figura 14 - Software WinADCP.



10.1 Software Winriver – Rdinstruments.

Até aproximadamente 1994, o software utilizado era o *Transect* com sistema operacional DOS, a partir de então se passou a utilizar o *WinRiver* em base *Windows*, que o torna mais amigável. Existem dois tipos de *WinRiver*, uma versão internacional e outra versão USGS. Isto porque a USGS através de um programa chamado CRADA (*Cooperative Research and Development Agreement*) em conjunto com a *RDInstruments*, busca cada vez mais a qualidade do dado medido, direcionando as mudanças a serem feitas no software, para que atenda seus parâmetros de qualidade.

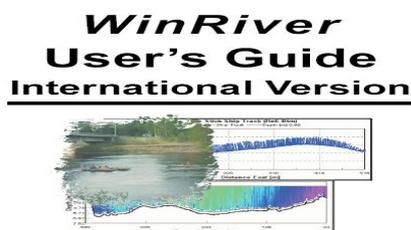
Em geral as duas versões são similares, com pequenas modificações só percebidas por operadores experientes, mas que fazem a diferença na qualidade final do dado. Foi lançado no início deste ano (2007) um novo *WinRiver* com mudanças bem marcantes, que será comentado mais a frente.

10.1.1 O Software

Por ter maior número de comandos e necessitar que esses comandos sejam mudados de acordo com o local e tipo da medição, este software tem mais itens de controle.

Não será descrito item a item o funcionamento do software, pois junto ao equipamento vem o manual, conforme a Figura 15 contendo estas descrições. Mas serão realçados os itens/comandos que se consideram mais importantes para uma operação de qualidade.

Figura 15 - Manual do WinRiver.



Fonte: RDInstruments (2001).

Ao se utilizar pela primeira vez o ADCP deve-se estabelecer a comunicação com o notebook, e isto requer que a velocidade de tráfego (*baud rate*) seja idêntica ao

computador e o ADCP, ou não se concretizará a comunicação entre estes.

Há outra maneira de estabelecer esta comunicação, mas aqui apenas será mostrado a do software. 83

Abrir o software, entrar no menu *Settings e Communications*, aparece a Figura 16 na qual se deve inserir o tipo de equipamento a ser utilizado, bem como os equipamentos auxiliares que forem utilizados, como por exemplo, DGPS, Eco sonda, etc.

A taxa de velocidade padrão é 9600 (Figura 17) e se desejar trocá-la deve-se fazer o mesmo com o ADCP.

Figura 16 - Comunicação com o ADCP

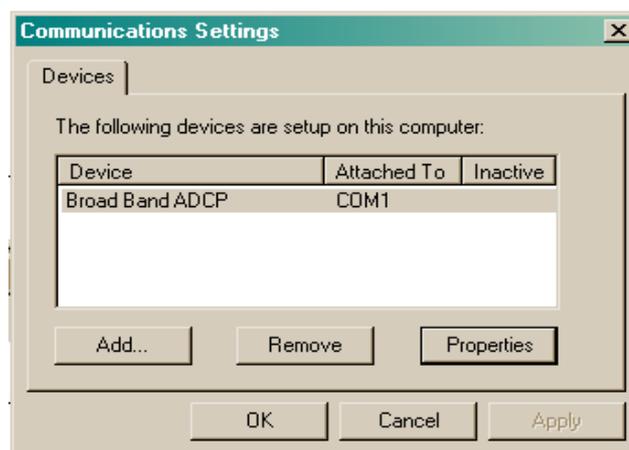
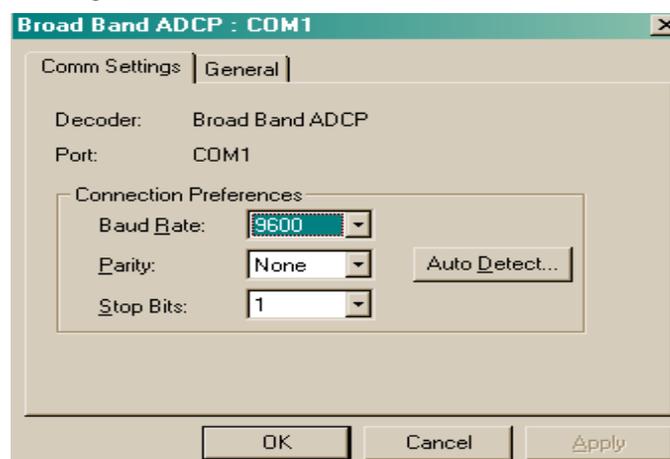


Figura 17 - Taxa de transferência do ADCP



10.1.2 Configuration Wizard

O software vem com uma espécie de tutorial para estabelecer os comandos necessários, chamado de *Configuration Wizard* (Figura 18), no qual devem ser inseridos os dados de relevância da estação e este fornecerá uma série de comandos padronizados, que devem ser checados pelo usuário e até inseridos outros ou mudados, caso se tenha necessidade.

Mas atenção: apenas um usuário experiente sabe quais mudanças ocorrerão com os valores trocados ou inseridos.

Figura 18 - Configuration Wizard (shift F6).

Relação de itens a serem inseridos no Wizard:

- 1 - Nome da estação que usaremos na medição;
- 2 - Local onde será gravado no notebook (*path*);
- 3 – Profundidade de imersão do equipamento;
- 4 - Declinação magnética (opcional quando não utilizado um DGPS);
- 5 - Ângulo do ADCP (modelos antigos usavam 30°);
- 6 - Marcar se está acoplado Radio Modem, Eco sonda, GPS ou Bússola externa;
- 7 - Método de extrapolação na superfície e fundo, e seu coeficiente e exponencial;
- 8 - Se as margens são triangulares ou retas, para cálculo de sua extrapolação;

- 9 - Profundidade máxima esperada;
- 10 - Velocidade máxima esperada da água;
- 11 - Velocidade máxima esperada do barco;
- 12 - Tipo de leito esperado;
- 13 - Modo de operação para água;
- 14 - Modo de operação para o fundo.

OBS: Os itens 9, 10 e 11 serão utilizados para o cálculo da velocidade ambígua e tamanho da célula, logo são extremamente importantes, e devem ser os mais exatos possíveis.

O *Wizard*, após ser executado oferece avisos com alguns cuidados que se deve ter, de acordo com as características da seção e os comandos inseridos. Cabe ao usuário analisar se procedem ou não estes avisos, e caso procedam tomar as medidas necessárias alterando os comandos para não ocorrer no possível “erro”.

10.1.2.1 A Função F3

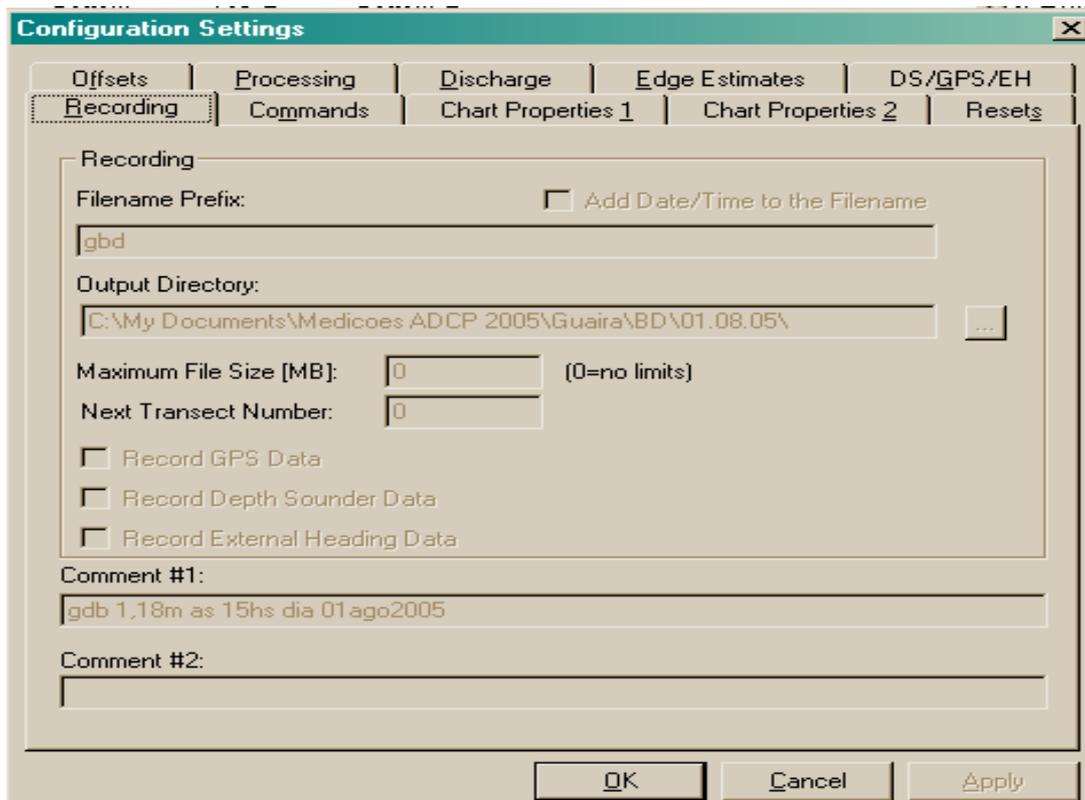
A função F3 abre os itens com que foi configurado o Software e após o uso do *Wizard*, sendo o meio de enviar comandos para o ADCP. Possui 10 “lapelas”, cada uma com seus itens e comandos.

Alguns apenas mudam a aparência e como será visualizada a medição, ou para uso no pós-processamento, mas há outros que farão a diferença se a medição será válida ou não.

10.1.2.2 Recording

Caso desejar, poderá se mudar o nome do arquivo e onde será gravado (Figura 8.8) e inserir comentários. Aconselhamos inserir a leitura da régua, hora e dia.

Figura 19 - Recording.



Offsets:

Profundidade do equipamento e dados da calibração da bússola. Um erro na profundidade do equipamento a menos, e estará deixando-se de medir/extrapolar uma superfície igual ao tamanho do erro pela largura da seção. Para se ter uma ideia do erro, procure imaginar a seção de Manacapuru, no rio Solimões, com largura de aproximadamente 3200 metros, e cometer um erro de 3 cm a menos na profundidade do ADCP, o erro será de 96 m². Se considerar a velocidade da água de 1 m/s, o erro de vazão será de 96 m³/s a menos.

10.1.2.3 Processing:

Dados para processamento da velocidade do som na água, se calculado pulso a pulso, valor fixo ou valor do ADCP (este deve ser usado como *default*);

Ângulo que será usado para projetar a corrente na janela *projected velocity contour*;

Os dados para o ADCP calcular a transformação do retorno do eco (*Backscatter*) em dB.;

Método de cálculo da área: É o método para aceite de dados quando calculados com quatro feixes (beams).

OBS: *Recomenda-se utilizar sempre os quatro feixes para velocidade da água, deixando para pós-processamento permitir ou não o uso do cálculo para três feixes.*

Threshold: Aqui os chamados filtros de qualidade, dependendo dos valores inseridos, melhoram ou pioram a medição, quer seja para dados de fundo ou da água, bem como o valor de rejeição de uma célula para o caso de algum elemento sólido passar pelos feixes, por exemplo peixe, e de um eco muito forte. O uso destes valores deve ser usado com cuidado e por quem conheça bem o que representa a utilização ou não de cada valor.

10.1.2.4 Discharge

Local onde são estabelecidos os métodos de extrapolação das áreas não medidas, superfície, fundo e margens. Superfície e fundo possuem três escolhas, exponencial, constante (não deve ser usada para o fundo) e “3 pontos *slope*” para superfície e *no slip* para o fundo.

As margens possuem os dois, triangular e quadrado (reto) e uma terceira opção para o uso de um coeficiente pelo operador.

10.1.2.5 Edge Estimates

Onde se colocam ou mudam as distâncias às margens para sua extrapolação. Esses valores são inseridos durante a medição e podem ser mudados no pós-processamento.

10.1.2.6 DS/GPS/EH

Onde são inseridos dados para o uso de Eco sonda, GPS ou Bússola externa, quando

estes são utilizados acoplados ao ADCP.

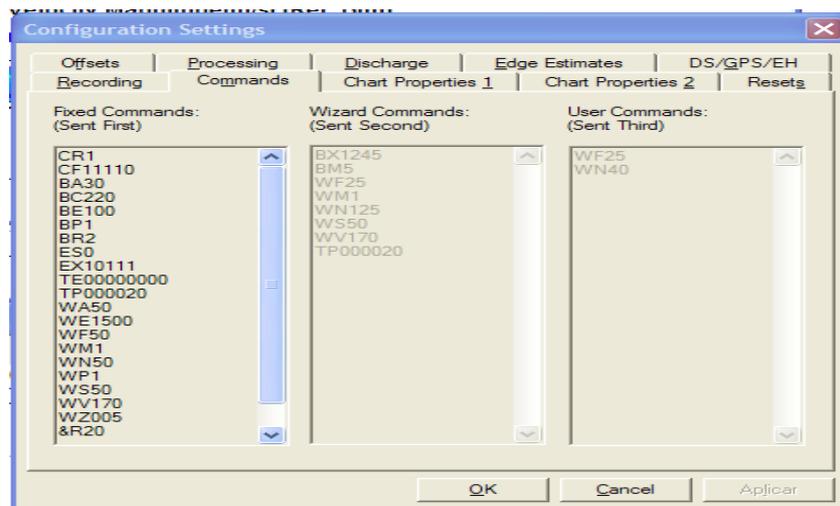
10.1.2.7 *Chart Properties 1 e 2*

São a configuração das escalas usadas em todos os “mostradores”, janelas do software.
87

10.1.2.8 *Commands*

Onde estão visíveis os comandos padrão internos do ADCP, os sugeridos pelo *Wizard* e os inseridos, se inserido algum pelo usuário. Este é o local mais importante do software, e só deve ser manuseado por operador experiente (Figura 20).

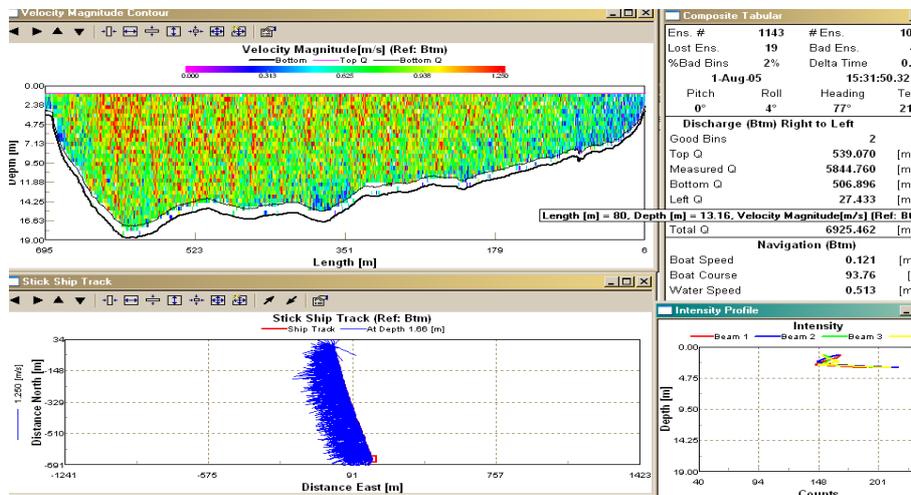
Figura 20 - Tela de Comandos.



10.1.2.9 *Workspaces*

É permitida a escolha das janelas que queremos monitorar durante a medição ou durante o pós-processamento. Esta configuração de janelas abertas tem o nome de *Workspace* e pode ser salvo (Figura 21).

Figura 21 - Exemplo de Workspace utilizado para Aquisição de dados.



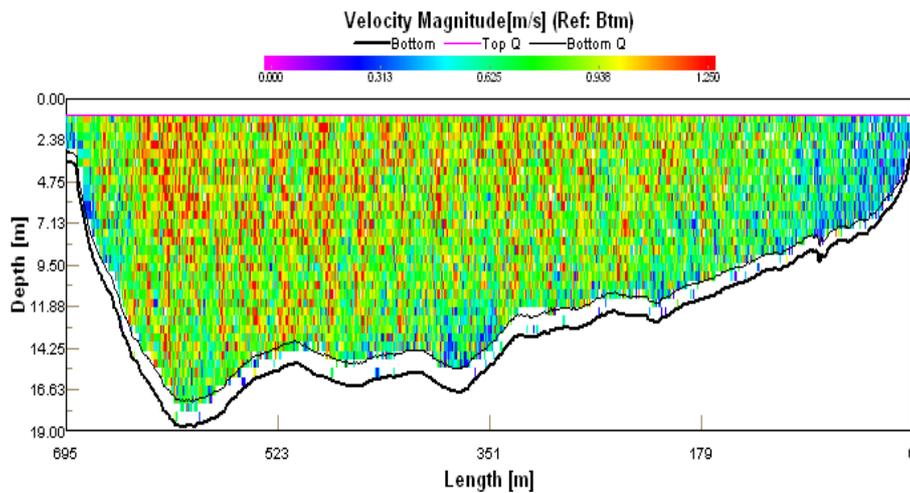
10.1.2.10 Janelas Importantes

Algumas das janelas do *WinRiver* são importantes ferramentas para controle do andamento da medição, e devem ser conhecidas pelo usuário. Seguem algumas mais utilizadas.

10.1.2.11 Velocity Magnitude Contour

Mostra as velocidades em magnitude ao longo da seção. Mostram também os *bad bins*, *lost ensembles* e *bad ensembles* (Figura 22)

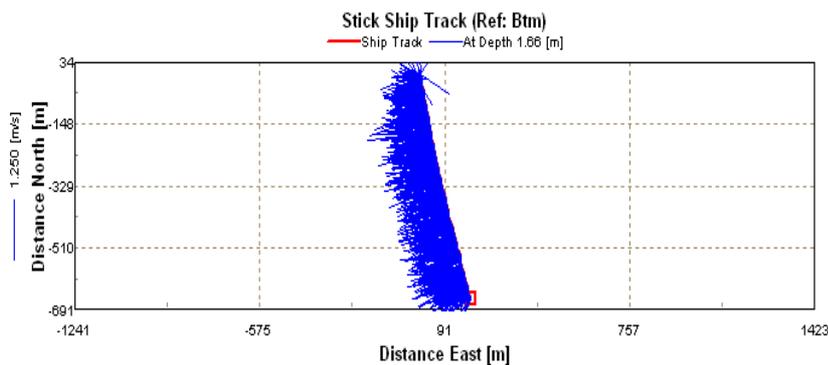
Figura 22 - Velocidades em magnitude ao longo da seção.



10.1.2.12 Ship Track

Mostra o deslocamento da embarcação (Figura 23) e as direções médias da corrente, podendo ainda mostrar estas direções por profundidade de célula, usando a tecla seta para baixo (↓).

Figura 23 - Deslocamento da embarcação.

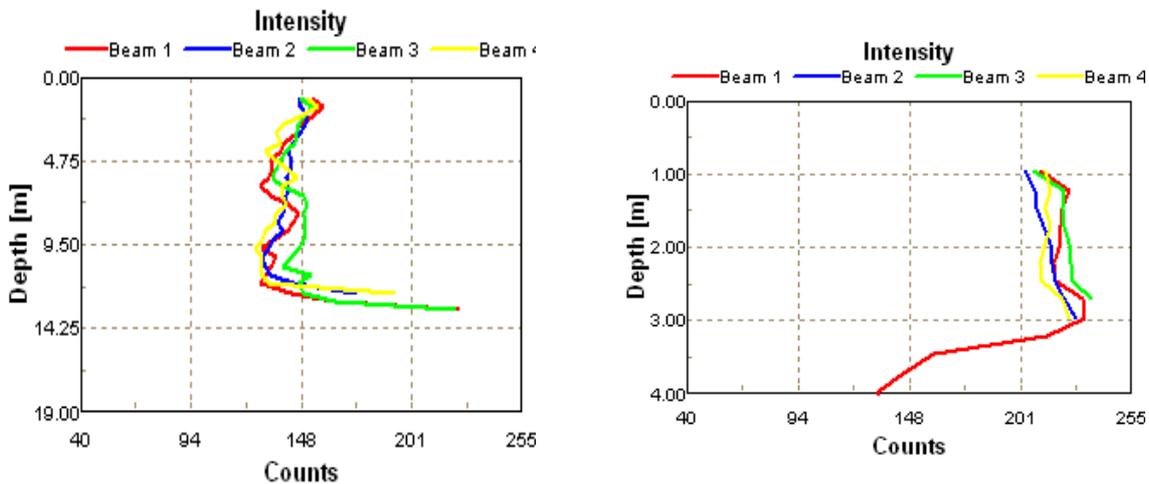


10.1.2.13 Intensity Profile:

Mostra como está o sinal. Através dele podem-se verificar os problemas que estão se

desenrolando durante a travessia (Figura 24)

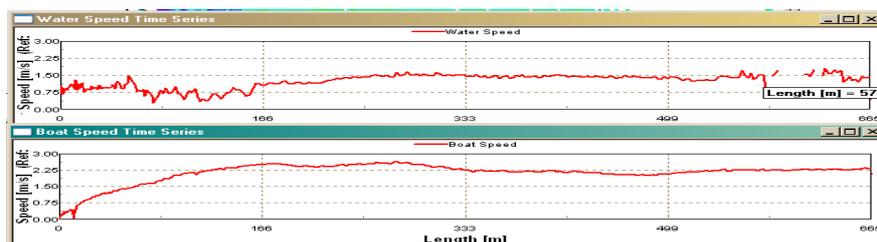
Figura 24 - Exemplo de *Workspace* utilizado para Aquisição de dados.



10.1.2.14 Séries de Tempo Velocidade da água e do Barco:

Estas duas janelas são importantes juntas para se monitorar se e quanto o barco está mais rápido do que a velocidade da água, para controle de erros de ambiguidade (Figura 25).

Figura 25 - Controle da velocidade do barco (velocidade do barco muito alta).

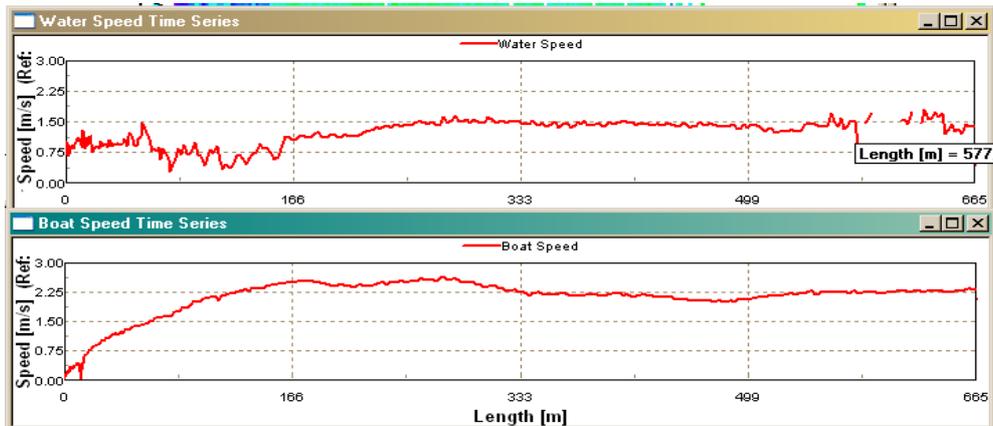


10.1.2.15 Average Correlation Contour

Mostra como está a correlação do sinal (Figura 26)

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 26 - Descorrelação do sinal que ocasionou erro de células.



WinRiver II

O *WinRiver II* utiliza uma técnica um pouco diferente do seu antecessor, a medição é considerada o conjunto de travessias, mas tem grandes vantagens no pós 90 processamento, onde as janelas comparativas, tipo velocidade do barco e água abrem juntas, mostra o que está se passando nos quatro feixes possibilitando uma melhor análise da travessia/medição.

Figura 27 - Novos itens do software da RDI *WinRiver II*

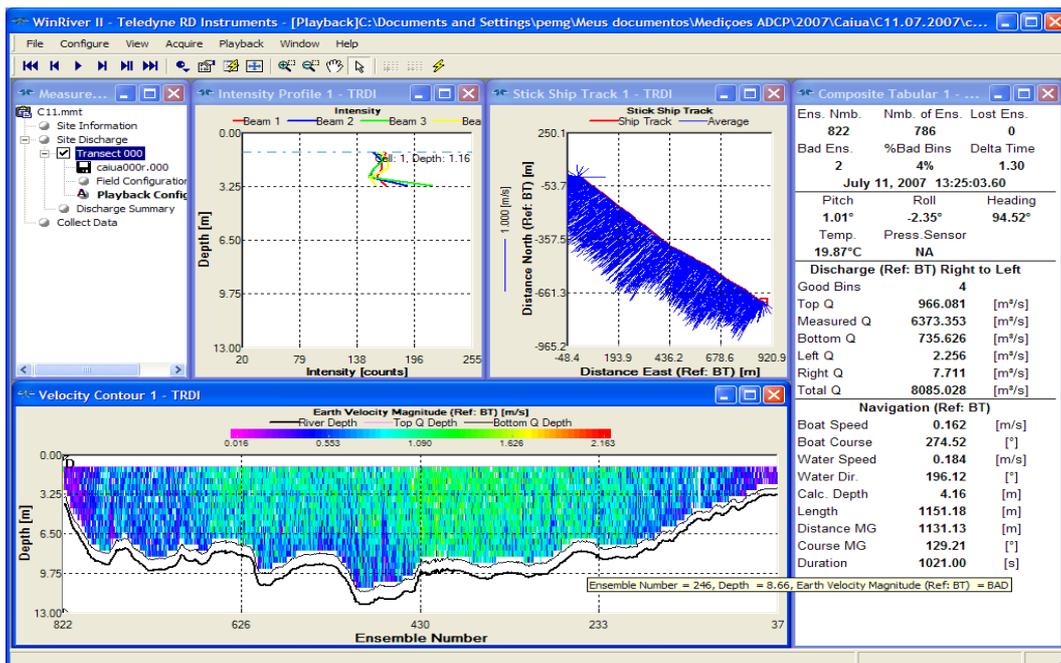
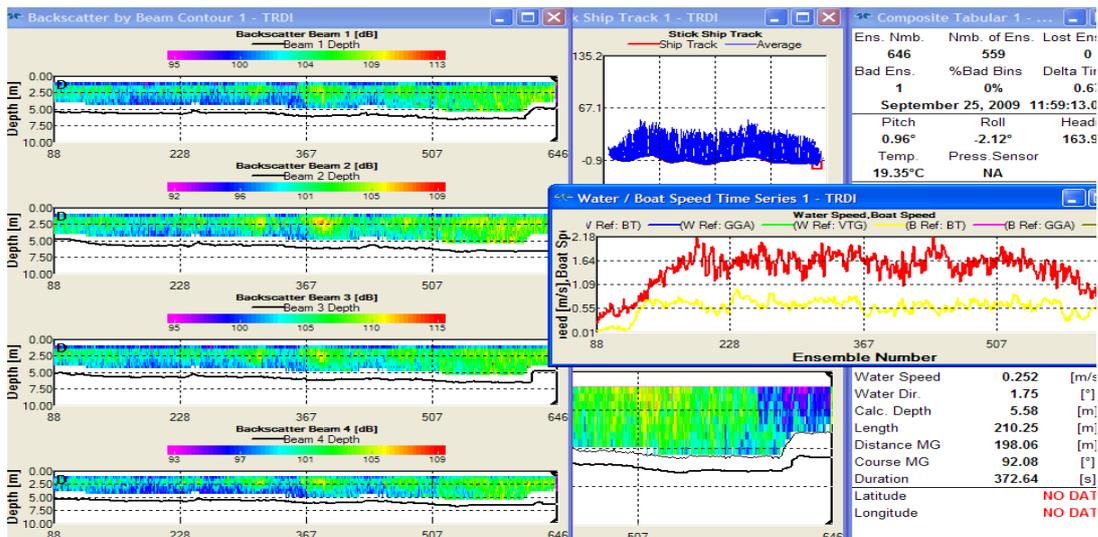


Figura 28 - Novos Itens *backscatter* por feixe e velocidades da água e barco



A versão atual do software é a 2.07. Em abril de 2009, a USGS emitiu um memorando anunciando a eficácia do novo software e determinando que todos os usuários utilizassem a versão mais atual do software imediatamente.

O software é intuitivo e nas etapas iniciais de configuração está inserido o *Configuration Wizard* e configurações de comunicação do ADCP e equipamentos acessórios como GPS e ecobatímetro. Também são emitidos alertas, quando da falta de inserção de algum dado básico, como profundidade de imersão do equipamento.

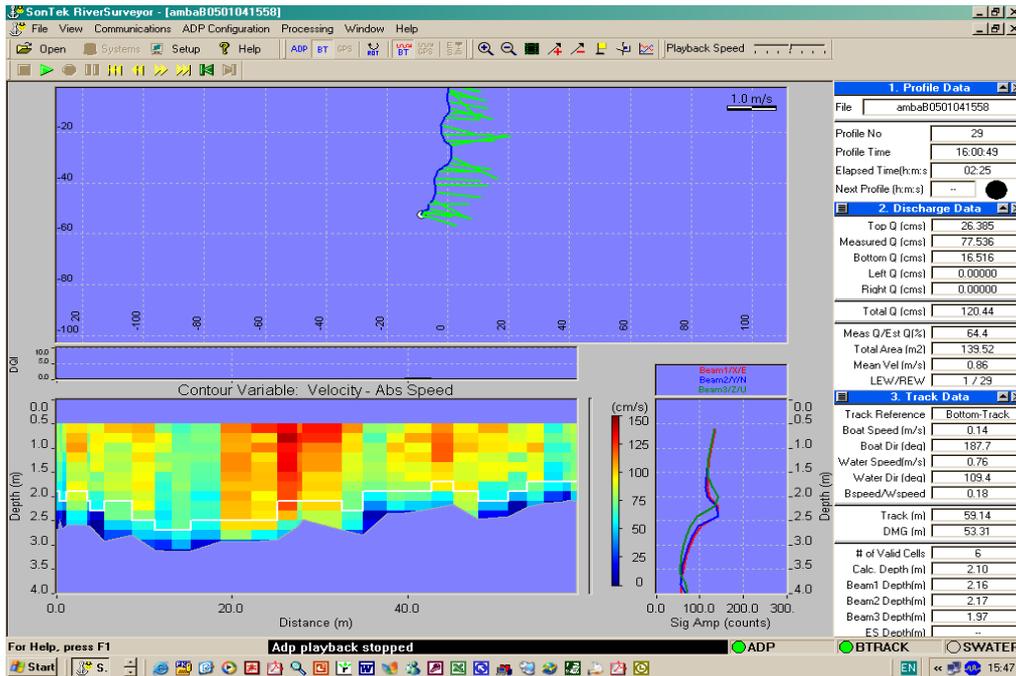
Também estão inseridos os aplicativos para calibração da bússola e testes de fundo móvel (estacionário e loop).

10.1.3 Software *River Surveyour* – Sontek

Este software é de aquisição e pós-processamento para usuários dos sistemas da *Sontek YSI*. Sua área de trabalho (Figura 29) não possui muitas modificações possíveis, até por não haver a necessidade de controle de correlação do sinal entre outras simplificações. Basicamente as mudanças podem ser feitas nas janelas visíveis, onde mostra as grandezas disponíveis.

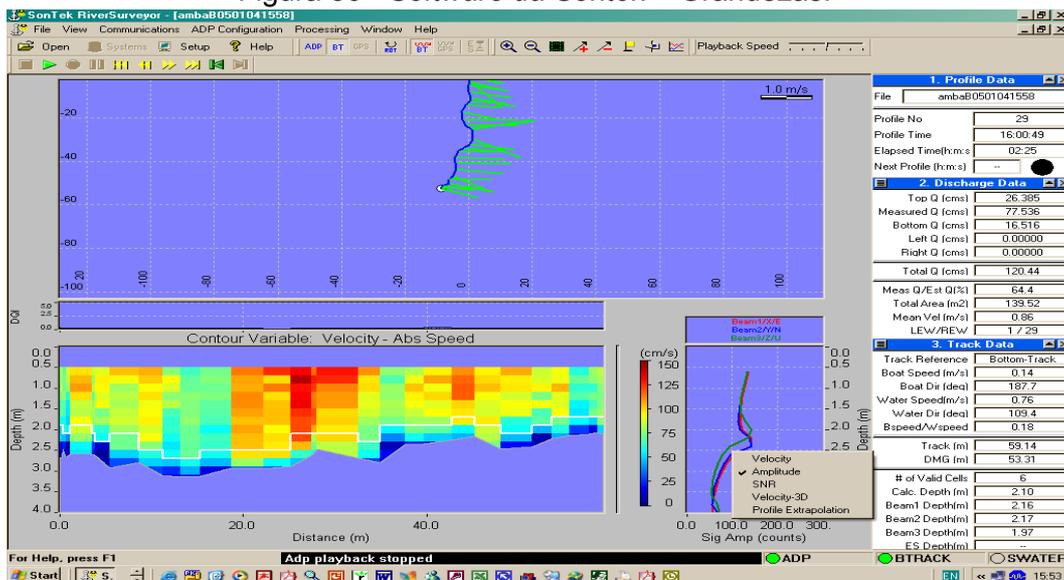
Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 29 - Software da Sontek – River Surveyour



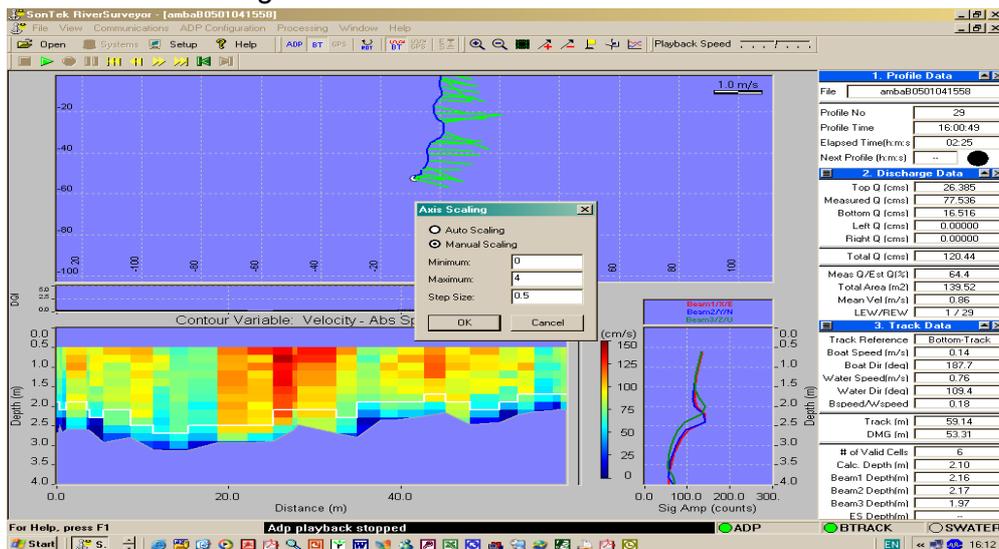
Para modificar a grandeza, basta clicar o botão direito do mouse (Figura 30) e um menu com as grandezas disponíveis aparece, ao clicar sobre as escalas com o botão esquerdo duas vezes aparecem os valores da escala para ser modificada (Figura 31) no círculo em vermelho.

Figura 30 - Software da Sontek – Grandezas.



Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 31 - Software da Sontek – Escala.



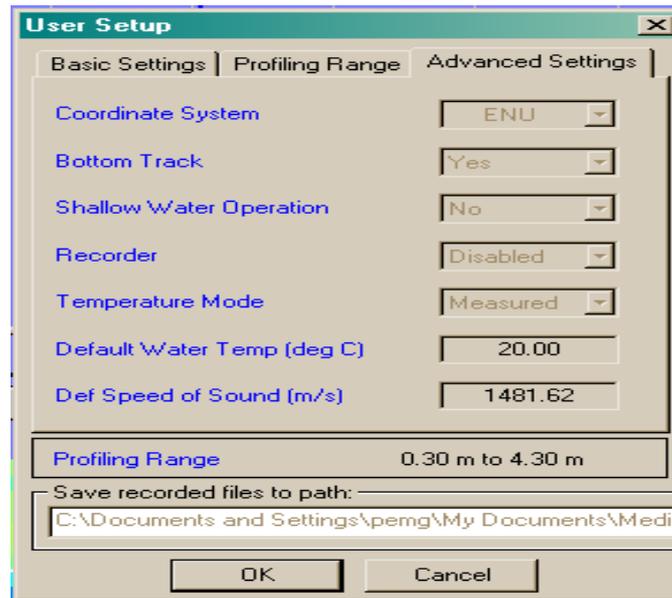
No lado direito da Figura 31 aparecem os dados do arquivo, de vazão e do deslocamento do barco e profundidades, ao clicar na seta para baixo do título 3. *Track Data* aparecerão os dados do GPS e dos outros sensores do sistema, por exemplo: bússola, *pitch* e *roll*, etc.

10.1.3.1 Como Configurar

Para configurar o sistema basta entrar no menu na linha superior e clicar em *ADP configuration*, aparecendo a tela de configuração *User Setup* (Figura 32) com três abas: Na aba **Basic Settings** deve ser inserido o prefixo do arquivo que a 93 ele será acrescentado à data e hora do início da medição e à profundidade de imersão do aparelho, isto se o mesmo não possuir este sensor. Na aba **Profiling Range** inserir a profundidade máxima e onde será gravado o arquivo (path). A aba **Advanced Settings** é onde deve ser inserido o sistema de coordenadas que irá ler os dados (NS/LO ou xyz, *beam*).

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

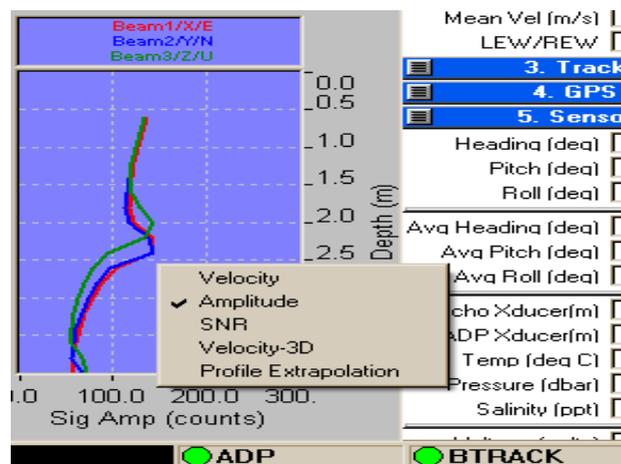
Figura 32 - User Setup - ADP Configuration.



10.1.3.2 Controladores da Qualidade da Medição

Esta janela pode mostrar o perfil de velocidade, a amplitude do sinal, a razão entre o sinal e o ruído (SNR) a velocidade em 3D ou o perfil de extrapolação. Abaixo se podem ver dois círculos que avisam quando há algum problema de recepção do ADP e do *Bottom Track*. Se estiverem bem, a cor predominante será verde, se houver alguma anomalia, vermelho (Figura 33)

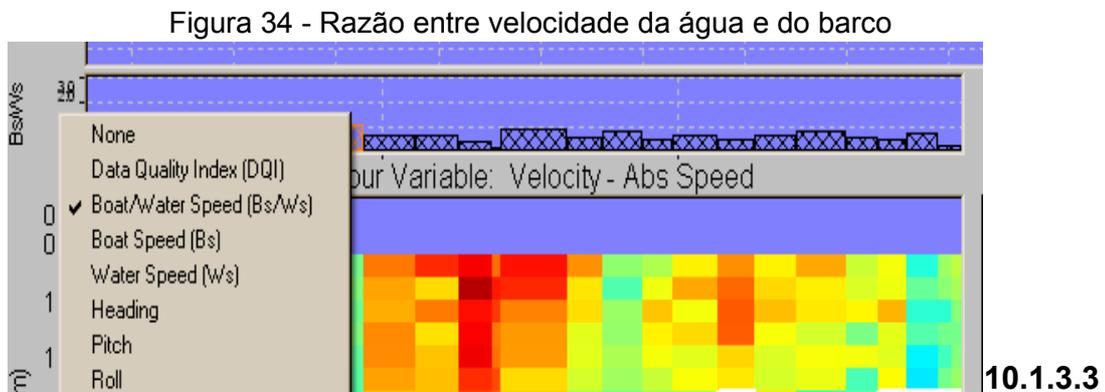
Figura 33 - Controladores da qualidade da medição.



Nesta janela estreita do meio podem ser vistos outros controladores da qualidade da

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

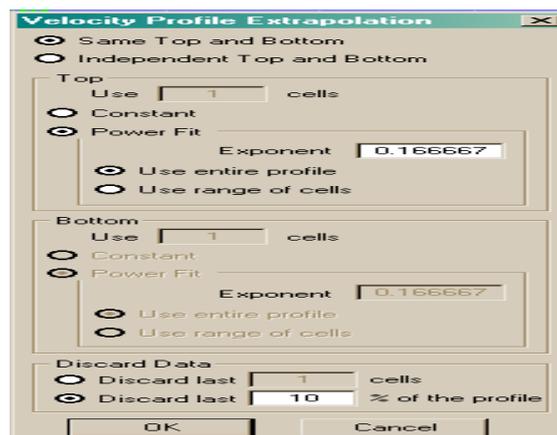
medição, tais como: qualidade do dado, razão entre velocidade da água e do barco, velocidade do barco, velocidade da água, *heading*, *pitch* e *roll* (Figura 34) . Estes devem ser lidos um a um, também clicando o botão direito do mouse para as escolhas.



Pós-Processamento:

Após carregar o software com a medição a ser pós-processada, entrar no menu superior em *Processing* e logo a seguir no *Extrapolation Method* onde pode ser mudado/escolhido entre os métodos constante e exponencial, bem como o coeficiente do método exponencial, a se utilizar (Figura 35)

Figura 35 - Pós-processamento



No sub-menu do *Processing* o próximo é *Discharge Calculation*, onde se processam as margens e é possível ver os dados finais da medição (Figura 36).

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

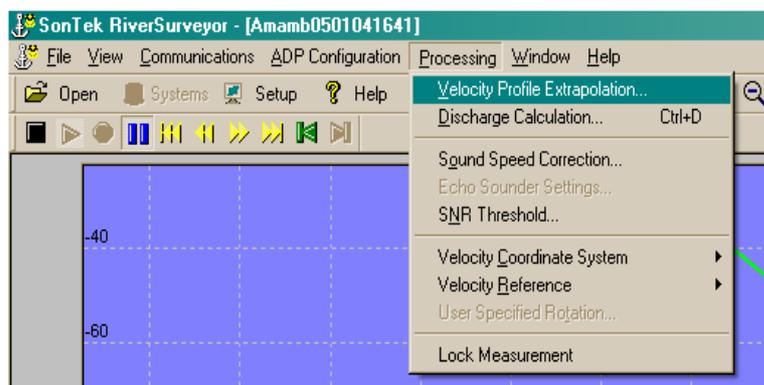
Figura 36 - Processamento das margens

Discharge	
Total Measured Discharge (m ³ /s)	52.645
Computed Top Discharge (m ³ /s)	36.806
Computed Bottom Discharge (m ³ /s)	12.252
Computed Left Discharge (m ³ /s)	2.4304
Computed Right Discharge (m ³ /s)	3.9387
Total Computed Discharge (m ³ /s)	108.07

Quality Parameters	
% Measured Discharge:	48.7 %
Total Width (m)	79.7
Maximum Depth (m)	2.87
Max. Depth Av. Velocity (m/s)	5.65
Maximum Boat Speed (m/s)	5.72
Maximum Pitch (deg)	-2.8
Maximum Roll (deg)	6.5

Há ainda sob o *Processing* a correção da velocidade do som, corrigindo-se a salinidade e temperatura da água; também pode ser modificada a referência para o cálculo da velocidade (*beam, xyz, etc.*) e o filtro (*threshold*) para a razão entre o ruído e o sinal (Figura 37).

Figura 37 - Correção das velocidades



10.1.4 Software River Surveyour Live – Sontek

Este software veio substituir o anterior para os usuários dos novos equipamentos da *Sontek- YSI*, o M9 e o S5; possui uma série de variações e avanços, entre eles estão as janelas onde é possível analisar o desempenho da medição em tempo real ou no pós-processamento. O detalhe é que mesmo em tempo real não é possível fazer nenhuma modificação no processamento, com exceção da profundidade do equipamento, distância entre as margens e tipos de extrapolações. Abaixo, em sequencia, as janelas inicial, *transect*, series temporais (*time series*), e margens (*edges*).

Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 38 - River Surveyour Live – Janela Inicial

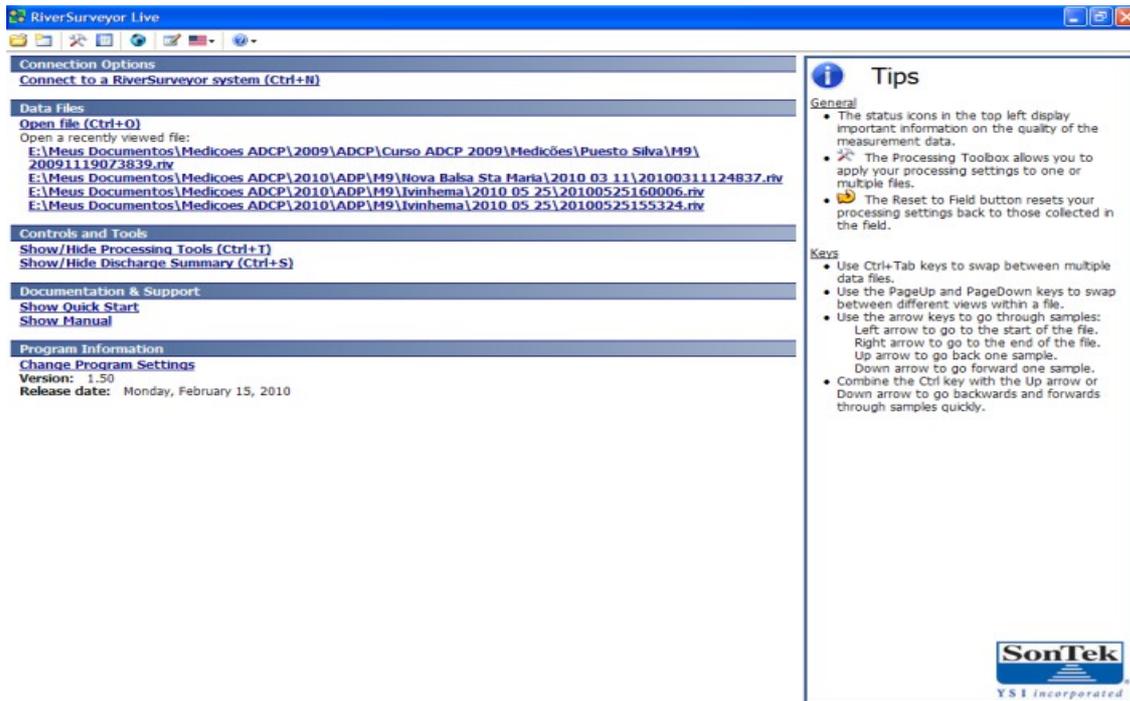
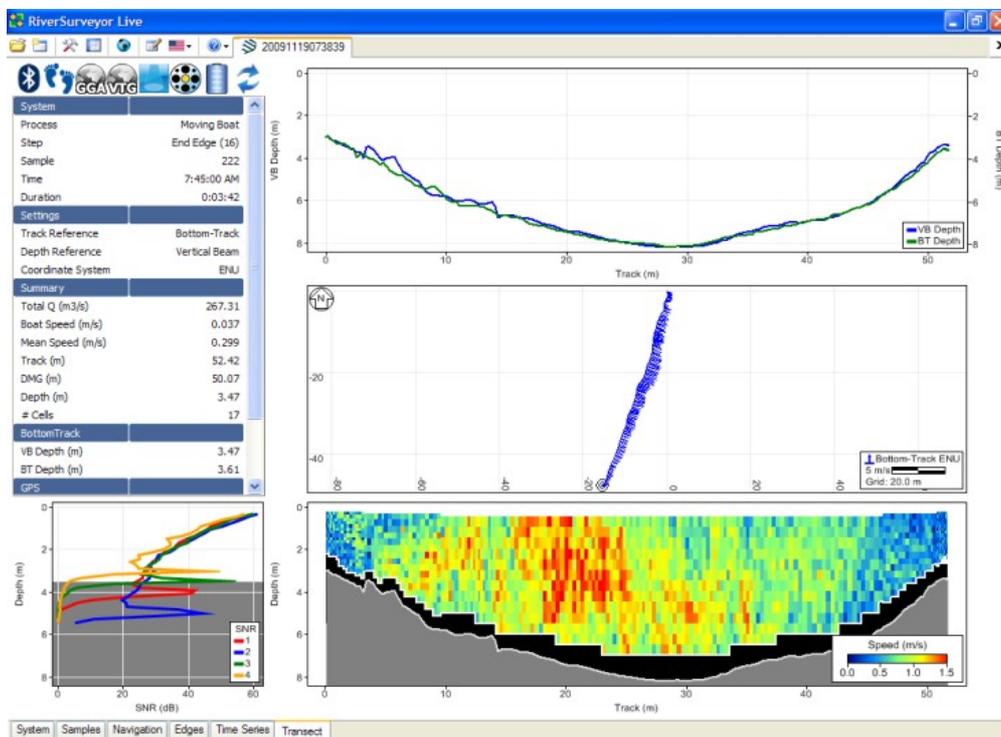


Figura 39 - River Surveyour Live – Transect



Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 40 - River Surveyour Live - series temporais (time series)

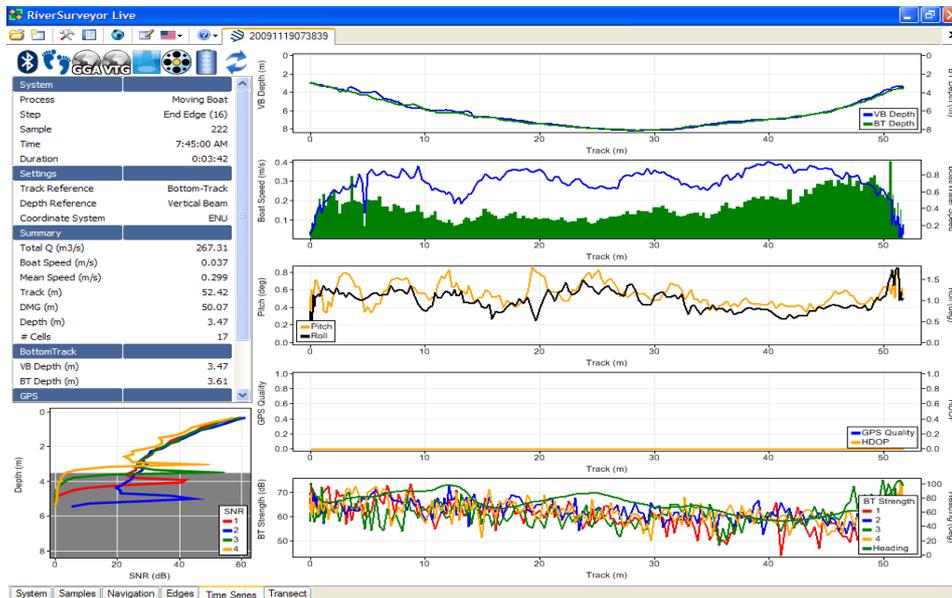
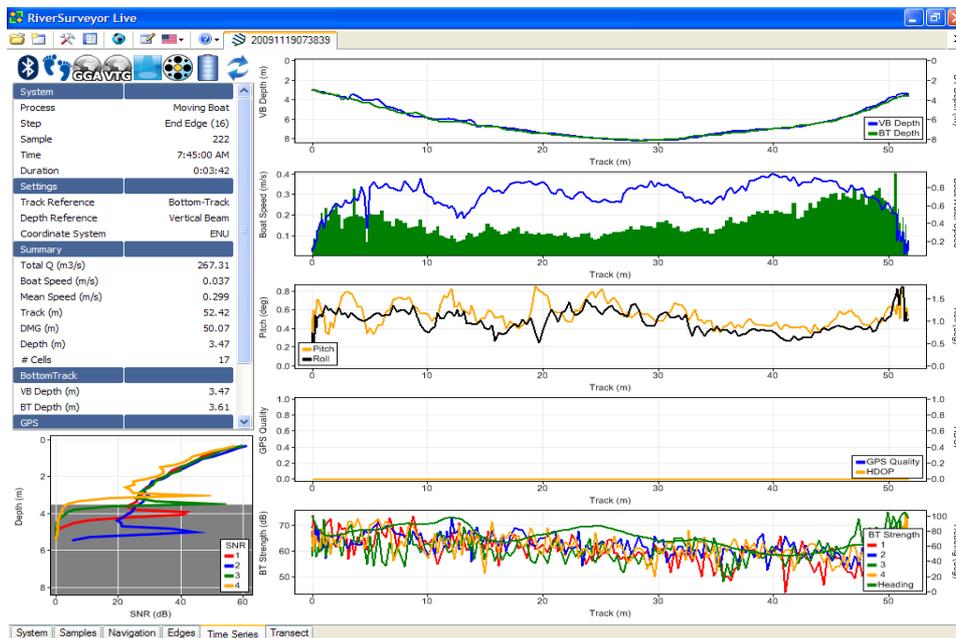


Figura 41 - River Surveyour Live – Margens (edges)

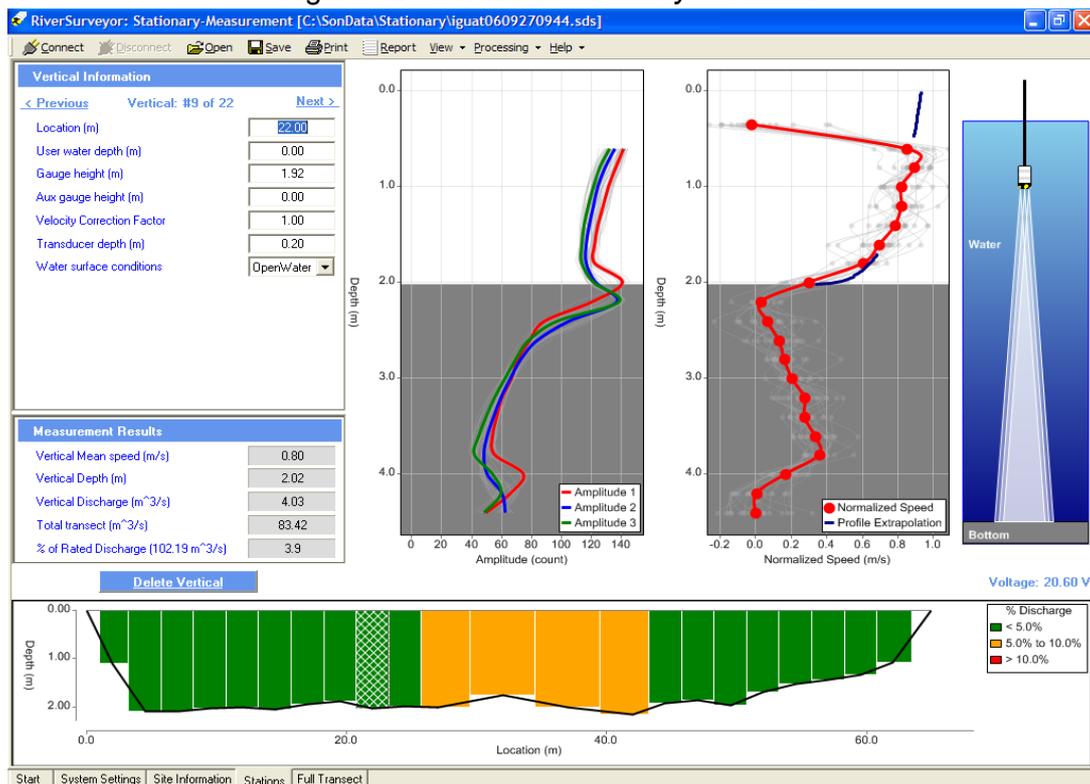


No pós-processamento é possível modificar a referência do cálculo da profundidade para estimar a vazão: média dos 4 feixes ou utilizando o feixe vertical (ecobatímetro). Além disso, é possível modificar e visualizar a vazão com a referência *bottom track*, GPS (GGA e VTG) e nenhuma referência.

10.1.5 Software Stationary – Sontek

Este software foi desenvolvido para ser usado em seções com fundo móvel. Fácil de utilizar, tem a vantagem sobre o método seção por seção onde cada vertical é um arquivo; neste caso não há como saber se as direções da corrente em cada vertical são realmente perpendiculares à seção transversal, este software faz o rebatimento das correntes de cada vertical de modo a ficarem ortogonais à seção de medição. (a RDI lançou no ano de 2009 no qual isto também é possível) (Figura 42 e Figura 43).

Figura 42 - Software Stationary – Sontek



Medição de Vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico

Figura 43 - *Software Stationary* – Janela após finalização da medição.



Os programas computacionais que podem ser utilizados na coleta e processamento de dados são *RiverSurveyor S5/M9* e *WinRiver II*.(ver manuais na Mideateca).

Obs.: Os manuais destes softwares estão disponíveis na Mideateca. Estes softwares também são melhor compreendidos na unidade 2 do curso – parte presencial.

REFERÊNCIAS

CHEVALLIER, P. **Aquisição e Processamento de Dados**. IN: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2003. 485 - 525.

IBIAPINA, A. V., et al. **Evolução da hidrometria no Brasil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html> >. Acesso em: 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. “**Vocabulário Internacional de Medidas**”. Portaria n.029, de 10 de março de 1995. Disponível em www.inmetro.gov.br.

GAMARO, P.E.M. “**Diretrizes e Procedimentos para Utilização de Medidores Acústicos de Vazão Doppler em Medições de Rios e Canais**” in II Curso de Medidores de Vazão Doppler, Foz do Iguaçu, 2006.

GAMARO, P.E.M. “**Procedimentos para avaliar uma medição de vazão acústica Doppler**” in II Curso de Medidores de Vazão Doppler, Foz do Iguaçu, 2006.

MARINI, S. S. **Mapeamento da hidrografia da Amazônia por meio de imagens orbitais com base em estudo preliminar do comportamento hidrológico do complexo fluvial Solimões/Amazonas**. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2002.

PEDRAZZI, J. A. **Escoamento Superficial**. Disponível em: <http://www.facens.br/site/alunos/download/hidrologia/pedrazzi_cap7_escoamento_superficial.doc >. Acesso em: 2003.

PROSSIGA

Disponível em: <http://www4.prossiga.br/recursosminerais/glossario/glossario_h.html >. Acesso em: 2003.

RD INSTRUMENTS. “**Principles of Operation.: A Practical Primer**”. RD Instruments Acoustic Doppler Current Profiler Manual, 1996.

SANTOS, I.et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372p.

STUDART, T. M. C. **Escoamento Superficial**. Disponível em: <<http://www.deha.ufc.br/ticianahidrologia/apostila.htm> >. Acesso em: 2003.

TELEDYNE RD INSTRUMENT . “**Workhorse Rio Grande ADCP Technical Manual**”. Teledyne RD Instruments Acoustic Doppler Current Profiler Manual, 2007.