
LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO AUTOMATIZADO APLICADO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. ESTUDO DE CASO: REPRESAMENTO DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, VIÇOSA – MG

ÍTALO OLIVEIRA FERREIRA
DALTO DOMINGOS RODRIGUES
AFONSO DE PAULA DOS SANTOS

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Civil - DEC
Setor de Engenharia de Agrimensura, Viçosa, MG
italo.ferreira, {dalto, afonso.santos}@ufv.br

RESUMO - O presente trabalho teve como principal objetivo contribuir com ferramentas para gestão de um dos principais represamentos do ribeirão São Bartolomeu, localizado no município de Viçosa-MG. Para tal foi efetuado um levantamento batimétrico automatizado em dezembro de 2010. Os resultados deste trabalho mostraram que um estudo como este, de custo relativamente baixo, reduzido tempo de execução e com alto grau de eficiência representa uma poderosa ferramenta de gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT - This study aimed to contribute with tools for managing one of the main dams of the Ribeirão São Bartolomeu, located in Viçosa-MG. To this was done in an automated bathymetric survey in December 2010. The results of this study showed that a study like this, relatively low cost, reduced time of execution and with high efficiency represents a powerful tool for water resource management.

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente dois terços da superfície terrestre é coberta por água, porém apenas uma pequena fração está disponível ao homem sob a forma de lagos, rios ou reservatórios. O restante está presente nos oceanos, nos aquíferos subterrâneos, na atmosfera da terra sob a forma de vapor d'água e nas geleiras (Blanco, 1999).

Apesar da baixa disponibilidade, a utilização dos recursos hídricos pelo homem tem sido muito questionada. O processo de urbanização, desmatamento e a conseqüente impermeabilização dos solos resultam num conjunto de problemas ambientais, como mudanças climáticas locais, erosão dos solos e assoreamento das fontes hídricas. É fato que os recursos hídricos estão se esgotando, e grande parte desse problema deve-se aos assoreamentos que ocorrem nos reservatórios que abastecem os centros urbanos. O assoreamento é causado principalmente pelos processos erosivos, uma vez que é este que fornece os materiais que ao serem transportados e depositados darão origem ao assoreamento (Silveira, *et al.*, 2009).

Parte da cidade de Viçosa e o campus da UFV (Universidade Federal de Viçosa) são abastecidos pelo ribeirão São Bartolomeu a partir de represamentos presentes dentro do campus. O aumento da população requer a correta gestão do ribeirão São Bartolomeu para que este consiga suprir o aumento na demanda de água. O grau de assoreamento sofrido por estes represamentos nos últimos anos vem diminuindo o seu volume útil, com conseqüências na qualidade e quantidade de água disponível para captação. Neste contexto, é de grande importância o estudo de métodos que quantifiquem o grau de assoreamento desses represamentos (Silveira, *et al.*, 2009).

Os levantamentos batimétricos automatizados são essenciais na modelagem e gestão de recursos hídricos, pois permitem estimar o grau de assoreamento, calcular volumes de armazenamento, atualizar as curvas de capacidade, modelar o relevo submerso, além de subsidiar informações aos órgãos competentes, para tomadas de decisões no gerenciamento e utilização dos recursos hídricos (Álvares, *et al.*, 2001).

De acordo com o exposto o presente trabalho objetivou contribuir com ferramentas para gestão de um dos principais represamentos do ribeirão São Bartolomeu. Para tal, foi realizado um levantamento batimétrico automatizado visando-se a caracterização morfológica do fundo desta área, a qual possibilitará, mediante novos levantamentos, uma

futura análise temporal dos processos de erosão e assoreamento desta região, além de auxiliar no gerenciamento e utilização racionalizada do represamento em questão. Este levantamento também poderá ser utilizado em estudos e projetos de áreas ribeirinhas, correções de problemas que já se manifestam ou mesmo para outros aproveitamentos.

2 BATIMETRIA AUTOMATIZADA

Os levantamentos batimétricos automatizados são realizados a bordo de embarcações utilizando-se de ecobatímetros para medição de profundidades numa alta taxa de amostragem e de um ou mais receptores GPS (*Global Positioning System*) para o posicionamento planimétrico diferencial. Estes levantamentos são relativamente de baixo custo, reduzido tempo de execução e com alto grau de eficiência (IHO, 2005).

O princípio fundamental de funcionamento de um ecobatímetro consiste na transmissão vertical de um feixe de ondas sonoras ou ultra-sonoras por um emissor instalado na embarcação de sondagem, chamado transdutor. As ondas sonoras emitidas pelo transdutor atravessam o meio líquido e atingem o fundo. Parte da energia refletida, o eco, retorna a superfície, onde é detectada pelo transdutor, o tempo decorrente da emissão e recepção da onda sonora é então medido pelo ecobatímetro. Conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água é possível medir a profundidade. A profundidade medida é tecnicamente conhecida como 'sondagem' (IHO, 2005; Ribeiro, 2008).

A velocidade do som nos corpos aquáticos é cerca de quatro vezes a sua velocidade no ar, à 25°C é de aproximadamente 1500 m/s. A explicação para este fenômeno é que conforme aumenta a densidade do meio, aumenta a velocidade de propagação das ondas mecânicas. A densidade da água não é constante e sim dependente de três fatores, a saber: temperatura, pressão e salinidade. Assim, para minimizar a influência desses parâmetros, e para uma melhor precisão das medidas de profundidade, é necessário realizar uma calibração do ecobatímetro (IHO, 2005; Matias, 2010).

A calibração consiste em utilizar uma chapa metálica circular, de 30 a 40 mm de diâmetro, fixada a um cabo de aço graduado, arriada abaixo do transdutor. Sabendo-se a profundidade já submersa da placa (observando-se a graduação no cabo de aço), verifica-se se a profundidade indicada pelo ecobatímetro está correta, altera-se a velocidade do som, se necessário, até que as profundidades verificadas no ecobatímetro e no cabo de aço sejam iguais. A calibração deve ser realizada, no mínimo, até 70% da profundidade máxima do local (IHO, 2005).

Uma das maiores dificuldades em levantamentos batimétricos sempre foi o controle do posicionamento planimétrico da embarcação de sondagem, em razão da impossibilidade de se materializar pontos estáveis de observação (marcos) e tampouco efetuar medições repetidas, para um posterior ajustamento das profundidades (Ramos, 2007).

No início dos anos 90 uma nova técnica, denominada RTK (*Real Time Kinematic*), foi desenvolvida como alternativa para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código ou código suavizado pela onda portadora (DGPS). O princípio básico do funcionamento do sistema RTK consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência, como pode ser visto na Figura 1. A transmissão dos dados para a estação móvel é de extrema importância e pode ser realizado via link de rádio, celular ou algum outro tipo de sistema de comunicação (Krueger, 1999; Monico, 2007).

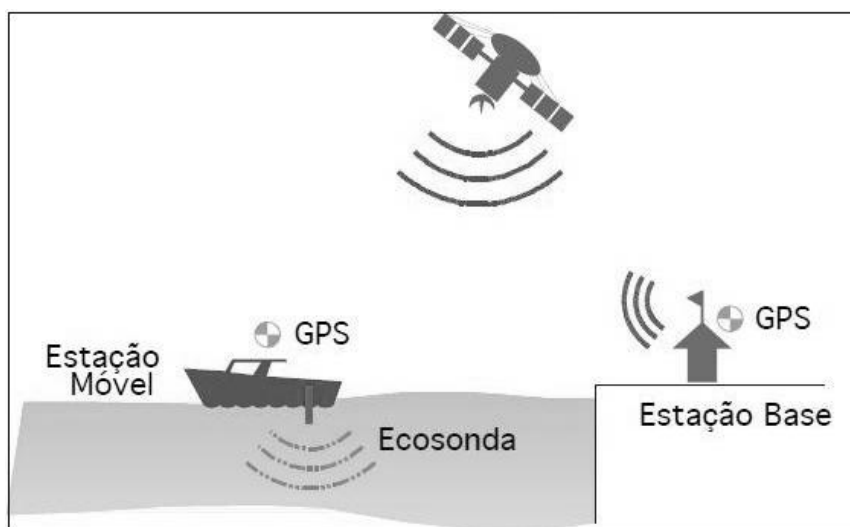


Figura 1. Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real (Fonte: Dias, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo do caso

O presente estudo foi realizado no mês de dezembro de 2010, promovendo o levantamento batimétrico de um dos principais represamentos do Ribeirão São Bartolomeu, localizado no campus da UFV – Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa na zona da mata mineira, entre as coordenadas 20°45'57,95" e 20°46'0,62" de latitude sul, 42°52'11,65" e 42°52'15,53" de longitude oeste (Figura 2). O local foi escolhido principalmente pelo fato do mesmo ser utilizado como ponto de captação de água pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), justificando, desta forma, a enorme importância de se gerar uma base de dados que auxilie nas tomadas de decisões futuras para o gerenciamento e utilização racionalizada do represamento em questão.



Figura 2. Localização da área de estudo.

3.2 Materiais utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados essencialmente os seguintes equipamentos e softwares:

- Uma embarcação de alumínio motorizada com 6 m de comprimento;
- Um ecobatímetro *Hydrobox*, usado para a obtenção das profundidades, com precisão nominal de 0,5%. Este equipamento opera nas frequências 33/210 kHz;
- *Software Hydrobox Acquisition*, usado para configuração do ecobatímetro *Hydrobox*, visualização digital das profundidades (ecogramas) e comunicação com o programa de hidrografia *Hypack*;
- Um par de receptores RTK de dupla frequência GTR – G2, um receptor foi usado como estação móvel e o outro como estação de referência (base), com precisão horizontal no modo cinemático de 10 mm + 1 ppm e no modo estático de 5 mm + 0,5 ppm;
- *Software NovAtel CDU*, usado para a configuração dos receptores GTR – G2;
- Um par de rádios *Pacific crest* e antenas, usados para envio das correções RTK da estação de referência para a estação móvel. Este equipamento opera com uma potência de 35 W (estação de referência) e 2 W (estação móvel), na faixa de UHF e FM;
- *Software Hypack*, usado na criação das linhas de sondagem, coleta dos dados batimétricos, auxílio na navegação em tempo real, edição e processamento dos dados batimétricos.

3.3 Métodos

O levantamento batimétrico foi realizado seguindo as prescrições da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Primeiramente realizou-se o planejamento do levantamento, seguido da coleta de dados, processamento e geração da planta batimétrica e do MDE (modelo digital de elevação).

3.3.1 Planejamento do levantamento batimétrico

Analisando a precisão do ecobatímetro e do RTK, estabeleceu-se uma escala de levantamento de 1/500, visando um erro máximo de 10 cm. Com base nesta escala foi planejado todo o levantamento batimétrico.

Com o *software Hypack* e uma planta topográfica dos limites do represamento foram planejadas linhas de sondagem regulares e de verificação. Estas últimas foram usadas para estimar a precisão do levantamento batimétrico. As linhas regulares de sondagem foram projetadas de forma aproximadamente perpendiculares a margem. O afastamento entre as mesmas, conforme norma da DHN, deve ser no máximo 10 mm na escala do levantamento, o que resultou, para a escala definida, em 5 m. No entanto, a fim de se evitar a ocorrência de feriados, adotou-se um afastamento entre as linhas de sondagem regulares igual a 4,5 m, tendo em vista que a tolerância adotada para feriados é de 1 mm, equivalente a 0,5 m na escala definida para o levantamento.

As linhas de verificação foram planejadas cruzando as linhas regulares de sondagem ortogonalmente. O afastamento entre as mesmas, conforme normas da DHN, deve ser no máximo 15 vezes o intervalo adotado para as linhas regulares de sondagem na escala do levantamento, o que resultou, para a escala definida, em 75 m. No entanto, devido as dimensões da área de estudo e visando uma maior quantidade de intersecções para uma melhor análise do levantamento, optou-se por adotar um afastamento de 10 m.

3.2.2 Execução do levantamento batimétrico

O levantamento batimétrico foi realizado a partir de uma estação móvel composta principalmente pela embarcação de sondagem, o ecobatímetro *Hydrobox*, o receptor RTK, o rádio *Pacific crest* com 2 W de potência, a antena para a recepção do sinal RTK, um *notebook* com o *software Hypack* e o *software Hydrobox Acquisition* em execução, uma chapa metálica para calibração do ecobatímetro e baterias para alimentar os equipamentos.

As sondagens foram determinadas pelo ecobatímetro *Hydrobox* que permite leituras digitais de profundidade, é portátil e possui precisões que atendem ou excedem todos os requisitos atuais da DHN para levantamentos monofeixe. Opera com feixes de abertura próximos à vertical, cerca de 20 graus para a frequência de 33 kHz e 8 graus pra a frequência de 210 kHz e realiza medidas de até 800 m de profundidade.

Para a obtenção das profundidades com o ecobatímetro é necessário somar aos valores das sondagens a altura de imersão do transdutor do ecobatímetro, conhecido como “*draft*”. O valor do “*draft*” está associado à montagem da estação móvel e o peso em seu interior. Sendo assim, o “*draft*” foi medido quando todos os equipamentos e componentes da equipe (timoneiro, operador e auxiliar) estavam a bordo da embarcação de sondagem e em seus devidos lugares. A calibração do ecobatímetro ocorreu no início e no final das sondagens, resultando em uma velocidade média do som de 1481 m/s.

O posicionamento planimétrico das profundidades coletadas foi realizado através do sistema RTK, a partir da correção de sinal enviada continuamente em tempo real via sinal de rádio por uma estação de referência. A estação de referência consistiu-se principalmente de um receptor RTK, um rádio *Pacific Crest* com 35 W de potência, uma antena para a transmissão do sinal RTK e baterias para alimentar os equipamentos.

O sistema de posicionamento RTK foi interligado com o ecobatímetro *Hydrobox* através do *software Hypack*, registrando simultaneamente, em tempo real, o posicionamento planimétrico e a sondagem a uma taxa de 10 milissegundos. O *Hypack* também gera continuamente uma simulação visual em tempo real da navegação, com base na posição calculada pelo sistema RTK, possibilitando, desta forma, a interação do operador e do timoneiro para manter a embarcação de sondagem navegando ao longo das linhas planejadas, podendo-se, inclusive, visualizar o afastamento da embarcação em relação à linha planejada, evitando-se os feriados.

A variação do nível d’água foi monitorada por meio de uma régua linimétrica instalada próximo às margens da área sondada. Como no represamento levantado não há variações bruscas do nível da lâmina d’água, foram feitas apenas duas leituras: uma no início e outra no final do levantamento. Entretanto, durante o levantamento não houve variações consideráveis do nível d’água, desta forma, adotou-se como nível de redução (NR) o nível da superfície d’água no dia do levantamento, altitude 655,451 m em relação ao datum de Imbituba – SC, esta foi obtida através de um nivelamento geométrico a partir de uma RN do IBGE posicionada no Campus da UFV.

3.2.3 Processamento do levantamento batimétrico

O tratamento dos dados batimétricos iniciou-se com processamento no *software Hypack*. A primeira etapa consistiu-se em verificar a ocorrência de clarões na área sondada (feriados). Esse processo foi realizado analisando os

arquivos brutos de forma manual. Foram constatados alguns clarões, fato esse justificado pela inexperiência do timoneiro em conduzir a embarcação de sondagem. Nestes referidos locais foi efetuada uma nova sondagem.

O processamento continuou com a edição das linhas sondadas no módulo *editing* do *Hypack*. Esse processo corresponde à visualização do ecograma digital para retirada de profundidades espúrias (*spikes*) e erros de posicionamento (*tops*) Neste processo também foi possível visualizar e editar a derrota percorrida pela embarcação de sondagem. A Figura 3 apresenta como exemplo, uma linha planejada e sua correspondente executada. Observa-se o afastamento da linha executada com relação à linha planejada e o perfil levantado do fundo do rio.

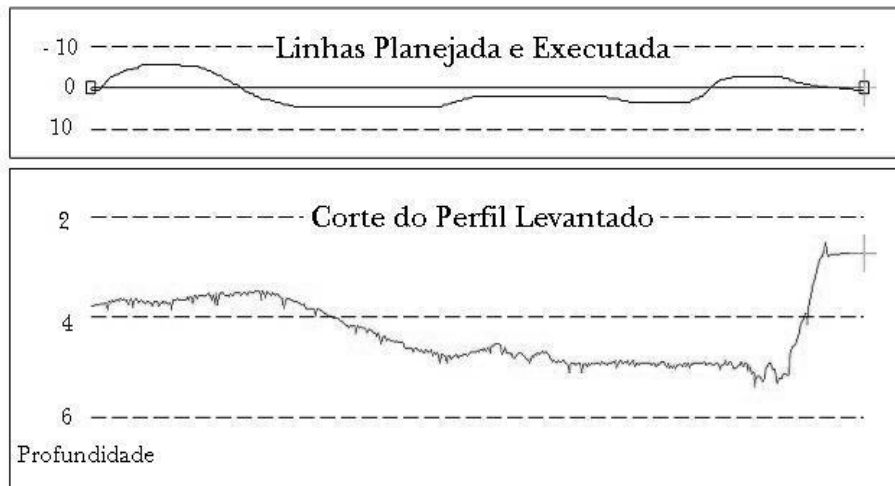


Figura 3. Linha planejada e executada e o perfil do fundo do rio.

Após a edição das linhas sondadas, efetuou-se, empregando o comando *Cross Statistics* do *Hypack*, a análise estatística da precisão do levantamento batimétrico através das linhas de verificação. Constatou-se que o levantamento está de acordo com os padrões de qualidade estipulados pela DHN e que os erros grosseiros e sistemáticos que possam ter advindo dos sistemas de posicionamento ou sondagem são mínimos ou quase nulos. A Figura 4 apresenta o histograma da análise das linhas de verificação.

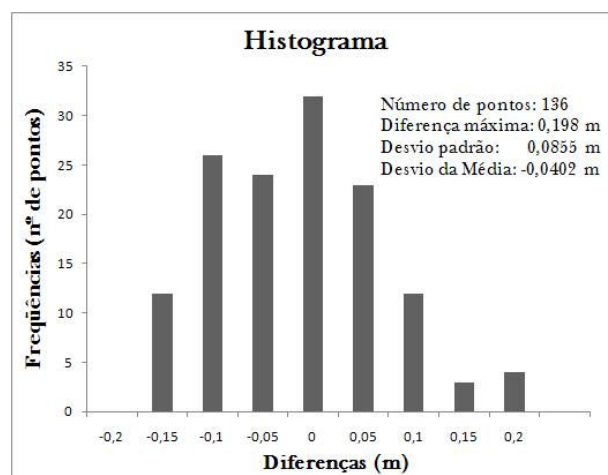


Figura 4. Histograma da análise estatística das linhas de verificação.

O resultado final do processamento foi um arquivo com 1414 pontos contendo as coordenadas planimétricas e as respectivas profundidades já corrigidas do *draft*. Com o mesmo foi possível gerar a planta batimétrica e o MDE da área de estudo. Para a densificação da amostra de pontos foram testados alguns interpoladores e, analisando-se os resíduos calculados, adotou-se o método da krigagem, pois este produziu os menores resíduos.

3.2.4 Geração da planta batimétrica e do modelo digital de elevação

Com dados batimétricos processados e devidamente georreferenciados ao sistema geodésico SIRGAS 2000 geraram-se uma planta batimétrica (Figura 4) e um MDE (Figura 5) da área em estudo. A planta e o MDE foram gerados a partir das profundidades coletadas na frequência alta (210 kHz), tendo em vista que o feixe acústico da frequência baixa (33 kHz) reflete a superfície de lama já consolidada no fundo.

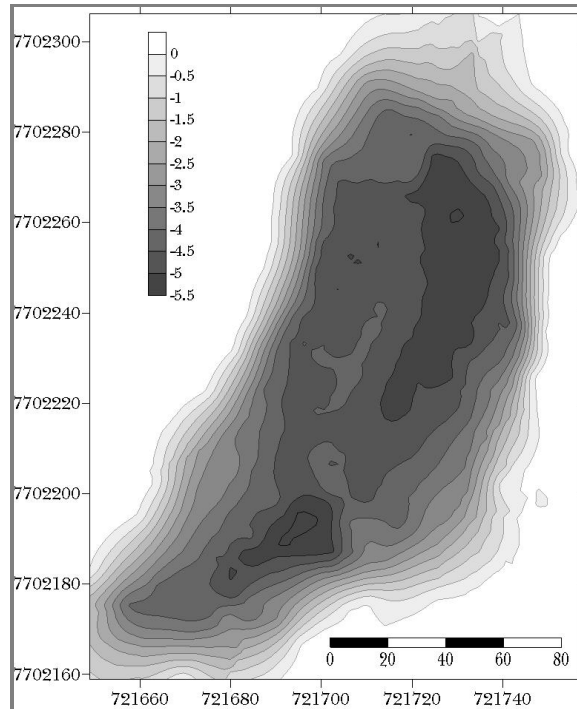


Figura 5. Planta batimétrica

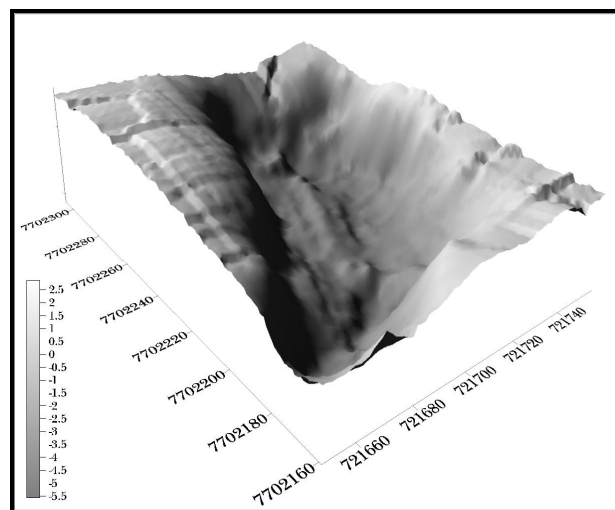


Figura 6. Modelo digital de elevação

Empregando o *software Topograph* foi calculado o volume útil estimado de água do reservatório, resultando em 29657 m³, e determinou-se a relação cota x volume.

Por meio da relação cota x volume foi construído o gráfico da curva Cota x Volume que servirá como ponto de partida para o plano de gestão dos recursos hídricos do represamento estudado neste trabalho. Após a interpolação dos dados, determinou-se a relação cota x volume (Tabela 1), onde o volume de aterro é expresso em relação a um plano determinado por uma cota. Nesse caso, foram determinados planos espaçados a cada 1 m desde a cota mínima até a máxima. A cota 655,451 corresponde ao NR, ou seja, nível da água no dia do levantamento, enquanto que a cota

655.918 corresponde a cota da soleira, o que implica que o volume máximo de acumulação do represamento é de 33891 m³. O gráfico da curva cota x volume é apresentado na Figura 7.

Tabela 1. Tabela cota x volume

Cota (m)	Volume (m ³)
650	0
651	1000
652	4000
653	10000
654	20000
655	30000
655.918	33891
656	35000

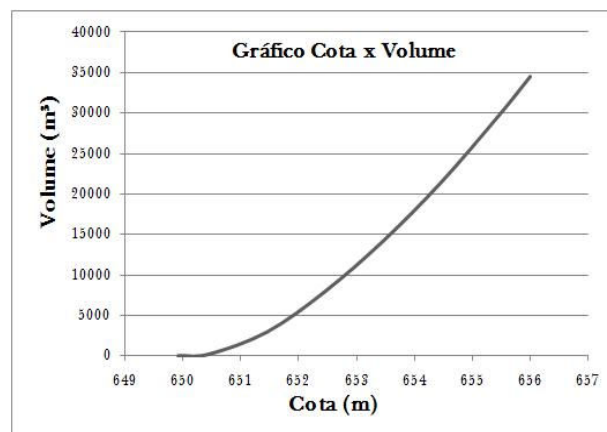


Figura 7. Gráfico cota x volume

Como pode ser visto um estudo como este, de custo relativamente baixo, reduzido tempo de execução e com alto grau de eficiência pode representar uma poderosa ferramenta de gestão de recursos hídricos. Com este trabalho foi possível modelar o relevo submerso e calcular o volume atual de água do reservatório, além de determinar a relação cota x volume do represamento.

A base de dados gerada por este estudo poderá ser usada pelos órgãos competentes para tomadas de decisões no gerenciamento e utilização do represamento do ribeirão São Bartolomeu, além de permitir, mediante novos levantamentos, uma futura análise temporal dos processos de erosão e assoreamento desta região. Este levantamento também poderá ser utilizado em estudos e projetos de áreas ribeirinhas, correções de problemas que já se manifestam ou mesmo para outros aproveitamentos.

ÁLVARES, M. T. *et al.* **Monitorização Batimétrica em Albufeiras**. Lisboa: Instituto da Água, Direção de Serviços de Recursos Hídricos. 2001.

BLANCO, R. A. **Água: O Ouro do Terceiro Milênio**. Revista Verde Tempo. Abr-mai. 1999.

DIAS, J. A. *et al.* **Levantamento Batimétrico do Estuário**. Projecto EMERGE, Universidade de Algarve. Portugal. Disponível em <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/EMERGE/4_Batimetria_red.pdf> acessado em outubro de 2010.

IHO. **Manual on Hydrography**. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2005. 540p.

KRUEGER, C. P. Integração do GPS e da Ecobatimetria. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v.5, p.55-68, 1999.

MATIAS, L. **Como Funciona o Sonar: Medição da Velocidade do Som na Água**. Centro de Geofísica, Universidade de Lisboa. Portugal. Disponível em <<http://www.cgul.ul.pt/lmatias/fisica-geologia/Praticas/sonar-s.pdf>> acessado em novembro de 2010.

MÔNICO, J. F. **Posicionamento Pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia FCT/UNESP- Campus de Presidente Prudente, 2007.

RAMOS, A. M. **Aplicação, Investigação e Análise da Metodologia de Reduções Batimétricas Através do Método GPS Diferencial Preciso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2007. 221p.

RIBEIRO, S. R.A.; CENTENO, J.A.S.; KRUEGER, C. P. **Estimativa de Profundidade a Partir de Levantamento Batimétrico e Dados IKONOS II Mediante Redes Neurais Artificiais**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v.14, n.2, p.171-185, abr/jun 2008.

SILVEIRA, P. M. *et al.* **Trabalho de Macrodrenagem: Assoreamento na Primeira Represa da UFV. CIV-347 – SISTEMAS DE ESGOTOS**. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2009.