

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**BRUNO ZANONI COELHO**

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE HIDROMETRIA NA  
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA SÃO LUDGERO, SC**

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011**

**BRUNO ZANONI COELHO**

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE HIDROMETRIA NA  
ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA SÃO LUDGERO, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para obtenção do grau de  
Engenheiro Ambiental, no curso de  
Engenharia Ambiental da Universidade do  
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011**

**BRUNO ZANONI COELHO**

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE HIDROMETRIA NA ESTAÇÃO  
FLUVIOMÉTRICA DE SÃO LUDGERO, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso  
aprovado pela Banca Examinadora para  
obtenção do Grau de Engenheiro  
Ambiental, no Curso de Engenharia  
Ambiental da Universidade do Extremo  
Sul Catarinense, UNESC, com Linha de  
Pesquisa em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental.

Criciúma, 01 de JULHO de 2011.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Álvaro José Back  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

---

Prof. MSc. Sérgio Galatto  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

---

Prof. MSc. Hugo Schwalm  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

**Dedico este trabalho e minha graduação à minha família que, em todos os momentos, sejam estes tristes ou alegres, esteve ao meu lado, apoiando e incentivando-me.**

**Em especial, aos meus pais, Marcos Vitorino Trevizol Coelho e Maristela Zanoni Coelho, que, com muito esforço e dedicação, conseguiram me deixar de herança uma linda profissão.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Dr. Álvaro José Back por ser tão generoso, oferecendo-me estágio e orientação para realização deste trabalho. Considero-o um grande amigo.

O mesmo posso dizer de meu supervisor o Eng. MSc. José Luiz Rocha Oliveira e o Eng. MSc. Alan Henn, que me ensinaram muito sobre esta profissão e por todos os seus ensinamentos hidrológicos, os quais, acredito eu, enriqueceram minha formação de Engenheiro Ambiental.

A todos os amigos que fiz na UNESC. Conheci tanta gente bacana durante os anos de Universidade que prefiro nem citar nomes para não cometer a injustiça de esquecer alguém.

A todos os professores, mestres e doutores do curso de Engenharia Ambiental da UNESC que, no decorrer do curso, incentivaram e orientaram-me na busca do conhecimento.

Aos grandes amigos que ganhei durante minha permanência em Urussanga.

A todos os funcionários da EPAGRI pela hospitalidade e convivência no decorrer do estágio, em especial ao pessoal do setor de recursos hídricos e saneamento ambiental.

Por fim, a todos que me apoiaram nesta fase da minha vida, o meu sincero agradecimento.

**“O conhecimento nos faz responsáveis.”**

**Che Guevara**

## RESUMO

A obtenção de dados hidrológicos confiáveis é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Diante disso, os dados de vazão podem ser obtidos por diversas técnicas, métodos e equipamentos, com diferentes aplicações e limitações, cabe ainda ressaltar que, na gestão dos recursos hídricos, o monitoramento da qualidade da água pode subsidiar usos futuros ou permitir apontar necessidades de medidas para controle da degradação das águas. Este trabalho de pesquisa consiste em avaliar as técnicas e métodos de medição de vazão e qualidade da água comparando os equipamentos de medição convencionais com os equipamentos acústicos. Este trabalho foi desenvolvido no setor de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da EPAGRI – Estação Experimental de Urussanga, SC, onde foram pesquisados os equipamentos de medição de vazão utilizando-se do Molinete fluviométrico do fabricante HIDROMEC, modelo 1014 para o método convencional e do equipamento ADP-M9 do fabricante Sontek, modelo RiverSurveyor para o método acústico. Não obstante, foram realizadas pesquisas de campo utilizando simultaneamente os dois métodos de medição de vazão. Para a análise da qualidade da água foi utilizado uma sonda multiparâmetro do fabricante YSI, modelo V26920/6820. As coletas de sedimentos em suspensão foram realizadas com o amostrador DH-59. A campanha de medição de campo foi realizada no rio Braço do Norte na bacia hidrográfica do rio Tubarão no ponto onde se localiza a Estação Hidrometeorológica São Ludgero, da ANA, no município de São Ludgero em Santa Catarina. Com os resultados apresentados nestas medições fez-se uma análise comparativa, verificando, deste modo, qual dos processos proporcionará resultados mais precisos e confiáveis para uma melhor programação de suas atividades.

**Palavras-chave:** Hidrometria. ADCP. Molinete Hidrométrico. Medição de vazão.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Características geométricas de uma seção transversal. ....	18
Figura 2 – Régua limnimétrica no Rio Araranguá em Araranguá, SC. ....	20
Figura 3 – Pluviômetro do tipo <i>Ville de Paris</i> . ....	21
Figura 4 – Representação do escoamento em rios. ....	24
Figura 5 – Medição a vau. ....	27
Figura 6 – Relação entre a velocidade da água e as rotações medidas pelo molinete. .....	30
Figura 7 – Perfil da velocidade (m/s) em função da profundidade (m). ....	31
Figura 8 – Ilustração do método da seção média. ....	34
Figura 9 – Ilustração do método da meia seção. ....	37
Figura 10 – Comparação da medição com ADCP com método convencional (molinetes). ....	39
Figura 11 – Mapeamento da seção transversal pelo ADCP/ADP. ....	39
Figura 12 – Onda A, fonte estacionaria, e Ondas B, fonte em movimento. ....	41
Figura 13 – Amostrador DH-59. ....	47
Figura 14 – Distribuição da velocidade da corrente, concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal. ....	49
Figura 15 – Representação da amostragem por igual incremento de descarga (IID). .....	50
Figura 16 – Representação da amostragem por igual incremento de largura (IIL). ..	51
Figura 17 – Localização da Estação Hidrometeorológica São Ludgero, SC. ....	56
Figura 18 – Vista de cima, a seção transversal onde foi realizada a coleta de dados. .....	59
Figura 19 – Vazão obtido por diferentes métodos de cálculo da velocidade média em função da distância entre as verticais. ....	67
Figura 20 – Área da seção transversal obtida em função da distância entre as verticais. ....	68
Figura 21 – Velocidade média obtida em função da distância entre as verticais. ....	69
Figura 22 – Perfil da velocidade nas verticais 1 a 15. ....	70
Figura 23 – Perfil da velocidade nas verticais 16 a 30. ....	71

Figura 24 – Medição simultânea de vazão com o uso do ADP-M9 e do Molinete Hidrométrico. ....	72
Figura 25 – Velocidade absoluta na seção de medição. ....	73
Figura 26 – Velocidade de deslocamento do barco X velocidade do fluxo de água..	73
Figura 27 – Lançamento de esgoto doméstico à montante da seção de medição....	76
Figura 28 – Relatório da medição com ADP-M9, gerado pelo programa. ....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos de cálculo da velocidade média da vertical.....	32
Tabela 2 – Distância recomendada entre as verticais.....	33
Tabela 3 – Medição de campo da velocidade com o molinete hidrométrico. ....	62
Tabela 4 – Cálculo da vazão pelo método detalhado usando o método da seção média e meia seção. ....	63
Tabela 5 – Cálculo da vazão usando o método simplificado na estimativa da velocidade média. ....	64
Tabela 6 – Cálculo da vazão usando o método de um ponto a 60% para estimativa da velocidade média. ....	65
Tabela 7 – Vazões do rio São Ludgero em função da distância das verticais, do método de cálculo da velocidade média na vertical e do processo de cálculo da vazão.....	66
Tabela 8 – Área da seção e velocidade média do rio São Ludgero em função da distância das verticais, do método de cálculo da velocidade média na vertical e do processo de cálculo da vazão. ....	67
Tabela 9 – Médias dos valores por vertical para cada parâmetro analisado.....	75
Tabela 10 – Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação para todos os dados obtidos para cada parâmetro analisado. ....	75
Tabela 11 – Valores obtidos com a Sonda Multiparâmetro.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler

ADP – Acoustic Doppler Profile

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

PMA – Prefeitura Municipal de Araranguá

IIL – Igual Incremento de Largura

IID – Igual Incremento de Descarga

PI – Ponto Inicial

PF – Ponto Final

NA – Nível de Água

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	7
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	13
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
4.1 Hidrometria .....	17
4.2 Medição de Variáveis Hidrológicas .....	18
4.2.1 Nível de água .....	19
4.2.2 Precipitação .....	21
4.3 Levantamentos Batimétricos .....	22
4.4 Métodos de Medição de Descarga Líquida .....	23
4.4.1 Método por Flutuadores .....	25
4.4.2 Método por Molinete Hidrométrico .....	26
4.4.2.1 Velocidade Média na Vertical: Método Simplificado x Detalhado .....	31
4.4.2.2 Números de verticais .....	33
4.4.2.3.1 Método da Seção Média.....	34
4.4.2.3.2 Método da Meia Seção .....	37
4.4.3 Método Acústico .....	38
4.4.3.1 Conceito do Princípio Doppler.....	40
4.4.3.2 Tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).....	41
4.4.3.3 As Áreas Não Medidas pelo ADCP .....	44
4.5 SEDIMENTOMETRIA .....	45
4.5.1 Coletas de Sedimentos em Suspensão.....	45
4.5.2 Amostradores de Sedimentos em Suspensão .....	46
4.5.3 Método de Amostragem do Material em Suspensão.....	48
4.5.3.1 Método do Igual Incremento de Descarga (IID) .....	50
4.5.3.1 Método do Igual Incremento de Largura (IIL).....	50
4.6 Parâmetros de Qualidade da água.....	51
4.6.1 Sólidos em Suspensão .....	51

4.6.2 Sólidos Totais Dissolvidos (STD) .....	52
4.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	52
4.6.4 Oxigênio Dissolvido (OD) .....	52
4.6.5 Temperatura.....	53
4.6.6 Turbidez .....	53
4.6.7 Condutividade .....	54
5.1 Área de Estudo .....	55
5.2 Coleta dos Dados .....	56
5.3 Materiais Utilizados.....	57
5.3.1 Medição de vazão com Molinete Hidrométrico.....	57
5.3.2 Medição de vazão com ADP .....	57
5.3.3 Medição de Sedimentos.....	57
5.3.4 Medição da Qualidade da Água .....	58
5.4 Trabalho de Campo.....	58
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	61
6.1 Apresentação e Análise dos Dados: Molinete Hidrométrico.....	61
6.2 Apresentação e Análise dos Dados: ADP-M9.....	72
6.3 Apresentação e Análise dos Dados: Sonda Multiparâmetro.....	74
6.4 Apresentação e Análise dos Dados de Sedimentos .....	77
7 CONCLUSÃO .....	78
ANEXO .....	82

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são compreendidos como fontes de valor econômico essencial para a sobrevivência e desenvolvimento dos seres vivos. A preocupação com a preservação do ambiente hídrico nas inúmeras atividades praticadas pelos seres humanos está evoluindo progressivamente. Devido a este fato, é importante que haja um gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis no mundo. Para isso, o conhecimento do regime fluvial é fundamental.

A informação da vazão em um canal ou rio é importante em diversos estudos hidrológicos como determinação do hidrograma de cheia e médias de escoamento superficial. A vazão é fundamental no estudo da qualidade e monitoramento dos recursos hídricos e determinação da descarga de sólidos e outros poluentes. Também no manejo e gestão de recursos hídricos, a informação da vazão é um dado fundamental e, por isso, em diversos locais procedem-se as medições rotineiras de vazão. (BACK, 2006, p.7).

A medição da vazão de um curso d'água é normalmente alcançada de forma indireta a partir da medida da velocidade média do escoamento ou de nível. Para medição da vazão de um curso d'água, pode-se fazer uso de diversos aparelhos ou processos, como ADCP (Acoustic Doppler Current Profile), vertedores, calhas, molinete hidrométrico e o método do flutuador, sendo a escolha do método, função da grandeza do corpo d'água, da precisão necessária e dos recursos disponíveis.

As técnicas de Hidrometria e Hidrossedimentometria usadas foram desenvolvidas com base no uso de equipamentos convencionais usando Molinetes Hidrométricos. Atualmente, existem no mercado vários equipamentos de medição de vazão por efeito acústico Doppler, como FlowTracker e ADP-M9, que permitem obter uma amostragem muito mais detalhada, tanto no sentido vertical como horizontal. Diante disso, faz-se necessário uma avaliação comparativa entre as medições efetuadas pelos diferentes equipamentos.

As técnicas usadas na coleta de sedimentos em suspensão são baseadas nas medições de vazão com molinetes hidrométricos, e, portanto, com o uso dos equipamentos acústicos, faz-se necessário avaliar essa técnica e verificar a possibilidade de obter amostras mais representativas.

A amostragem de qualidade da água geralmente é realizada em um único ponto da seção transversal do curso d'água, no entanto, existem dúvidas quanto à profundidade de coleta e distância da margem. A análise da variação das características qualitativas da água, ao longo da seção transversal, poderá indicar o melhor critério para amostragem da qualidade da água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar as técnicas de medição de vazão e qualidade da água, comparando os equipamentos de medição convencionais com os equipamentos acústicos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Revisar os métodos e técnicas empregados na hidrometria;
- Comparar os dados de vazão calculada com o método da seção média e meia seção;
- Comparar os cálculos de velocidade média obtida com os métodos detalhado e simplificado;
- Avaliar os erros obtidos no cálculo da vazão, usando diferentes distâncias entre verticais;
- Comparar as medições do molinete hidrométrico com as medições do ADCP;
- Avaliar a distribuição da qualidade da água ao longo da seção de medição.

### 3 JUSTIFICATIVA

A obtenção de dados hidrológicos confiáveis é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Os dados de vazão podem ser obtidos por diversas técnicas, métodos e equipamentos, com diferentes aplicações e limitações. Os molinetes hidrométricos são os equipamentos mais utilizados para as medições de vazão, com metodologias bem definidas e amplamente utilizadas na área de recursos hídricos. Nos últimos anos, com a evolução da tecnologia Doppler, as medições de vazão podem ser realizadas mais rapidamente e com maior segurança, o que vem aumentando sua utilização, que não é mais difundida pelo alto custo de aquisição dos equipamentos.

Assim, a comparação dos equipamentos utilizados para a obtenção de dados de vazão se faz necessária para verificar a diferença entre as técnicas e discutir acerca de suas utilizações de forma a validar as novas tecnologias. Somase, ainda, a limitação de utilização dos equipamentos Doppler em seções nas quais é necessário coletar amostras de sedimentos em suspensão, pois os métodos de cálculos foram baseados em medições realizadas com molinete hidrométrico, o que torna necessária a comparação das diferentes maneiras de se obter os tempos de amostragem, principalmente em relação aos equipamentos Doppler.

Não menos importante na gestão dos recursos hídricos, o monitoramento da qualidade da água pode subsidiar usos futuros ou permitir apontar necessidades de medidas para controle da degradação das águas. Frente à sua importância, a coleta de amostras de água para determinação da qualidade nem sempre é feita de forma representativa. Dessa forma, a análise da variação das características qualitativas da água, ao longo da seção transversal, poderá indicar o melhor critério para amostragem da qualidade da água.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que se obtenha melhor entendimento da temática estudada no presente trabalho, faz-se necessário os estudos dos fundamentos teóricos básicos acerca da caracterização das técnicas e métodos de medição de descargas líquidas e sólidas, bem como descrever os principais equipamentos utilizados na medição de vazão em canais e rios, e, ainda, para estudos de hidrossedimentologia, o levantamento dos principais parâmetros da qualidade das águas, os quais serão descritos a seguir.

### 4.1 Hidrometria

Hidrometria é a ciência da medida e da análise das características físicas e químicas da água, inclusive dos métodos, técnicas e instrumentação utilizados em hidrologia. (GLOSSÁRIO DE TERMOS HIDROLÓGICOS, 2002 apud GRISON, 2008, p.4). É uma das partes mais importantes da hidráulica, pois cuida de questões tais como medidas de profundidade, de variação do nível da água, das seções de escoamento, das pressões, das velocidades e das vazões ou descargas. (AZEVEDO NETTO, 2003 apud GRISON, 2008, p.4).

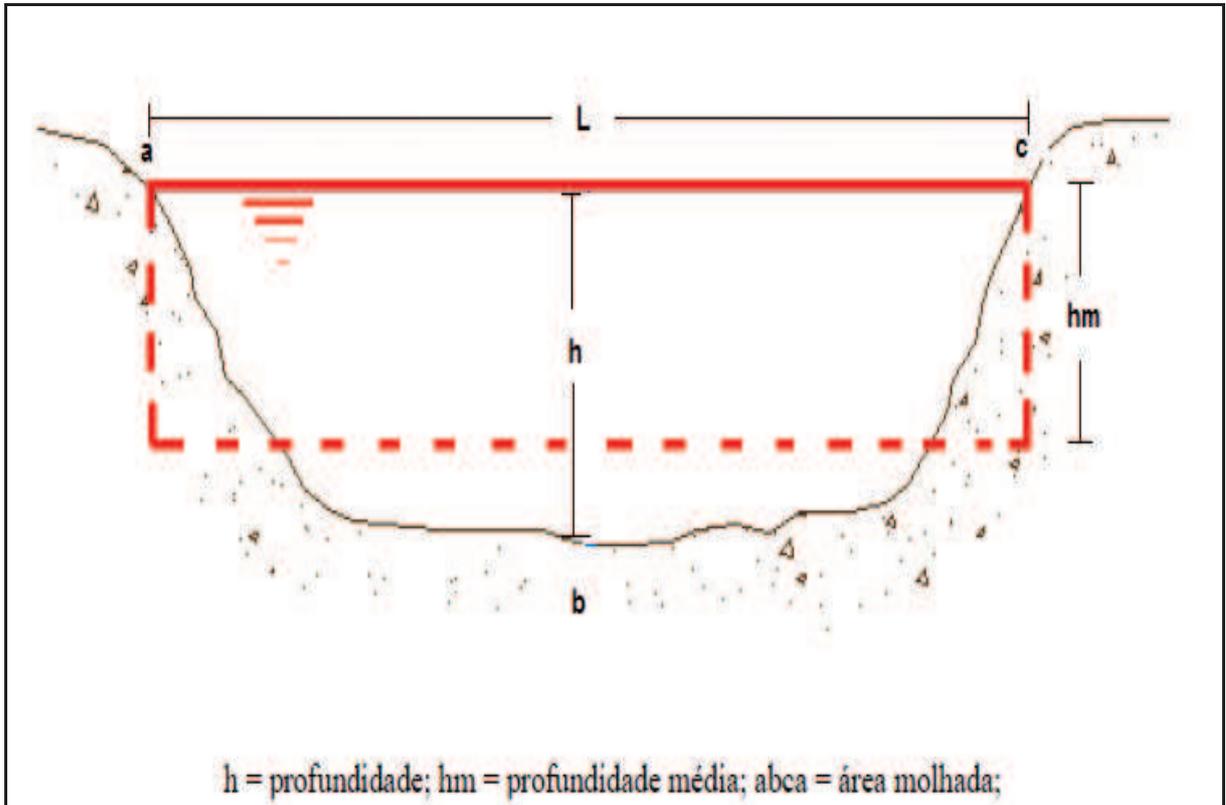
A fluviometria, que faz parte da hidrometria, trata das medições de vazões dos rios (SANTOS et al., 2001). Uma estação fluviométrica se localiza em uma seção do rio, composta basicamente por régua linimétrica e/ou linígrafos para medição dos níveis de água. As características geométricas da seção transversal definida pela estação variam com o nível d'água na mesma (Figura 1).

Essas características são citadas a seguir:

- Área molhada: área da seção transversal ocupada pela água;
- Perímetro molhado: comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito;
- Raio hidráulico: quociente da área molhada pelo perímetro molhado;
- Largura superficial: comprimento da linha horizontal da área molhada;
- Profundidade média: quociente da área molhada pela largura superficial.

Figura 1 – Características geométricas de uma seção transversal.

Fonte: Grison, 2008, p.4.



## 4.2 Medição de Variáveis Hidrológicas

A água circula livremente, podendo ser encontrada no estado líquido, sólido e gasoso em lugares como na atmosfera, na superfície e no subsolo; a esse processo é nomeado de ciclo hidrológico. No estudo deste ciclo, verificou-se que sua ocorrência, distribuição e circulação, suas propriedades e seus efeitos sobre o meio ambiente e a vida proporcionam a formação de diversas ciências especializadas como: meteorologia, limnologia, oceanografia, ecologia, além da hidrologia – ciência que estuda os fenômenos de precipitação e escoamento, ou seja, a parte terrestre do ciclo hidrológico; ciência que será o foco deste projeto.

As variações no tempo e no espaço de precipitações, níveis de água, vazões líquidas e sólidas, qualidade de água são obtidas por meio da hidrometria. Essas variáveis podem ser medidas diretamente, como ocorre com a precipitação e com o nível de água; ou indiretamente, como é o caso da vazão líquida e sólida e da

evapotranspiração, quando se medem grandezas típicas que guardam uma determinada relação funcional com a variável em questão.

Fica evidente a necessidade de medir no campo uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas para permitir o conhecimento das características hidrológicas e para possibilitar a aplicação dos modelos matemáticos que permitem prever chuvas e/ou vazões, estimar a probabilidade associada a eventos raros e quantificar as possibilidades do aproveitamento dos recursos hídricos.

Um local de observação é chamado de “posto” ou “estação”. Por exemplo, um “posto pluvio-fluviométrico” é o local onde se medem precipitações, níveis d’água e vazões. Como decorrência da variação espacial considerável dessas grandezas, necessita-se de várias estações distribuídas sobre a sua superfície para caracterizar uma bacia hidrográfica, o que leva ao conceito de redes de monitoramento, ou seja, um conjunto de estações pluviométricas, fluviométricas, sedimentométricas, meteorológicas e de qualidade da água distribuídas sobre uma determinada região (ANA, 2009, p.16).

#### **4.2.1 Nível de água**

O estudo do regime hidrológico de um curso d’água exige, evidentemente, o conhecimento da variação de seu nível e vazão ao longo do tempo. Como a avaliação diária das vazões por um processo direto seria excessivamente onerosa e complicada, opta-se em geral pelo registro diário, duas vezes ao dia (nas estações da Agência Nacional de Águas às 7 horas e às 17 horas) ou contínuo no tempo, do nível d’água e pela determinação da relação entre nível de água e vazão (curva ou tabela cota-vazão). (ANA, 2009, p.17).

Neste item, será descrito apenas a medição do nível de água; a determinação da relação nível de água (cota do rio) e a vazão serão tratadas posteriormente. Para se obter os dados do nível de água, utilizam-se os Linímetros, mais conhecidos por réguas limnimétricas ou linígrafos.

Uma régua limnimétrica é uma escala graduada esmaltada, fixada verticalmente na maioria das vezes em colunas de madeira ou metálicas, ou mesmo pintada sobre uma superfície vertical, como se pode observar na Figura 2 – uma

régua limnimétrica instalada pela Prefeitura Municipal de Araranguá, em Santa Catarina, para alerta em casos de cheias.

**Figura 2 – Régua limnimétrica no Rio Araranguá em Araranguá, SC.**



As leituras de uma régua limnimétrica estão sujeitas a uma série de erros. Além de dificuldades naturais na leitura durante as cheias, devido à oscilação do nível dos rios, também acontecem erros grosseiros resultantes da negligência ou imperícia do observador, ou até mesmo erros provocados pelas mudanças causais ou mal documentadas do zero da régua. (MELCHIOR, 2006, p.28).

Neste caso, é perfeitamente possível que tenha ocorrido um máximo (ou mínimo) no intervalo das leituras, este problema leva em consideração a área da bacia. Para contornar esse tipo de problema, costuma-se instalar, em estações fluviométricas com variações rápidas de nível, aparelhos registradores contínuos do nível de água, denominados linígrafos de bóia ou de pressão.

#### 4.2.2 Precipitação

ANA (2009, p. 18) cita que, no Brasil, onde a absoluta maioria da precipitação (mais de 99%) está sob a forma de chuva, mede-se convencionalmente a precipitação por meio de aparelhos chamados pluviômetros e pluviógrafos.

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel metálico e de um reservatório para acumular a água recolhida, ligado a essa área e captação. Em função dos detalhes construtivos, há vários modelos de pluviômetros em uso no mundo, sendo, no Brasil, bastante difundido o tipo *Ville de Paris* (Figura 3). (MELCHIOR, 2006, p.27).

Figura 3 – Pluviômetro do tipo *Ville de Paris*.



Em busca de melhor resultado da medição pluviométrica, o valor da precipitação é anotado no dia da leitura para facilitar a ação dos observadores, embora a maior parte do período transcorrido entre as observações tenha ocorrido

no dia anterior. Portanto, as observações de chuva referem-se ao total acumulado nas últimas 24 horas, quando este for o intervalo entre as leituras. Para medição de chuvas de pequena duração ou quando se exige o conhecimento da chuva em intervalos menores (monitoramento de pequenas bacias), são utilizados os chamados pluviógrafo. (ANA, 2009, p.18).

ANA (2009, p. 18) salienta que de forma analógica ou digital, os pluviógrafos são capazes de registrar continuamente a precipitação em determinado local. Nos aparelhos de registro analógico, existe um mecanismo que registra graficamente a chuva acumulada. Entre os diferentes tipos de pluviógrafos em uso, há três sistemas mais usuais: o de *bóia*, *balança* e *cubas basculantes*.

### 4.3 Levantamentos Batimétricos

Melchior (2006, p. 30) descreve o levantamento detalhado do relevo no leito do rio como a batimetria da seção transversal. Operacionalmente, este processo depende das características da seção levantada, podendo ser embarcado ou a vau.

Para o autor, o processo a vau é recomendado em pequenos rios, principalmente com profundidades inferiores a 1 m e velocidade máxima de 1 m/s, onde consiste no caminhar na seção com uma mira ou régua graduada, levantando a profundidade da vertical e a distância entre verticais em relação ao PI (ponto inicial) e PF (ponto final).

Porém, para o processo embarcado, utilizado em áreas de profundidade e grandes velocidades, necessita-se de um guincho fluviométrico ou um ecobatímetro.

No levantamento batimétrico com guincho fluviométrico, o posicionamento na vertical pode ser feito com cabo de aço graduado ou pelos métodos indiretos (sextante, triangulação ou distanciômetro). A profundidade máxima medida com guincho depende da velocidade da corrente, na qual quanto maior a velocidade maior é o peso do lastro, observando e corrigindo o ângulo de arrasto do lastro.

O ecobatímetro é um emissor e receptor de ondas sonoras, que mede a profundidade da água por meio de um intervalo de tempo, entre emitir e receber estas ondas sonoras, a uma velocidade e um ponto conhecido (alguns centímetros

abaixo do NA) até o leito do rio, onde são refletidas e voltam até o equipamento. Os limites de operação variam com os modelos dos equipamentos existentes no mercado. (MELCHIOR, 2006, p.31).

Melchior (2006, p. 31) cita que a utilização do ecobatímetro possui algumas vantagens, por exemplo: possibilita a conexão com outros equipamentos como GPS, DGPS, ADPs, ADCPs e micro computadores, gravando digitalmente os dados coletados; permite o registro contínuo do leito; informa o posicionamento através de bússola; pode ser utilizado praticamente em todas as situações de velocidades e o processo é realizado em movimento.

#### **4.4 Métodos de Medição de Descarga Líquida**

Para ANA (2006, p. 26), a medição de descarga líquida é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão líquida de um curso d'água. A vazão ou descarga de um rio é o volume que passa por meio de uma seção transversal em determinada unidade de tempo (geralmente em segundos).

A determinação da vazão envolve medidas de uma série de grandezas geométricas da seção e de medidas de velocidade em pontos com as coordenadas conhecidas.

Back (2006, p. 8) descreve que as medidas são realizadas em um local denominado de seção de medição, e as coordenadas de posicionamento são referidas a uma linha reta materializada por dois pontos (um em cada margem do rio) denominados de Ponto Inicial (PI) e Ponto Final (PF), sendo as distâncias verticais medidas a partir da superfície livre.

Para a determinação da vazão, são medidas as profundidades em vários pontos (denominados verticais) e, em cada vertical, é medida a velocidade de escoamento em uma ou mais profundidade (Figura 4).

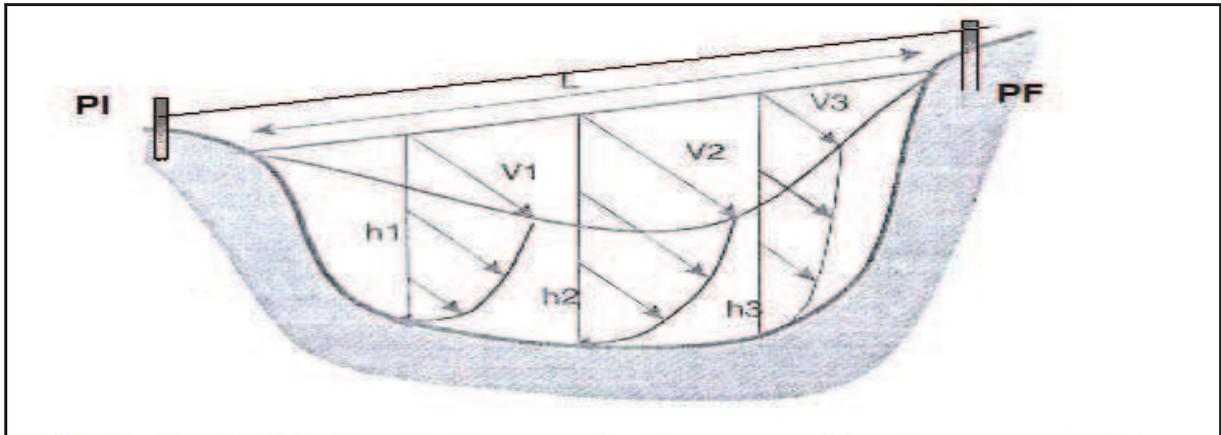
onde: L = largura do rio;

V = velocidade média;

h = profundidade.

Figura 4 – Representação do escoamento em rios.

Fonte: Back, 2006, p. 8.



ANA (2009, p. 28) relata que os valores de vazão medidos em uma seção transversal são associados a uma cota limnimétrica  $h$  (cota da superfície livre em relação a um plano de referência arbitrário). Para a determinação de uma curva-chave em determinada seção, é necessário conhecer certo número de pares da relação cota-vazão medidos em condições reais.

As curvas-chaves ajustadas para as seções monitoradas nos rios são de grande importância, pois fornecem informações utilizadas constantemente na elaboração de estudos hidrológicos que orientam diversos processos de tomada de decisão, como: análise de processos de outorga; definições sobre medidas estruturais e não estruturais sobre eventos críticos (cheias e estiagens); projetos de abastecimento público e lançamento de efluentes domésticos e industriais, etc. (ANA, 2009, p. 28).

A informação da vazão em um canal ou rio é importante em diversos estudos hidrológicos, entre eles a determinação do hidrograma de cheia e as medidas de escoamento superficial. A vazão é, também, um dado fundamental no estudo da qualidade dos recursos hídricos e na determinação da descarga de sólidos e outros poluentes. Além disso, no manejo e gestão de recursos hídricos a informação da vazão é um dado fundamental e por isso em diversos locais procedem-se as medições rotineiras de vazão. (BACK, 2006, p.7).

De acordo com o manual técnico da ANA (2009, p. 28), “quanto maior for à precisão durante a medição da descarga líquida, melhor será o processo de tomada de decisão na área de recursos hídricos e saneamento ambiental”.

Existem diversos métodos que podem ser empregados na medida de vazões, cada um com indicações e limitações conforme as condições de local, da

estrutura, da precisão desejada e das vazões a serem medidas; dentre estes, destacam-se:

- Métodos volumétricos ou de medição direta;
- Uso de dispositivos especiais como calhas e vertedores;
- Métodos químicos;
- Medições da velocidade com flutuadores;
- Métodos acústicos; e
- Medições da velocidade com molinetes.

Os métodos volumétricos, embora precisos, têm limitação para pequenas vazões (menores de 1,5 L/s). As medições com calhas e vertedores também apresentam boa precisão, porém têm limitação pelo custo e dificuldade de instalação em canais naturais ou rios de maior porte. O método químico é indicado nos casos onde não se consegue utilizar outro método de medição de vazão, devido à dificuldade de instalação de estruturas apropriadas ou pelo risco oferecido ao operador, como no caso de grandes correntezas e, principalmente, em rios de montanha de grande turbulência ou onde o fundo é muito irregular, com presença de grandes blocos de pedra. Nos métodos acústicos, dos flutuadores e dos molinetes, a determinação da vazão é feita com base na equação da continuidade (eq. 01).

$$Q = A.V \qquad \text{eq. [01]}$$

onde:  $Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$A$  = área da seção transversal ( $\text{m}^2$ );

$V$  = velocidade média de escoamento ( $\text{m}/\text{s}$ )

#### 4.4.1 Método por Flutuadores

Vale ressaltar que o método do flutuador, o qual consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante, medindo o tempo necessário para que o mesmo se desloque em um trecho de rio de comprimento conhecido, é muito utilizado pela sua simplicidade e na ausência de equipamentos sofisticados

que apresentam custos elevados.

De acordo com Back (2006, p. 258), “o método por flutuadores deve ser empregado somente quando não há necessidade de precisão das medidas, é o processo menos preciso, sendo normalmente usado em cursos de água maiores [...]”.

O método por flutuadores não será abordado neste trabalho por se tratar de um método indireto e não-convencional de medição de vazão; portanto, não é objetivo do estudo.

#### **4.4.2 Método por Molinete Hidrométrico**

O método convencional utilizando o molinete hidrométrico é universalmente utilizado para a determinação da vazão em cursos de água naturais e artificiais (canais), e consiste em determinar a área da seção e a velocidade média do fluxo que passa na seção.

O molinete hidrométrico é um aparelho que serve para medir a velocidade de um escoamento (SANTOS et al.,2001, p.213). Existem duas categorias de molinetes: os de eixo horizontal (hélices) e os de eixo vertical, também chamados de diferencial (de concha). No Brasil, têm sido mais utilizados os molinetes de eixo horizontal (BACK, 2006, p. 9). Ele possui uma hélice acoplada a um eixo que gira no sentido contrário ao fluxo, mandando sinais elétricos a um contador de rotações. Para Carvalho, T. (2008, p. 76), o molinete hidrométrico ou correntômetro de hélice é um velocímetro em forma de torpedo e serve para medir de forma pontual a velocidade da corrente de água por unidade de tempo, normalmente expressa em m/s (metros por segundo).

Na Figura 5, é realizada a medição da descarga líquida pelo método de medição a vau, indicado para rios de pequena largura, de profundidade inferior a 1m, e para velocidade inferior a 1m/s. Neste método, estica-se um cabo graduado ou uma trena entre o PI e PF. O molinete é preso numa haste metálica graduada, a qual permite obter as profundidades. O hidrometrista atravessa o curso d’água segurando o molinete preso à haste, e o contador de rotações repassa os valores para o auxiliar que fica na margem fazendo as anotações e cálculos.

Figura 5 – Medição a vau.



A determinação da área da seção é realizada a partir da medição da abscissa, da profundidade do rio em um número significativo de pontos ao longo da seção. Estes pontos definidos ao longo da seção determinam as verticais que ligam a superfície livre ao fundo do rio; e nessas mesmas verticais, são realizadas as medições de velocidade com o molinete hidrométrico em certo número de pontos – variando em função da profundidade. (MELCHIOR, 2009, p.37).

De acordo com o manual técnico da ANA (2006, p. 30), “a velocidade média na vertical é determinada geralmente por meio de métodos analíticos”.

Back (2006, p. 10) descreve que um equipamento indispensável que acompanha o molinete é o contador de rotação, o qual recebe o impulso do molinete e emite um sinal para contagem do número de rotações. De acordo com o tipo de sinal emitido, o contador pode ser sonoro, luminoso, mecânico totalizador ou sinal eletrônico totalizador.

Os contadores com sinal sonoro, luminoso e mecânico exigem ainda um cronômetro para o controle do tempo, sendo que o contador eletrônico possui um contador digital de tempo pré-programado com parada automática. Nos contadores sonoros ou luminosos, após o posicionamento do molinete na profundidade desejada, inicia-se a contagem do tempo ao primeiro sinal contando-se o número de

toque produzido durante o tempo de medição. Esse equipamento exige muita atenção na contagem e é mais sujeito a erros. Para facilitar a contagem em condições de velocidade alta, muitas vezes o molinete é ajustado para emitir um sinal a cada 10 rotações, o que também implica em erros na estimativa da vazão. Atualmente, vêm sendo utilizados os equipamentos com contador digital com parada automática, que registra todos os impulsos num determinado intervalo de tempo. Ao apertar um botão, o contador de impulsos e o cronômetro são acionados ao mesmo tempo e, após o término do tempo de medição, o contador pára a contagem indicando o total de rotações do molinete no intervalo de tempo. (BACK, 2006, p.10).

Segundo Back (2006, p. 11), a velocidade angular da hélice é transmitida a um mecanismo de contagem do número de giros (mecânico ou eletromagnético) que emite um sinal sonoro, elétrico ou luminoso por cada número de rotações efetuadas. Marca-se o tempo entre esses sinais, podendo-se calcular o número de rotações por segundo, conforme equação 02.

$$n = \frac{N}{T} \quad \text{eq. [02]}$$

em que: n = número de rotação por segundo;

N = número de rotações registradas durante intervalo de tempo;

T = intervalo de tempo de medição da velocidade (s);

Com o tempo de medição da velocidade, geralmente adotam-se valores na faixa de 40 a 60 segundos, porém pode-se usar até 120 segundos. A medida do tempo pode ser feita com um cronômetro de precisão mínima de 1/10 segundos. Os molinetes mais modernos já possuem um contador eletrônico adaptado com o controle de tempo automático. (BACK, 2006, p.11).

O aparelho registra todas as rotações do molinete, ajustado para emitir um impulso a cada revolução. Esses impulsos acionam um contador (eletromecânico ou eletrônico) acoplado a um cronômetro de contagem regressiva. Ajusta-se o tempo desejado para a medição (em geral 40 segundos), posiciona-se o molinete (profundidade a ser medida a velocidade) e, ao apertar um botão, o contador de impulsos e o cronômetro são acionados simultaneamente. Após o tempo pré-programado, o cronômetro regressivo atinge o zero e o contador pára, indicando o

total de rotações do molinete no período. (ANA, 2009, p.31).

Os molinetes possuem uma hélice a qual converte o movimento de translação do fluxo de água em um movimento de rotação de uma hélice, que com o auxílio de um contador é determinado num intervalo de tempo o número de voltas que a hélice realizou, após saber o número de voltas da hélice num dado intervalo de tempo, é determinado à velocidade do fluxo com a “equação do molinete”. A “equação do molinete” é fornecida pelo fabricante do aparelho, esta equação é calibrada para cada molinete de forma individual e somente pode ser usada para o aparelho calibrado. (CARVALHO, T., 2008, p. 76).

Back (2006, p. 11) cita que “o molinete é aferido em laboratórios especializados para determinar a equação de calibração”, geralmente da forma (eq. 03).

$$V = a \cdot n + b \quad \text{eq. [03]}$$

onde:  $V$  = velocidade;

$a$  = passo da hélice;

$b$  = inércia da hélice;

$n$  = número de rotações por segundo.

Para Back (2006, p. 11), “o valor do coeficiente  $a$  representa o percurso de um elemento da corrente líquida que vai determinar uma rotação completa de hélice, chamado de passo da hélice”. ANA (2009, p. 31) descreve que os passos teóricos existentes são:

$a = 0,125$  m com 8 rotações por segundo se  $V = 1$  m/s;

$a = 0,25$  m com 4 rotações por segundo se  $V = 1$  m/s;

$a = 0,50$  m com 2 rotações por segundo se  $V = 1$  m/s;

$a = 1,00$  m com 1 rotação por segundo se  $V = 1$  m/s.

A velocidade do fluxo da água é linearmente proporcional ao número de rotações da hélice ( $N$ ), como pode ser verificado na Figura 6.

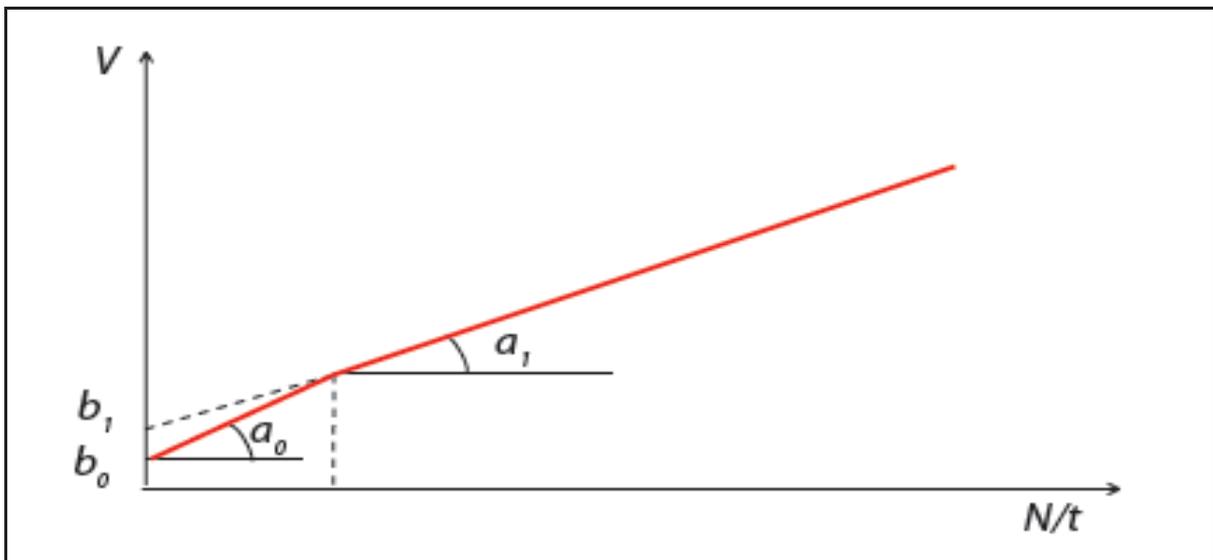
No entanto, o valor de  $a$  engloba todas as características do aparelho e o atrito mecânico. O valor do coeficiente  $b$  representa a velocidade mínima de partida da hélice do aparelho, também chamada de velocidade de atrito.

Geralmente, os valores de **a** e **b** são determinados para diferentes faixas de velocidade, podendo então uma certa hélice de um molinete possuir mais de uma equação, conforme a faixa de velocidade.

Com o passar do tempo, é recomendado que seja feito uma nova calibração do molinete, pois a hélice e o rolamento interno sofrem desgaste com o tempo, afetando na precisão das medições. (CARVALHO, T., 2008, p. 76). Segundo Back (2006, p. 261), “é recomendável realizar aferições periódicas do molinete, pois o desgaste com o uso nos rios e canais naturais e a substituição do óleo lubrificante são algumas das causas que podem descalibrá-lo”.

**Figura 6 – Relação entre a velocidade da água e as rotações medidas pelo molinete.**

Fonte: ANA, 2009, p. 31.



em que:  $a$  = passo da hélice;

$b$  = inércia da hélice;

$t$  = duração da medição.

O molinete hidrométrico, que utiliza a medição e a integração da velocidade média na seção, é ainda o mais usado na hidrometria de rios naturais, embora recentemente o método acústico tenha sido empregado com grande frequência.

#### 4.4.2.1 Velocidade Média na Vertical: Método Simplificado x Detalhado

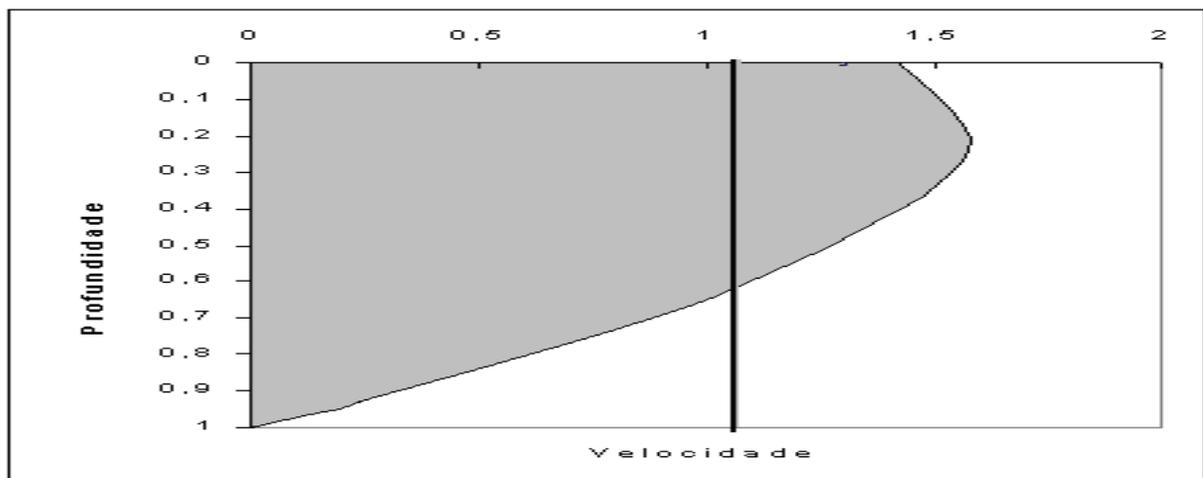
A velocidade de escoamento varia com a profundidade e com a rugosidade do fundo, mas em geral apresenta distribuição parabólica, embora esta curva possa ser alterada na presença de obstáculos ou irregularidades na seção de medição. A velocidade varia de zero no fundo do canal a um valor máximo próximo à superfície (geralmente em torno de 20% da profundidade =  $0,2p$ ) e vai reduzindo até a superfície (Figura 7). (BACK, 2006, p.13).

A velocidade média pode ser obtida por integração, medindo-se as velocidades em várias profundidades e desenhando-se o perfil da velocidade em relação à profundidade. Mede-se a área (com o auxílio de planímetro) e divide-se pela profundidade, obtendo-se a velocidade média. (BACK, 2006, p.13).

Back (2006, p. 14) salienta que diversos trabalhos mostram que, para as condições normais de escoamento, a velocidade média corresponde à velocidade medida a 60% (=  $0,6p$ ) da profundidade ou à média das velocidades medidas a 20% e 80% da profundidade (=  $0,2$  e  $0,8p$ ).

Figura 7 – Perfil da velocidade (m/s) em função da profundidade (m).

Fonte: Back, 2006, p. 14.



Destaca Back (2006, p. 14) que é importante observar que a velocidade superficial é, na prática, medida a 10 cm de profundidade para que a hélice do molinete fique totalmente submersa, e a velocidade do fundo é medida numa distância de 15 a 25 cm acima do fundo, em função da distância do lastro ao eixo do

molinete.

No Brasil, costuma-se chamar de “método detalhado” o método em que o número de pontos em cada vertical é o máximo em função da profundidade. Chama-se de “método simplificado” o método de dois pontos, (0,2 e 0,8p) para profundidades acima de 0,6m, e de um único ponto (0,6p) para profundidade de até 0,6m. (BACK, 2006, p.14).

Segundo Back (2006, p.14), “o ideal é que o hidrometrista, quando da instalação de uma nova seção de medição, faça um levantamento bem detalhado para verificar como se comporta o perfil de distribuição de velocidades. Quanto mais irregular for o perfil, maior será o número de postos a ser realizado”.

**Tabela 1 – Métodos de cálculo da velocidade média da vertical.**

Fonte: Back, 2006, p. 15.

Nº de pontos	Posição	cálculo da velocidade	Profundidades (m)
1	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6p}$	< 0,6
2	0,2 e 0,8p	$\bar{v} = \frac{(v_{0,2p} + v_{0,8p})}{2}$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8p	$\bar{v} = \frac{(v_{0,2p} + 2v_{0,6p} + v_{0,8p})}{4}$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8p	$\bar{v} = \frac{(v_{0,2p} + 2v_{0,4p} + 2v_{0,6p} + v_{0,8p})}{6}$	2,0 – 4,0
6	S 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p e F	$\bar{v} = \frac{[v_s + 2(v_{0,2p} + v_{0,4p} + v_{0,6p} + v_{0,8p}) + v_f]}{10}$	> 4,0

S = superfície; F = fundo

Wanielista et al (1997, p. 147) citam ainda o método dos 5 pontos para ser aplicado para profundidades superiores a 6 m (20 pés), (eq. 04).

$$\bar{V} = \frac{(v_t + 3v_{0,2} + 2v_{0,6} + 3v_{0,8} + v_b)}{10} \quad \text{eq. [04]}$$

em que:  $v_t$  é a velocidade medida a 1 pé abaixo da superfície;

$v_b$  é a velocidade medida a 1 pé acima do fundo.

#### 4.4.2.2 Números de verticais

O número de verticais depende das características geométricas do leito do rio e das condições de escoamento. Quanto mais irregular for o fundo do rio e/ou o escoamento, maior o número de verticais necessárias para a estimativa da vazão com boa precisão. Geralmente, adotam-se entre 15 e 20 verticais e a distância entre elas pode ser estimada dividindo a largura do rio pelo número de verticais. (BACK, 2006, p.12). É importante observar que a distância entre as diversas verticais não necessita ser a mesma, podendo-se usar distâncias menores nos trechos com fundo mais irregular, embora, por praticidade, costuma-se adotar a mesma distância.

De acordo com Back (2006, p. 13), "[...] tem sido recomendado um número de verticais tais que a vazão parcial resultante em cada faixa não seja superior aos 10% da vazão total".

**Tabela 2 – Distância recomendada entre as verticais.**

Fonte: Back, 2006, p. 13.

Largura do Rio (m)	Distância entre verticais (m)
< 3,0	0,30
3,0 – 6,0	0,50
6,0 – 15,0	1,00
15,0 – 30,0	2,00
30,0 – 50,0	3,00
50,0 – 80,0	4,00
80,0 – 150,0	6,00
150,0 – 250,0	8,00
> 250,0	12,00

#### 4.4.2.3 Cálculos da Vazão

O processo numérico de cálculo da medição convencional de descarga líquida com uso de molinete pode ser calculado em tempo “real” (caderneta de campo), permitindo uma verificação dos resultados da medição *in loco*.

Back (2006, p. 19) define que “a vazão pode ser calculada por métodos aritméticos (métodos da seção média e método da meia seção) [...]”.

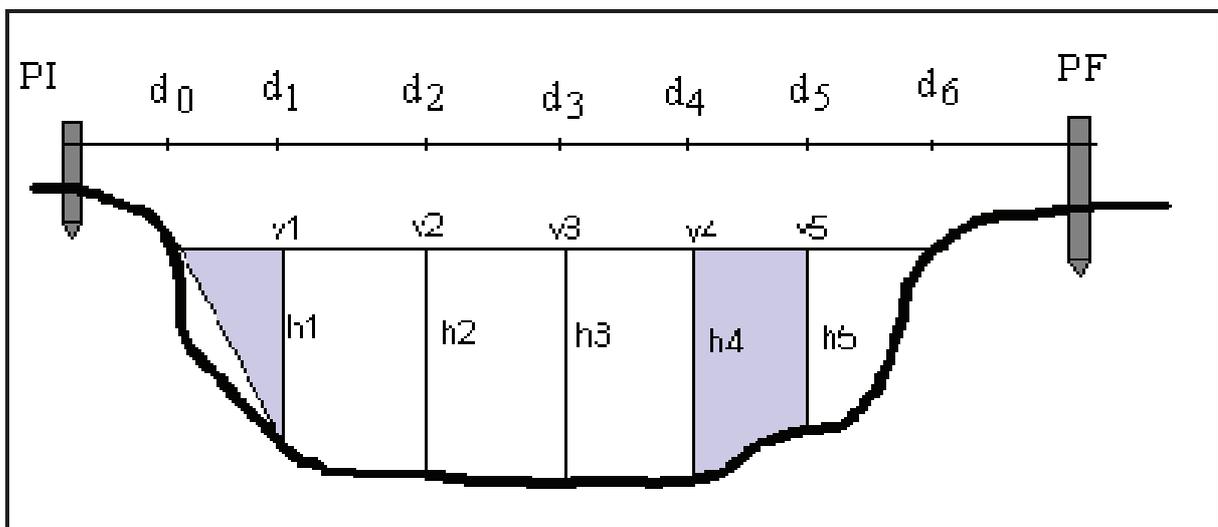
##### 4.4.2.3.1 Método da Seção Média

No método da Seção Média, as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades entre as verticais envolvidas.

Consideram-se setores triangulares (nos extremos) e trapezoidais, com velocidade média igual à média aritmética das verticais extremas (Figura 8).

Figura 8 – Ilustração do método da seção média.

Fonte: Back, 2006, p. 19.



A velocidade média em cada seção parcial  $i$  é dada pela média aritmética das velocidades das verticais adjacentes, (eq. 05).

$$\bar{V}_{a_i} = \left( \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right) \quad \text{eq. [05]}$$

em que:  $\bar{V}_{a_i}$  = velocidade média na seção  $i$  (m/s);

$v_i$  = velocidade média na vertical  $i$  (m/s);

$v_{i-1}$  = velocidade média na vertical anterior (m/s);

A área da seção  $i$  pode ser calculada como área do trapézio (eq. 06).

$$A_i = \left( \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right) (d_i - d_{i-1}) \quad \text{eq. [06]}$$

em que:  $A_i$  = área de seção  $i$  (m<sup>2</sup>);

$h_i$  = profundidade da vertical  $i$  (m);

$h_{i-1}$  = profundidade da vertical  $i-1$  (m);

$d_i$  = distancia a partir do PI até a vertical  $i$  (m);

$d_{i-1}$  = distancia a partir do PI até a vertical  $i-1$  (m);

A vazão parcial na seção  $i$  será (eq. 07).

$$q_i = A_i V_i \quad \text{eq. [07]}$$

em que:  $q_i$  = vazão na seção  $i$  (m<sup>3</sup>/s);

A vazão total é (eq. 08).

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad \text{eq. [08]}$$

em que:  $Q$  = vazão total (m<sup>3</sup>/s);

A velocidade média é obtida por (eq. 09).

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} \quad \text{eq. [09]}$$

A largura média do rio (L) é dada por (eq. 10).

$$L = d_n - d_1 \quad \text{eq. [10]}$$

em que:  $d_1$  é a distância até a primeira vertical;

$d_n$  é a distância até a última vertical, geralmente tomada em relação ao ponto inicial (PI).

A profundidade média é dada por (eq. 11).

$$\bar{h} = \frac{A}{L} \quad \text{eq. [11]}$$

Para o cálculo do perímetro molhado, pode-se considerar com boa aproximação o perímetro molhado como (eq. 12).

$$PM = \sum_{i=1}^n \sqrt{(h_i - h_{i-1})^2 + (d_i - d_{i-1})^2} \quad \text{eq. [12]}$$

O Raio Hidráulico (Rh) é dado pela relação entre a área molhada e o perímetro molhado (eq. 13).

$$Rh = \frac{A}{PM} \quad \text{eq. [13]}$$

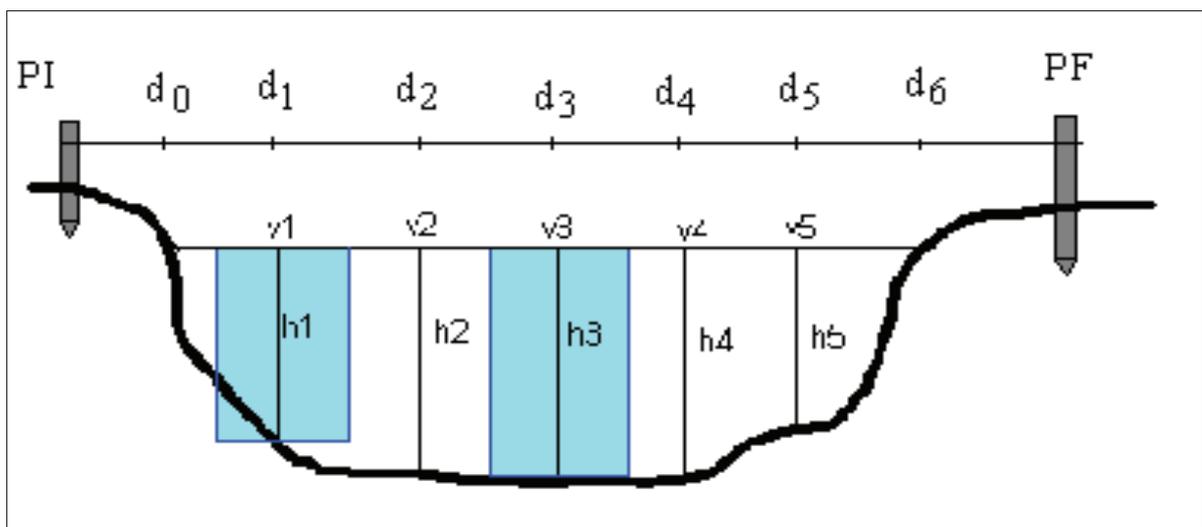
#### 4.4.2.3.2 Método da Meia Seção

O método da Meia Seção é o mais utilizado pelos técnicos das entidades operadoras da Rede Hidrometeorológica, pois consiste no cálculo das vazões parciais por meio da multiplicação da Velocidade Média na vertical pelo produto da profundidade média na vertical e pela soma das semidistâncias às verticais adjacentes (vazão parcial determinada para cada região de influência de uma determinada vertical). (ANA, 2009, p.33).

No método da meia seção, consideram-se os setores retangulares definidos pelas profundidades médias entre duas verticais adjacentes (Figura 9).

Figura 9 – Ilustração do método da meia seção.

Fonte: Back, 2006, p. 23.



O procedimento para cálculo da descarga líquida pelo Método da Meia Seção será descrito adiante.

A vazão parcial é calculada multiplicando-se a velocidade média na vertical pelo produto da profundidade da vertical pela soma das semidistâncias das verticais adjacentes (eq. 14).

$$q_i = v_i h_i \left( \frac{d_{i+1} + d_{i-1}}{2} \right) \quad \text{eq. [14]}$$

em que:  $q_i$  = vazão na seção  $i$  ( $m^3/s$ );

$v_i$  = velocidade média na vertical  $i$  ( $m/s$ );

$h_i$  = profundidade da vertical  $i$  ( $m$ );

$d_{i+1}$  = distância a partir do PI até a vertical posterior ( $m$ );

$d_{i-1}$  = distância a partir do PI até a vertical anterior ( $m$ );

e a vazão total (eq. 15).

$$Q = \sum_1^n q_i \quad \text{eq. [15]}$$

Neste método, parte da área junto de cada margem é desprezada, assim deve-se diminuir ao máximo a distância entre a primeira e última vertical com as margens do rio.

#### 4.4.3 Método Acústico

De acordo com ANA (2009, p. 61), a tecnologia Doppler, utilizada para medir vazões em rios, originou-se da oceanografia, nas áreas de bacia onde as dificuldades encontradas consistiam na calibração dos medidores acústicos – AVM (Acoustic Velocity Meter) – e não existia um medidor rápido o suficiente para realizar a medição antes que a corrente invertesse a direção.

Back (2006, p. 262) define que os métodos acústicos empregados na medição de vazão e/ou profundidade se baseiam na medição do eco de pulsos de ondas de ultrassom (ondas de alta frequência) refletidas pelas partículas sólidas em suspensão na massa líquida e pela superfície sólida do fundo.

A utilização desta tecnologia para medição de vazão permite que se tenha um perfil formado por células, que são áreas em vez de pontos, e milhares de medidas em cada área em vez de medidas pontuais. Essa maior resolução poderia ser alcançada, teoricamente no passado, medindo-se com molinetes fluviométricos em grande quantidade de verticais. (ANA, 2009, p.61).

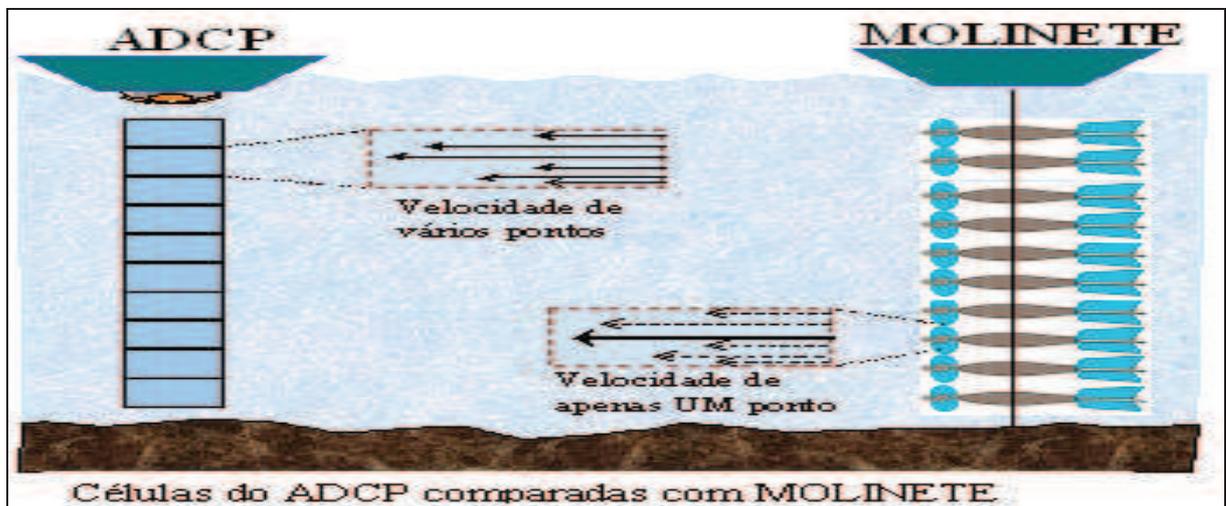
Imagine um conjunto infinito de molinetes colocados em uma vertical da

seção de medição. A medida de velocidade que cada um dos molinetes efetuará será pontual, entretanto, com a tecnologia Doppler, passa-se a ter mais medidas de velocidades na área de cada célula, e a velocidade que é mostrada na tela do computador será a média de velocidades para cada uma destas células (Figura 10).

A utilização desta tecnologia para a medição de vazão permite que se tenha maior quantidade de verticais e maior quantidade de medidas de velocidade na mesma.

Figura 10 – Comparação da medição com ADCP com método convencional (molinete).

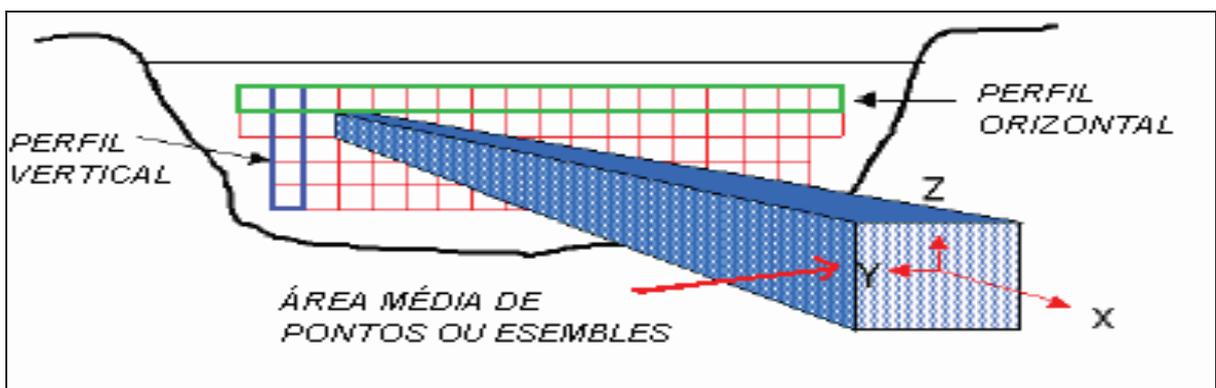
Fonte: ANA, 2009, p.61.



Toda a seção de medição é “mapeada” (Figura 11), tanto em velocidade do fluxo de água (módulo e direção) e profundidade, quanto em relação a uma idéia da quantidade de sedimentos em suspensão.

Figura 11 – Mapeamento da seção transversal pelo ADCP/ADP.

Fonte: ANA, 2009, p. 62.



Segundo ANA (2009, p. 62), “existem estudos de modelos que buscam uma calibração para relacionar os dados obtidos com medidores Doppler com a quantidade de sedimentos em suspensão”.

Esses métodos acústicos apresentam vantagens de maior precisão na medida da velocidade, principalmente nos escoamentos em grandes profundidades, pois não dependem de uso de lastro ou correção da catenária no cabo esticado sobre o rio. (BACK, 2006, p.262).

Back (2006, p. 263) define que “[...] além da velocidade e direção de escoamento, mede também a profundidade do fundo”.

Outras vantagens são a maior rapidez e maior segurança na atividade, principalmente nas vazões mais elevadas. A vazão de uma seção de 3 km de largura pode ser medida em 20 minutos, enquanto que em outros métodos convencionais levaria um dia de trabalho. Como desvantagem, tem-se o custo elevado do equipamento e também limitação de uso nos rios muito raso (profundidade inferior a 0,5 m). Também necessita fornecer ao programa dados de temperatura e salinidade da água para correções no cálculo da velocidade. (BACK, 2006, p.263).

O método acústico tem sido empregado, nos últimos anos, com frequência por entidades operadoras de redes de monitoramento hidrológico, universidades, centros de pesquisa, empresas privadas, e estão sendo alcançados bons resultados. Entretanto, o método convencional ainda é o mais utilizado nas medições de descargas líquidas em grandes rios. (ANA, 2009, p. 28).

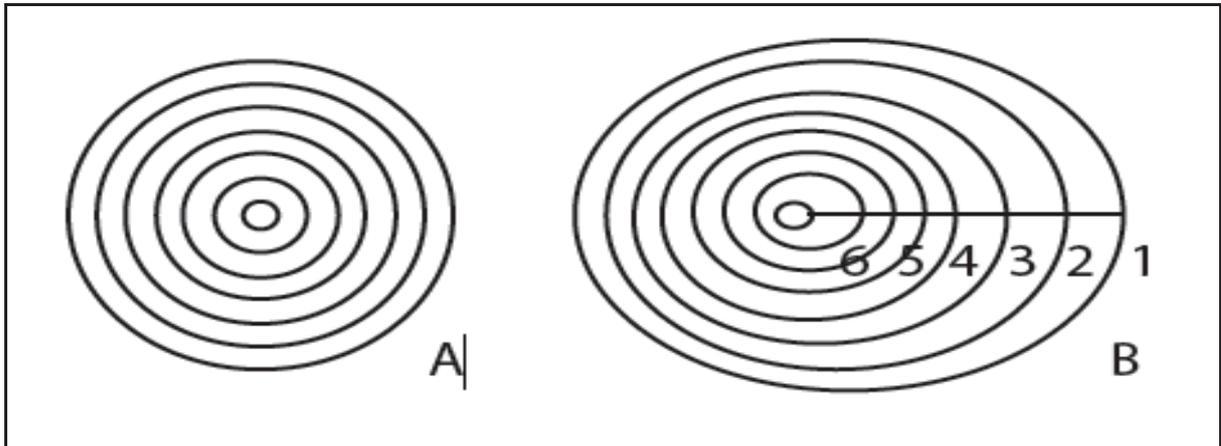
#### 4.4.3.1 Conceito do Princípio Doppler

Imagine uma fonte estacionária de som ou de luz emitindo uma série de ondas esféricas como na Figura 12.

Se a fonte estiver em movimento, por exemplo, da direita para a esquerda, ela emite ondas esféricas progressivamente centradas nos pontos de 1 a 6, como é mostrado na figura supracitada. Porém, um observador em B vê as ondas alongadas, enquanto outro em A as vê comprimidas, sendo este o efeito *doppler*.

Figura 12 – Onda A, fonte estacionaria, e Ondas B, fonte em movimento.

Fonte: ANA, 2009, p. 63.



O efeito Doppler é a alteração da frequência sonora percebida pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou afastamento entre a fonte e o observador.

Exemplificando: Um carro de corrida quando passa por um observador fixo na reta principal de um autódromo: à medida que se aproxima do observador, o som do motor fica mais agudo e, ao se afastar, torna-se mais grave, dando continuidade a seu trajeto.

#### 4.4.3.2 Tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

O Acoustic Doppler Current Profiler é um equipamento composto por uma sonda com quatro transdutores e um “deck box”, no qual os sinais são filtrados e transmitidos para um microcomputador com um software específico que recebe os dados e os disponibiliza em forma de tabelas, gráficos, etc. O equipamento transmite ondas sonoras através da água em frequência preestabelecida (70, 300, 600, ou 1200 kHz), e as partículas carregadas pela corrente de água, em diferentes profundidades, refletem o som de volta que é registrado pelos sensores. (BACK, 2006, p.261).

Para Carvalho, T. (2008, p. 77), “o instrumento se baseia pelo efeito Doppler [...]”.

Partículas carregadas pela corrente de água, a diferentes profundidades, refletem o som de volta para o aparelho que “escuta” o eco por meio dos mesmos sensores chamados mono-estáticos. Os equipamentos que emitem frequências menores (por exemplo: 1200 kHz) são utilizados para medições em rios menos profundos. (ANA, 2009. p.64).

O retorno do som refletido pelas partículas, a diferentes profundidades, faz com que os sensores do ADCP reconheçam também diferentes profundidades. Dessa forma, o equipamento constrói um perfil vertical da coluna d’água. (RDI, 1989, p.11).

De acordo com o manual de medição de descarga líquida em grandes rios da Agência Nacional de Águas – ANA (2009, p. 64), o processamento do sinal refletido pode ser feito de três maneiras:

*Pulso Incoerente ou Narrowband* — o sistema transmite um pulso sonoro relativamente longo, que “ouve” o reflexo deste som nas partículas carregadas na água e mede a diferença de frequência entre o sinal emitido e o recebido. Essa mudança de frequência, efeito *Doppler*, é usada para calcular a velocidade da água.

*Processamento coerente pulso a pulso* — é o mais preciso de todos e também o que possui maiores limitações, trabalhando na emissão de um pulso relativamente curto na água, gravando o retorno do sinal, para então transmitir o segundo pulso, quando não há mais vestígios do primeiro pulso no perfil. O sistema mede a diferença de fase entre os dois reflexos dos pulsos e usa isso para calcular o efeito *Doppler*.

*Dispersão do espectro ou processamento broadband* — os sistemas *broadband* medem a diferença de fase dos retornos de sucessivos pulsos, com a diferença que aqui estarão mais de um pulso na água ao mesmo tempo, isso traz consigo um ruído maior no sinal e, por conseguinte, um desvio-padrão maior nas medidas de velocidade da água, em outras palavras menor precisão.

À medida que o ADCP processa o sinal refletido pelas partículas em suspensão na água, divide a coluna líquida em um número discreto de segmento na vertical, podendo registrar a velocidade e direção de até 128 posições diferentes da coluna d’água. O ADCP, além da velocidade e direção de escoamento, mede também a profundidade do fundo. (BACK, 2006, p.263). Segundo ANA (2009, p.64), “esses seguimentos são denominados células de profundidade ou bins”.

Um perfil leva menos de um segundo para ser obtido pelo equipamento. Portanto, a medição de vazão com ADCP é feita de forma rápida. Tomando, por exemplo, a medição realizada na estação de PORTO CAIUÁ para uma seção de aproximadamente 4 km de largura, uma travessia de medição com o ADCP levou

apenas 20 minutos, enquanto que o método convencional precisa de mais de um dia de trabalho. Essa rapidez aumenta a segurança dos hidrotécnicos e a eficiência do trabalho. (MELCHIOR, 2006, p.49).

A dificuldade de medir vazões em locais onde ocorrem redemoinhos e remanso não representa um obstáculo ao ADCP, pois o equipamento faz correções automáticas da direção de escoamento e calcula a vazão. Essas correções, associadas à rapidez de operação, permitem medir vazões em zonas influenciadas pela maré e, também, estimar o impacto da maré nas vazões dos rios. (FILIZOLA et al., 1999, p.197).

O ADCP mede a velocidade e a direção do fluxo d'água relativo a ele mesmo. A velocidade aparente, velocidade da água mais a velocidade do barco, e a velocidade do barco em relação ao fundo são medidas pela função conhecida como *bottom tracking*, que, por subtração, obtém a velocidade da água. (RDI, 1989, p.15). Algumas informações adicionais, também relacionadas à medição da descarga líquida, são armazenadas pelo ADCP, como posicionamento, oscilações do barco, temperatura, informações quanto à qualidade das medições de velocidade, intensidade da energia acústica, dados horários da medição, etc.

Na extremidade dos transdutores, o equipamento possui um sensor de temperatura que obtém o valor da temperatura da água. Esse dado é importante, pois o cálculo da velocidade da água, e também do fundo, dependem da velocidade do som na água. Por sua vez, a velocidade do som na água depende da temperatura e da salinidade. A temperatura é medida diretamente e a salinidade é um parâmetro que deve ser fornecido ao equipamento via teclado. (MELCHIOR, 2006, p.52).

Para fornecer a velocidade "orientada" segundo as coordenadas terrestres, Norte/Sul e Leste/Oeste, o ADCP tem uma bússola interna que mede sua orientação relativa ao campo magnético da Terra. Com isso, o equipamento pode determinar a direção do fluxo d'água e o seu movimento em relação ao fundo e, dessa forma, informar a direção do fluxo d'água. Para medir os movimentos de oscilação do barco (laterais e de popa-proa), o ADCP tem sensores internos que permitem realizar correções necessárias visando compensar tais movimentos. A amplitude da correlação também é fornecida pelo equipamento como um valor da qualidade da medição, quando da análise dos dados. (RDI, 1989, p.22).

A intensidade da energia acústica refletida pelas partículas em suspensão na água também é gravada pelo ADCP, útil para uma avaliação qualitativa do material em suspensão na água. (GUIMARÃES et al., 1997, p.5).

A partir desses dados, é possível obter uma distribuição na seção do material em suspensão – MES, que permite calcular, com melhor precisão, os fluxos de sedimentos nos grandes rios a partir de uma equação  $MES = f(\text{intensidade})$ . Na prática, essa equação é uma função da qualidade da MES3, sendo necessário gerar uma equação para cada seção. (GUYOT et al., 1997, p.78).

Ainda em relação aos sedimentos, o equipamento permite registrar o deslocamento das dunas no fundo do rio e estimar de maneira indireta a velocidade das partículas em movimento no fundo (arraste).

Este método também se encontra em desenvolvimento e não deve ser visto como uma técnica operacional madura, mas como um método de pesquisa que pode fornecer informações valiosas quando aplicado devidamente nos limites da técnica. (MUELLER, 2002, p.304).

#### **4.4.3.3 As Áreas Não Medidas pelo ADCP**

Em uma seção de medição, existem áreas que não são medidas pelo aparelho Doppler. Essas áreas geralmente são próximas ao ADCP, próximas do leito e nas margens do rio.

Em frente ao transdutor, há um espaço reservado para emitir e receber o feixe sonoro. Nessa pequena região, o ADCP não consegue medir e, por isso, é chamada de *blanking region*. Isto permite aos transdutores recuperar eletronicamente o pulso transmitido e preparar para receber o retorno do sinal. Na área do fundo, as ondas sonoras se espalham numa vertical formando um feixe paralelo, chamado “side lobe”. O “side lobe” possui uma energia muito fraca que não produz ruído considerável e por isso chega ao fundo primeiro. Ao encontrar uma boa superfície para reflexão, contamina o espaço perto do leito, impedindo a leitura de dados. As áreas não medidas nas margens correspondem à baixa profundidade da coluna de água (SONTEK, 2000 apud GRISON, 2008, p.9).

## **4.5 SEDIMENTOMETRIA**

O Brasil possui uma das maiores redes fluviais do mundo e, segundo Filizola et al. (2000, p. 11), é de grande importância no desenvolvimento do país no que diz respeito ao abastecimento d'água, geração de energia hidráulica, navegação, irrigação, etc.

A utilização desses recursos hídricos exige o conhecimento do regime fluvial, o que é feito por meio da rede fluviométrica e estudos subsequentes.

### **4.5.1 Coletas de Sedimentos em Suspensão**

As medidas de transporte de sedimentos dos rios são de grande importância nos cálculos de assoreamento de reservatórios e no monitoramento da erosão em bacias hidrográficas, bem como do leito fluvial. A capacidade do leito do rio em transportar sedimentos depende da velocidade de escoamento e do volume escoado, pois, quanto maior a vazão, maior a energia para transportar sedimentos. (BACK, 2006, p.29).

Segundo descrito por Lima et al. (2000, p. 11), o conhecimento da descarga sólida é necessário para análise de degradação de uma bacia, verificação da qualidade d'água para abastecimento, estudos de assoreamento de rios e reservatórios, estudos de assoreamento na posição de obras fluviais, bem como para diversas outras pesquisas ambientais e de engenharia.

Serão apresentados a seguir tipos de amostradores por integração vertical, assim como os principais métodos de amostragem de sedimentos em suspensão.

#### 4.5.2 Amostradores de Sedimentos em Suspensão

Os equipamentos para amostragem de sedimento em suspensão, geralmente, têm forma hidrodinâmica, para amostragem por integração na vertical, e são fabricados em alumínio, bronze ou aço. Devido ao seu tamanho físico, os amostradores existentes só conseguem coletar até certo limite do leito, ficando uma zona não amostrada. (LIMA et al., 2000, p.38).

A amostragem de sedimentos é efetuada com o objetivo de se obter amostras representativas na seção transversal do curso d'água, e, ainda, de acordo com Carvalho, N. (1994, p. 111), “[...] definir o tipo e a quantidade de material que é transportado no momento da amostragem”. O mesmo autor destaca que a determinação da descarga sólida em suspensão é feita por meio de medições ou amostragens, na seção transversal, que é dividida em seguimentos, uma vez que a distribuição de sedimentos, nessa seção, não é uniforme.

A coleta ou medição de sedimento em suspensão é feita por equipamentos que fazem amostragem num ponto ou na vertical ou efetuam a medição direta em um determinado ponto. (CARVALHO, N., 1994, p.112).

Segundo o autor supracitado, os amostradores de sedimentos em suspensão são construídos de modo a que o líquido entre pelo bico, ou bocal, sem perturbar o fluxo normal, e na mesma velocidade da corrente, devendo estar posicionado adequadamente; o bico deve alcançar posições o mais próximo possível do leito do rio; deve ser simples, de manutenção fácil e de tal forma que seja possível operá-lo com o equipamento auxiliar de hidrometria.

Existem diferentes técnicas de amostragem que podem ser empregadas para a coleta de sedimentos em suspensão, dependendo do tipo de equipamento disponível. (BACK, 2006, p.30).

Os métodos convencionais, citados por Carvalho, N. (1994, p. 76), “determinam a concentração de sedimentos para a obtenção da descarga em suspensão, havendo, no entanto, métodos que determinam diretamente a descarga pela acumulação de sedimentos”.

Segundo Back (2006, p. 31), “amostragem por integração vertical é a técnica mais utilizada nas medições rotineiras e permite uma boa precisão nos resultados”.

Carvalho, N. (1994, p. 127) relata que a amostragem pontual por integração e por integração na vertical nos dois sentidos são as mais adequadas, por apresentarem média de valores muito representativas.

Os equipamentos para amostragem de sedimento em suspensão são do tipo integradores na vertical, acumulando uma mistura água-sedimento obtida com um movimento constante ascendente e/ou descendente, desde a superfície até o leito ou bem próximo deste. (FILIZOLA et al., 2000, p.98).

A Figura 13 demonstra o DH-59, pelo qual será realizada a coleta de sedimentos por integração na vertical.

Figura 13 – Amostrador DH-59.



Existem diversos amostradores descritos por Back (2006, p. 31) que podem ser usados na amostragem por integração vertical. Os mais utilizados são:

- **DH-48:** modelo do tipo leve com haste para medições a vau em rios rasos (profundidade de até 1,5m e velocidade inferior a 1m/s);
- **DH-59:** para obtenção de amostras de sedimentos em suspensão em rios de baixa velocidade e profundidade de até 4,5m;

- **DH-49:** para profundidades de até 4,5m em rios de maior velocidade;
- **Amostrador de saca:** que possui volume de amostra maior (4L) e permite a coleta em rios de maior profundidade.
- **Coletor de amostra d'água:** do tipo de cilindro horizontal para amostragem pontual instantânea, é destinado à análise de qualidade e de sedimentometria. Opera com mensageiro que dispara duas válvulas especiais de borracha que vedam as extremidades quando o gatilho é disparado.

#### 4.5.3 Método de Amostragem do Material em Suspensão

As amostragens de sedimentos em suspensão podem ser feitas por diversos métodos considerados aceitáveis, como instantânea ou por integração, dependente do tipo de equipamento disponível. De forma geral, a amostragem pode ser feita pelo método pontual ou por integração na vertical. A pontual é usada em medições diretas e indiretas, enquanto a integração vertical é usual somente em medições indiretas. (CARVALHO, N., 2008, p.148). A amostragem pontual instantânea é aquela quando a admissão da amostra no recipiente é feita instantaneamente ou em pouquíssimos segundos. A amostragem pontual por integração, quando a admissão é feita em maior tempo, talvez mais de 10 segundos. Porém, Carvalho, N. (2008, p. 149) cita que “a amostragem pontual por integração e por integração na vertical nos dois sentidos são as mais adequadas por apresentarem médias de valores mais representativas”.

Filizola et al. (2000, p. 22) também descrevem que “a amostragem é feita em várias verticais para permitir a obtenção de valores médios em toda a seção, uma vez que a distribuição de sedimentos é variável em toda a largura do rio e em profundidade” (Figura 14). O mesmo autor citado, ainda orienta que além da necessidade de fazer amostragens em verticais ao longo de toda a seção transversal, tanto em largura quanto em profundidade, deve-se ter o cuidado de coletar amostras com quantidade suficiente para que sejam realizadas análises com a precisão desejada.

Para o sedimento em suspensão, faz-se análise de concentração e, quando necessário, também de granulometria. A quantidade e características dos

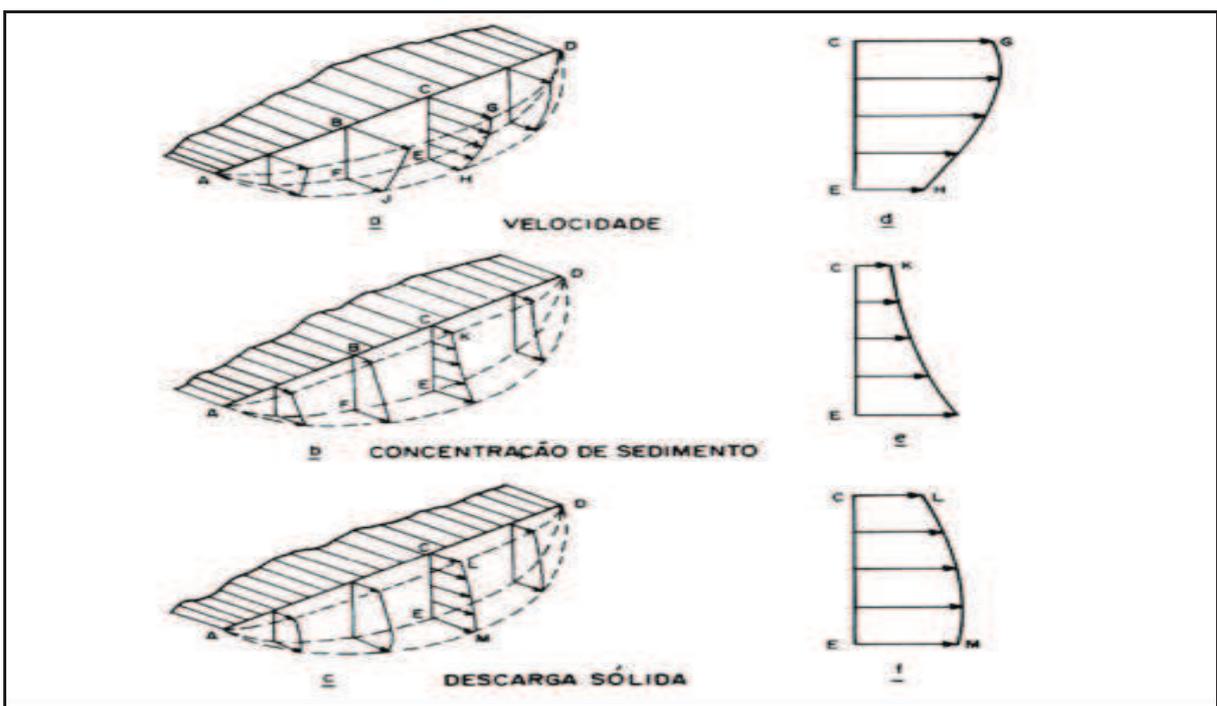
sedimentos, bem como qualidades químicas de componentes presentes na água, influenciam o processamento das amostras. Amostras com pequena quantidade de sedimento podem não oferecer condição de boa análise com a precisão desejada, porque conduzem a erros de pesagem. Ao contrário, grandes quantidades requerem bipartição da amostra ou causam problemas de pesagem, ambos conduzindo a erros indesejáveis. (LIMA et al., 2000, p.23).

Para Carvalho, N. (2008, p. 165), as amostragens em diversas verticais, em coleta por igual incremento de largura (IIL) e por igual incremento de descarga (IID), são os métodos mais usados e mais recomendados por possibilitar a simplificação dos trabalhos do laboratório e também dos cálculos. Nesse processo, as subamostras podem ser reunidas e realizada uma só análise, sendo os valores da concentração e de distribuição granulométrica confiáveis. O mesmo autor também cita que os métodos precisam do conhecimento prévio das velocidades na vertical, sendo que o segundo necessita também do conhecimento da distribuição da vazão na seção.

Devido à importância destes dois métodos, eles serão descritos a seguir para enfatizar o melhor conhecimento.

**Figura 14 – Distribuição da velocidade da corrente, concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal.**

Fonte: Guy, 1970 apud Filizola, 2000.

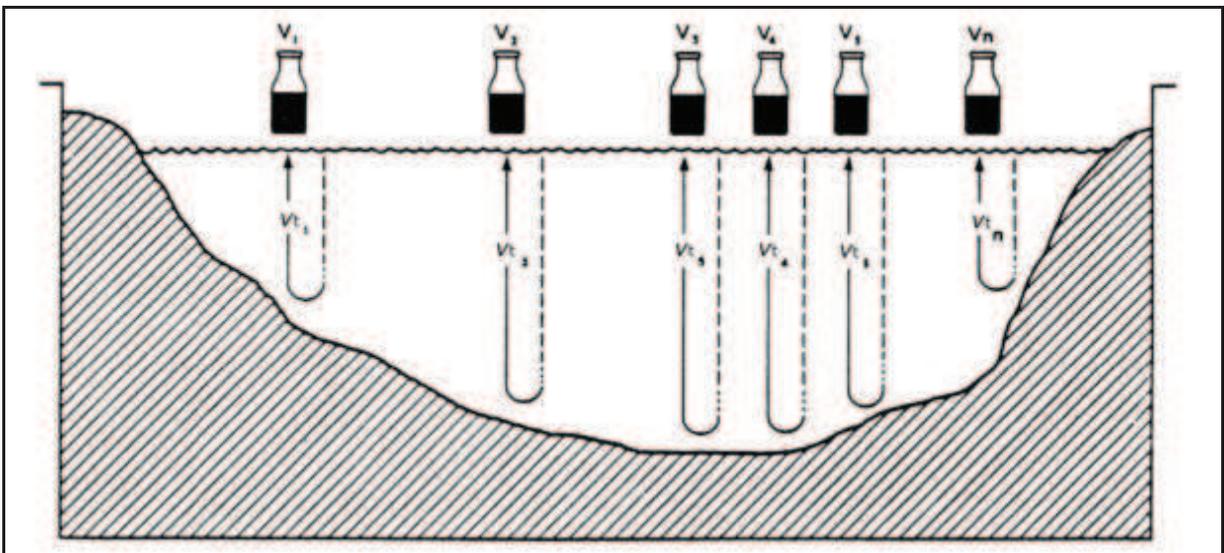


#### 4.5.3.1 Método do Igual Incremento de Descarga (IID)

Amostragem por igual incremento de descarga (IID): o método do IID exige o conhecimento prévio da velocidade e das vazões em cada subamostra. Consiste em subdividir a vazão total em partes iguais de acordo com o número de verticais de onde se pretende retirar a amostra. Cada amostra representa uma parte igual da vazão e o volume amostrado será igual. (BACK, 2006, p.39).

Figura 15 – Representação da amostragem por igual incremento de descarga (IID).

Fonte: Back, 2006, p. 39.



#### 4.5.3.1 Método do Igual Incremento de Largura (IIL)

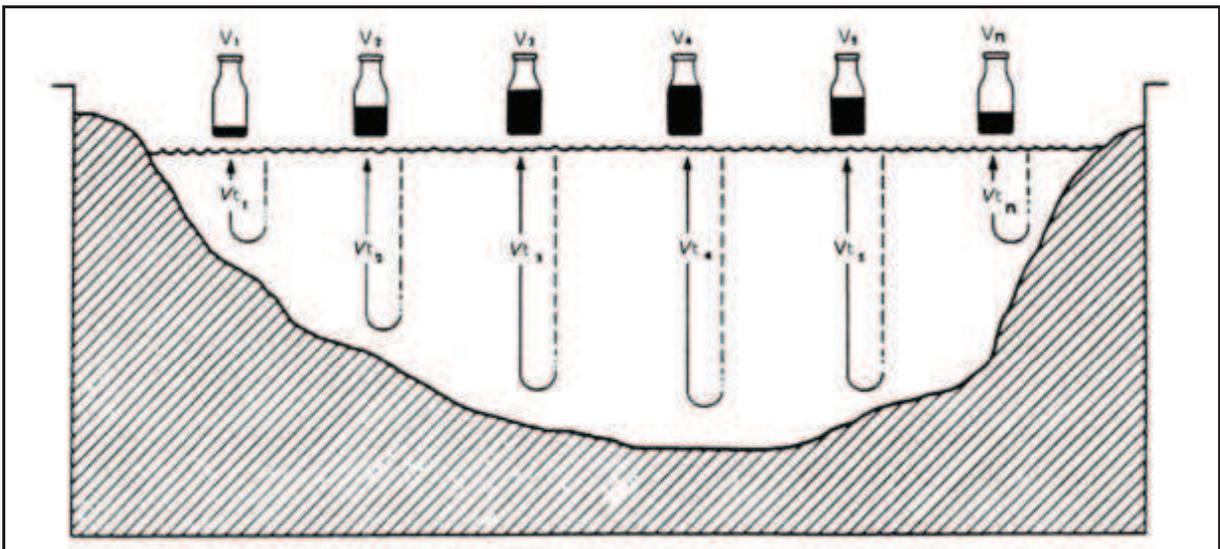
Filizola et al. (2000, p. 25) citam que Igual Incremento de Largura (IIL) “é o método mais utilizado para amostragem da mistura água-sedimento, devido à sua simplicidade”.

Neste método, a seção transversal é dividida em vários segmentos de igual largura, nos quais serão coletados subamostras. A velocidade de trânsito deve ser a mesma em cada vertical, e assim as subamostras terão volumes diferentes e proporcionais à vazão do segmento. (BACK, 2006, p.37).

Segundo Filizola et al. (2000, p. 6), “as subamostras obtidas podem ser combinadas em uma só amostra composta para determinação da concentração média e, se necessário, da granulometria média, permitindo análises com a precisão desejável”.

**Figura 16 – Representação da amostragem por igual incremento de largura (IIL).**

Fonte: Back, 2006, p. 37.



## 4.6 Parâmetros de Qualidade da água

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam suas características químicas, físicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores ao estabelecido para determinado uso. Os principais indicadores da qualidade da água serão discutidos adiante.

### 4.6.1 Sólidos em Suspensão

Sólidos em suspensão definem-se pela carga sólida que se mistura na

água e pode ser retirada por decantadores ou filtros. As águas subterrâneas geralmente não apresentam esse parâmetro nas análises realizadas, salvo exceções em que os filtros d'água do poço são mal dimensionados, ou em aquíferos tipificados como cársticos e fissurais. (ZIMBRES, 2007).

#### **4.6.2 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)**

Sólidos Totais Dissolvidos – STD consiste no agrupamento de todos os minerais encontrados na água, sendo o limite 1000mg/L. (OMS, s.d. apud Zimbres, 2007).

#### **4.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH é um parâmetro indispensável, pois exerce influência em diversos equilíbrios químicos em processos naturais, como na fisiologia de diversas espécies vegetais ou animais. (CETESB, s.d.).

Este parâmetro indica a concentração de íons  $H^+$  que se mede na água. (ZIMBRES, 2007).

O mesmo autor ainda destaca que a determinação de acidez ou alcalinidade dá-se por meio da determinação do balanço de íons hidrogênio ( $H^+$ ) e hidróxido ( $OH^-$ ). Na água pura, o ( $H^+$ ) e ( $OH^-$ ) estão equilibrados e o seu pH é 7, e por isso ela é neutra.

#### **4.6.4 Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido é um parâmetro que possui relação com a altitude e temperatura, e apresenta grande importância para a sobrevivência dos seres aquáticos aeróbicos que o utilizam no seu processo respiratório. (MACÊDO, 2004, p.47).

Baird (2002, p. 114) ressalta que a concentração média de oxigênio dissolvido encontrada nas águas superficiais naturais não-poluídas dos Estados Unidos é de  $10\text{mg/L}^{-1}$ .

#### 4.6.5 Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros com ação direta nos processos biológicos existentes no planeta, uma vez que cada microorganismo possui uma faixa ideal de temperatura para o seu desenvolvimento.

Ela influencia diretamente nas reações químicas e bioquímicas que ocorrem no meio ambiente aquático, além disso, a média de temperatura mais adequada para o abastecimento público é de 4,4 e  $10^{\circ}\text{C}$ . (MACÊDO, 2004, p.49).

A temperatura superficial sofre influência de fatores como, por exemplo: a estação do ano, a profundidade e o período do dia. A temperatura da água influi diretamente na reprodução e vivência de espécies aquáticas, devido à alteração sofrida pela reprodução das mesmas. (CETESB, s.d.).

#### 4.6.6 Turbidez

Macêdo (2004. p. 51) conceitua a turbidez como uma alteração da penetração da luz pelas partículas em suspensão existentes no corpo hídrico, partículas constituídas por plâncton, bactérias, argilas ou fontes de poluição que lançam matérias contribuintes com a turbidez e inibem a realização da fotossíntese.

De acordo com Porto (1991, p. 38), a “[...] turbidez assim medida é fornecida em unidades nefolométricas de turbidez (UNT)”.

Erosão das margens dos rios é um exemplo clássico de um dos fatores que ocasionam o aumento da turbidez de um corpo hídrico, além das atividades de mineração. A capacidade de fotossíntese é diminuída com a turbidez alta, sendo essa dependente da água para executar tal operação. (CETESB, s.d.).

#### 4.6.7 Condutividade

O eletrólito, formado a partir da dissolução de sais na água, é capaz de promover a condução de corrente elétrica. O condutímetro é capaz de medir a quantidade de sais presente na água, que por sua vez opera na unidade MHO (inversão de OHM que é a unidade de resistência). (ZIMBRES, 2007). A condutividade varia de acordo com a temperatura, e o padrão desta para a verificação da condutividade é 25°C, sendo necessário fazer-se correção quando os valores de temperatura forem extremamente superiores ou inferiores a 25°C. (ZIMBRES, 2007).

De acordo com Porto (1991, p. 38), “Sob o Sistema Internacional de Unidades, deve-se utilizar o microsiemens/cm, numericamente equivalente ao micromhos/cm”. Quanto mais sólidos dissolvidos adicionados à água, maior será a condutividade. No geral, níveis maiores que 100  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  indicam ambientes impactados. A corrosividade pode indicar valores altos de condutividade. (CETESB, s.d.).

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada na EPAGRI - Estação Experimental de Urussanga, SC, junto à equipe de recursos hídricos e saneamento ambiental.

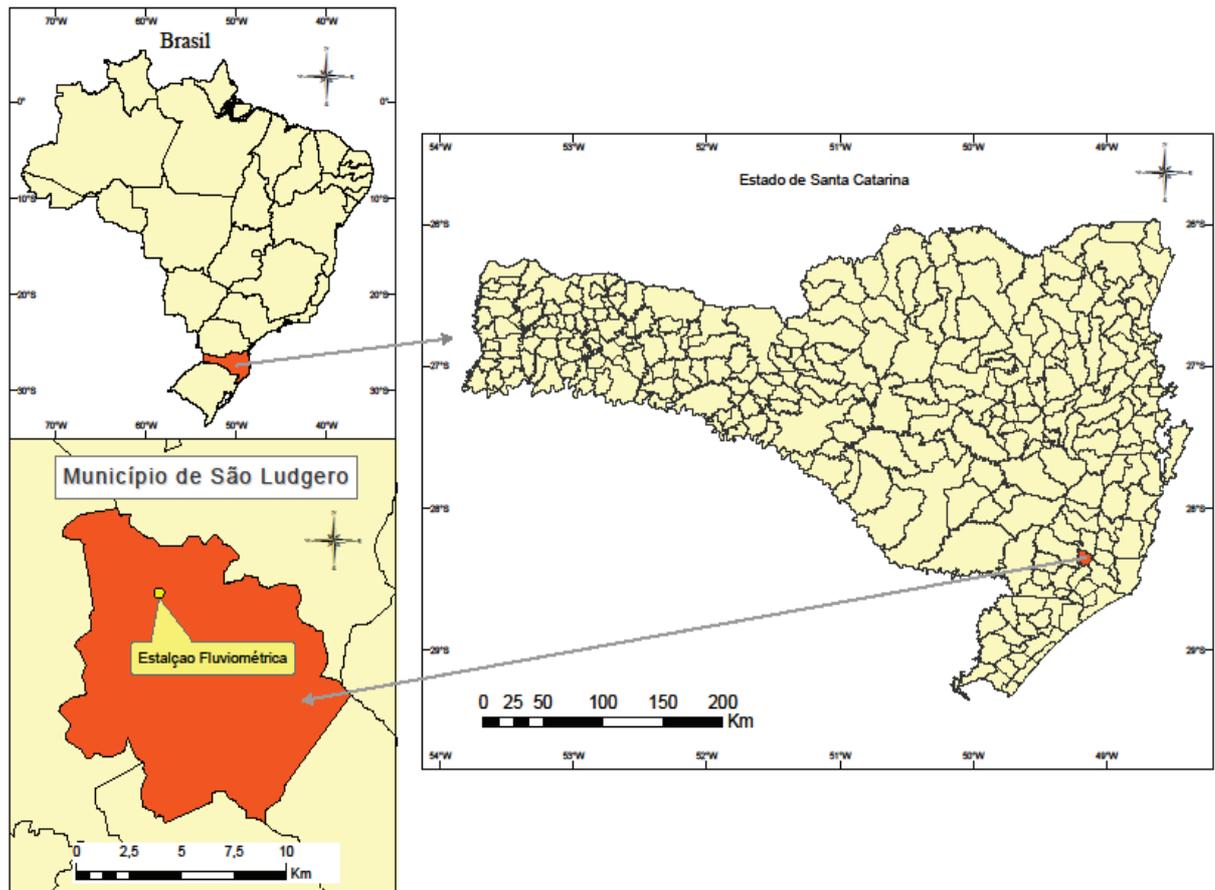
A equipe conta com equipamentos convencionais e de última geração para a obtenção de dados hidrológicos, os quais foram utilizados nas atividades de medição.

A pesquisa foi desenvolvida em três momentos: o primeiro momento foi o da elaboração da fundamentação teórica, na qual se procurou identificar e conhecer os fatores que são importantes para o desenvolvimento do trabalho; Em um segundo momento, foi aplicada a coleta de dados em campo para o desenvolvimento da pesquisa; E no terceiro momento, com a obtenção dos dados de campo, pode-se realizar a apresentação e análise dos dados e a conclusão.

### **5.1 Área de Estudo**

A campanha de medição de campo foi realizada no rio Braço do Norte, bacia hidrográfica do rio Tubarão, no ponto onde se localiza a Estação Hidrometeorológica São Ludgero da ANA, no município de São Ludgero, em Santa Catarina (Figura 17).

Figura 17 – Localização da Estação Hidrometeorológica São Ludgero, SC.



## 5.2 Coleta dos Dados

Foi realizada em uma única fase da pesquisa, sendo no dia 28 de Abril de 2011, em que foi desempenhada a campanha de medição de vazão e, deste modo, estruturada para identificar as diferenças das medições convencionais e acústicas bem como a distribuição da qualidade da água ao longo da seção transversal.

A coleta de dados foi executada com dois pesquisadores e dois hidrotécnicos da equipe de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da EPAGRI/Estação Experimental de Urussanga.

Para facilitar esta pesquisa de campo, adotou-se uma planilha de medição de vazão e sedimentos, na qual todos os dados são anotados para facilitar o entendimento do pessoal de escritório. Os materiais de anotação são: Prancheta, Planilhas de anotações de medições, Calculadora, Lapiseira e Borracha.

## **5.3 Materiais Utilizados**

### **5.3.1 Medição de vazão com Molinete Hidrométrico**

Para medição de vazão com molinete, utilizou-se:

- Molinete fluviométrico do fabricante HIDROMEC, modelo 1014;
- Guincho fluviométrico manual com acessório de fixação;
- Barco com motor de popa e remo;
- Lastro fluviométrico de acordo com a velocidade de escoamento;
- Contador de pulso;
- Corda graduada a cada 1 metro, para contagem das verticais na seção de medição.

### **5.3.2 Medição de vazão com ADP**

Para medição de vazão com ADP, utilizou-se:

- ADP-M9 do fabricante Sontek, modelo RiverSurveyor;
- Computador portátil para processar as informações recebidas pelo ADP-M9;
- “Prancha”, onde é acoplado o ADP-M9;
- Corda graduada a cada 1 metro.

### **5.3.3 Medição de Sedimentos**

Para medição de sedimentos, utilizou-se:

- Amostrador do tipo DH-59;
- Barco com motor de popa e remo;
- Guincho fluviométrico manual com acessório de fixação.

### 5.3.4 Medição da Qualidade da Água

Para medição da qualidade da água, utilizou-se:

- Sonda multiparamétrica do fabricante YSI, modelo V26920/6820 com sensores de Ph, turbidez, profundidade, temperatura, condutividade, salinidade, OD e SDT;
- Barco com motor de popa e remo;
- Corda graduada para contagem das verticais na seção de medição;
- Guincho fluviométrico manual com acessório de fixação.

### 5.4 Trabalho de Campo

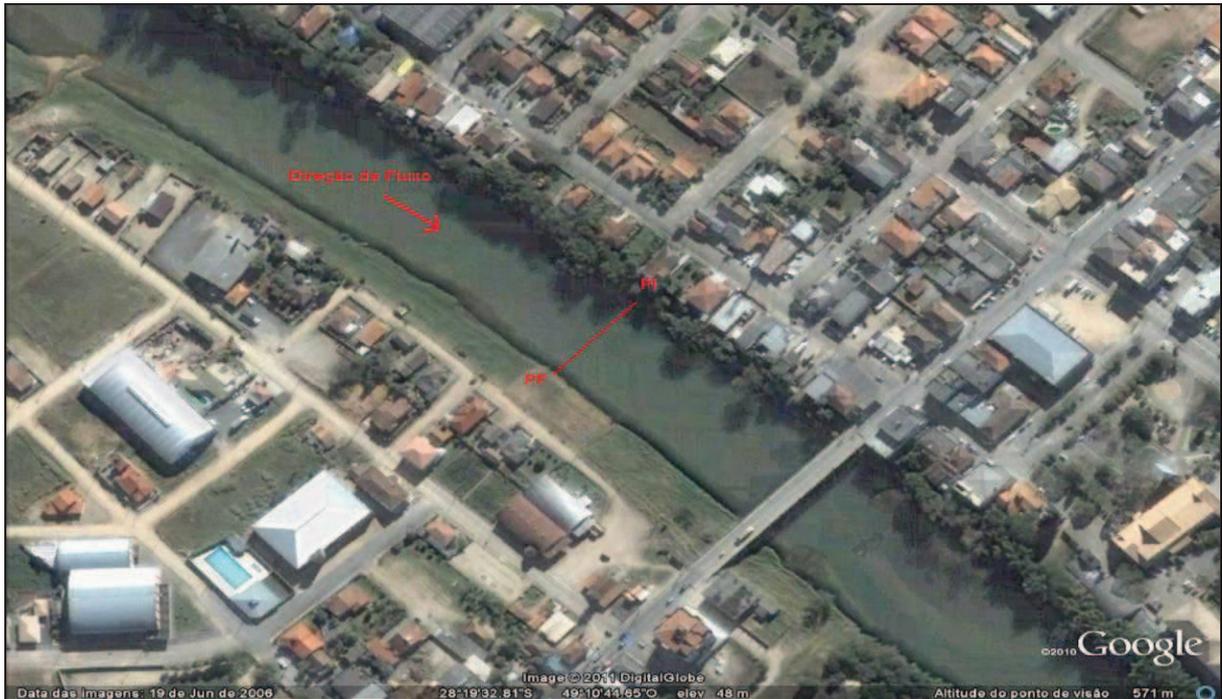
O trabalho em campo foi realizado da seguinte forma: ao longo de toda a seção transversal (PI ao PF), foi feita a Medição simultânea de vazão utilizando molinete hidrométrico e medidor acústico Doppler (ADP-M9).

O número de verticais depende das características geométricas do leito do rio e das condições de escoamento. Quanto maior for a irregularidade do leito, maior será a quantidade de verticais ao longo da seção para obter uma boa precisão. Na utilização do molinete hidrométrico, realizou-se a medição de velocidade pelo método detalhado, na qual a seção transversal com largura de 59,2 metros foi dividida em 31 verticais ao longo da seção, com distância entre verticais de 2 metros; e, devido à profundidade do rio não ser maior que 4 metros, não é recomendado realizar as medidas de velocidade na superfície e no fundo, neste caso foi feita, em cada vertical, a medição nas profundidades referentes a 20%, 40%, 60% e 80% da profundidade em relação ao nível da água.

Esse tipo de medição com molinete hidrométrico consiste em traçar a área da seção transversal e determinar a velocidade média do fluxo nessa seção (Figura 18). Medindo a largura do canal e a profundidade em diversos pontos, formando várias verticais no decorrer da seção, obtém-se a área transversal. Em cada vertical, medindo-se com o molinete, determinam-se várias velocidades em diferentes profundidades correspondentes.

Figura 18 – Vista de cima, a seção transversal onde foi realizada a coleta de dados.

Fonte: Google Earth, 2010.



A técnica de medição de vazão depende da profundidade, da velocidade e da largura do rio. Devido a essas circunstâncias, a medição foi realizada com um barco preso a uma corda, muito usado para rios com até 300 metros de largura. Prende-se uma corda no PI e PF e, posteriormente, o barco é preso nesta corda e posicionado nas verticais onde se pretende fazer a medição de velocidade.

Para dar maior segurança e praticidade nas medições com o ADP, foi construído um sistema de roldanas com cordas esticadas de um lado a outro do rio. O aparelho foi engatado nessa corda e, com facilidade, transportado ao longo da seção do rio.

Para a melhor precisão dos resultados obtidos por meio do método acústico, a seção do rio foi mapeada 6 vezes, realizando um movimento de ida e volta. Com o auxílio de um computador portátil, o cálculo da vazão total de cada nível foi realizado automaticamente pelo software RiverSurveyor Live, desenvolvido pela própria Sontek.

A obtenção dos dados de qualidade da água (pH, OD, Temperatura, Turbidez e Condutividade), na seção transversal, ocorreu por meio de sonda multiparamétrica de qualidade da água. A seção transversal do rio foi dividida em várias verticais, com espaçamento de 2 metros entre verticais, onde foram

realizadas medidas nas profundidades de superfície, 20%, 40%, 60%, 80% e fundo de cada vertical.

As medidas de transporte de sedimentos dos rios são de grande importância nos cálculos de assoreamento de reservatórios e no monitoramento da erosão em bacias hidrográficas, bem como do leito fluvial. Para a medição da descarga sólida, geralmente os sedimentos dissolvidos e os sólidos suspensos são medidos em conjunto e a soma é chamada de sólidos totais em suspensão.

A técnica utilizada em campo para obtenção da descarga sólida ocorreu por meio da Amostragem por Integração Vertical – técnica mais utilizada nas medições, pois permite boa precisão nos resultados. Para coletar o sedimento, utilizou-se o amostrador DH-59 – recomendado para rios de baixa velocidade e profundidade de até 4,5 metros. A amostragem por integração vertical foi executada em 5 verticais. O método utilizado foi a amostragem por IID, na qual se pode coletar as amostras.

A partir da campanha de campo, os dados foram processados e trabalhados no escritório com a finalidade de dar o tratamento necessário para a melhor avaliação dos resultados obtidos.

## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados e análises referentes à pesquisa realizada no Setor de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da EPAGRI.

A tabulação é a padronização e codificação das respostas de uma pesquisa; um modo de organizar os dados de forma que eles possam ser analisados com mais facilidade. Utilizou-se o Microsoft Excel na tabulação e análise dos dados.

### 6.1 Apresentação e Análise dos Dados: Molinete Hidrométrico

Na Tabela 3, constam os dados de campo da medição do número de rotações do molinete hidrométrico e os valores pontuais calculados da velocidade, bem como da velocidade média na vertical. A seção apresentou a largura de 59,2 m com profundidade máxima de 2,62 m.

Na Tabela 4, constam os valores da vazão calculada pelo método da seção média e meia seção com valores de 29,7 m<sup>3</sup>/s e 29,94 m<sup>3</sup>/s, sendo a diferença inferior a 1 %; isso demonstra que, entre os métodos de cálculo, a diferença não é significativa.

Observa-se que o cálculo da área apresenta os mesmos valores para ambos os métodos, sendo que a diferença na vazão ocorre devido à diferença na velocidade média obtida pelos dois métodos.

**Tabela 3 – Medição de campo da velocidade com o molinete hidrométrico.**

vertical	Dist (m)	Prof (m)	20%		40%		60%		80%		Velocidade média (m/s)
			R	V (m/s)							
1	3	0		0		0		0		0	
2	5	1,84	31	0,17	40	0,21			49	0,26	0,21
3	7	2,23	33	0,18	49	0,26	47	0,25	56	0,3	0,25
4	9	2,51	49	0,26	71	0,38	76	0,41	70	0,37	0,37
5	11	2,45	59	0,31	62	0,33	78	0,42	74	0,39	0,37
6	13	2,62	69	0,37	69	0,37	77	0,41	84	0,45	0,4
7	15	2,57	65	0,35	76	0,41	82	0,44	72	0,38	0,4
8	17	2,56	71	0,38	77	0,41	77	0,41	90	0,48	0,42
9	19	2,45	69	0,37	81	0,43	83	0,44	87	0,46	0,43
10	21	2,4	63	0,34	71	0,38	80	0,43	82	0,44	0,4
11	23	2,37	56	0,3	68	0,36	84	0,45	82	0,44	0,39
12	25	2,2	55	0,29	66	0,35	73	0,39	75	0,4	0,36
13	27	2,1	51	0,27	58	0,31	65	0,35	69	0,37	0,33
14	29	1,96	48	0,26	57	0,3		0	65	0,35	0,3
15	31	1,87	44	0,23	58	0,31		0	65	0,35	0,3
16	33	1,8	39	0,21	52	0,28		0	67	0,36	0,28
17	35	1,65	38	0,2	49	0,26		0	59	0,31	0,26
18	37	1,29	38	0,2	49	0,26		0	59	0,31	0,26
19	39	1,45	36	0,19	45	0,24		0	62	0,33	0,25
20	41	1,43	31	0,17	48	0,26		0	56	0,3	0,24
21	43	1,33	37	0,2	42	0,22		0	55	0,29	0,24
22	45	1,26	31	0,17	42	0,22		0	50	0,27	0,22
23	47	1,26	27	0,14	38	0,2		0	44	0,23	0,2
24	49	1,18	24	0,13	29	0,16		0	38	0,2	0,17
25	51	1,11	23	0,12	26	0,14		0	35	0,19	0,16
26	53	1,01	13	0,07	20	0,11		0	29	0,16	0,11
27	55	1,09	13	0,07	19	0,1		0	19	0,1	0,09
28	57	1,07	0	0	8	0,04		0	16	0,09	0,04
29	59	1,04	12	0,06	1	0,01		0	0	0	0,03
30	61	0,7	1	0,01	3	0,02		0	0	0	0
31	62,2	0		0		0		0		0	0

**Tabela 4 – Cálculo da vazão pelo método detalhado usando o método da seção média e meia seção.**

Vertical	Seção Média			Meia Seção		
	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11	1,84	0,20	0,21	3,68	0,79
3	0,23	4,07	0,94	0,25	4,46	1,12
4	0,31	4,74	1,46	0,37	5,02	1,84
5	0,37	4,96	1,82	0,37	4,90	1,80
6	0,38	5,07	1,93	0,40	5,24	2,07
7	0,40	5,19	2,07	0,40	5,14	2,07
8	0,41	5,13	2,10	0,42	5,12	2,13
9	0,42	5,01	2,12	0,43	4,90	2,11
10	0,41	4,85	2,01	0,40	4,80	1,91
11	0,40	4,77	1,88	0,39	4,74	1,86
12	0,38	4,57	1,73	0,36	4,40	1,60
13	0,34	4,30	1,48	0,33	4,20	1,37
14	0,31	4,06	1,28	0,30	3,92	1,19
15	0,30	3,83	1,16	0,30	3,74	1,12
16	0,29	3,67	1,07	0,28	3,60	1,01
17	0,27	3,45	0,93	0,26	3,30	0,86
18	0,26	2,94	0,77	0,26	2,58	0,67
19	0,26	2,74	0,70	0,25	2,90	0,73
20	0,25	2,88	0,71	0,24	2,86	0,70
21	0,24	2,76	0,66	0,24	2,66	0,63
22	0,23	2,59	0,59	0,22	2,52	0,56
23	0,21	2,52	0,53	0,20	2,52	0,50
24	0,18	2,44	0,44	0,17	2,36	0,39
25	0,16	2,29	0,37	0,16	2,22	0,34
26	0,13	2,12	0,28	0,11	2,02	0,23
27	0,10	2,10	0,21	0,09	2,18	0,19
28	0,06	2,16	0,14	0,04	2,14	0,09
29	0,04	2,11	0,08	0,03	2,08	0,07
30	0,02	1,74	0,03	0,00	1,12	0,00
31	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-	101,32	29,70	-	101,32	29,94

Na Tabela 5, são apresentados os cálculos da vazão considerando a velocidade média calculada pelo método simplificado, usando somente os dados de velocidade a 20 e 80%, ou a velocidade a 60% quando as profundidades são inferiores a 0,6 m.

Observa-se que a vazão obtida com o processo simplificado foi de 28,89 m<sup>3</sup>/s, o que representa 2,7% inferior ao valor da vazão calculada pelo método da seção média com processo detalhado.

**Tabela 5 – Cálculo da vazão usando o método simplificado na estimativa da velocidade média.**

Vertical	Seção Média			Meia Seção		
	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1	0,11	1,84	0,20	0,21	3,68	0,79
2	0,23	4,07	0,92	0,24	4,46	1,06
3	0,28	4,74	1,32	0,32	5,02	1,59
4	0,34	4,96	1,67	0,35	4,90	1,74
5	0,38	5,07	1,93	0,41	5,24	2,14
6	0,39	5,19	2,01	0,37	5,14	1,88
7	0,40	5,13	2,04	0,43	5,12	2,20
8	0,42	5,01	2,12	0,42	4,90	2,04
9	0,40	4,85	1,95	0,39	4,80	1,86
10	0,38	4,77	1,80	0,37	4,74	1,74
11	0,36	4,57	1,63	0,35	4,40	1,53
12	0,33	4,30	1,43	0,32	4,20	1,34
13	0,31	4,06	1,26	0,30	3,92	1,18
14	0,30	3,83	1,13	0,29	3,74	1,09
15	0,29	3,67	1,05	0,28	3,60	1,02
16	0,27	3,45	0,93	0,26	3,30	0,85
17	0,26	2,94	0,76	0,26	2,58	0,67
18	0,26	2,74	0,71	0,26	2,90	0,76
19	0,25	2,88	0,71	0,23	2,86	0,66
20	0,24	2,76	0,66	0,25	2,66	0,65
21	0,23	2,59	0,60	0,22	2,52	0,55
22	0,20	2,52	0,51	0,19	2,52	0,48
23	0,18	2,44	0,43	0,17	2,36	0,39
24	0,16	2,29	0,37	0,16	2,22	0,34
25	0,13	2,12	0,28	0,11	2,02	0,23
26	0,10	2,10	0,21	0,09	2,18	0,19
27	0,06	2,16	0,14	0,04	2,14	0,09
28	0,04	2,11	0,08	0,03	2,08	0,07
29	0,02	1,74	0,03	0,00	1,12	0,00
30	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-	101,32	28,89	-	101,32	29,13

Na Tabela 6, são apresentados os valores da vazão calculada, considerando somente a velocidade medida na profundidade de 60 %. A vazão total foi de 29,08 m<sup>3</sup>/s, que representa 2,08% da vazão obtida com o processo detalhado.

Levando em consideração que a margem de erro aceitável para a medição de vazão com molinete hidrométrico é da ordem de 2%, observa-se que,

neste exemplo, as diferenças pelo processo detalhado ou simplificado, e até mesmo fazendo unicamente uma medição a 60% da profundidade, produzem resultados satisfatórios. No entanto, deve-se ressaltar que as velocidades medidas foram relativamente baixas, sempre inferiores a 0,5 m/s e, por isso, as diferenças entre os métodos também são menores. Em condições de maiores velocidades, espera-se que ocorra maior diferença entre os métodos de cálculo da velocidade média.

**Tabela 6 – Cálculo da vazão usando o método de um ponto a 60% para estimativa da velocidade média.**

Vertical	Seção Média			Meia Seção		
	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1	0,11	1,84	0,20	0,21	3,68	0,79
2	0,24	4,07	0,97	0,26	4,46	1,17
3	0,32	4,74	1,52	0,38	5,02	1,90
4	0,35	4,96	1,76	0,33	4,90	1,62
5	0,35	5,07	1,77	0,37	5,24	1,93
6	0,39	5,19	2,01	0,41	5,14	2,08
7	0,41	5,13	2,09	0,41	5,12	2,10
8	0,42	5,01	2,11	0,43	4,90	2,12
9	0,41	4,85	1,97	0,38	4,80	1,82
10	0,37	4,77	1,77	0,36	4,74	1,72
11	0,36	4,57	1,63	0,35	4,40	1,55
12	0,33	4,30	1,42	0,31	4,20	1,30
13	0,31	4,06	1,25	0,30	3,92	1,19
14	0,31	3,83	1,18	0,31	3,74	1,16
15	0,29	3,67	1,08	0,28	3,60	1,00
16	0,27	3,45	0,93	0,26	3,30	0,86
17	0,26	2,94	0,77	0,26	2,58	0,67
18	0,25	2,74	0,69	0,24	2,90	0,70
19	0,25	2,88	0,72	0,26	2,86	0,73
20	0,24	2,76	0,66	0,22	2,66	0,60
21	0,22	2,59	0,58	0,22	2,52	0,57
22	0,21	2,52	0,54	0,20	2,52	0,51
23	0,18	2,44	0,44	0,16	2,36	0,37
24	0,15	2,29	0,34	0,14	2,22	0,31
25	0,12	2,12	0,26	0,11	2,02	0,22
26	0,10	2,10	0,22	0,10	2,18	0,22
27	0,07	2,16	0,16	0,04	2,14	0,09
28	0,02	2,11	0,05	0,01	2,08	0,01
29	0,01	1,74	0,02	0,02	1,12	0,02
30	0,01	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-	101,32	29,08	-	101,32	29,32

Outra variável avaliada foi o número de verticais usadas no cálculo da vazão. Pelo critério da Tabela 1, como o rio estava com 59,2 m de largura, as verticais deveriam estar distanciadas de 4,0 m uma da outra. No levantamento de campo, foram adotadas distâncias de 2,0 m. Na Tabela 7, têm-se os valores da vazão calculada considerando as verticais com as distâncias de 2, 4, 6, 8, e 10 m, para o método de cálculo da velocidade média pelo método detalhado simplificado, e somente um ponto a 60% da profundidade, considerando ainda o cálculo da vazão pelo método da seção média e meia seção. Observa-se que os valores de vazão calculada diminuem à medida que aumenta a distância entre as verticais.

Na Figura 19, têm-se as vazões em percentuais em relação à vazão calculada com as verticais distanciadas de 2 m. Observa-se que, para a distância da vertical de 4 m, obtém uma vazão de 97% da vazão média com as verticais de 2 m.

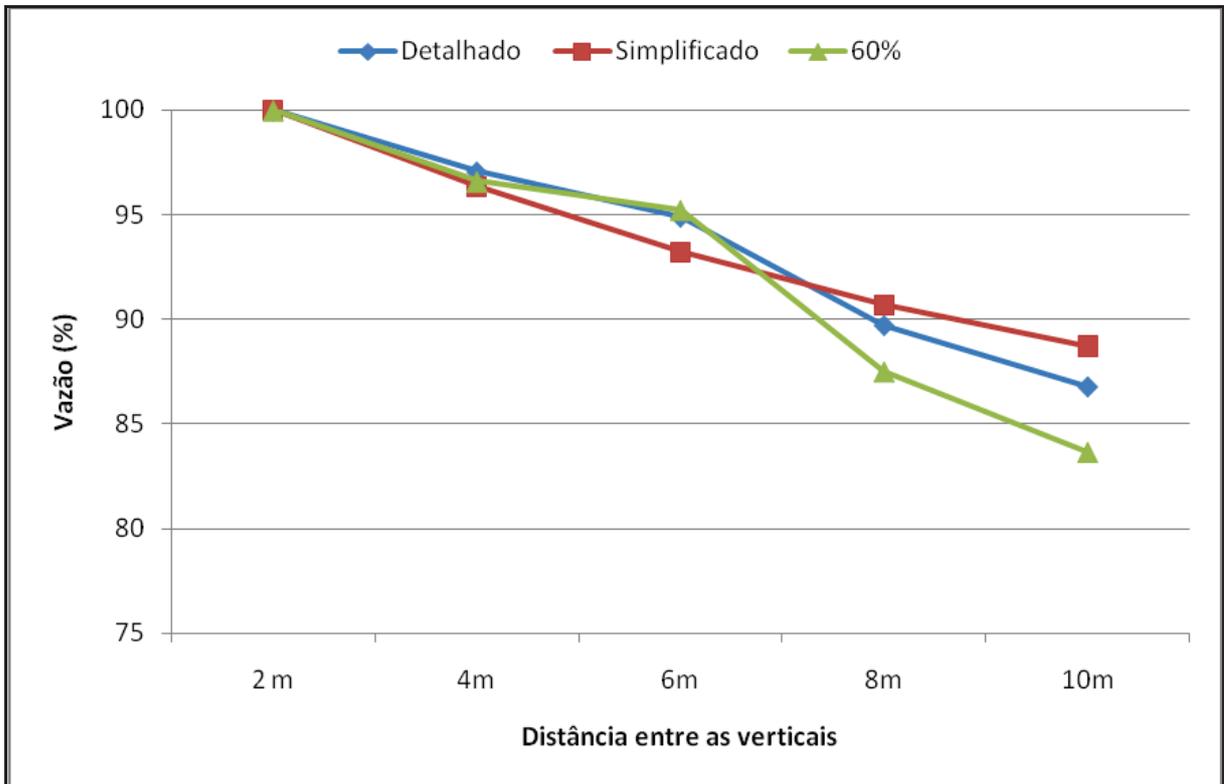
Essa diferença de 3% é maior que as diferenças obtidas com os diferentes métodos de cálculo da velocidade média. Para verticais a cada 6 metros, o erro já é superior a 6% e, para verticais com distâncias acima de 8 metros, os erros são superiores a 10%.

Para as verticais a cada 2 metros, observa-se que a vazão parcial calculada na vertical 8 foi de 2,12 m<sup>3</sup>/s, o que representa 7,3% da vazão total. Para as verticais distanciadas de 4 m, essa vazão parcial supera o limite de 10%.

**Tabela 7 – Vazões do rio São Ludgero em função da distância das verticais, do método de cálculo da velocidade média na vertical e do processo de cálculo da vazão.**

ENTRE VERTICAIS	Q (m <sup>3</sup> /s)					
	Método Detalhado		Método Simplificado		60%	
	SM	MS	SM	MS	SM	MS
2m	29,70	29,94	28,89	29,13	29,08	29,32
4m	28,83	29,5	27,83	28,46	28,09	28,75
6m	28,19	29,74	26,93	28,28	27,69	29,28
8m	26,65	28,74	26,20	28,22	25,44	27,28
10m	25,78	28,95	25,63	28,86	24,32	27,26

**Figura 19 – Vazão obtido por diferentes métodos de cálculo da velocidade média em função da distância entre as verticais.**



Na Tabela 8, constam os valores da área da seção e da velocidade média nos diferentes métodos de cálculo da velocidade média e do método de cálculo da vazão.

**Tabela 8 – Área da seção e velocidade média do rio São Ludgero em função da distância das verticais, do método de cálculo da velocidade média na vertical e do processo de cálculo da vazão.**

ENTRE VERTICAIS	Área (m <sup>2</sup> )	V (m/s)					
		Método Detalhado		Método Simplificado		60%	
		SM	MS	SM	MS	SM	MS
2m	101,32	0,290	0,300	0,290	0,290	0,290	0,290
4m	99,46	0,290	0,300	0,280	0,290	0,280	0,290
6m	97,19	0,290	0,310	0,280	0,290	0,280	0,300
8m	98,60	0,270	0,290	0,270	0,290	0,260	0,280
10m	90,90	0,280	0,320	0,280	0,320	0,270	0,300

Na Figura 20, está representada a variação da área molhada em função da distância entre verticais e, na Figura 21, a variação da velocidade em função da distância entre verticais.

Observa-se que a área da seção sofre uma variação maior do que na velocidade média. No processo detalhado, não há variação significativa da velocidade média para distâncias entre verticais entre 2 a 6 metros.

Diante disso, pode-se inferir que a variação na vazão se deve mais em função das diferenças da área do que da velocidade média.

Dessa observação, é possível tirar uma importante recomendação para que as equipes de campo façam a medição de vazão com maior número de verticais, principalmente quando o perfil do rio apresenta fundo irregular.

**Figura 20 – Área da seção transversal obtida em função da distância entre as verticais.**

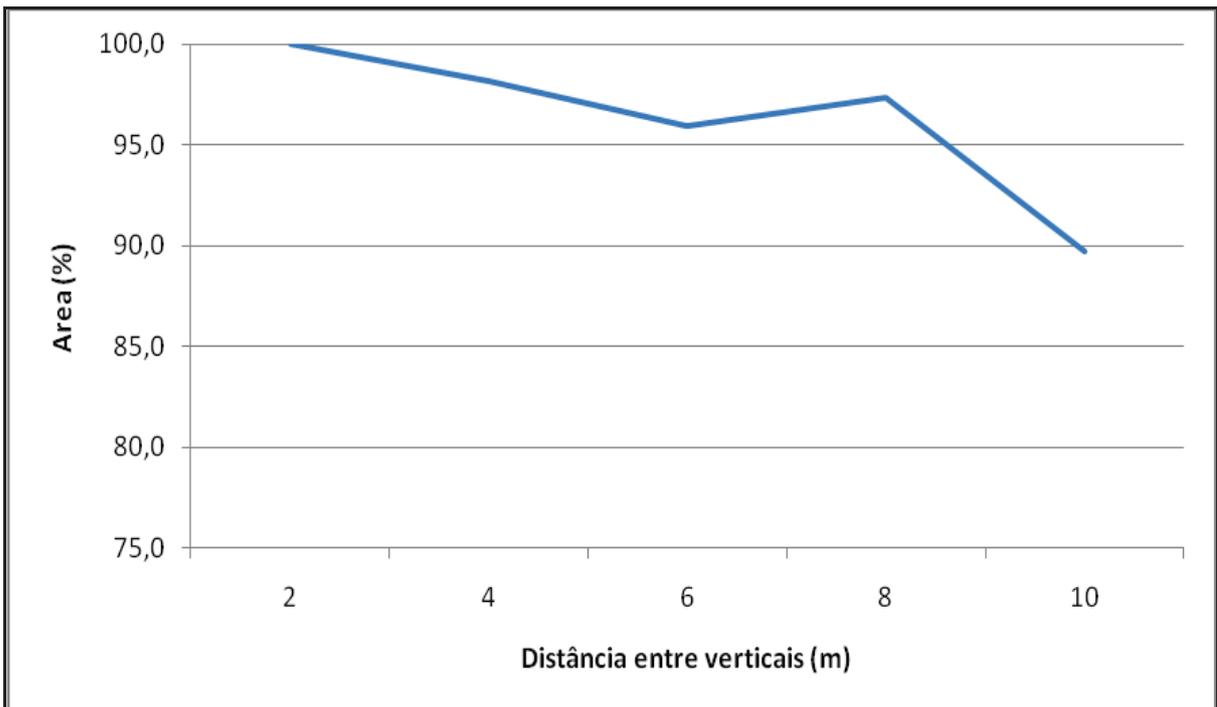
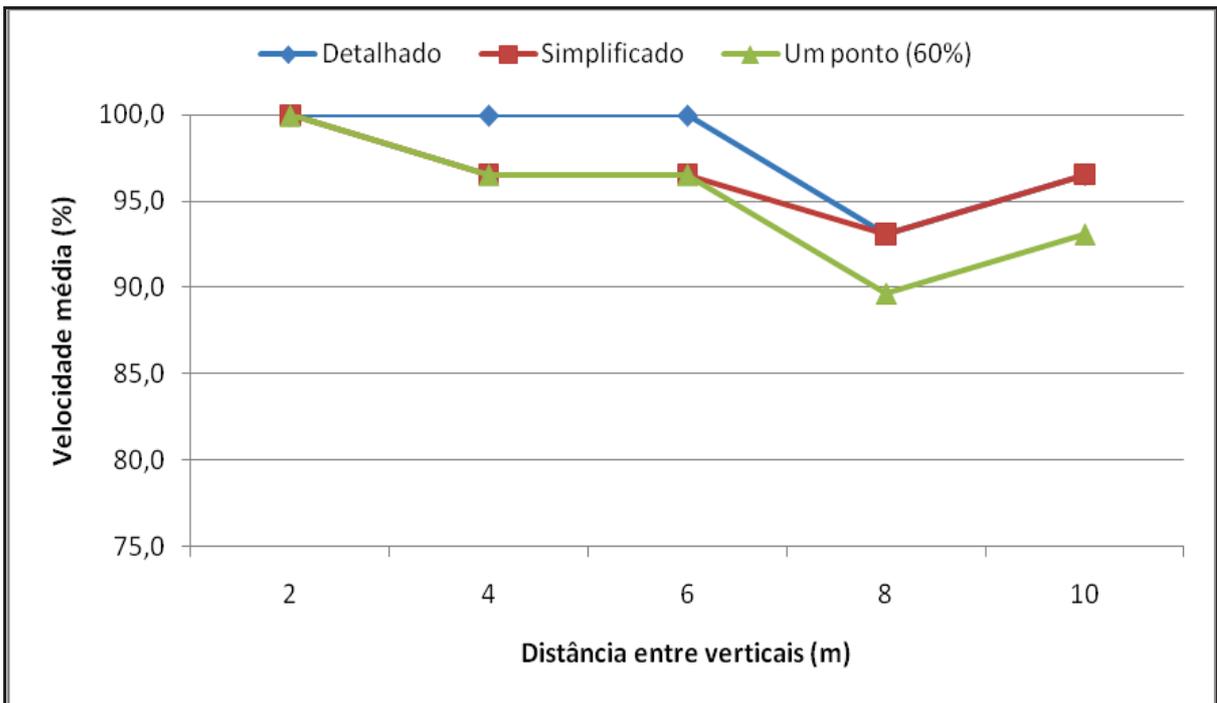


Figura 21 – Velocidade média obtida em função da distância entre as verticais.



Nas Figuras 22 e 23, encontram-se os perfis de velocidade medida ao longo da seção do Rio São Ludgero. Os valores mostram o perfil típico de escoamento em rio com leito relativamente liso, com as maiores velocidades medidas nas profundidade de 20% e reduzindo para as maiores profundidades.

Nas verticais 4, 5, 7 e 11, observou-se que a velocidade medida na profundidade de 40% apresentou valores ligeiramente superiores à velocidade medida a 20% da profundidade.

Somente entre as verticais 4 a 12 foram observados valores de velocidade acima de 0,4 m/s, correspondendo aos pontos de maior profundidade (acima de 2,20 m).

Com o conhecimento prévio da seção, pode-se recomendar a adoção de menores distâncias entre as verticais correspondentes à metade esquerda da seção do rio, onde ocorrem essas maiores profundidades e valores mais altos de velocidade.

Na margem direita, onde as profundidades são menores e a velocidade é mais baixa, poderiam ser adotados maiores distâncias entre as verticais. Ressalta-se que, para realizar a coleta de sedimentos em suspensão pelo método do Igual Incremento de Largura (IIL), exige-se que as distâncias entre verticais estejam igualmente espaçadas.

Figura 22 – Perfil da velocidade nas verticais 1 a 15.

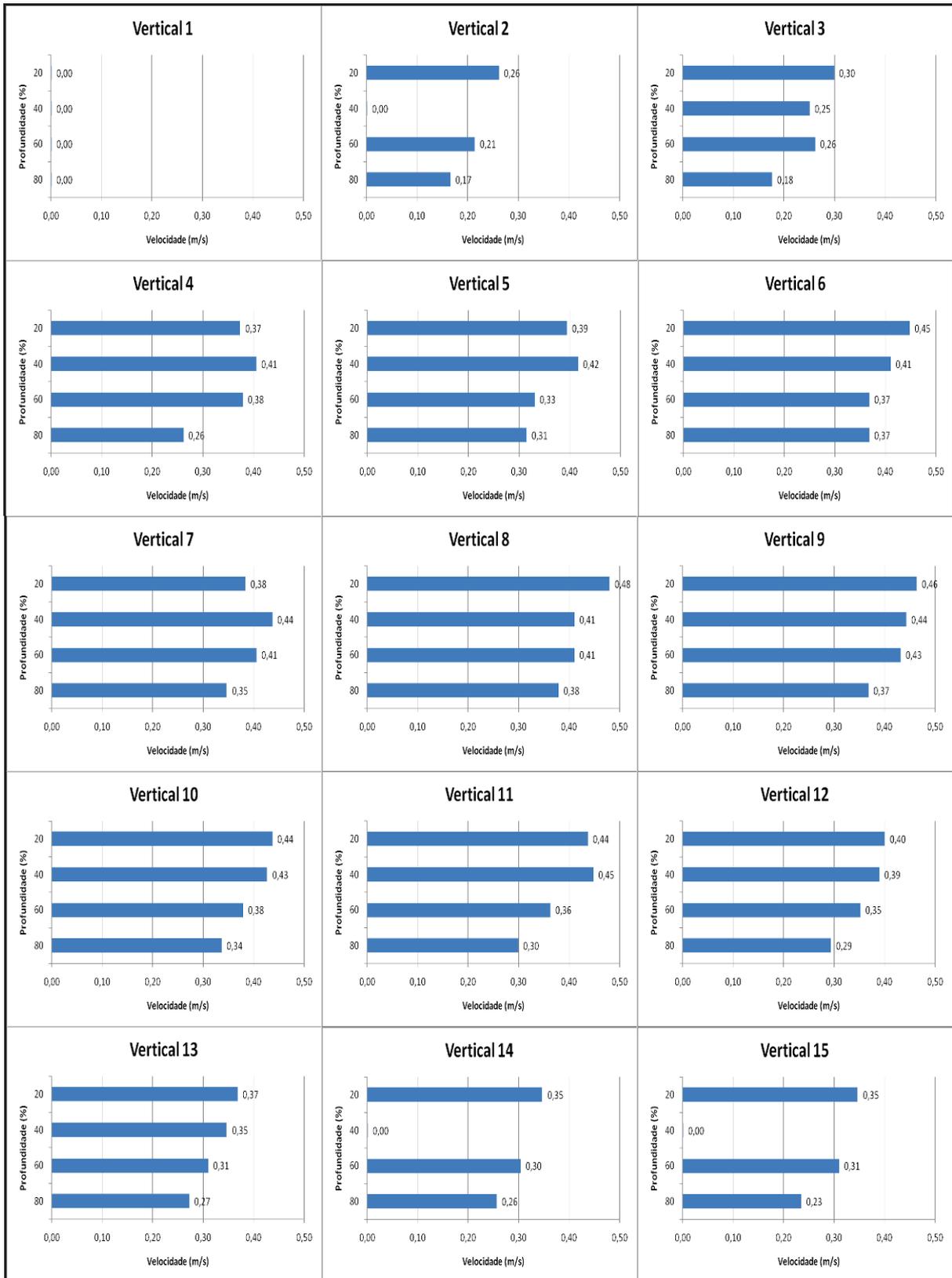
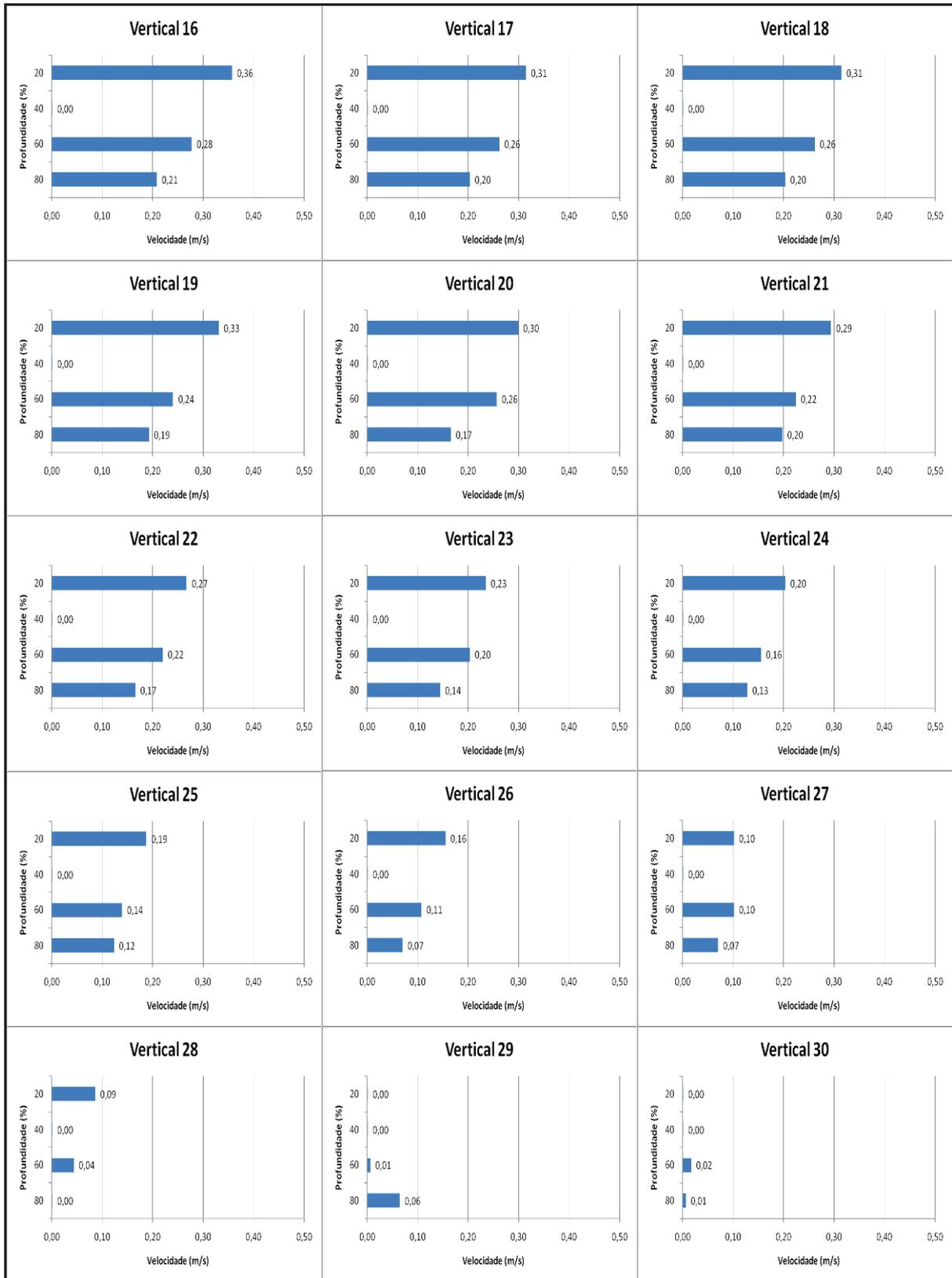


Figura 23 – Perfil da velocidade nas verticais 16 a 30.



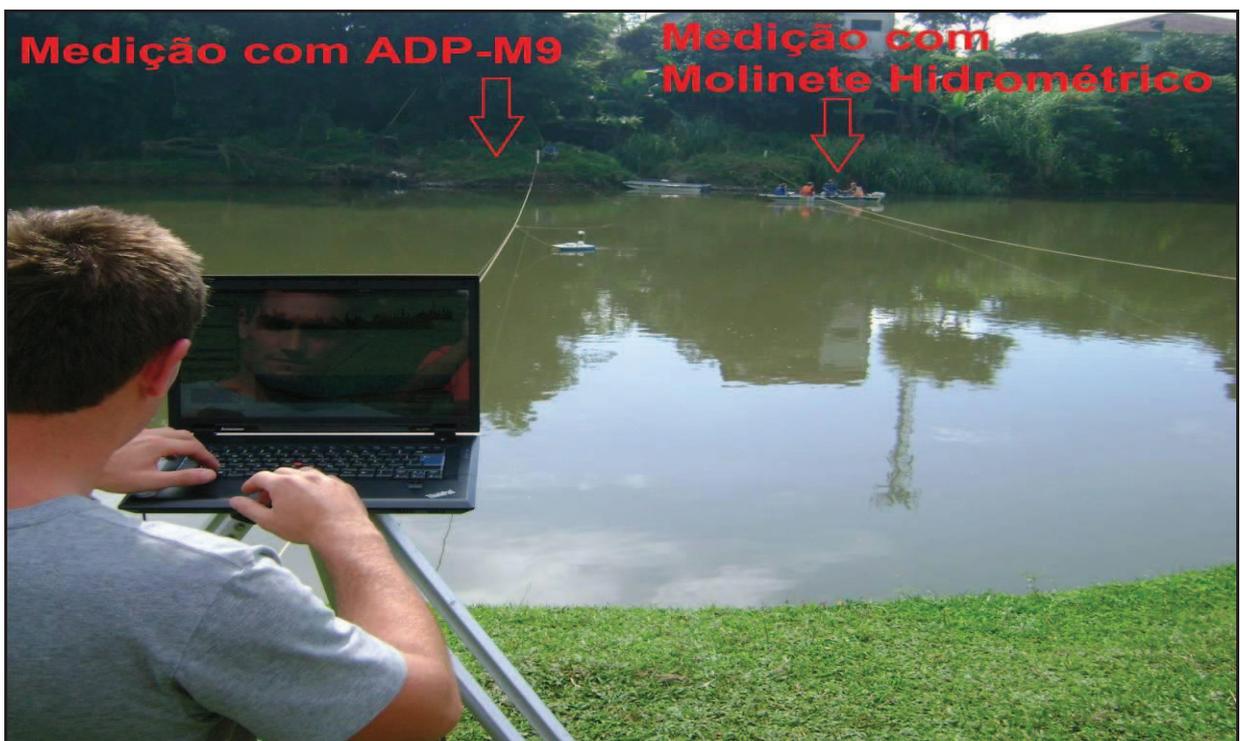
## 6.2 Apresentação e Análise dos Dados: ADP-M9

Com a utilização do ADP-M9, obteve-se um grande número de verticais – 466 verticais ao longo da seção transversal, com duração média de 6 minutos e 59 segundos. Para melhor precisão dos resultados, foi realizada a medição 6 vezes ao longo da seção, num movimento de ida e vinda do ADP, totalizando 41 minutos e 53 segundos para a conclusão da campanha de medição com o ADP-M9.

O Relatório da medição gerado pelo programa River Surveyor (Anexo 1) apresentou uma vazão média total de 30,62 m<sup>3</sup>/s com um desvio padrão de 0,2%, aduzindo uma área total da seção de 94,3 m<sup>2</sup> (Anexo 1).

Observa-se que a vazão medida com a ADP foi 3,1% maior que a vazão calculada com o método do molinete hidrométrico, com verticais distanciadas a cada 2 metros. A área média foi de 94,3 m<sup>2</sup>, embora um pouco menor, não pode ser comparada, pois a seção de medição, apesar de muito próxima, não era exatamente no mesmo ponto, uma vez que as medições foram realizadas simultaneamente (Figura 24).

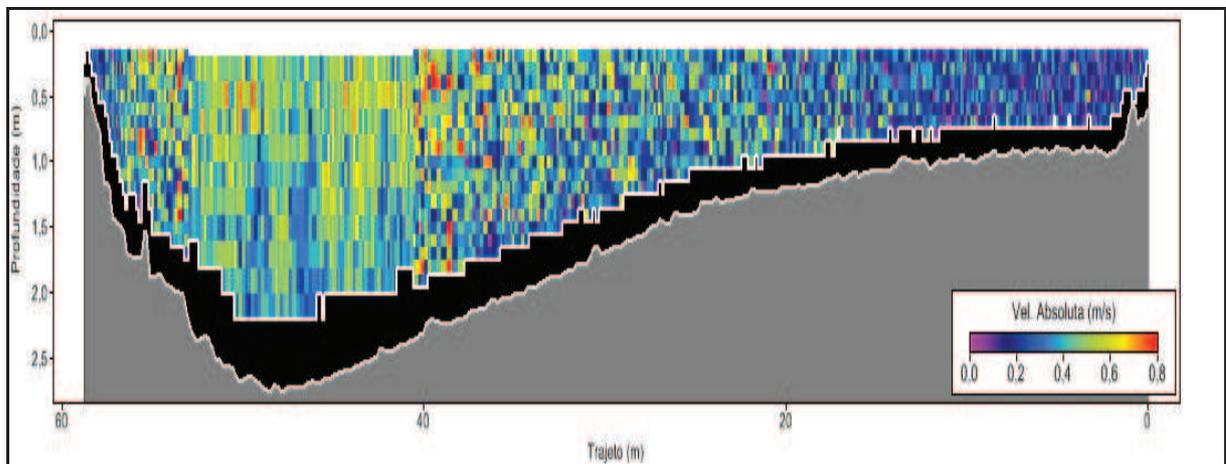
Figura 24 – Medição simultânea de vazão com o uso do ADP-M9 e do Molinete Hidrométrico.



Algumas informações adicionais analisadas pelo ADP-M9, também relacionadas à medição da velocidade da água, são gravadas pelo aparelho, dentre elas: temperatura, posicionamento, oscilações do barco, informações quanto à qualidade das medições de velocidade, intensidade da energia acústica, dados horários da medição, etc.

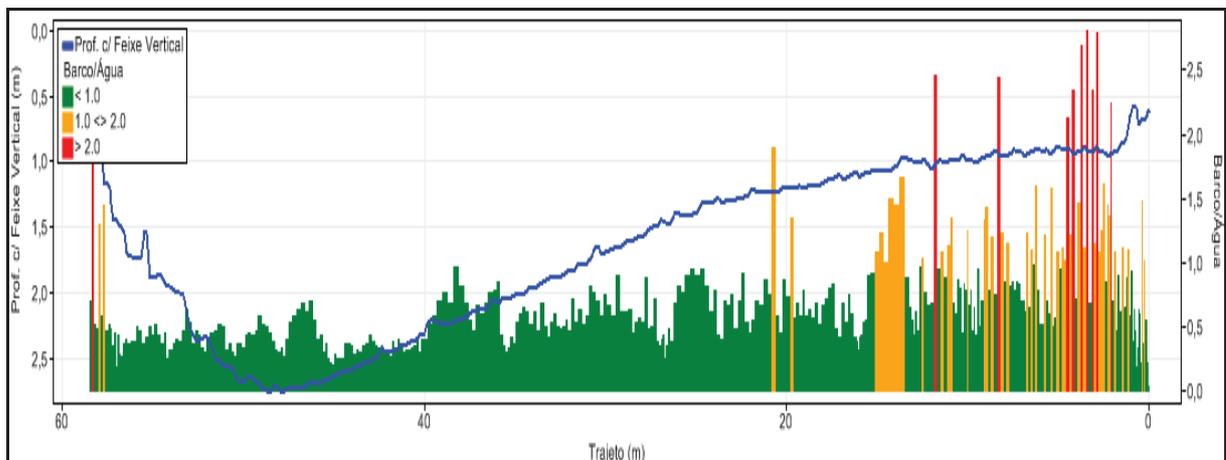
A partir do escaneamento do rio pelo ADP-M9, o programa RiverSurveyor gera automaticamente a análise detalhada da velocidade absoluta na seção de medição, igualmente demonstrada na Figura 25.

**Figura 25 – Velocidade absoluta na seção de medição.**



A Figura 26 mostra a interação entre a velocidade de deslocamento do barco e a velocidade do fluxo de água. Pode-se analisar que houve uma margem de erro no início da medição do lado direito do rio, causada pela baixa profundidade do leito e por baixa velocidade de deslocamento da água próximo à margem.

**Figura 26 – Velocidade de deslocamento do barco X velocidade do fluxo de água.**



Observa-se que a ADP permite obter, com muito mais precisão, a estimativa da área da seção, uma vez que realiza as medições de profundidade em um número grande de verticais. Como foi discutido na mediação com molinetes, o número de verticais parece ser fundamental no cálculo da área molhada e na precisão da estimativa da vazão.

Os equipamentos tipo ADCP são ferramentas que estão em constante desenvolvimento e apresentam vantagens em relação ao método convencional do molinete, pela facilidade de operação, menor exigência de mão de obra, redução de riscos aos hidrometristas, principalmente em ocorrências de cheias. Além desses fatos, o uso do ADCP tende a ser mais preciso para a medição da área. Há também a redução de possíveis erros cometidos em campo, como erros na largura do rio e medidas de velocidade em direção contrária em casos de refluxo de água, etc. A grande desvantagem ainda é o custo dos equipamentos, que pode ser diluído em casos de monitoramento e em redes envolvendo várias estações e equipes de hidrometria.

A possibilidade que se vislumbra, ao desenvolver métodos para medição da qualidade da água e transporte de sedimentos em suspensão junto com a medição de vazão nesses equipamentos, representa um grande avanço nos estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos.

### **6.3 Apresentação e Análise dos Dados: Sonda Multiparâmetro**

A partir dos dados obtidos com a sonda multiparâmetro de qualidade da água, pode-se notar, nas Tabelas 9 e 10, que são apresentadas, respectivamente, as médias dos valores por vertical para cada parâmetro analisado e os dados estáticos de cada parâmetro; e que as diferenças, tanto entre profundidade de coleta quanto a distâncias das margens, não interferem significativamente na escolha do ponto de coleta de amostras para análise de qualidade da água.

**Tabela 9 – Médias dos valores por vertical para cada parâmetro analisado.**

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13
Temperatura (°C)	20,2	20,3	20,3	20,4	20,5	20,6	20,6	20,6	20,7	20,7	20,9	20,9	20,9
Condutiv. (µS/cm <sup>2</sup> )	49,5	53,0	49,0	52,8	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	48,8	53,0	53,0	53,0
Salinidade (mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
pH	7,0	7,3	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	6,9	7,2	7,4
Turbidez (NTU)	85,8	86,7	85,7	97,0	104,3	107,0	99,5	104,7	111,2	108,7	118,0	112,8	112,2
OD (mg/L)	8,8	8,8	8,9	8,9	8,9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1
	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26
Temperatura (°C)	20,9	20,9	20,9	20,9	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1	21,1	21,1	21,2	21,2
Condutiv. (µS/cm <sup>2</sup> )	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,8	53,8	55,0	56,0	56,0	57,0	59,0
Salinidade (mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
pH	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Turbidez (NTU)	113,7	100,0	111,7	106,5	114,7	101,5	110,2	112,0	116,0	111,7	115,2	112,2	111,8
OD (mg/L)	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1

**Tabela 10 – Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação para todos os dados obtidos para cada parâmetro analisado.**

	Média	Desv. Padrão	Coef. de Variação
Temperatura	20,80	0,27	1,3%
Condutividade	53,30	3,67	6,9%
Salinidade	0,02	0,00	17,5%
pH	7,50	0,21	2,8%
Turbidez	106,56	14,22	13,3%
Oxigênio Dissolvido	9,04	0,10	1,1%

Os valores da Tabela 10 demonstram que, para os parâmetros Temperatura, pH e OD, a posição da coleta da amostra não interfere no resultado, já que os coeficientes de variação foram poucos significativos (1,1 a 2,8%).

Para o parâmetro salinidade, o coeficiente de variação foi de 17,5%, mas não reflete na variabilidade dos dados visto que os valores de salinidade se mantiveram praticamente constantes, da ordem de 0,02 mg/L, durante toda a medição; com exceção das verticais da margem direita, onde os valores foram de 0,03 m/L devido a um lançamento de água pluvial com odor e aspecto característicos de água contaminada com esgotos domésticos a menos de 10 m à montante da seção de medição (Figura 27).

Essa justificativa também explica os valores de condutividade, pois um lançamento com essas características aumenta a concentração de sólidos e sais dissolvidos que acabam refletindo no aumento da condutividade, a qual teve coeficiente de variação de 6,9%.

**Figura 27 – Lançamento de esgoto doméstico à montante da seção de medição.**



A variação nos valores de turbidez pode estar associada a um problema no sensor da sonda. Uma avaliação em laboratório apontou problemas na calibração desse sensor, o que pode ter ocasionado esse coeficiente de variação de 13,3%.

Pelos dados do Anexo 2, é possível notar que, na maioria das verticais, a temperatura aumenta quanto mais perto da superfície, o que já era esperado, pois nas camadas superficiais a luz e a energia solar transferem calor para o meio líquido. Esse comportamento vai diminuindo à medida que a profundidade vai aumentando.

Analisando os dados, nota-se também que a temperatura vai aumentando ao longo das verticais. Isso se deve ao horário de início e término da medição. A medição teve início por volta das 09h30min e término às 15h30min, por isso as verticais tiveram um aumento na temperatura de acordo com o tempo de medição que contemplou uma variação natural da temperatura do local, o que se refletiu na temperatura da água.

#### **6.4 Apresentação e Análise dos Dados de Sedimentos**

Os resultados das concentrações de sedimentos em suspensão, a partir dos tempos de amostragem obtidos com o programa HidroSedimentos, foram: 50 mg/L para a medição de vazão realizada com o molinete hidrométrico, e 52 mg/L para medição de vazão realizada com medidor acústico Doppler.

Os resultados demonstram que os dados de vazão gerados pelos equipamentos acústicos de medição de vazão podem ser utilizados para a determinação dos tempos de amostragem de sedimentos em suspensão, o que viabiliza ainda mais sua utilização em redes de monitoramento hidrometeorológico, já que os resultados obtidos pelo método convencional (molinete hidrométrico) e pelo ADP foram bem semelhantes.

## 7 CONCLUSÃO

Ao desenvolver esta pesquisa, ficou ainda mais claro a importância da evolução tecnológica ocorrida para a hidrometria. Até alguns anos atrás, as medições convencionais eram consideradas dispendiosas e pouco precisas. Haja vista que se necessita de um maior número de técnicos envolvidos e de tempo para realizá-las, devendo-se considerar também a pouca segurança que elas ofereciam.

Hoje, com a colocação deste novo método, o acústico, as medições tornaram-se muito mais seguras, rápidas e precisas. A facilidade deste tipo de medição faz com que se busque aprimorar ainda mais este tipo de prática, com a inserção de novos equipamentos e softwares para o auxílio de levantamentos em campo e das análises em escritório.

Os objetivos do trabalho foram cumpridos com a necessidade de criar um trabalho transparente e que fosse composto por fatos reais e de relevância para a conclusão do estudo, sempre levando em consideração que o presente trabalho teve o objetivo de avaliar e comparar as técnicas e métodos de hidrometria aplicados a cursos d'águas naturais.

Com base neste estudo, podem-se obter as seguintes conclusões:

- No método convencional de medição de vazão com molinetes hidrométricos e as diferenças entre os métodos de cálculo da vazão pelo método da seção média e meia seção foram inferiores a 1%.
- As diferenças entre o método de cálculo da velocidade média pelo processo detalhado e os processos simplificados e até mesmo com um único ponto a 60% da profundidade foram inferiores a 3%.
- As diferenças no valor da vazão calculada em função da distância entre verticais devem-se principalmente a diferenças no cálculo da área e, em menor parte, em função da velocidade média.
- A medição de vazão com ADCP apresentou valor de vazão 3,1% superior à vazão obtida com o molinete hidrométrico.
- As coletas de amostras de água podem ser realizadas em qualquer ponto do rio, representando satisfatoriamente a qualidade da água do corpo hídrico, já que a profundidade e a distância das margens não influenciam significativamente no resultado final da qualidade da água.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Medição de descargas líquida em grandes rios: manual técnico**. Brasília: ANA; SGH, 2009. 88 p. ISBN 978-85-89629-34-8

BACK, Álvaro José. **Hidráulica e hidrometria aplicada**: (com programa hidrom para cálculo). Florianópolis: EPAGRI, 2006. 299 p. ISBN 8585014504

\_\_\_\_\_. **Medidas de vazão com molinete hidrométrico e coleta de sedimentos em suspensão**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 56 p. ISSN 0100-7416

BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2.ed Porto Alegre: Brookman, 2002. 622p.

BUBA, H.; SANTOS, I dos; REGINA, J.V. Batimetria qualitativa com ADCP: levantamento do canal de adução da UHE Salto Santiago. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, 2001.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154 p.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro: CPRM; Eletrobrás, 1994. 372p.

\_\_\_\_\_. **Hidrossedimentologia Prática**. Edição 02, rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CARVALHO, Thiago Morato de. **Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais**. Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF, Recife, PE, v. 01, n. 01, p. 73-85, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CTESB – Secretaria do Estado de Meio Ambiente. **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp/>>. Acesso em: 02 de março de 2011.

FILIZOLA, N. P.; GUIMARÃES, V. S.; GUYOT, J. L. **Medição de vazão em grandes rios: uso do perfilador *doppler* acústico de corrente**. O Estado das Águas no

Brasil – 1999: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: SIH/ANEEL; SRH/ MMA; MME, 1999. p. 197-212.

GRISON, F. **Uso do ADCP como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação de curva-chave na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte.** Florianópolis, SC. Originalmente apresentada como dissertação de graduação. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2008, p. 46.

GUIMARÃES, V. S.; FILIZOLA, N. P.; OLIVEIRA, E.; GUYOT, J. L.; CALLÈDE, J. **O uso do ADCP para medição de vazão e estimativa do fluxo de sedimentos nos grandes rios da Bacia Amazônica.** In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória- ES, 1997, 8 p.

GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; GUIMARÃES, V.. Amazon suspended sediment yield measurements using an acoustic doppler current profiler. First results. **In Hydrology in the Humid Tropic Environment**, IAHS, Kingston, nov. 1996 (1997).

LAUTERT, L.F.C. **Hidrometria Aplicada.** Curitiba - Pr: Lactec, 2001. 372 p.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Introdução a química ambiental: química & meio ambiente & sociedade.** Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002. 487p.

MELCHIOR, C. **Comparativo de resultados de medição de vazão pelos métodos: convencional e acústico.** Foz do Iguaçu, PR. Originalmente apresentada como dissertação de graduação. União Dinâmica de Faculdades Cataratas – UDC, 2006, p. 72.

MUELLER, D. **Use of acoustic Doppler instrument for measuring discharge in streams with appreciable Sediment transport.** American Society of Civil Engineers, 2002.

PORTO, Rubem La Laina. ET AL. **Hidrologia Ambiental.** São Paulo: ABRH, 1991. 411p.

RDI. **Acoustic Doppler current profilers.** Principles of operation: a practical primer. Publ. RDI, San Diego, 1989. 36 p.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; WANIELISTA, M. KERSTEN, R. EAGLIN, R. **Hydrology: water quantity and quality control.** new York. John Wiley & Sons, 1997.

ZIMBRES, Eurico. **Química da água subterrânea**. Rio de Janeiro, RJ: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2007. Disponível em: <<http://http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aquasubterranea.htm/>>. Acesso em: 01 de março de 2011.

**ANEXO**

## Anexo 1

Relatório da Medição														Data Gerado: terça-feira, 31 de maio de 2011			
<b>Detalhes do Local</b>							<b>Informações da Medição</b>										
Nome do Local				São Ludgero			Participantes										
Código da Seção				84560000			Barco/Motor										
Localização																	
<b>Informações do Sistema</b>				<b>Configurações do Sistema</b>				<b>Unidades</b>									
Tipo do Sistema		RS-M9		Prof. dos Transdutores (m)		0,05		Dist.		m							
Número de Série		480		Salinidade (ppt)		0,0		Velocidade		m/s							
Versão do Firmware		1.50		Declinação Mag. (graus)		-17,5		Área		m2							
Versão do Software		2.00						Vaz.		m3/s							
<b>Configurações da Medição</b>								<b>Resultados de Vazão</b>									
Ref. para Trajeto		GPS-GGA		Método Margem Esq.		Margem Gradual		Largura (m)		58,95							
Ref. para Prof.		Feixe Vertical		Método Margem Dir.		Margem Gradual		Área (m2)		<b>94,3</b>							
Sist. de Coord.		ENU		Tipo Extrapolação Superf.		Lei Exponencial		Vel. Abs. Média (m/s)		0,271							
				Tipo Extrapolação Fundo		Lei Exponencial		Vaz. Total (m3/s)		30,62							
<b>Resultados das Medições</b>																	
Nº da trav.	Hora			Dist.				Vel. Méd.		Vaz.				%			
	#	Data	Hora	Duração	Trajeto	DMG	Larg.	Área	Emb.	Água	Esq.	Dir.	Superf.		Meio	Fundo	Total
1	M	28/4/2011	09:38:43	0:06:59	58,45	57,63	58,93	94,3	0,139	0,318	0,02	0,00	3,07	22,35	4,52	29,97	74,6
2	M	28/4/2011	09:47:55	0:07:52	58,81	57,71	59,01	94,1	0,125	0,317	0,00	0,00	3,19	22,06	4,62	29,88	73,9
3	M	28/4/2011	09:57:08	0:07:46	59,01	57,68	58,98	94,2	0,127	0,320	0,00	-0,01	3,11	22,39	4,63	30,12	74,3
4	M	28/4/2011	10:06:52	0:06:14	58,45	57,64	58,94	94,4	0,156	0,331	0,00	0,01	3,28	23,07	4,83	31,20	74,0
5	M	28/4/2011	10:13:19	0:06:58	58,76	57,63	58,93	x	0,141	0,000	0,03	0,00	3,18	22,66	4,71	30,57	74,1
6	M	28/4/2011	10:20:30	0:06:04	58,69	57,60	58,90	94,4	0,161	0,339	0,02	0,00	3,37	23,72	4,91	32,01	74,1
			<b>Média</b>	0:06:59	58,69	57,65	58,95	<b>94,3</b>	0,141	0,271	0,01	0,00	3,20	22,71	4,70	30,62	74,2
			<b>Desvio Padrão</b>	0:00:41	0,20	0,04	0,04	<b>0,1</b>	0,014	0,121	0,01	0,01	0,10	0,55	0,13	0,76	0,2
			<b>CV</b>	0,000	0,003	0,001	0,001	<b>0,001</b>	0,097	0,448	1,023	182,482	0,032	0,024	0,028	0,025	0,003
Tempo de Exposição: 0:41:53																	
Nº da trav.20110428093838.rlv; Nº da trav.20110428094751.rlv; Nº da trav.20110428095704.rlv; Nº da trav.20110428100647.rlv; Nº da trav.20110428101314.rlv; Nº da trav.20110428102025.rlv;																	
<b>Coment.</b>																	
Cota Réguas = 113 cm																	
Parâmetros e configurações marcadas com um * não são constantes para todos os arquivos.																	
Relatório gerado com RiverSurveyor Live v2.00																	

Figura 28 – Relatório da medição com ADP-M9, gerado pelo programa.

