

UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

IGEO – INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

DEPARTAMENTO DE GEODESIA

APOSTILA DE

LEVANTAMENTOS

HIDROGRÁFICOS – NOÇÕES GERAIS

Prof. Gilberto Gagg

2016

PREFÁCIO

Este material consiste numa apostila em que foram compilados e adaptados vários conteúdos de diversos autores e instituições sobre o assunto referente aos levantamentos hidrográficos e batimetria, tratando de conceitos, metodologias, aplicações, banco de dados, aspectos da legislação, etc., visando propiciar ao leitor informações gerais.

Por compreender uma vasta gama de referências bibliográficas, pode permitir ao interessado aprofundar-se em assuntos específicos de seu interesse.

Este material não pretende esgotar o assunto, sujeito a avanços no emprego de novas tecnologias e equipamentos, e consiste numa versão preliminar.

Agradecem-se desde já comentários, considerações e a comunicação de quaisquer erros que possam ser encontrados.

LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS – NOÇÕES GERAIS

SUMÁRIO

1. Introdução	04
2. Levantamentos Hidrográficos	04
3. Batimetria	05
3.1. Metodologia Direta	06
3.2. Metodologia Indireta	06
3.2.1 ADCP (<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>)	08
3.2.2 Ecobatímetros	08
3.2.2.1 Ecobatímetro monofeixe	11
3.2.2.2 Ecobatímetro multifeixe	13
3.3. Exemplos de aplicações de dados batimétricos	18
4. Definição da posição da embarcação	19
4.1. Movimentos de uma embarcação	19
4.2. Métodos de obtenção da posição da embarcação	20
5. Integração GPS e ecobatimetria	23
5.1. Integração dos sistemas usados em levantamentos batimétricos	25
6. Estimativa da batimetria com emprego de imagens de satélite	25
7. Programas usados na batimetria e exemplos de ecobatímetros	26
8. Reduções batimétricas	27
9. BNDO - Banco Nacional de Dados Oceanográficos	32
10. Sonar de Varredura Lateral	33
11. Lidar Batimétrico	34
12. Conclusões	36
Bibliografia	36

LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS – NOÇÕES GERAIS

1. Introdução

A maior parte do nosso planeta é coberta de água na forma de oceanos, mares, rios, lagoas, reservatórios, etc. Quando se acrescenta os espaços ocupados pelas águas brasileiras (3,5 milhões de km² quadrados e a extensão da plataforma continental de 963 mil km²), a área do Brasil é 52% maior quando comparada considerando-se apenas a área continental (8,5 milhões de km²). Algumas atividades de campo são desenvolvidas nestes ambientes, e vão exigir muitas vezes, procedimentos peculiares, distintos daqueles executados em ambiente terrestre, ou com adequações.

Tendo em vista a segurança da navegação, desenvolver a cartografia para trabalhos em áreas submersas sempre foi um desafio pelas próprias dificuldades inerentes. No que se refere às cartas náuticas, algumas podem se tornar desatualizadas quanto às suas informações batimétricas devido à dinâmica dos sistemas hídricos, com ocorrência de processos de erosão e deposição em rios, lagos e áreas costeiras.

A integração de dados altimétricos entre a porção continental (altitudes) e oceânica (profundidades) é muito importante, sobretudo do ponto de vista cartográfico, por exemplo, na avaliação correta de riscos costeiros. No caso do Brasil, essa condição não é satisfeita, haja vista a descontinuidade entre os níveis de referência ("zeros") das elevações fornecidas pela cartografia terrestre e das profundidades apresentadas na cartografia náutica, e também pela inexistência das informações necessárias para integração destes referenciais. A diferença entre os referenciais é relevante para análise de alterações no nível do mar, o que dificulta a determinação da chamada linha de costa nos mapas (IBGE, 2016).

Neste material serão tratados os levantamentos hidrográficos, e mais em detalhes as atividades que envolvam a batimetria.

2. Levantamentos Hidrográficos

Em Corrêa (2012) temos que os trabalhos hidrográficos podem ser definidos como sendo os levantamentos topográficos efetuados para a obtenção da posição de pontos em leitos de água tais como rios, lagos, lagoas e ambientes oceânicos, além da determinação da variação do nível d'água em um reservatório ou em um curso d'água. O objetivo principal é o conhecimento da morfologia de fundo destes ambientes para a construção de cartas náuticas bem como para a planificação e controle de projetos de engenharia como pontes, túneis, barragens, portos e outros trabalhos relacionados à engenharia.

Segundo a portaria 53/MB (BRASIL, 2002), um levantamento hidrográfico compreende o “conjunto de trabalhos executados na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topogeodésicos, de ondas, de correntes e outros, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não”.

Na NORMAM-25/DHN (NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA para levantamentos hidrográficos) tem-se que “levantamento hidrográfico é toda a pesquisa em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais navegáveis, que tenha como propósito a obtenção de dados de interesse à navegação aquaviária. Esses dados podem ser constituídos por informações de batimetria, da natureza e configuração do fundo marinho, de direção e força das correntes, da altura e frequência da maré ou do nível das águas, e da localização de feições topográficas e objetos fixos que sirvam em auxílio à navegação”.

Na NORMAM-25/DHN, item II-Maregrafia, encontram-se disposições sobre:

- a) **Planejamento e reconhecimento de campo de um LH** (levantamento hidrográfico), que envolve a solicitação das fichas de descrição de estações maregráficas (F-41) das estações existentes na área de sondagem, a caracterização da estação principal (estação de

- referência), verificação da situação das referências de nível (RN) conforme F-41. Para sondagens distantes da estação principal é necessário um reconhecimento de campo, durante um período mínimo de 3 (três) dias, durante a maré de sizígia, e pré-levantamentos que permitam comparações que visam identificar possíveis diferenças na fase e/ou amplitude das marés, no nível médio e forma das curvas de maré entre vários pontos observados da área de sondagem. Procedimentos para sondagens de áreas muito extensas ou com variabilidade significativa nos níveis observados requerem a ocupação de mais de uma estação durante o LH com observações simultâneas.
- b) **Reocupação de estações maregráficas**, envolvendo a correta instalação da régua de marés, cujo comprimento é definido em função da amplitude da maré local, e também o nivelamento geométrico entre, pelo menos, três RNs e entre uma das RN e a régua graduada. Outro aspecto importante é a obtenção do registro da maré durante o todo o período de sondagem por meio de marégrafos, que podem ser tanto analógicos quanto digitais.
 - c) **Ocupação de estações maregráficas novas**, para o caso de não existirem estações maregráficas na área do LH, ou se foram destruídas, deve-se instalar o marégrafo digital e/ou analógico e régua maregráfica, para a inicialização e aferição das observações, e realizar a observação da maré durante o período mínimo de 32 dias consecutivos e ininterruptos. As novas RRNN deverão ser materializadas em local que garanta sua perenidade, seja de fácil acesso e facilmente reconhecido.
 - d) **Dados obtidos**: implica na confecção de planilhas para redução das profundidades, onde constam os dados observados (ou dados processados com os fatores de correção de fase e/ou amplitude de maré) já relacionados ao nível de redução (NR), com intervalos regulares de amostragem de no máximo 10 minutos.

Na sequência da NORMAM-25/DHN são apresentadas disposições para fluviometria (para mais detalhes, verificar em https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/downloads/normam/normam_25.pdf).

Como dito anteriormente, os levantamentos hidrográficos (LH) têm como objetivo principal a elaboração ou atualização de cartas e publicações náuticas. São realizados exclusivamente pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), através do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

As especificações e instruções técnicas pertinentes à execução dos levantamentos hidrográficos no Brasil são apresentadas pela DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação (Marinha do Brasil) – (2ª edição de 1998), que foram traduzidas de uma publicação especial número 44, 4ª. Edição da IHO (*International Hydrographic Organization – IHO S44, 1997*) (KRUEGER, 2005). Já o CHM (Centro de Hidrografia da Marinha) é o órgão responsável por planejar e validar os dados resultantes dos levantamentos hidrográficos que são destinados à construção das cartas náuticas sob a responsabilidade da DHN e os de interesse da Marinha (CHM, 2016).

3. Batimetria

Em grego, “*bathus*” significa profundo e “*metron*” medida.

A batimetria trata do conjunto dos princípios, métodos e convenções usados para determinar a medida do contorno, da dimensão relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais. Os levantamentos batimétricos têm por objetivo efetuar medições de profundidades que estejam associadas a uma posição da embarcação na superfície da água, as quais são necessárias em áreas marítimas, fluviais, canais, lagoas, etc, buscando representar estas áreas em uma carta, e desta forma conhecer o comportamento da morfologia de fundo de um rio, reservatório, canal ou de um oceano. Compreende assim uma abordagem planimétrica (X,Y) que fornece a posição da embarcação onde está a estação, e a obtenção das profundidades. As coordenadas (X,Y) são frequentemente obtidas por DGPS, irradiação, interseção à vante (conforme a situação), e as profundidades por sondagem.

As profundidades são necessárias para representação das isóbatas, possibilitando a visualização da topografia submersa e orientação para navegação. As medições da profundidade podem ser feitas de forma direta (uso do prumo de mão, máquina de sondar e estádias) ou indireta (emprego de sensores acústicos como o ecobatímetro monofeixe ou multifeixe, sensores eletromagnéticos espacial ou aerotransportado) (KRUEGER, 2005). Fatores que devem ser considerados: visibilidade, profundidade, aplicação, tempo para execução, dimensão da área, etc.

Assim como em todo trabalho de campo, um levantamento batimétrico necessita de um planejamento prévio das atividades envolvidas, desde a localização geral da área a ser levantada (rio, lago, reservatório, porção marinha), até o contato com os órgãos competentes. Após, parte-se para uma inspeção *in loco* para verificação das condições da área a ser explorada (estimativa de largura e profundidade, interferências antrópicas no meio ambiente, tais como projetos de hidrelétricas e barragens, construções como canais e pontes, etc). Após estas análises, define-se a metodologia e conseqüentemente os equipamentos e acessórios necessários.

Uma das grandes dificuldades nos levantamentos batimétricos consiste no controle do posicionamento planimétrico da embarcação de sondagem, uma vez que não é possível a materialização de pontos estáveis de observação, e também a repetibilidade das medições visando um ajustamento das profundidades (RAMOS, 2007).

Alguns fatores importantes a serem definidos num levantamento batimétrico:

- a) planejamento das linhas de sondagem, com verificação do espaçamento entre as mesmas, que é função da ordem do levantamento pretendido (precisão) e da profundidade *in loco*;
- b) as linhas de sondagem devem ter orientação transversal à direção predominante das linhas isobatimétricas;
- c) as linhas de sondagem devem ser dispostas de forma regular, e podem ser paralelas, circulares, radiais, em zigue-zague ou aleatórias. Esta escolha depende dos recursos materiais, objetivo do trabalho e recursos humanos disponíveis (UFPR, 2013); deve-se claramente definir os "Dadas" horizontais e verticais. No primeiro caso, pela legislação atual, deve-se realizar levantamentos em SIRGAS2000, ou em sistemas locais (por exemplo: Moela, Itajubá); no segundo caso deve-se ter conhecimento do nível médio do mar (local) e do nível de redução. As observações maregráficas são de extrema importância para o conhecimento e definição destes níveis (KRUEGER, 2005).

Exemplos de execução de levantamentos batimétricos podem ser encontrados em Ferreira et al (2012), o qual 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, e em Pacheco (2010), com um exemplo de topobatimetria de canal, no Lago Guaíba. Os levantamentos batimétricos também são importantes na avaliação de terrenos de marinha (GALDINO, 2012).

3.1 Metodologia direta

O método tradicional emprega o esticamento de cabos de aço, uso de embarcações (botes), medição da profundidade com uso de vara, anotação manual de dados em cadernetas de campo, etc (AZAMBUJA, 2012).

Para levantamentos batimétricos de áreas com pequena profundidade, pode-se usar a vara de sondagem que consiste de uma vara rígida graduada em centímetros (até 5 m de comprimento), geralmente de corpo cilíndrico, com extremos recobertos por uma lâmina metálica para proteção, que permite a medição da profundidade da água. Para auxiliar nesse método é usado um cabo de aço fortemente esticado entre as duas extremidades do corpo d'água, para que seja possível acompanhar o perfil desejado, evitando um possível deslocamento equivocado da embarcação. Este

cabo deve ter marcações com distâncias entre os pontos a serem levantados, convenientemente ao meio físico (largura do rio, tempo disponível para o trabalho, vazão d'água).

Este método tem como desvantagens:

- Catenária: relevante entre margens muito distantes;
- Tamanho da vara: inviável para águas mais profundas;
- Vazão do rio: correnteza do córrego, que causa deslocamento da posição vertical da vara;

Além disso, apresenta baixa produtividade e obtenção descontínua de dados, grande possibilidade de erros grosseiros, necessidade de muita mão de obra, restabelecimento de linhas base. (AZAMBUJA, 2012).

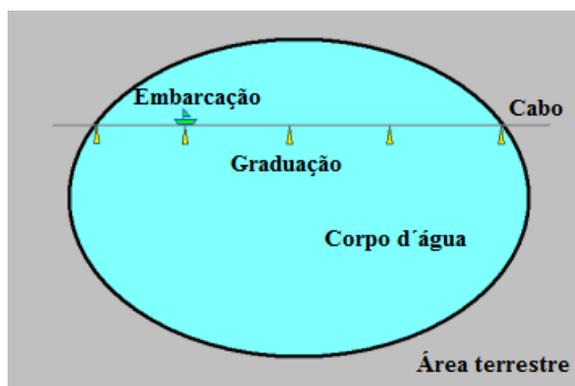


Figura 1 – Método direto

As vantagens são sua simplicidade e baixo custo, limitando-se a regiões de pequeno porte.

3.2 Metodologia Indireta

A aquisição da informação batimétrica é uma investigação indireta do fundo marinho (ou do leito de rios, reservatórios), com aferição da propagação de sinais acústicos.

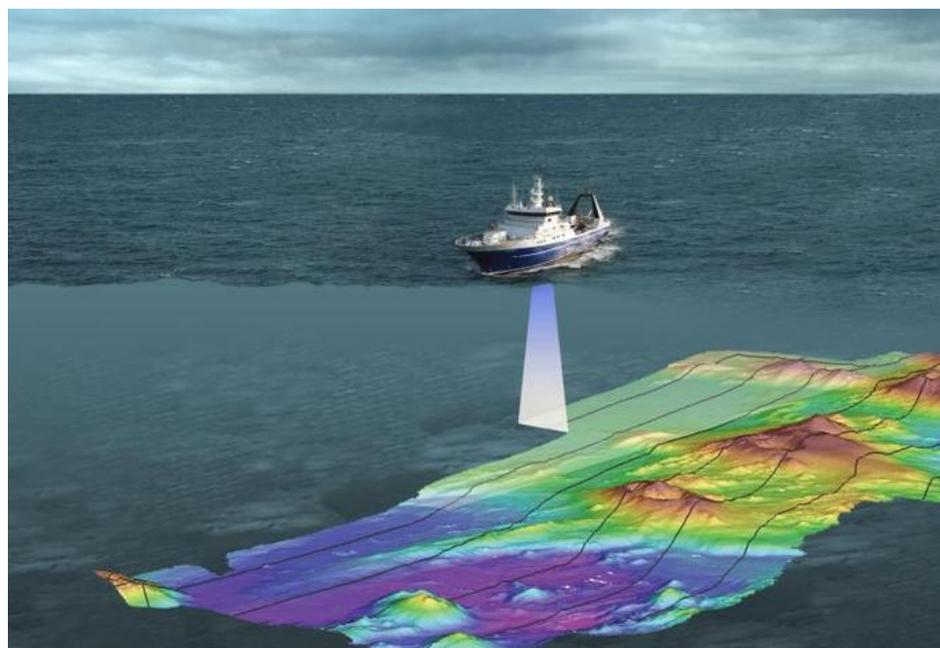


Figura 2 – Levantamento batimétrico – Fonte: SUBSEAWORDNEWS, 2016

O avanço da física e da eletrônica propiciou o surgimento de novas técnicas, entre elas o SONAR (*Sound Navigation and Ranging*), que permite a medição de distâncias sob a água. Já no caso dos levantamentos batimétricos modernos, os mesmos recorrem ao uso de ecobatímetros monofeixe, ecobatímetros multifeixe (figura 2), varreduras aéreas por LASER, imagens de

sensoriamento remoto, sendo que as duas últimas apresentam mais restrições quando há sedimentos na água.

O uso dos ecobatímetros é a principal fonte de dados. Entretanto pode-se recorrer também ao ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*).

3.2.1 ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

O ADCP é um equipamento acústico de medição de vazão que utiliza o efeito Doppler (mudança observada na frequência de uma onda qualquer resultante do movimento relativo entre a fonte e o observador) transmitindo pulsos sonoros de frequência fixa, e que alguns o empregam para a realização de levantamentos batimétricos por permitir a medição da água em diferentes verticais. Quatro feixes são utilizados para a coleta das profundidades de modo independente. A profundidade utilizada é determinada a partir da média das profundidades medidas de cada feixe acústico inclinado com a perpendicular (4 feixes conforme figura 3). Entretanto, estudos mostraram que uso da média da profundidade coletada de cada feixe acústico do equipamento Doppler possibilita conclusões errôneas (menores profundidades em canais artificiais por exemplo), devendo seu emprego ser analisado com cuidado (TÚLIO, S. et al, 2011). O ADCP permite também estimar a carga sedimentar que ocorre numa região submersa.

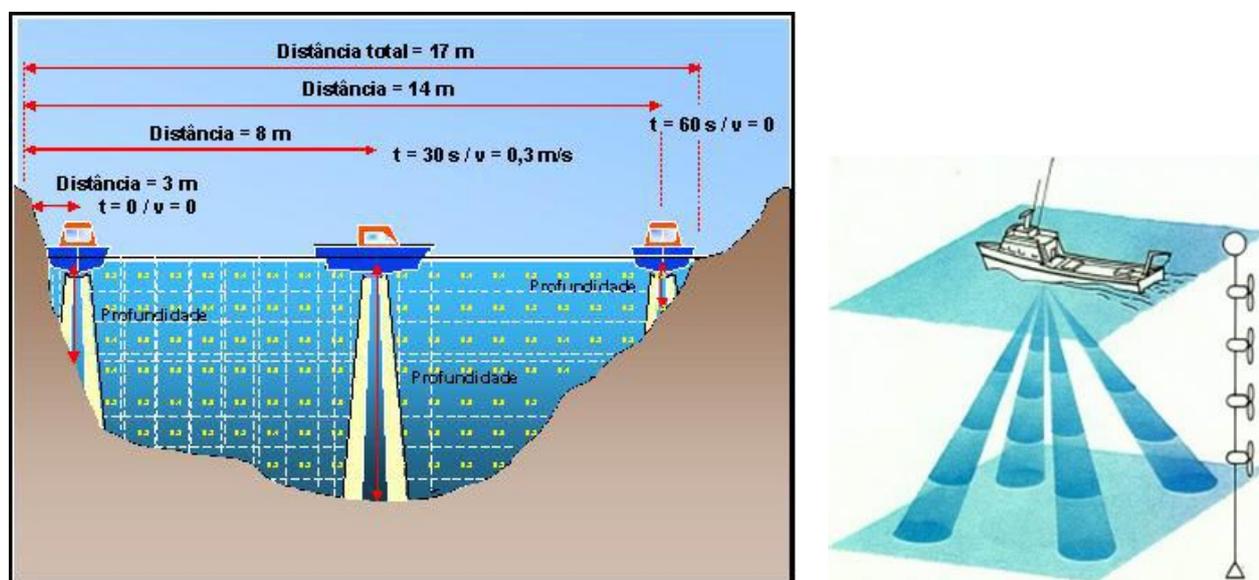


Figura 3 – Funcionamento do ADCP - Fonte: LTG, 2013.

3.2.2 Ecobatímetros

Os dados de batimetria consistem de posição e profundidade. São utilizadas embarcações equipadas com receptores DGPS (medida da posição), ecobatímetros (medida da profundidade) associados a sensores para determinação da velocidade do som na água, sensores de atitude (medem movimento da embarcação nos 3 eixos) (CHM, 2015).

O surgimento dos ecobatímetros permitiu maior agilidade e rapidez nos levantamentos que envolvem a batimetria.

O ecobatímetro é um aparelho que produz um feixe de ondas sonoras (frequência menor que 18 KHz) ou ultra sonoras (frequência maior que 18 KHz) transmitido verticalmente por um emissor instalado na embarcação de sondagem chamado de transdutor, que atravessa o meio líquido até atingir o fundo submerso, onde é refletido. O sinal retorna à superfície, onde é detectado por um receptor. Faz-se a conversão do tempo que é decorrido desde a emissão do sinal e a recepção do eco refletido do fundo submerso em profundidade, uma vez que a velocidade do som na água é conhecida (aproximadamente 1500 m/s). Basicamente, um ecobatímetro é composto de:

transmissor, receptor, amplificador, registrador, transdutor e comando de transmissão (vide figura 4). A partir de intervalos de tempos constantes, o comando de transmissão envia um pulso ao transmissor, que recebendo este sinal, envia ao transdutor como um pulso de energia elétrica de potência muito maior que a recebida. Por sua vez, o transdutor de recepção transforma a energia elétrica em sonora. O eco refletido pelo fundo submerso impressiona o transdutor de recepção, o qual efetua a transformação da energia sonora em elétrica, que é finalmente enviada ao medidor de intervalo de tempo onde é medido o intervalo entre a emissão do pulso e a recepção do eco. Este intervalo de tempo é transformado diretamente em profundidade e apresentado no registrador de forma visual ou gráfica. (MIGUENS, 1996; KRUEGER, 2005).

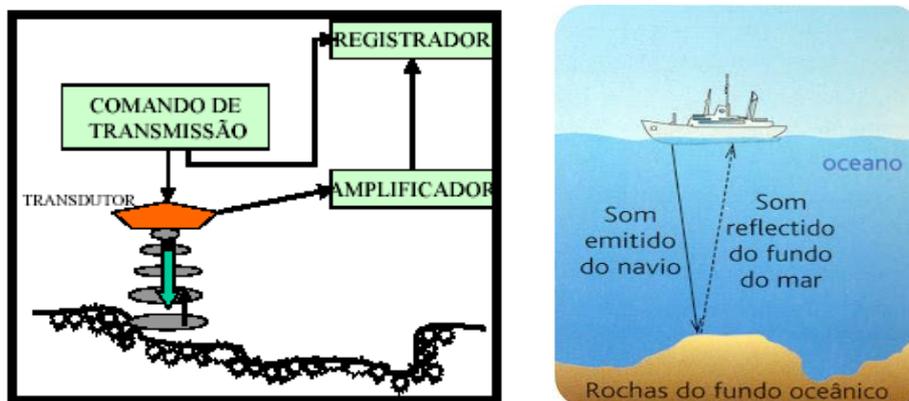


Figura 4 – Princípio de funcionamento de um ecobatímetro (KRUEGER, 2005, MIGUENS, 1996)

Variáveis que podem interferir no levantamento com ecobatímetro no que se refere à propagação da onda: salinidade da água, temperatura da água, quantidade de sedimentos em suspensão, forte turbulência do córrego. Como a densidade da água não é constante, mas depende de três fatores principais que são a temperatura, a pressão e a salinidade, é preciso minimizar a influência desses parâmetros, buscando uma melhor precisão das medidas de profundidade. Para isso, faz-se necessário realizar uma calibração do ecobatímetro (IHO, 2005).

Possíveis desvantagens do emprego de ecobatímetros são: presença de muitos sedimentos com distorção da profundidade real; alto custo; necessidade de mão-de-obra qualificada. Já as vantagens são: melhor precisão, rapidez de execução do levantamento e do processamento de dados. A geração de ecogramas dispensa anotações manuais, sendo possível, dependendo do tipo de equipamento, conhecer o perfil do fundo do rio, lago, etc, ao longo de uma seção específica.

Resumidamente, pode-se afirmar que o princípio fundamental de um ecobatímetro consiste na emissão de um feixe de ondas sonoras transmitidas por um emissor instalado na embarcação, o qual atinge o fundo submerso e reflete, retornando à superfície, onde é detectado por um receptor.

Para a determinação da profundidade no local, de forma simplificada, emprega-se a equação 1 (IHO, 2005):

$$p = v_{H2O} (t_r - t_e)/2 \quad (1)$$

onde:

p – profundidade medida (em m);

v_{H2O} – velocidade do som no meio (ou função que representa essa velocidade em m/s);

t_e , t_r – instante (em seg) da emissão e recepção do pulso emitido pelo ecobatímetro respectivamente.

A frequência do pulso permite definir o alcance do mesmo, bem como sua penetração nos sedimentos. O alcance de um pulso é inversamente proporcional à sua frequência, o que implica que as frequências mais altas são usadas em menores profundidades, e as mais baixas para maiores

profundidades (PACHECO, 2012). A tabela seguinte (IHO, 2005), apresenta alguns valores padrão de frequência e suas aplicações.

Frequência	Aplicação
> 200 kHz	Medição de profundidades até 100 m
50 kHz ~ 200 kHz	Medição de profundidades até 1.500 m
12 kHz ~ 50 kHz	Medição de profundidades maiores que 1.500 m
< 8 kHz	Verificação de sedimentos

Tabela: valores padrão de frequência do ecobatímetro e aplicação. Fonte: IHO, 2005

Sobre a velocidade, os ecobatímetros atuais permitem a introdução e o ajustamento da velocidade durante o levantamento, evitando a introdução de um erro sistemático, na obtenção da profundidade. Geralmente, encontram-se junto às especificações técnicas do ecobatímetro os valores tabelados das velocidades de propagação do som na água em função destes parâmetros da água (temperatura, salinidade e pressão) (KRUEGER, 1999).

As figuras seguintes (5 e 6) apresentam a realidade de cada um dos 2 tipos de ecobatímetros:

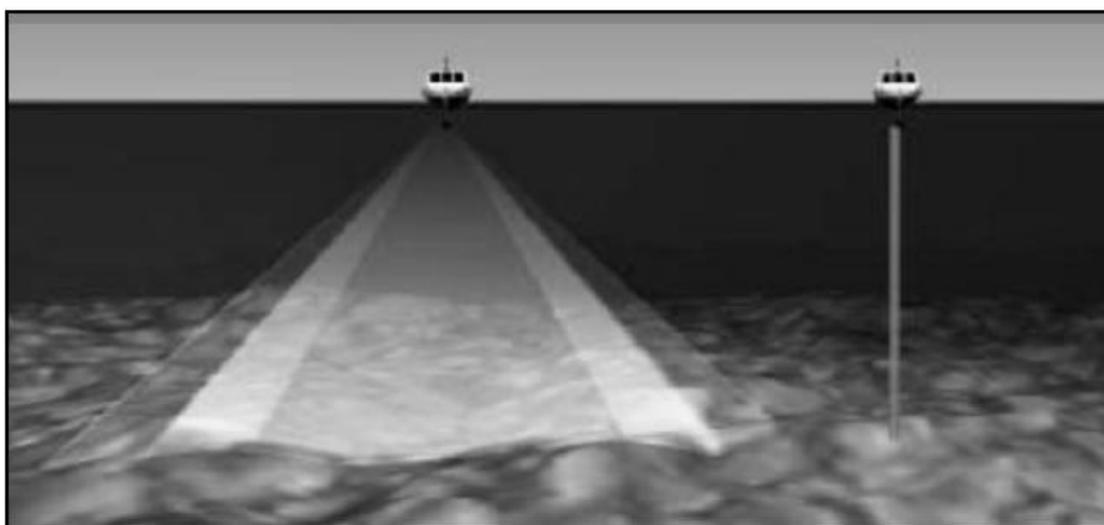


Figura 5 – Ecobatímetro multifeixe e monofeixe – Fonte: MATOS, A.J.S., 2012

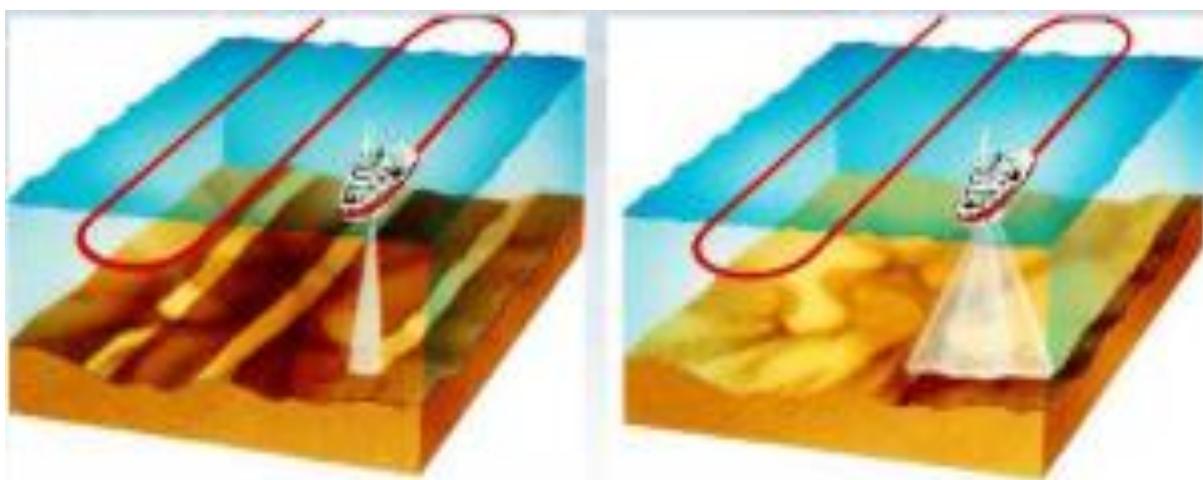


Figura 6 – Levantamento monofeixe (à esquerda) e multifeixe (à direita), Fonte: KEARNS and BREMAN et al, 2010

3.2.2.1 Ecobatímetro monofeixe

O sistema monofeixe (figura 7) emite pulsos verticalmente para baixo a uma largura de feixe e taxa constante predefinida pelo operador. Os ecobatímetros de monofeixe possibilitam uma precisão a nível submétrico em águas rasas. Há no mercado uma variedade de equipamentos com diferentes especificações técnicas referentes a diferentes frequências e taxas de transmissão de pulsos sonoros (KRUEGER, 2005).

Os sistemas batimétricos com ecobatímetros monofeixe efetuam um único registro de profundidade a cada pulso acústico (*ping*) emitindo pulsos de forma contínua, resultando em linhas ou seções batimétricas levantadas no percurso da navegação. Sua principal vantagem são menores custos e menor tempo de processamento. Sua precisão está associada com os equipamentos auxiliares acoplados ao sistema, podendo-se chegar a níveis subdecimétricos (alta precisão).

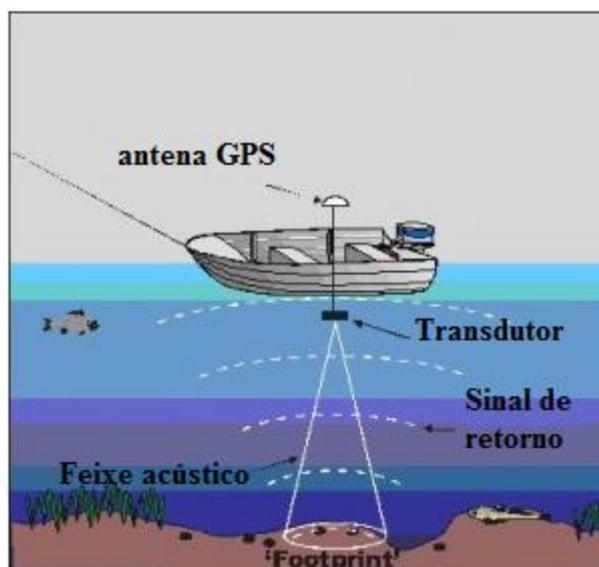


Figura 7 – Ecobatimetria monofeixe – Fonte: Adaptado de PENROSE et al, 2005.

Os ecobatímetros monofeixe (*singlebeam*) medem a lâmina d'água logo abaixo da embarcação. Desta forma, a fonte acústica emite um sinal vertical ao longo da linha de investigação, sendo que para se obter um mapa batimétrico da área de estudo, é preciso uma grande quantidade de perfis paralelos entre si e com um menor espaçamento possível, que por sua vez depende do nível do grau de detalhes do levantamento. Ainda assim, é possível que algumas informações importantes sobre a superfície do fundo não sejam coletadas. A geração do mapa batimétrico só é possível após o processamento dos dados dos perfis executados.

Quanto às atividades com batimetria envolvendo o ecobatímetro monofeixe, têm-se as seguintes disposições (adaptado de DHN, 2014):

“– Batimetria Monofeixe NOVA VERSÃO 2014

a) sempre determinar os valores de *offset* entre os sensores dos diversos sistemas instalados à bordo, fazendo constar no Relatório Final. Estes valores podem ser medidos com o navio ou embarcação na água. Estabelecer um ponto de referência no casco para auxiliar na medição da profundidade de imersão do transdutor (*waterline*) durante o período da sondagem. Fazer a verificação diária desta imersão e efetuar sua correta configuração no sistema de sondagem;

b) configurar o ecobatímetro monofeixe com os valores corretos de velocidade do som para a área de sondagem, propiciando o cálculo correto das profundidades. Para isso, pode-se usar um perfilador de velocidade do som lançado na área de sondagem ou uma barra de calibragem;

c) para efeito de verificação da conformidade na configuração dos “*offsets*” do ecobatímetro, quando for usado o perfilador de velocidade, também deve ser medida a profundidade com o prumo

de mão antes do início da sondagem (a qual deve prumo deve estar coerente com a profundidade medida pelo sistema de sondagem), sendo lançado o mais próximo possível do transdutor;

d) usar sensores de *heave* sempre que se realizarem sondagens onde os efeitos de mar forem significativos, podendo causar a degradação da qualidade de medição das profundidades devido ao movimento de arfagem da embarcação, prejudicando a obtenção da qualidade dos dados batimétricos, que é estabelecida nas especificações S-44 da OHI;

e) empregar métodos de posicionamento que atendam a incerteza horizontal total (IHT) definida pela publicação S-44 da OHI, ou seja:

- LH Ordem 1b: 5 metros + 5% profundidade; e

- LH Ordem 2: 20 metros + 10% profundidade.

f) adotar linhas de sondagem regulares dispostas perpendicularmente às linhas isobatimétricas da área, com o seguinte espaçamento entre linhas (conforme estabelecido na publicação S-44, 5ª edição, da OHI):

- LH Ordem 1b: 3 vezes a profundidade média ou 25 metros (o que for maior); e

- LH Ordem 2: 4 vezes a profundidade média.

g) caso sejam detectados perigos a navegação, realizar pesquisa de perigo, adensando o espaçamento das linhas de sondagem sobre o perigo, a fim de possibilitar a delimitação do mesmo (listagem de coordenadas) e a definição de sua profundidade mínima;

h) nos extremos da área levantada, avaliar a concordância entre as linhas isobatimétricas determinadas no LH e aquelas representadas na carta náutica de maior escala, de forma a garantir a continuidade da representação. Caso sejam verificadas grandes discrepâncias, estender a sondagem além da área inicialmente estabelecida, até que se verifique a concordância entre elas, podendo empregar linhas de sondagem espaçadas com maior afastamento;

i) efetuar coleta de amostras geológicas na área sondada, a fim de definir com precisão a natureza do fundo, especialmente quando a área sondada tiver potencial de ser empregada como fundeadouro e ao longo dos pontos críticos dos canais de acesso aos portos. Tal procedimento adquire especial importância quando visa confirmar ou refutar a existência de substratos de natureza rochosa ou quando associado a uma varredura de sonar de varredura lateral que permita correlacionar o tipo de fundo ao padrão de intensidade do registro;

j) executar linhas de verificação (LV) dispostas de modo aproximadamente perpendicular às linhas regulares de sondagem, para possibilitar a detecção de erros grosseiros ou sistemáticos. Adotar afastamento entre as LV de até 15 vezes o adotado para as linhas regulares de sondagem. No caso de sondagem de canais de acesso a portos, executar, obrigatoriamente, uma LV ao longo da parte central do canal.

k) nos casos de levantamentos monofeixe classificados como ordem 1b (de acordo com a publicação S44 da OHI), a incerteza vertical total (IVT), que corresponde à diferença entre a sondagem regular e a sondagem da linha de verificação, não deve ultrapassar os valores limites listados no gráfico abaixo (figura 8), conforme a profundidade do local do levantamento:

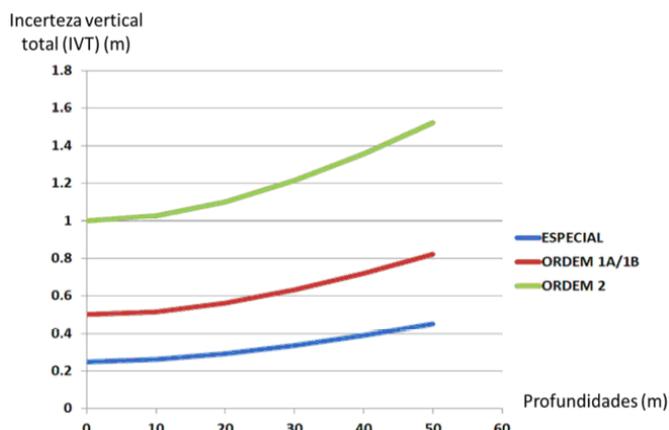


Figura 8 – Valores máximos da incerteza vertical total (IVT) para diferentes ordens de levantamentos em função das profundidades das áreas de sondagem – Fonte: DHN, 2014

l) tais incertezas verticais totais (IVT) são provenientes das incertezas dos sensores do sistema de sondagem (ex. posição, ecobatímetro, marés, etc). Os arquivos (brutos e editados) relativos às LV devem ser gravados em separado dos arquivos relativos às linhas regulares de sondagem;

m) durante o processamento batimétrico, deve-se usar os ecogramas como base para a edição dos dados digitais; e

n) gerar plantas batimétricas distintas para as linhas regulares de sondagem e linhas de verificação, de modo a viabilizar a comparação entre elas.”

O emprego de embarcações menores com ecobatímetros monofeixe para efetuar a sondagem é recomendado para trechos mais rasos, situações onde o ecobatímetro multifeixe perde eficiência.

3.2.2.2 Ecobatímetro multifeixe

A densidade de dados obtidas a partir dos ecobatímetros multifeixes é muito maior se comparada aos dados de monofeixe. Possibilitam também obter uma medição com alta precisão da espessura coluna d'água. A sua grande vantagem é a possibilidade de disponibilizar em tempo real a geração do mapa topográfico da região levantada.

Os ecobatímetros multifeixe (*multibeam*) efetuam várias medidas de profundidade com um mesmo *ping*, que é emitido por múltiplos feixes, que são arranjados angularmente de maneira a mapear áreas contíguas na direção perpendicular à navegação, propiciando levantar faixas extensas (variando com a profundidade) do fundo, atingindo elevada resolução da área levantada. Assim, o mapeamento contínuo de uma área no fundo é realizado pela "ensonificação" de subáreas que são chamadas "*foot-Print*". O conjunto formado por essas subáreas é a cobertura lateral ou "*swath*" (SILVEIRA, 2004).

É recomendado para levantamentos onde é necessário um alto nível de detalhamento da superfície do fundo ou uma ensonificação completa do fundo (levantamentos de ordem especial – OHI S44, canais de navegação, localização de obstáculos e objetos, instalação de dutos submersos).

Pela complexidade do processo de aquisição dos dados, é fundamental o emprego de vários equipamentos de auxílio para posicionamento e medição da velocidade do som na água, o que representa maiores custos nos equipamentos e nas atividades de processamento, havendo em contrapartida, resultados com alta resolução e precisão.

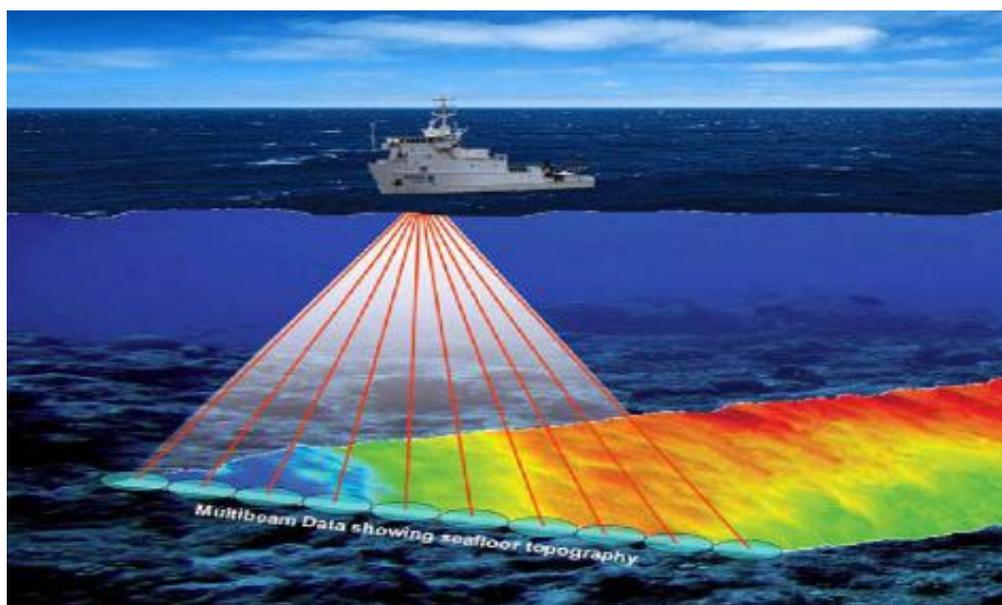


Figura 9 – Batimetria multifeixe – Fonte: GSS – GEOSPACE SURVEY SERVICES, 2016.

No ecobatímetro multifeixe, o ângulo varia normalmente de 90 a 220 graus, adequado para maiores profundidades (reservatórios com mais de 10 m de profundidade), sendo que os feixes mais externos são mais suscetíveis a erros, sendo necessária uma calibração antes da coleta de dados.

Os ecobatímetros multifeixe apresentam um grande potencial no sentido de permitir a verificação precisa e integral do fundo marinho. Na figura seguinte, observa-se um fundo de mar obtido com o ecobatímetro multifeixe, onde se nota uma elevação de 8 metros (Pedra do Pescador-Macaé-RJ). Na visualização planimétrica desse fundo de mar constata-se que ela apresenta dimensões de 60 metros de largura por 450 metros de comprimento (DHN, 2014, KRUEGER, 2005).

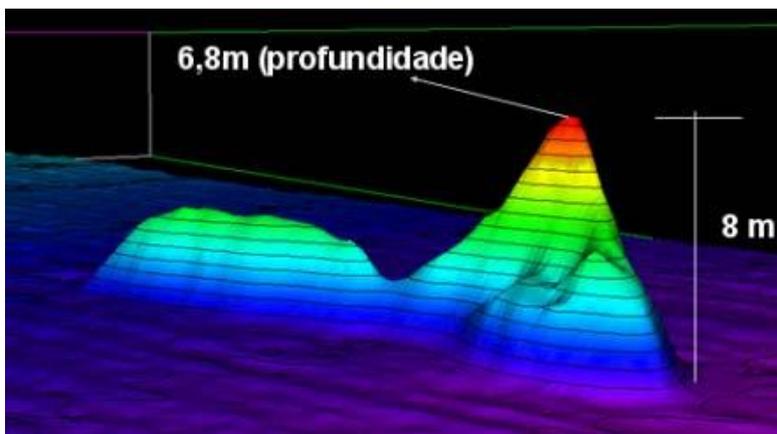


Figura 10 – Visualização de um fundo de mar com um ecobatímetro multifeixe – Fonte: DHN, 2014.

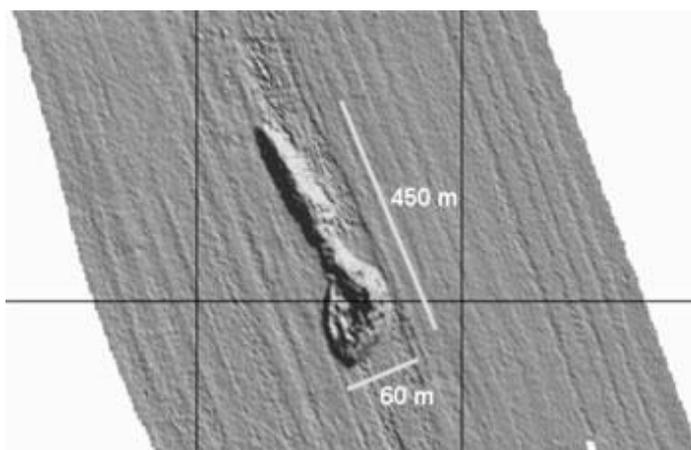


Figura 11 – Visualização planimétrica do fundo de mar com um ecobatímetro multifeixe – Fonte: DHN, 2014

O emprego dos sistemas batimétricos de multifeixe é de fundamental importância nos estudos geológicos de uma área, pois a análise dos mapas gerados a partir dessas informações batimétricas permite a observação das características morfológicas, tais como, afloramentos rochosos, estruturas na superfície de fundo, canais etc. Visando levantamentos de mais alta resolução (investigações feitas com o sonar de varredura lateral), estas informações em conjunto com os dados de batimetria aprimoram a qualidade dos resultados.

Para atividades com ecobatímetro multifeixe, tem-se as seguintes disposições (DHN, 2014):

“ **Batimetria Multifeixe** (material adaptado da nova versão DHN,2014)

a) sempre determinar os valores de *offset* entre sensores componentes do sistema multifeixe (antenas giro-GPS, sensor de movimento, transdutores, antenas dos posicionadores, etc.), e estabelecer um ponto de referencia no casco para auxiliar na medição da profundidade de imersão do transdutor (*waterline*) durante o período da sondagem;

b) todos os valores de *offset* medidos em terra e os valores de imersão do transdutor diários devem ser registrados de maneira explícita no Relatório Final;

c) efetuar a calibração do ecobatímetro (*patch test*) antes do levantamento e informar os valores de calibragem no relatório final;

d) realizar testes para medição do *squat* do navio, onde serão definidos os valores de variação vertical da embarcação em função das diferentes velocidades usadas para a sondagem. Para as embarcações menores, este efeito é menos relevante;

e) adquirir perfis de velocidade do som durante o levantamento toda vez que for observada perda na qualidade dos dados por problemas de refração dos feixes externos. Neste caso, se notará a ocorrência de perfis sorrindo ou chorando (figura 12), que podem causar uma degradação nas medições das profundidades que ultrapassam os limites máximos especificados para a Ordem de Levantamento (S-44-OHI) pretendida para o LH que se está executando;

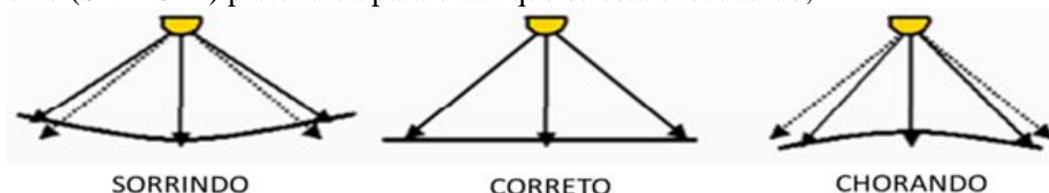


Figura 12 – Perfis de ensonificação dos feixes – Fonte: DHN, 2014

f) para minimizar este problema, recomenda-se dividir as áreas de sondagem muito extensas em subáreas que apresentem características de massas d'água similares (ex.: dentro e fora do canal, a frente e atrás de uma ilha, etc.) e buscar executar as medições de velocidade do som em cada uma dessas áreas, antes do início do levantamento e a medida que houver necessidade;

g) para o cálculo da refração sofrida pelos feixes em sua propagação na coluna d'água, os sistemas multifeixe também devem dispor de um sensor de velocidade do som instalado próximo ao seu transdutor, para medição da velocidade do som continuamente, nas diferentes profundidades, permitindo que o sistema execute o correto direcionamento dos feixes quando estes forem transmitidos pelos transdutores. Os ecobatímetros monofeixe usam valores da média harmônica.

h) apenas para efeito de verificação da conformidade na configuração dos *offsets* do multifeixe, também se sugere efetuar uma medição da profundidade com o prumo de mão, sendo lançado o mais próximo possível do transdutor;

i) empregar métodos de posicionamento que atendam a incerteza horizontal total (IHT) definida pela publicação S-44 da OHI, ou seja:

- LH Ordem Especial: 2 metros; e
- LH Ordem 1a: 5 metros + 5% profundidade.

j) adotar linhas de sondagem regulares dispostas de modo paralelo às linhas isobatimétricas da área. No caso do levantamento se enquadrar como Ordem Especial ou 1a, de acordo com a S-44, as linhas regulares de sondagem deverão ter superposição de 100%, ou seja, o feixe central de uma linha deverá ser superposto pelo feixe mais externo da linha adjacente. No caso de ser enquadrado como ordem 1b ou 2, a superposição deverá ser, no mínimo, de 10%;

k) durante a sondagem regular, executar contínuo controle da qualidade dos dados. Para tal, monitorar constantemente a coincidência entre as linhas de sondagem adjacentes;

l) o monitoramento dos dados também serve para verificar a qualidade dos dados obtidos pelos ecobatímetros, pois equipamentos mais antigos ou de menor qualidade adquirem dados bastante ruidosos;

m) caso sejam detectados perigos à navegação, realizar pesquisa de perigo, adensando o espaçamento das linhas de sondagem, ensonificando o perigo com os feixes centrais do ecobatímetro e percorrendo com mais de uma linha de sondagem por sobre o perigo, a fim de possibilitar a delimitação do mesmo e a definição de sua profundidade mínima.

n) nos extremos da área levantada, avaliar a concordância entre as linhas isobatimétricas determinadas no LH e aquelas representadas na carta náutica de maior escala, de forma a garantir a continuidade da representação;

o) efetuar coleta de amostras geológicas na área sondada, a fim de definir com precisão a natureza do fundo, especialmente quando a área sondada tiver potencial de ser empregada como fundeadouro e ao longo dos pontos críticos dos canais de acesso aos portos. Tal procedimento adquire especial importância quando visa confirmar ou refutar a existência de substratos de natureza rochosa ou quando associado a uma varredura de sonar de varredura lateral que permita correlacionar o tipo de fundo ao padrão de intensidade do registro;

p) executar linhas de verificação (LV) dispostas de modo, aproximadamente, perpendicular às linhas regulares de sondagem, para possibilitar a detecção de erros grosseiros ou sistemáticos. Adotar um afastamento entre as LV de até 15 vezes o adotado para as linhas regulares de sondagem. Os arquivos (brutos e/ou editados) relativos às LV devem ser gravados em separado dos arquivos relativos às linhas regulares de sondagem;

q) efetuar a verificação da qualidade final da sondagem, por meio de ferramentas de controle de qualidade disponíveis nos programas de processamento, informando os resultados alcançados no Relatório Final do levantamento; e

r) na fase de processamento dos dados, realizar a retirada dos dados espúrios. Ressaltando-se que as profundidades mais rasas detectadas e validadas devem ser usadas para gerar a superfície batimétrica final do levantamento, que será reproduzida em planta batimétrica, não sendo autorizada a utilização das profundidades médias neste caso. No exemplo da figura seguinte (figura 13), demonstram-se dois tipos de erros cometidos na edição dos dados de sondagem multifeixe, sendo eles: eliminação das profundidades mínimas e de alto fundo detectado na sondagem”.

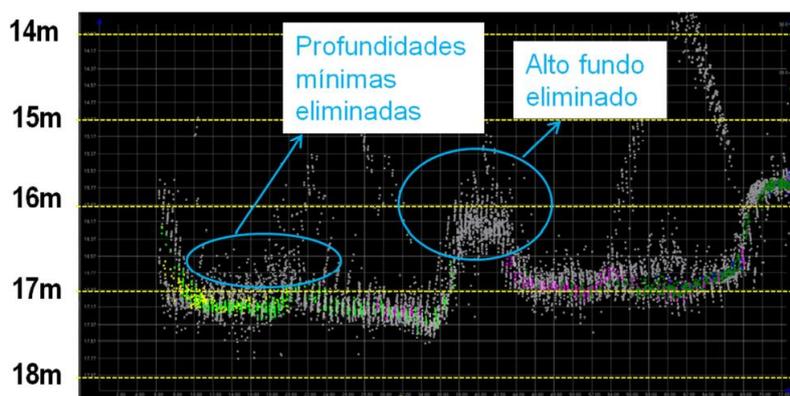


Figura 13 – Exemplo de erros ocorridos na edição de dados multifeixe – Fonte: DHN, 2014

A geometria de aquisição da ecobatimetria multifeixe pode ser vista na figura seguinte.

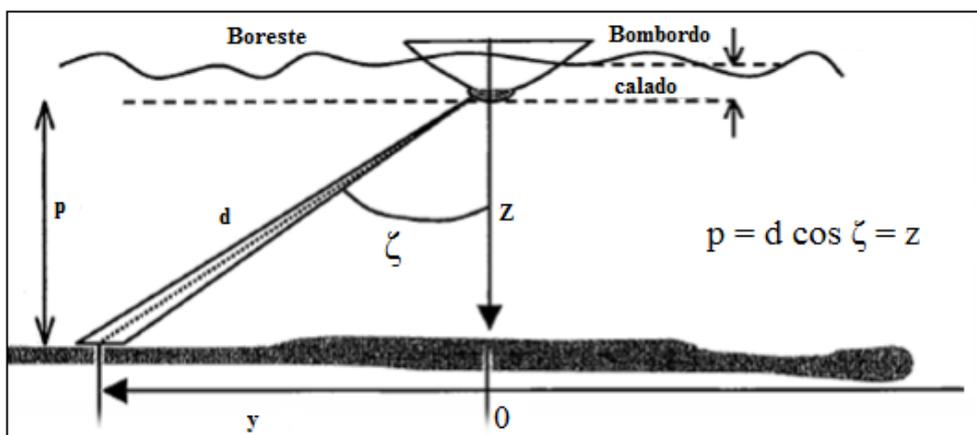


Figura 14 – Geometria de aquisição de dados. Fonte: SILVEIRA, 2004

Na figura anterior tem-se que:

ζ - ângulo entre o centro do feixe acústico e a vertical;

d – distância entre o transdutor e o alvo;

y – distância entre o centro da área de incidência do feixe acústico e a projeção do nadir na vertical;

p – profundidade local abaixo do transdutor.

Segundo Silveira, 2004, a distância lateral y e a profundidade p podem ser calculadas quando é conhecida a trajetória do feixe acústico. Os valores medidos dos tempos de propagação do raio acústico são convertidos em cotas batimétricas, ou ainda, a conversão desses valores em profundidade e posição é feita por meio de translações e rotações.

A etapa do processamento dos dados multifeixe, após eliminar vários tipos de erros, busca gerar um modelo digital do terreno (MDT). O programa CARIS HIPS (*Hydrographic Information Processing System* - Sistema de Processamento Hidrográfico), versão 5.4 desenvolvido pela CARIS – *Universal System*, é um exemplo de *software*, e que foi usado por Simões (2007) nos estudos para definição da morfologia detalhada do fundo marinho ao largo da laguna de Araruama e Arraial do Cabo-RJ.

Antes da correção e validação dos dados, aplica-se a correção da maré, e o processamento se inicia com a eliminação dos erros de navegação e atitude. A velocidade da embarcação, o rumo seguido e a distância entre os pontos de aquisição são exibidos pela tela do editor de navegação. Já o editor de atitude da embarcação mostra as medidas dos movimentos de arfagem, caturro, balanço e cabeceio (*heave, pitch, roll* e giro) da embarcação. As informações oriundas do posicionador, do sensor de movimento, da agulha giroscópica e do transdutor são armazenados individualmente, tendo como indexador o instante (tempo) de aquisição (SIMÕES, 2007).

A posição de cada feixe no fundo do mar é definida a partir da integração das informações de posição da embarcação, de velocidade do som, do sensor de movimento e da agulha giroscópica. Deve-se checar os valores de velocidade do som inseridos no sistema, o que é feito através de lançamentos do perfilador de condutividade, temperatura e pressão durante a fase de aquisição dos dados. Com os dados de temperatura e salinidade da água do mar, são gerados perfis da velocidade do som para inserção no sistema.

Entretanto, o traçado do eco dos feixes externos pode apresentar distorções, com variações entre um perfil e outro, que podem ser minimizadas com a sobreposição lateral dos feixes. Caso persistam, devem-se eliminar os feixes externos. Visando-se eliminar os erros sistemáticos e grosseiros, procede-se uma filtragem dos dados. Sendo a profundidade na área sondada variável, pode-se aplicar uma filtragem única para todas as linhas com valores de profundidade menores que 20 m e maiores de 150 m (por exemplo).

Como critério para eliminar o efeito negativo causado pela refração do som e pela falta de confiabilidade dos feixes externos, eliminam-se os feixes 1 a 5 e 55 a 60 além dos ângulos de incidência do feixe maiores que 75°, para varredura mencionada anteriormente.

O cálculo do modelo digital do terreno (MDT) preliminar é feito para a área geográfica pré-definida, com posterior análise estatística e adequação polinomial para cada unidade que melhor reproduza a morfologia do fundo. Para finalizar, faz-se uma análise visual subjetiva visando eliminar os dados espúrios remanescentes.

Segundo Simões (2007), os principais cuidados gerais necessários no emprego do ecobatímetro multifeixe são:

- Adotar linhas de sondagens paralelas às isóbatas;
- Afastamento entre linhas de sondagens = metade da largura da varredura => superposição de 100% + ensonificação do fundo marinho de 200% (tudo imageado 2x);
- Trechos mais rasos causam menor eficiência do multifeixe, e recomenda-se o monofeixe;
- Dados do multifeixe mais complexos => exige um processamento mais sofisticado;
- Batimetria depende basicamente da alta precisão do posicionamento e altitude da embarcação;

- Monitorar a variação da velocidade do som na água, que depende da salinidade, pressão e temperatura da água;
- Corrigir efeitos causados pelo movimentos das ondas e da embarcação.

Pode-se afirmar que a evolução do método tradicional de sondagem culminou com o surgimento do ecobatímetro multifeixe, que efetua a medição das profundidades sobre uma faixa, e não somente ao longo da linha de sondagem (como no método tradicional), obtendo uma riqueza de dados de profundidade, cobrindo o leito submarino, delimitando possíveis perigos e melhorando a qualidade das informações representadas nas cartas náuticas (CHM, 2015).

A figura 15 apresenta mais um exemplo de informações obtidas por tecnologia multifeixe.

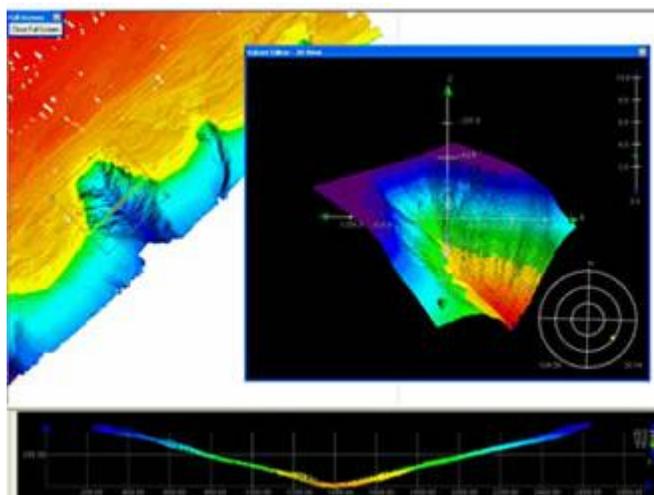


Figura 15 – Batimetria multifeixe – Fonte: CHM, 2015

3.3 Exemplos de aplicações de dados batimétricos

Os dados obtidos de levantamentos batimétricos são geralmente usados no estudo de bacias de evolução, avaliação da segurança dos canais de navegação, cálculos de volumes de sedimentos, dragagem com a retirada de material depositado, instalação de dutos, estudos e projetos de portos, etc. Em se tratando de dados obtidos através de levantamentos batimétricos automatizados, os mesmos podem ser empregados na modelagem e gestão de recursos hídricos, uma vez que possibilita estimar o grau de assoreamento, calcular volumes de armazenamento, 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). Assim, pode-se afirmar que os mapas batimétricos são subsídios importantes na realização de estudos relativos à erosão, sedimentação, projetos ambientais e de infraestrutura, construção civil, qualidade da água, etc.

Neste sentido constata-se a importância da disposição das linhas de sondagem. Os objetivos da sondagem são: a construção ou atualização das cartas náuticas, trabalhos de reconhecimento hidrográfico, acompanhamento de dragagens, construção de diques, etc.

Matos (2012) afirma que para um bom gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica é importante o conhecimento da curva CAV (Cota-Área-Volume). A relação CAV é uma variável básica na definição de regras operacionais de um reservatório, também usada na determinação de volume de reservatórios em sistemas de controle de cheias e abastecimento de água. Com o processo de assoreamento de um reservatório é preciso a atualização desta relação com certa frequência, através de levantamentos batimétricos. Neste caso, quanto mais espaçadas forem as seções batimétricas, maiores serão as falhas na modelagem do terreno e nas curvas CAV.

Ferreira et al (2012) realizaram um levantamento batimétrico automatizado aplicado à gestão de recursos hídricos através de um estudo de caso envolvendo o represamento de um ribeirão

na região de Viçosa-MG. Foi feita a modelagem do relevo submerso e cálculo do volume de água do reservatório e obtida a relação cota x volume de represamento. A metodologia mostrou-se de custo relativamente baixo, reduzido tempo de execução e com alto grau de eficiência.

Outra aplicação de dados batimétricos está na derivação de critérios morfológicos empregados na definição jurídica da extensão da plataforma continental (recorre à definição e determinação de duas feições: a base do talude e o contorno da curva isobatimétrica de 2.500 m) (MARTINS & NUNES, 2006). Os autores utilizaram dados topobatimétricos do modelo ETOPO2 para uma área próxima à chamada Elevação do Rio Grande, para conferência da modelagem batimétrica do fundo oceânico já obtida anteriormente por técnicas convencionais.

Gomes (2009) utilizou dados batimétricos integrados à dados de imagem Landsat7 para reproduzir a arquitetura da superfície fluvial numa área situada na plataforma continental do Rio Grande do Norte, que constitui a região do Vale Inciso do Rio Açu. Foram empregados em conjunto dados de sísmica de alta resolução visando obter informações sobre a estratigrafia rasa da região, profundidade, espessura de superfícies limítrofes e unidades sismoestratigráficas.

4. Definição da posição da embarcação

As medições de profundidade devem estar associadas a uma posição na superfície da água. A obtenção da posição da embarcação traduz o processo de georreferenciamento submarino. Contudo, a embarcação está sujeita a uma série de movimentos que devem ser considerados durante a sondagem.

4.1 Movimentos de uma embarcação

Com a incidência das ondas, uma embarcação sofre movimentos translacionais e rotacionais. A embarcação desloca-se sobre uma superfície móvel, sendo necessário medir e calcular seu movimento para obter sua posição e posterior transporte de coordenadas para o fundo submarino.

Estes movimentos da embarcação são descritos de acordo com um sistema tridimensional local de coordenadas cartesianas com origem no centro de massa da embarcação (ponto sobre o qual o peso da mesma é igualmente distribuído e em torno do qual ocorre a rotação), na altura da lâmina d'água. Seus eixos são definidos por:

Eixo X: eixo ao longo da embarcação, sendo positivo no sentido de sua navegação;

Eixo Y: eixo transversal à embarcação, sendo positivo no sentido de estibordo (a direita do sentido de navegação);

Eixo Z: eixo vertical, positivo para o alto da embarcação.

O comportamento dinâmico da embarcação é verificado pelos movimentos de translação, longitudinais no eixo X (*surge*), transversais no eixo Y (*sway*) e no eixo Z (*heave*). Já os movimentos de rotação na direção dos eixos x, y, e z são respectivamente balanço (*roll*), caturro (*pitch*) e cabeceio ou guinada (*yaw*) (Figuras 16 e 17).

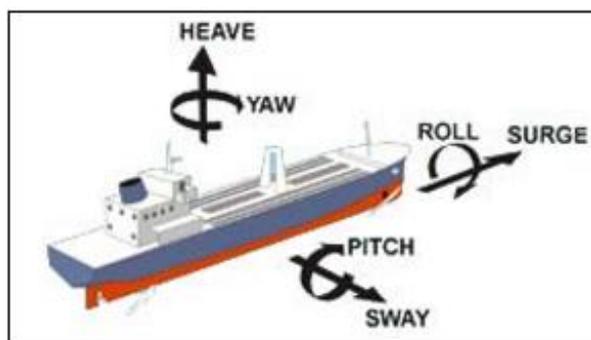


Figura 16 – Movimentos de uma embarcação – Fonte: KONGSBERG MARITIME, 2016

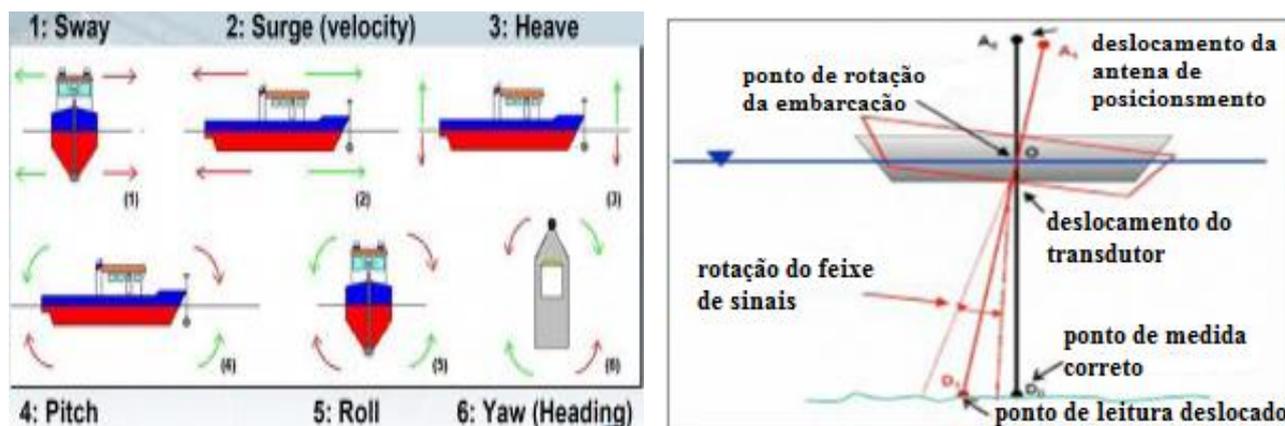


Figura 17 – Movimentos a que está sujeita a embarcação – Fonte: GEOLEVEL, 2015

Os movimentos de rotação descrevem a atitude da embarcação e podem ser obtidos através de sensores inerciais (FERREIRA, 2013). Do ponto de vista prático, as rotações possibilitam a análise do equilíbrio da embarcação. Os sensores inerciais consistem de acelerômetros e giroscópios que fornecem a inclinação e são fundamentais para que as informações do sistema acústico do ecobatímetro forneçam o valor de profundidade da posição obtida com GNSS. De acordo com as características do ecobatímetro, da profundidade e da meteorologia locais, os movimentos de rotação até podem ser desconsiderados, ou seja, quando as rotações não excederem o valor do ângulo de abertura do feixe (alguns afirmam a metade da largura do feixe acústico), elas não são significativas no cálculo da profundidade (IHO, 2005), no caso da batimetria monofeixe.

O efeito *heave* é o efeito que predomina no caso de deslocamentos verticais da embarcação e pode chegar a 0,20 m. É avaliado por sensores inerciais ou compensadores de ondas (FERREIRA, 2013). Para levantamentos multifeixe, a obtenção do efeito *yaw* é muito importante.

4.2 Métodos de obtenção da posição da embarcação

Krueger (2005) afirma que há diversos métodos que permitem obter a posição da embarcação no instante da tomada da profundidade. São eles:

- estimado,
- astronômico,
- visual (ótico),
- eletrônico e
- misto.

O método estimado, como o nome sugere, baseia-se em estimativas visuais da embarcação com relação a pontos de referência situados em terra. Já o método astronômico emprega medições angulares de alguns astros com relação à posição da embarcação.

O método visual baseia-se em medições angulares com relação a pontos de apoio que estão situados em terra (através de interseções à vante e à ré), com a embarcação. Na figura seguinte, a embarcação está sendo posicionada (Pos), no decorrer do tempo, visualmente por interseção à vante através das estações localizadas em terra (Ava, Bia, Cal e Dora) (KRUEGER, 2005).

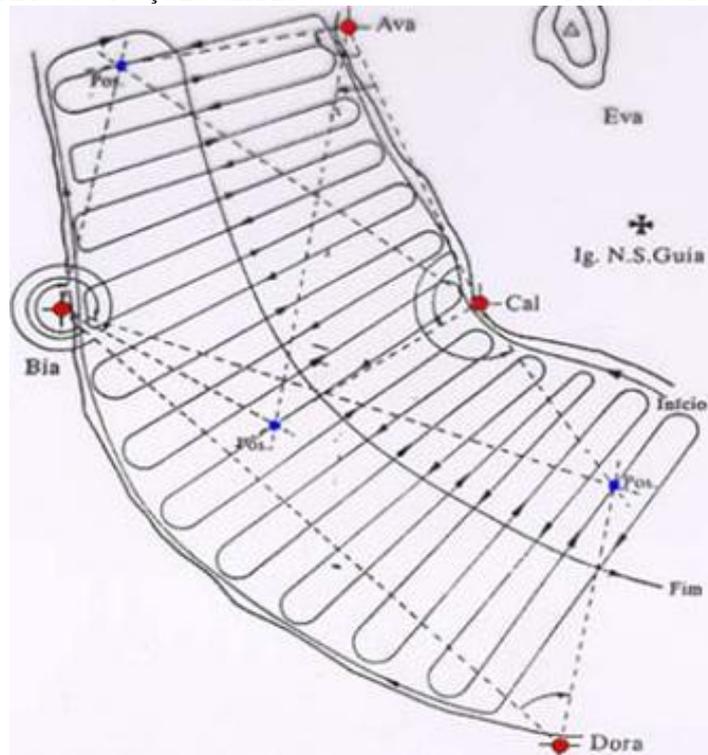


Figura 18 – Método óptico de posicionamento da embarcação com interseções à vante
Fonte: LH, 2001 e KRUEGER (2005)

Outro exemplo do método óptico (visual) é o caso do L.H. feito por triangulação. Corrêa (2012) afirma que a operação batimétrica deve ser feita com o apoio topográfico em terra, para que se possa conferir o posicionamento correto da embarcação, a qual deve ser mantida em velocidade constante. Para indicar as posições em que foram feitas as sondagens são usados alinhamentos, que são estaqueados nas margens ou, em áreas de pouca profundidade por estacas nos próprios pontos de sondagem ou bóias flutuantes (figura abaixo).

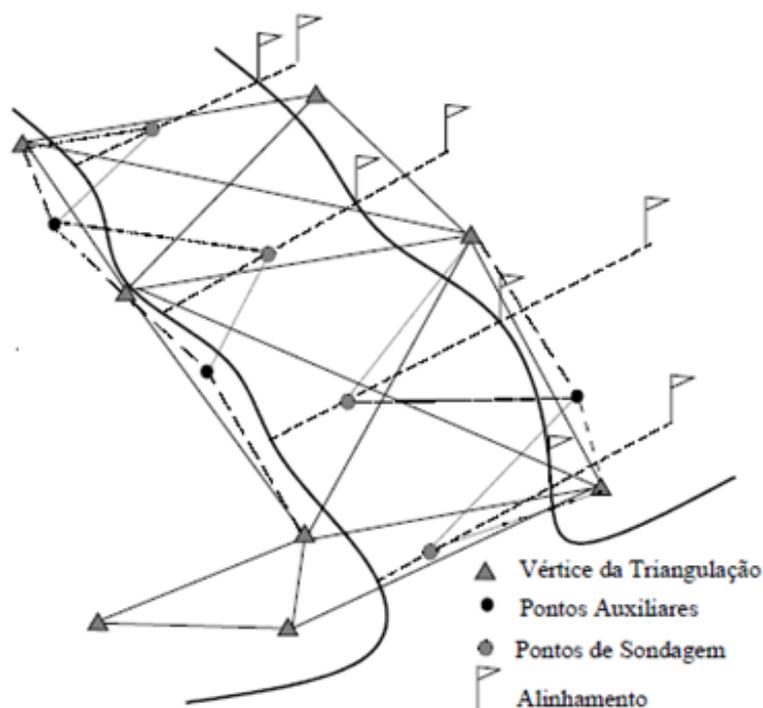


Figura 19 – Esquema para levantamento hidrográfico por triangulação - Fonte: CORRÊA, 2012

A locação dos pontos de sondagem pode ser determinada pelo método da triangulação. Dispondo-se das coordenadas das estações e os ângulos que os alinhamentos fazem entre si em relação ao ponto de sondagem, obtêm-se as coordenadas destes e sua posterior locação em cartas.

No método eletrônico faz-se o posicionamento da embarcação por medições de distâncias a partir de estações de apoio em terra ou utilizando-se de sinais de satélites (por exemplo GPS, GLONASS, GALILEO). A figura seguinte apresenta o método eletrônico.

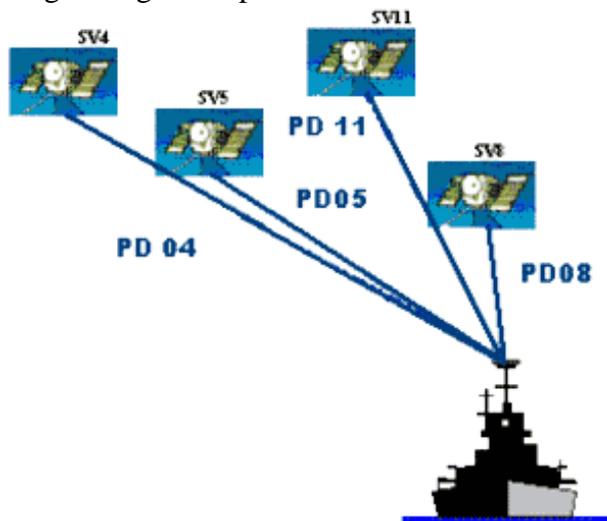


Figura 20 – Método Eletrônico – Posicionamento da embarcação por satélites no método absoluto. Fonte: KRUEGER,2005

Caso sejam utilizadas medições angulares e de distâncias a partir de estações de apoio em terra para o posicionamento da embarcação, tem-se o método misto (figura abaixo).



Figura 21 – Método Misto óptico de posicionamento da embarcação
Fonte: KRUEGER, 2005

Para o posicionamento das embarcações, o método eletrônico que utiliza sinais de satélites é ma atualidade o mais empregado. Entretanto, considerando-se as especificações da DHN para levantamentos batimétricos, a precisão obtida com o método de posicionamento absoluto não é suficiente. Assim, é usual utilizar-se receptores DGPS que determinam a posição planimétrica (horizontal) da embarcação com precisão submétrica. Os posicionamentos diferenciais (DGPS - GPS Diferencial), consistem em se posicionar uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência, as quais são enviadas em tempo real com uso de um sistema de comunicação (linha telefônica, rádio de transmissão ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado, definido pela *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM) (KRUEGER, 2005). A figura seguinte apresenta o método DGPS para posicionamento de uma embarcação.

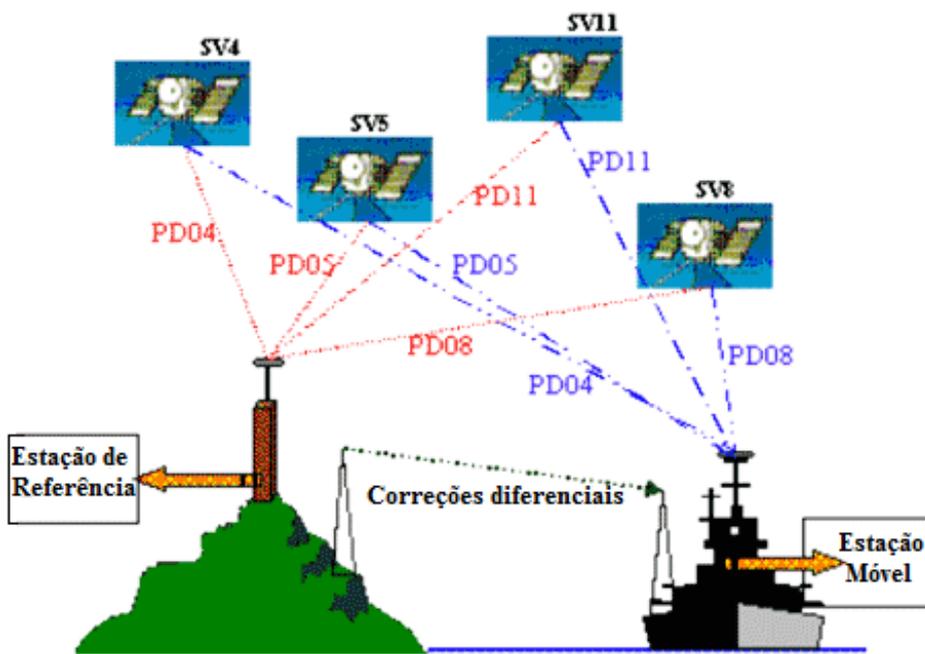


Figura 22 – Método DGPS para o posicionamento de uma embarcação
Fonte: KRUEGER, 2005

O chamado deslocamento vertical (*Squat*), fenômeno definido como a modificação vertical do barco com respeito à superfície atual da água, ou seja, é o afundamento e a desestabilização que o barco apresenta durante a navegação, é importante quando se realiza a batimetria pelo sistema convencional. Quando se utiliza o sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) não é relevante na obtenção da profundidade (KRUEGER, 1999).

5. Integração GPS e ecobatimetria

Num levantamento batimétrico com uso de GPS, o método é basicamente acoplar ao ecobatímetro, um GPS de navegação que fornece a posição da embarcação. Em seguida percorre-se, com uma embarcação, toda a área desejada com o ecobatímetro/GPS coletando-se os pontos. Um exemplo simples desta ideia pode ser visto na figura abaixo.



Figura 23 – Fonte: http://www.popa.com.br/cartas_mapas/Pedras_do_guaiba.htm

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).

Ao se analisar o GPS como um sistema integrado com a ecobatimetria, é necessário realizar algumas correções, que são de extrema importância na obtenção dos resultados com precisão. Também é necessário o conhecimento do sistema tridimensional de coordenadas cartesianas da embarcação e do sistema de altitude. As rotações possibilitam a análise da situação de equilíbrio da embarcação. As translações poderão ser ignoradas se houver um sincronismo entre os sistemas GPS e ecobatímetro (KRUEGER, 1999).

Alveirinho et al (2001), efetuaram um levantamento batimétrico associado com GNSS, do estuário do rio Guadiana na península ibérica. O posicionamento foi feito através de sistema DGPS em tempo real, O sistema de posicionamento empregado foi o DGPS (diferencial) em tempo real, apresentado na figura 24, que consiste de uma estação de referência (base), instalada num ponto de coordenadas conhecidas, que permanece adquirindo o posicionamento via satélite e enviando as correções via rádio para a estação móvel, que situa-se no local onde se pretende obter o posicionamento, ou seja, a bordo da embarcação.

Na embarcação móvel, o sistema de posicionamento DGPS permanece interligado com à sonda batimétrica (chamada por eco-sonda) através do *software Hypack Max*, registrando ao mesmo tempo o posicionamento e a profundidade, adquiridos com uma frequência pré-definida, conforme figura. Foi utilizado o *software Hypack*, que permite planejar as linhas de sondagem, fazer a navegação em tempo real e proceder à aquisição, processamento e gravação dos dados através da interface entre o sistema DGPS e a sonda, obtendo dados de profundidade e de posicionamento a uma taxa de 2 segundos. A sonda batimétrica usada foi a JMC-840, de registro analógico contínuo, com saída digital e de precisão decimétrica, a qual foi aferida no início e no final de cada dia de trabalho (ALVEIRINHO et al, 2001).

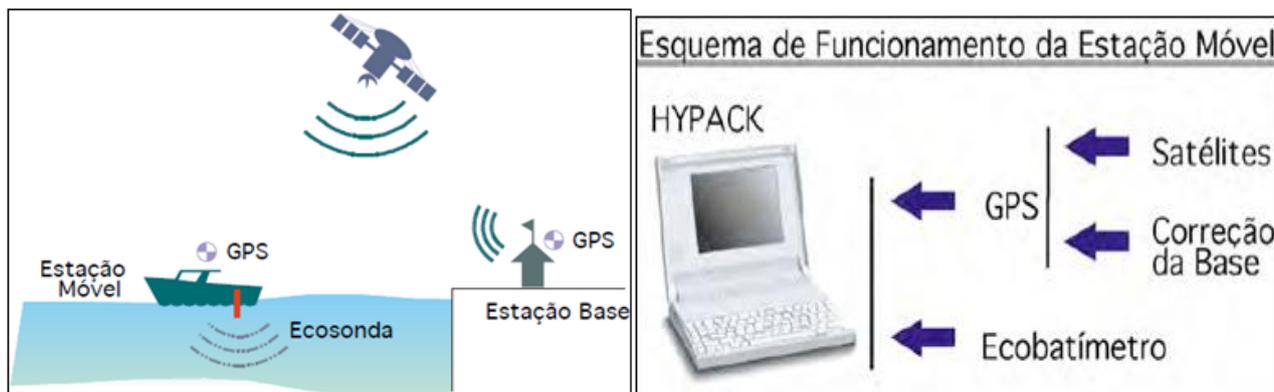


Figura 24 – Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real e esquema de funcionamento da estação móvel
Fonte: ALVEIRINHO et al (2001)

Neste estudo, as linhas de sondagem foram planejadas de modo a ser o mais perpendicular possível às margens do estuário. Empregou-se uma escala de levantamento de 1:5 000, ou seja, com equidistâncias de 50 metros para as linhas transversais. Visando a aferição e controle das sondagens batimétricas, foram executadas algumas linhas longitudinais ao rio.

A confecção dos mapas de isolinhas ou isóbatas foi feita através da interpolação dos dados em uma malha regular. Como há uma alta densidade de linhas e pontos, foi empregado um método de interpolação suave para a confecção da malha, onde o peso de cada ponto é inverso à sua distância (*Inverse Distance to a Power*), e que é um método que melhor se aproxima da realidade quando se tem uma densidade grande de pontos.

Após a coleta dos dados, processamento e avaliação da qualidade dos resultados, o próximo passo é a elaboração da carta batimétrica, sendo que exemplos podem ser encontrados em Alveirinho et al (2001) e Pacheco (2012).

Ao se trabalhar de maneira integrada GPS com ecobatimetria, deve-se atentar para problemas relacionados ao sincronismo de tempo entre GPS e ecobatímetro, bem como ao posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro. Para uma precisão decimétrica verificar-se-á que o tempo de sincronismo deve ser inferior a 0,1 segundo. O tempo de sincronismo está diretamente vinculado à velocidade da embarcação (KRUEGER, 1999).

5.1 Integração dos sistemas usados em levantamentos batimétricos

Uma das grandes dificuldades dos levantamentos batimétricos está no posicionamento dinâmico da embarcação, pela dificuldade de repetibilidade das observações para posterior análise. O surgimento do GPS e do método diferencial associado veio auxiliar na qualidade da posição das sondagens.

Há três sistemas principais empregados nos levantamentos batimétricos: o sistema acústico, o sistema inercial e o sistema de posicionamento global (GNSS), os quais devem estar alinhados corretamente a fim de se evitar erros sistemáticos que comprometam a precisão (RAMOS, 2007).

Para se obter resultados compatíveis com a precisão da técnica RTK, é necessário que haja um alinhamento absoluto (do sistema da embarcação em relação a origem) e relativo (dos sistemas entre si). O alinhamento absoluto está relacionado à disposição dos sistemas na embarcação, a qual deveria estar totalmente estável. Segundo Ferreira (2013), para pequenas embarcações instala-se uma antena GNSS para posicionamento das sondagens na vertical do transdutor. No caso das médias e grandes embarcações, este procedimento não é possível devido a obstruções e à grande massa metálica que pode interferir na recepção do sinal GNSS e efeitos de muticaminhamento. São gerados vetores das posições da antena GNSS e do transdutor chamados *offsets* dos respectivos sensores. O sensor do sistema inercial deve estar posicionado na origem do sistema de referência (centro de massa da embarcação).

O alinhamento relativo (RAMOS, 2007) está associado aos erros de sincronismo entre os sistemas em função da latência entre os sensores (diferenças entre os tempos de processamento das observações e a saída dos dados para os sistemas de aquisição automática) e diferenças entre as marchas dos relógios dos sistemas de posicionamento por satélite, acústico e inercial. A latência é minimizada por calibrações anteriores ao levantamento e a diferença de marcha dos relógios é compensada pelo uso de programas de aquisição automática que empregam o tempo UTC (*Universal Time Coordinate*) fornecido pelo GNSS para sincronização. Com o correto alinhamento dos sistemas pode-se transferir as coordenadas cartesianas da antena GNSS para o ponto de referência de onde foram feitas as sondagens, dispondo-se dos *offsets* dos sensores e aplicando as correções de atitude da embarcação indicadas pelo sensor inercial.

6. Estimativa da batimetria com emprego de imagens de satélite

Com o uso de imagens de satélite pode-se estabelecer uma correlação entre a resposta espectral e a profundidade de um local específico, o que permite, num âmbito mais geral, produzir cartas batimétricas baseadas nos pixels representativos das áreas submersas presentes na imagem. No entanto, deve-se proceder a uma interpretação cuidadosa dos dados obtidos, haja vista que a característica do fundo, a profundidade, turbidez da água, ângulo de iluminação e outros fatores interferem na resposta espectral da água.

Há uma forte tendência na aplicação do sensoriamento remoto para a obtenção estimada de profundidades em águas rasas, devido à capacidade preditiva das imagens de satélite no mapeamento de propriedades da água. As imagens de satélites possibilitam o mapeamento de propriedades da água através da geração de mapas batimétricos de áreas com difícil mapeamento

por meios hidrográficos convencionais, devido à abrangência da área de estudo ou de seu relevo submerso complexo.

Borges (2004) empregou técnicas de sensoriamento remoto na análise do assoreamento de reservatórios através da interação entre informações espaciais e pontuais com uso de uma imagem orbital IKONOS de 14/06/02, com resolução espacial de 1 m.

Ribeiro et al (2008) comprovou que o método para estimar profundidades batimétricas a partir de imagens IKONOS II, com o emprego de redes neurais artificiais, gerou resultados que atendem às especificações técnicas da Diretoria de Hidrografia e Navegação para levantamentos batimétricos de Ordem 1 (erro máximo permitido entre 0,25 m a 0,50 m). Contudo, foi verificado que esta metodologia se aplica para uma faixa restrita de profundidade, entre 0,80 m a 3,00 m, na qual a resposta espectral da coluna de água prevalece sobre o reflexo do fundo e não é fortemente afetada pela absorção.

Krug e Noernberg (2007) utilizaram imagens *Landsat* no Complexo Estuarino de Paranaguá-PR, caracterizado por suas extensas áreas rasas (abaixo de 5 m). A presença de baixios ou bancos arenosos (elevações do fundo marinho que se alteram morfológicamente devido à hidrodinâmica). submersos ou semisubmersos, situados em baixas profundidades, são um risco à navegação. Nestes casos, técnicas de sensoriamento remoto podem conduzir a resultados satisfatórios, e mais viáveis economicamente que o emprego da batimetria.

7. Programas usados na batimetria e exemplos de ecobatímetros

Nos dias de hoje, o usuário dispõe de programas hidrográficos como o Hypack e o Hydro para a realização de levantamentos batimétricos. Estes programas permitem a aquisição automática dos dados provenientes de diferentes sensores, por exemplo: a posição da embarcação (latitude e longitude) gerada pelo DGPS; as profundidades fornecidas pelo ecobatímetro e as correções devidas ao movimento da embarcação (atitude) fornecida por um outro sensor inercial. Pode-se também, em tempo real, incluir as correções da maré, ainda muito pouco usado no Brasil (KRUEGER, 2005).

O HIPS & SIPS é um *software* batimétrico de processamento de dados e imagens do fundo marinho que possibilita o processamento de dados de sonda monofeixe e multifeixe, reflectividade, sonar de varrimento lateral e LIDAR.

O ecobatímetro multifeixe EM 1000 da Kongsberg Simrad dispõe de um sistema de alta resolução com 95 kHz, projetado para operar em águas com profundidades entre 3 e 1000 metros. A largura do seu feixe varia entre 2.3° e 3.3° e sua faixa de varredura é 7.4 vezes a profundidade da água com até 120 feixes. A ampla varredura de 150° com 60 feixes (figura abaixo) recobre uma distância horizontal equivalente a 7,4 vezes a profundidade local. Este ecobatímetro opera com uma frequência de repetição de pulsos de até 4,0 Hz, em uma varredura com 50% de recobrimento lateral, sendo que o feixe central passa a uma distância de ¼ da largura total da varredura dos feixes externos adjacentes, conforme figura abaixo (SIMÕES, 2007).

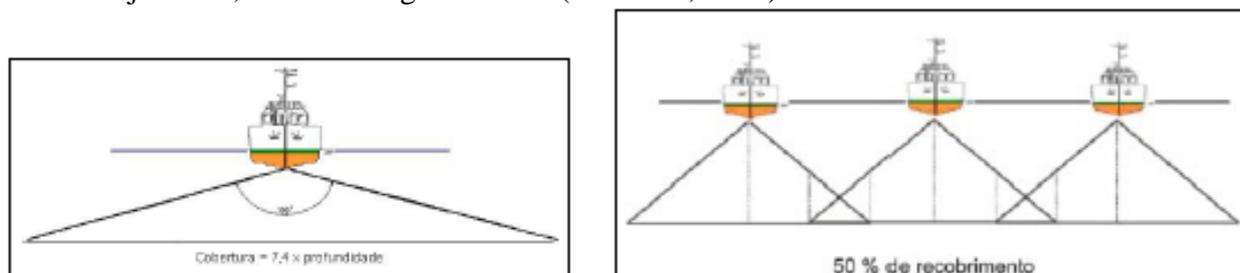


Figura 25 – Varredura e recobrimento lateral no ecobatímetro multifeixe – Fonte: SIMÕES, 2007

Além do sistema multifeixe, operam outros equipamentos integrados como: posicionador, para o posicionamento da embarcação; sensor de atitude, e agulha giroscópica digital.

8. REDUÇÕES BATIMÉTRICAS

Nos levantamentos hidrográficos, as profundidades que são obtidas incluem a variação da maré no instante da medição, a qual pode ser de metros de um local para outro. Para eliminar os efeitos de maré, adota-se um plano de referência chamado nível de redução, para referir todas as profundidades obtidas, trazendo segurança para quem navega utilizando as cartas náuticas.

Para a abordagem deste tópico, algumas definições importantes são necessárias (IBGE, (2015a):

- **Nível de Redução (NR)** - Plano de referência ao qual todas as profundidades cartografadas estão relacionadas. É definido, segundo a OHI (Organização Hidrográfica Internacional), como "um plano tão baixo que a maré, em condições normais, não fique abaixo dele". A DHN utiliza uma forma aproximada para a determinação do NR, baseada no somatório das amplitudes das principais componentes harmônicas de um regime de maré, previamente classificado pelo critério de *Courtier* (diurna, semidiurna, semidiurna com desigualdades e mista). Cada regime apresenta formulação própria. Em futuro próximo o CHM deverá atender às novas determinações da OHI. O NR deve ser referido à mais baixa maré astronômica, observada em uma previsão de 19 anos, gerada a partir de, no mínimo 1 ano, de observações com qualidade garantida.

- **Zero hidrográfico**: conceito bastante difundido na hidrografia portuguesa (seria o nível de redução das sondas), mas sem definição específica no contexto brasileiro, nem qualquer indicação sobre a coincidência com o nível de redução (IBGE, 2015a). Consta que no passado, o conceito de zero hidrográfico foi usado pela PORTOBRAS, não correspondendo ao nível de redução hoje compreendido pela DHN, mas era equivalente ao plano associado ao nível das mínimas excepcionais (*minimum minimorum*), calculado com base em estatística de séries longas de dados de nível do mar. O emprego do termo está em desuso.

Em Miguens (1996) tem-se as seguintes definições:

- **NÍVEL DE REDUÇÃO (NR)**: Nível a que são referidas as alturas das águas e as sondagens representadas nas cartas náuticas. O nível de redução adotado pela Marinha brasileira corresponde ao percentil 10, ou seja, o nível garantido em 90% do tempo. A altitude das margens representadas nas cartas náuticas corresponde à altitude do NR no trecho. Como o NR (nível de redução) adotado pela DHN é normalmente o nível médio das baixa-mares de sizígia (MLWS), geralmente se encontram maiores profundidades que as sondagens lançadas na carta; entretanto, por ocasião das BM de sizígia, podem ser encontradas profundidades menores que as constantes da carta. Seguem os conceitos:

BAIXA-MAR (BM): Menor altura que alcançam as águas em uma oscilação.

PREAMAR (PM): Maior altura que alcançam as águas em uma oscilação.

AMPLITUDE DA MARÉ: Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas. Para esclarecimento, nas luas nova e cheia, a força gravitacional do Sol atua na mesma direção que a da Lua, produzindo marés mais altas, chamadas **marés de sizígia**.

- **MLWS** (“*MEAN LOW WATER SPRINGS*”) – média das BM de sizígia ou altura da BM média de sizígia, (altura média, deduzida de uma longa série de observações, das alturas das BM de sizígia). No Brasil, o plano do MLWS materializa o NR, sendo adotado pela DHN como Nível de Redução (NR) nas cartas náuticas brasileiras. O MLWS é obtido a partir da análise harmônica de registros temporais da variação do nível do mar para uma estação maregráfica específica.

- **Nível Médio do Mar (NM)**: altura média da superfície do mar para todos os estágios de oscilação da maré, que foram observados em um longo período de tempo (maior que 18,6 anos).

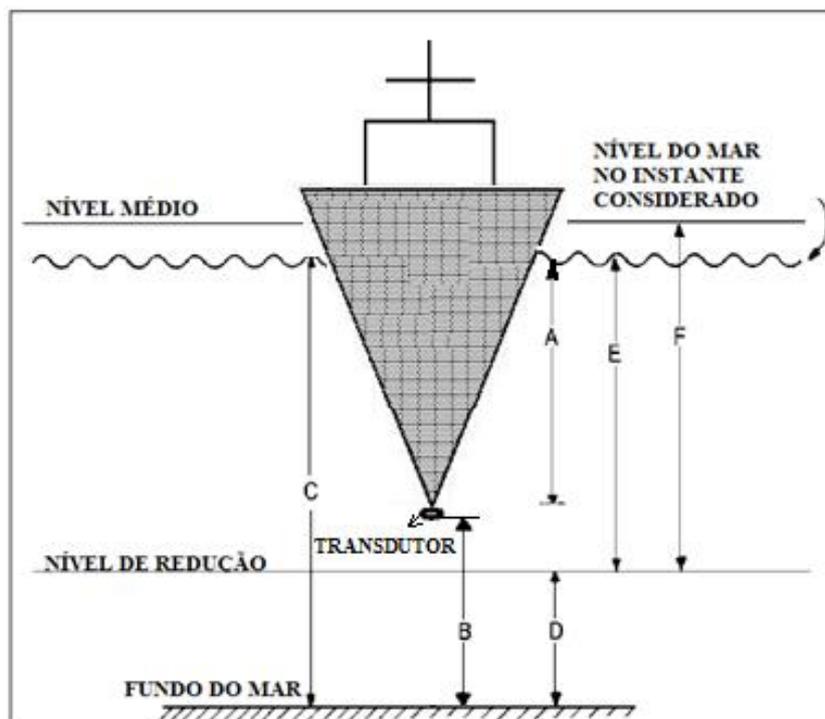


Figura 26 – Nível de Redução - Fonte: MIGUENS, 1996

- Sendo: A – calado do navio;
 B – profundidade indicada pelo ecobatímetro;
 C – profundidade do local no instante da medição;
 D – sondagem (profundidade na carta) do local;
 E – altura da maré no instante da medição;
 F – cota NM-NR.

Em qualquer instante, a profundidade real (C) é igual a sondagem (D) mais a altura da maré (E). Nos ecobatímetros, é normalmente medida a distância vertical (B) entre a quilha do navio (onde geralmente é instalado o transdutor) e o fundo do mar. O valor de (B) somado ao calado (A) resulta na profundidade (C). Assim:

$$C = D + E \quad \text{e} \quad C = B + A \quad (2)$$

- Sobre o NR e o zero Imbituba (extraído de IBGE, 2015a):

“- O NR não está correlacionado ao zero do datum Vertical Imbituba, estando referenciado a marcos materializados pela DHN na estação maregráfica, chamados referências de nível (RN).

- O zero das cartas náuticas e previsões das Tábuas de Maré, o NR, refere-se às médias das mínimas das observações de maré em uma determinada estação (NM local), realizadas durante um determinado período. O zero IBGE refere-se ao nível médio das observações de maré de Imbituba, realizadas durante um determinado período.

- Através de nivelamento com precisão geodésica, o IBGE calcula as cotas dos marcos testemunhos da sua rede geodésica brasileira (MT) em relação ao zero IBGE, sendo esta informação solicitada àquele órgão. As cotas entre as RN(DHN) e o NR são obtidas por nivelamento geométrico e constam na ficha de descrição da estação.

- Para correlacionar os dois zeros, o interessado precisa realizar o nivelamento geométrico entre o MT (IBGE) mais próximo de uma das RN (DHN) da estação maregráfica, para obter a diferença de cotas entre eles. Com esta diferença, positiva ou negativa em relação ao MT-IBGE, somada à cota entre a RN (DHN) e o NR, é obtida a cota entre MT (IBGE) e o NR (DHN). Dispondo-se da cota entre MT (IBGE) e o zero Imbituba, pode ser obtida a relação entre o NR da estação e o zero de Imbituba”.

Desta forma o Nível de Redução apresenta variações espaciais e temporais em relação ao Datum Vertical “terrestre” (RAMOS e KRUEGER, 2009).

Informações mais detalhadas sobre monitoramento do nível do mar na RMPG, confrontações a respeito das definições de nível de redução e zero hidrográfico e esclarecimentos sobre a relação do datum vertical brasileiro e zeros hidrográficos no litoral brasileiro podem ser encontradas em LOBIANCO 2013, IBGE 2015a, IBGE 2015b.

Em inúmeras situações, pretende-se integrar informações oriundas de cartas topográficas e náuticas, que estão em diferentes referenciais geodésicos, havendo a necessidade de compatibilizar os dados para geração de um MDT (modelo digital do terreno). A CHM disponibiliza dados mareográficos que são muito importantes, haja vista que os valores batimétricos das cartas náuticas estão referidos a um determinado NR, os quais devem ser convertidos para o NM na construção de um MDT. Visando garantir a segurança da navegação, as profundidades representadas em uma carta náutica são os valores mínimos identificados na área, em condições meteorológicas normais. O NR situa-se num plano suficientemente abaixo do Nível Médio do Mar (NMM), para que representa as profundidades mínimas da região. É atribuição institucional da CHM (Centro de Hidrografia da Marinha) prover o Nível de Redução (NR) para as cartas náuticas brasileiras e gerar as Tábuas das Marés para a navegação (CHM, 2015).

As correções de marés mareográficas geradas a partir de estações mareográficas na costa são empregadas nas reduções batimétricas que tem como objetivo eliminar as oscilações do nível do mar das sondagens, referenciando-as ao Nível de Redução. Ramos e Krueger (2006) afirmam que com a integração de um sensor inercial ao sistema GPS-ecobatímetro, associado a um modelo de separação entre o elipsoide de referencia do WGS-84 e o NR, pode-se realizar a redução da sondagem sem precisar do apoio de estações mareográficas da costa.

Uma vez definida a relação entre o nível de redução local e um elipsoide de referência, é possível o emprego de sistemas no controle vertical de levantamentos hidrográficos, tornando dispensáveis as observações mareográficas costeiras e algumas correções verticais aplicadas ao transdutor dos ecobatímetros. Isto é viabilizado a partir do correto alinhamento e sincronismo entre os sensores empregados (posicionamento, acústicos e inerciais) nos levantamentos. Nos dias atuais esta integração é feita através de programas hidrográficos de aquisição automática (envolvem a etapa de planejamento, aquisição dos dados, processamento e elaboração de produtos como mapas, modelos 3D, etc) (RAMOS e KRUEGER, 2009).

A transformação dos dados batimétricos do nível de redução para o nível médio local é alvo de estudos detalhados devido à sua complexidade. Uma abordagem mais detalhada sobre o assunto pode ser encontrada em Matos (2005), no apêndice B. Todas as cartas náuticas e folhas de bordo devem estar referenciadas ao NR, o qual é estabelecido pelos marégrafos posicionados na região de interesse. Dependendo da variação da maré na região de estudo, a Marinha usa uma ou mais estações mareográficas para definir este nível. A figura 27 apresenta a estação maregráfica de Búzios (CHM 2015 e MATOS 2005). Estudos de Matos (2005) elucidaram que se pode estar introduzindo erros superiores a 1 m na transformação do NR para o NM local. Constatou na época, que poucas estações mareográficas estavam vinculadas ao ponto fixo no NMM com altitude de zero (Marégrafo de Imbituba).

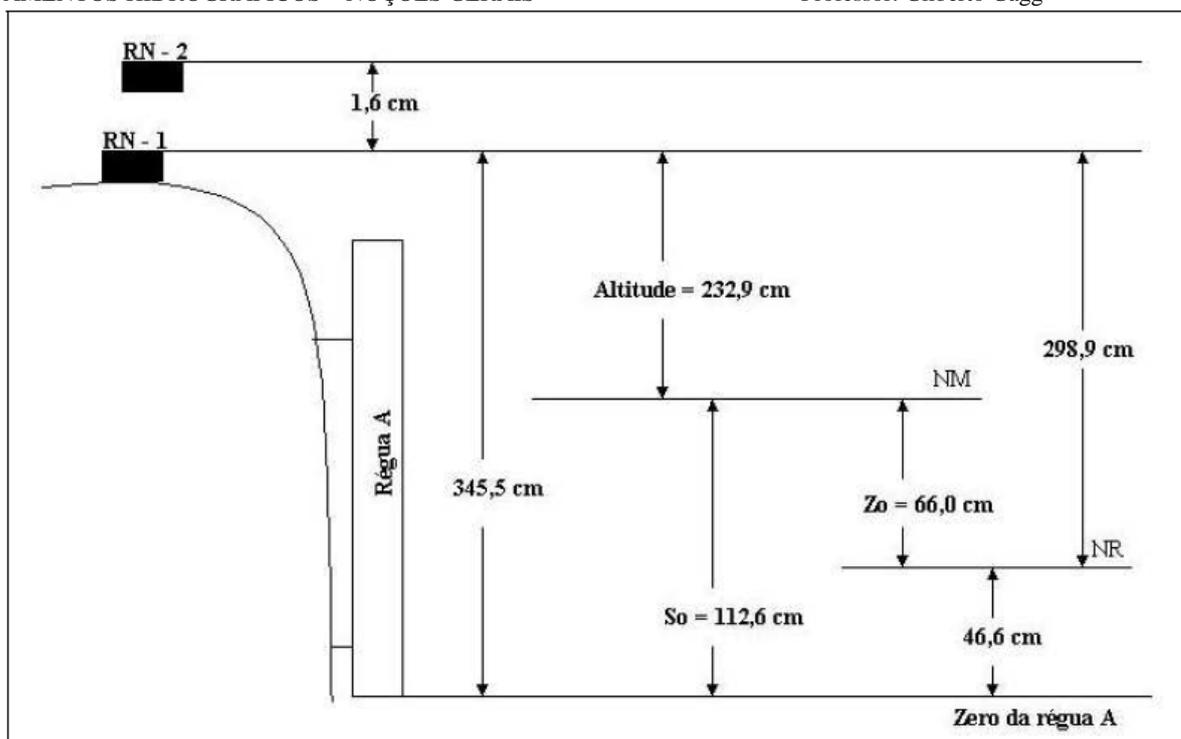


Figura 27 – Diagrama da estação maregráfica de Búzios – Fonte CHM e MATOS (2005)

Nos resultados obtidos por Guarneri et al (2015), foi verificado que em relação aos níveis de redução (NRs) das régua linimétricas, há divergência entre os valores informados pela Marinha e os valores calculados com base nas séries históricas mais recentes disponibilizadas pela ANA (Agência Nacional das Águas). Essa divergência implica na alteração das altitudes dos níveis de redução, afetando diretamente o MDE e o modelo hidrodinâmico em desenvolvimento. Não há, inclusive, uma metodologia consagrada e divulgada pelos órgãos competentes para se realizar o cálculo desses níveis. Por esse motivo, os autores optaram por utilizar os NRs oficiais da Marinha do Brasil.

As reduções batimétricas correspondem às correções ambientais dos efeitos de marés, com a finalidade de referir as sondagens ao NR.

Uma sondagem corresponde a uma medida, geralmente obtida por algum método acústico, do valor da profundidade. A esta sondagem devem ser acrescidas correções (instrumentais, de posição do transdutor, atitude da embarcação e ambientais) para que se obtenha a profundidade local com o menor erro possível (**profundidade reduzida**) (RAMOS E KRUEGER, 2009).

Na figura 28a tem-se o método convencional de redução batimétrica, onde as chamadas correções de marés convencionais, doravante denominadas T_1 , correspondem à variação temporal da coluna d'água sobre o nível de redução, tomadas a partir de uma estação maregráfica de referência (RAMOS E KRUEGER, 2009).

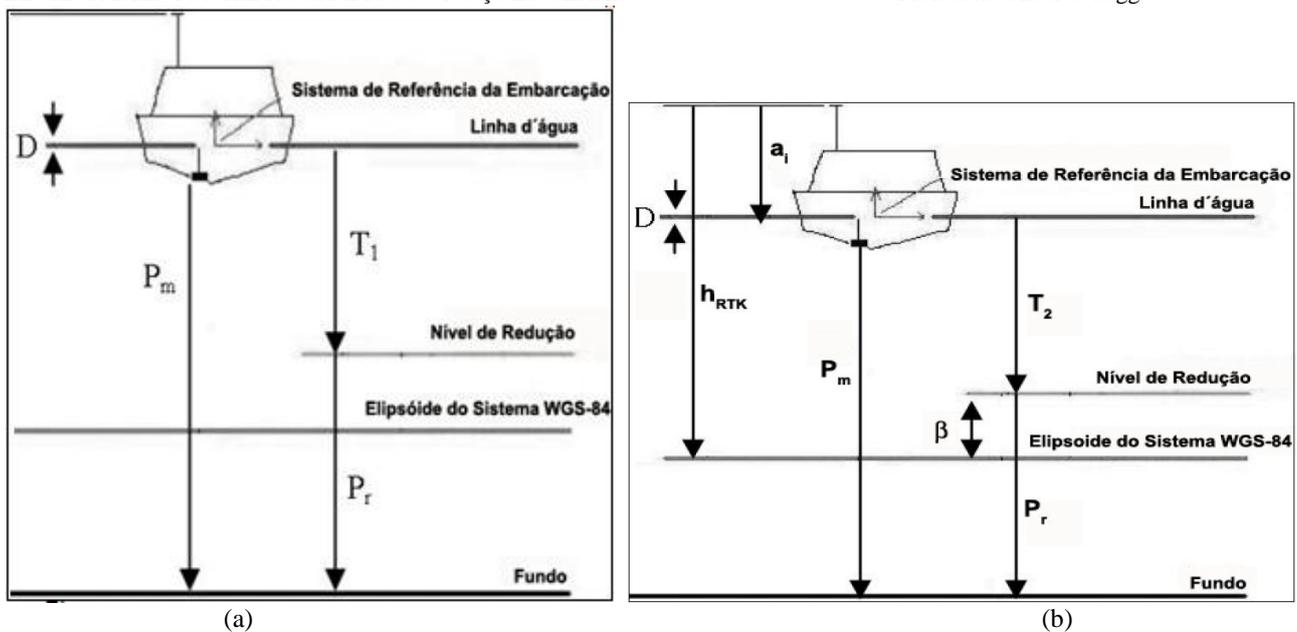


Figura 28 – Correções de Marés Convencionais T_1 e Correções de Marés GPS T_2
 Fonte: RAMOS e KRUEGER, 2009

No primeiro caso (marés convencionais), a profundidade reduzida (P_r) resulta da aplicação da correção de maré T_1 à sondagem P_m , ambas obtidas no mesmo instante t , considerando ainda o valor do calado da embarcação de sondagem D , e respectivas variações dinâmicas (alterações nas condições de carregamento da embarcação e interações dinâmicas ente água e casco). Há também o efeito *heave* causado pela ação das ondas do mar, afetando verticalmente a embarcação. Tem-se:

$$P_r = P_m(t) - T_1(t) + D \quad (3)$$

Já as correções T_2 são oriundas da variação das altitudes geométricas da antena GPS da embarcação (h_{RTK}), principalmente devido a efeitos de maré e *heave* (RAMOS e KRUEGER, 2009). Neste método, a profundidade reduzida é dada por:

$$P_r = P_m(t) - T_2(t) + D, \text{ sendo} \quad (4)$$

$$T_2(t) = h_{RTK}(t) - \beta - a_i + D \quad (5)$$

Substituindo-se a expressão de $T_2(t)$ na expressão de P_r , cancela-se o termo correspondente ao calado e suas variações dinâmicas. Assim, anula-se o efeito *heave* pela aplicação de reduções batimétricas por GPS. O cálculo de T_2 implica no conhecimento de dois parâmetros: altura da antena GPS a_i em relação ao referencial da embarcação e a separação vertical β entre o NR e o elipsóide WGS-84. O valor de β pode ser obtido por:

$$\beta = h - (r + d) + (S_o - Z_o), \text{ onde;} \quad (6)$$

- r - comprimento da régua maregráfica;
- d - desnível entre a régua e a RN, obtido por nivelamento geomético;
- S_o - altura do NMM (Nível Médio do Mar) na estação maregráfica;
- Z_o - altura do NR abaixo do NMM na estação maregráfica.

Os valores de S_o e Z_o são obtidos por análise harmônica de séries temporais de observação de nível do mar, com duração mínima de 32 dias (RAMOS e KRUEGER, 2009).

Já conforme a NORMAM25, na ocupação de novas estações maregráficas é necessário, dentre outras coisas, calcular o valor do NR da estação e submeter este cálculo para ratificação do CHM antes do início do LH.

Para definir o valor do NR, podem ser utilizados os métodos abaixo, os quais apresentam seus detalhamentos no site da DHN:

– **Método de análise harmônica da maré:** sendo necessária a medição da maré da nova estação maregráfica por um período mínimo de 32 dias consecutivos, para o estudo das constantes harmônicas e cálculo do NR da estação;

– **Método de análise cruzada:** sendo necessária a medição simultânea da maré na nova estação e em outra estação maregráfica principal da área, por um período superior a 10 dias; e

- **Método de transporte de NR:** observar um período de marés superior a 3 dias no período da sizígia, sendo o NR da nova estação determinado a partir do transporte do NR da estação principal. Este método só pode ser aplicado quando ambas as estações possuem características de maré semidiurna pura (sem desigualdades diárias).

9. BNDO – Banco Nacional de Dados Oceanográficos

A Marinha, através da DHN, é a instituição nacional que deve promover e coordenar a participação do país nas atividades do COI - Comissão Oceanográfica Intergovernamental, relacionadas ao mapeamento oceânico, e servir de Banco Nacional de Dados Oceanográficos. O CHM - Centro de Hidrografia da Marinha é responsável pela operação do BNDO.

A DHN, na qualidade de Serviço Geográfico Brasileiro, tem a responsabilidade de manter, por meio do CHM, todas as cartas náuticas brasileiras atualizadas.

No site http://www.mar.mil.br/dhn/chm/oceanografia/acesso_dados_produtos.html estão disponíveis links para acesso a dados e produtos do tipo: previsões de maré (máximas e mínimas diárias), estações maregráficas (ao longo do país, por estado), estações fluviométricas, dados meteorológicos observacionais.

Os tipos de dados que podem ser solicitados à CHM - Centro de Hidrografia da Marinha são:

- **oceanográficos** físicos e químicos (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e outros);
- **geológicos** oriundos de amostras de fundo (tensa, granulometria e outros);
- **maregráficos** (alturas do nível do mar e constantes harmônicas principais de marés);
- **correntométricos** (direção, intensidade em perfis de profundidade e na superfície);
- **meteorológicos** (temperatura do ar seco e úmido, nebulosidade, umidade relativa e outros).

Alguns questionamentos importantes:

- 1) Que profissionais podem se responsáveis técnicos de uma empresa cadastrada no CHM para executar a atividade de ensino? O CHM aceita como responsáveis técnicos profissionais de nível superior com vínculo empregatício, com capacitação para execução da atividade de batimetria, certificado pelo CREA. Os hidrógrafos formados no Curso de Hidrografia para Oficiais da Marinha do Brasil devem apresentar diploma de conclusão do curso. Oceanógrafos e oceanólogos devem apresentar diploma de graduação emitido pela Associação Brasileira de Oceanografia (AOCEANO).
- 2) Qual o período máximo autorizado para a realização de um LH? 6 meses (improrrogáveis).

- 3) A empresa cadastrada no CHM pode editar uma carta náutica? Não. Isto é atribuição exclusiva da DHN. Apenas mediante convênios ou contratos com a DHN poderão ser editados atlas, croquis ou cartas náuticas.
- 4) Órgãos públicos federais e estaduais precisam de autorização para executar um LH? Os federais não, mas devem levar ao conhecimento do CHM; já os estaduais precisam se cadastrar no CHM, e solicitar autorização para execução.
- 5) Para uma empresa realizar um LH basta estar cadastrada no CHM? Não. Após a inscrição da empresa (válida por 3 anos), é preciso ter autorização para cada LH, cumprindo especificações da NORMAM-25-1ª revisão.

10. Sonar de Varredura Lateral

O Sonar emprega debaixo da água o mesmo princípio que o Radar emprega na atmosfera, com o diferencial que as ondas eletromagnéticas atenuam-se rapidamente com a distância no meio aquático, havendo também uma forte variação da velocidade de propagação das ondas acústicas na vertical (profundidade).

A varredura sonar, efetuada através de um equipamento rebocado conhecido por “peixe”, associado a um ecobatímetro multifeixe instalado no casco ou borda de uma embarcação, contribui bastante na segurança da navegação, uma vez que permite a realização de levantamentos hidrográficos de ordem especial, com cobertura total do fundo. Conforme regras para LH da OHI (Organização Hidrográfica Internacional), estes levantamentos são geralmente de emprego restrito à áreas críticas específicas, com riscos potenciais à navegação, tais como portos, atracadouros e canais críticos (CHM, 2015).



Figura 29 – Exemplo de Sonar (peixe) - Fonte: CHM, 2015

O levantamento com sonar de varredura lateral objetiva o imageamento da superfície de fundo de áreas submersas, através da medição da intensidade de sua reflexão acústica. Não tem como prerrogativa a medição da profundidade, devendo ser acompanhado por um levantamento batimétrico. É indicado para localização e identificação de objetos submersos, bem como a caracterização do leito por análise do seu padrão de reflexão acústica medida. (GEOLEVEL, 2015). Permite inclusive a localização de grandes cardumes.

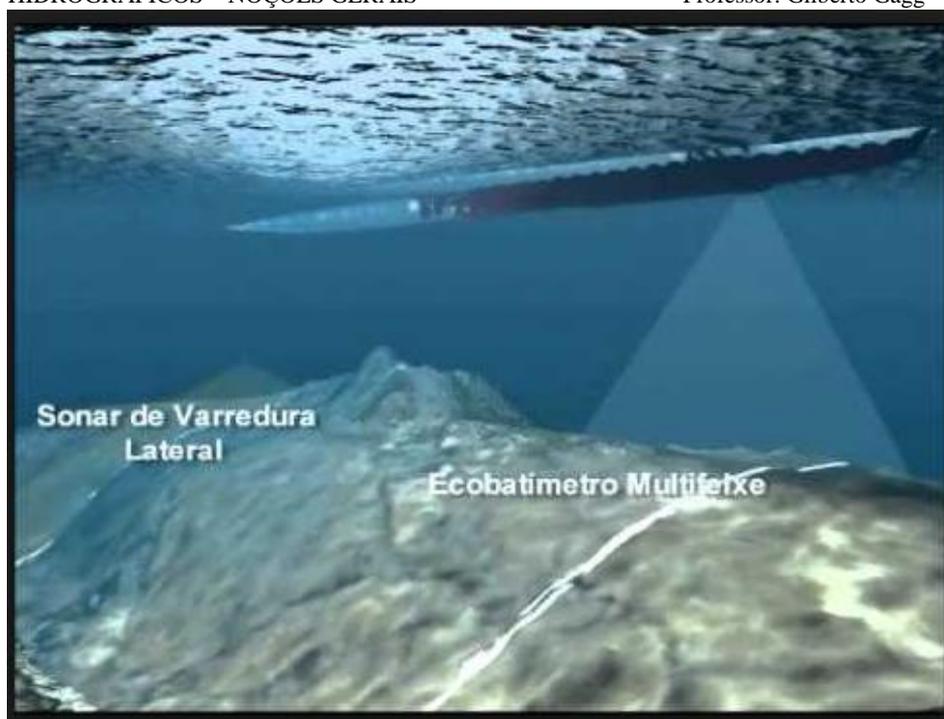


Figura 30 – Exemplo de Sonar de varredura lateral - Fonte: CHM, 2015

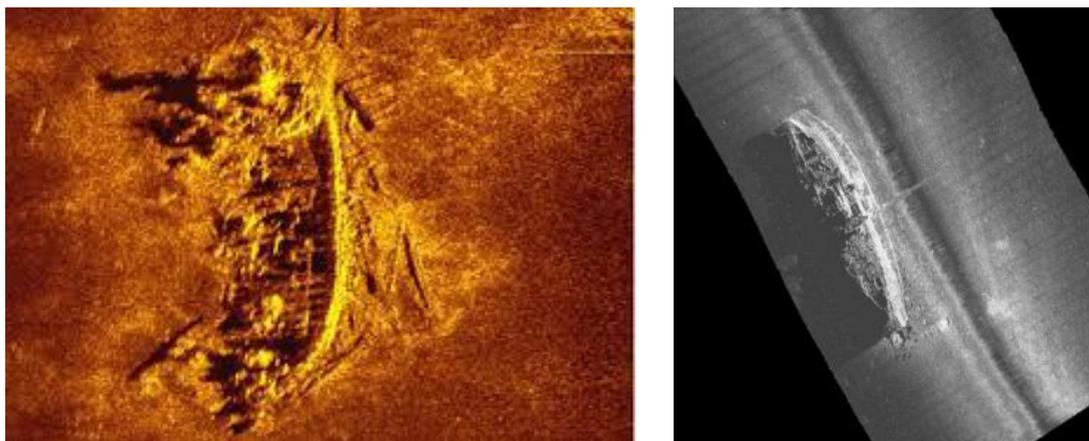


Figura 31 – Emprego do Sonar de visada lateral - Fonte: GEOLEVEL, 2015

11. LIDAR BATIMÉTRICO

O LIDAR (*Light Detection and Ranging*) tem tido seu uso ampliado para muitas aplicações, face à rapidez de coleta de dados e principalmente pela grande quantidade de pontos coletados. Os componentes de um sistema LIDAR são: *Laser Scanner*, um relógio de alta precisão, GPS, IMU – unidade de medida inercial de navegação, estação terrestre GPS, sistemas de armazenamento e gerenciamento de dados, informações da atitude da aeronave (movimentos). O LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é uma técnica de sensoriamento remoto ativo que se baseia na tecnologia LIDAR, que permite a obtenção e coleta de pontos sobre a superfície terrestre por meio da emissão de pulsos laser no espectro eletromagnético na região do infravermelho próximo (NIR).

O lidar batimétrico, também conhecido por ALB (*Airborne Laser Bathymetry*) mede a profundidade pela incidência de um feixe de laser na água, instalado a bordo de uma aeronave. São usados dois feixes: o infravermelho que é refletido pela superfície da água, e o verde que penetra a

camada líquida e é refletido no fundo. Calcula-se a profundidade pelo intervalo de tempo decorrido entre a recepção de eco do feixe vermelho e do verde. A profundidade máxima detetável depende da claridade da água, sendo de 20 a 30 metros em condições normais (alguns afirmam para águas rasas de até 10 m de profundidade), sendo a precisão batimétrica da ordem de 15 centímetros. É um sistema eficiente na delimitação da costa (MATOS, 2005).

Comparando-se o uso do LIDAR (com uso de aeronave) com o sonar, o LIDAR tem a vantagem na sua abrangência, pois tem uma cobertura maior e mais flexível que o sonar (barcos).

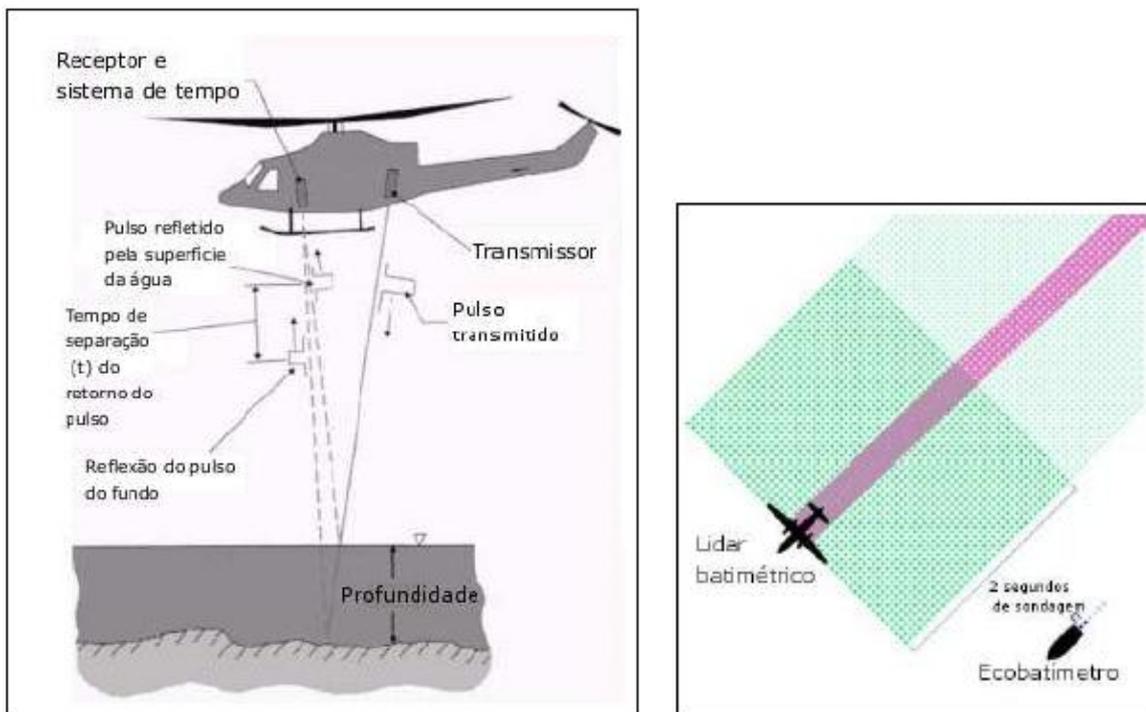


Figura 32 – Princípio de funcionamento do LIDAR – Fonte: MATOS, 2005

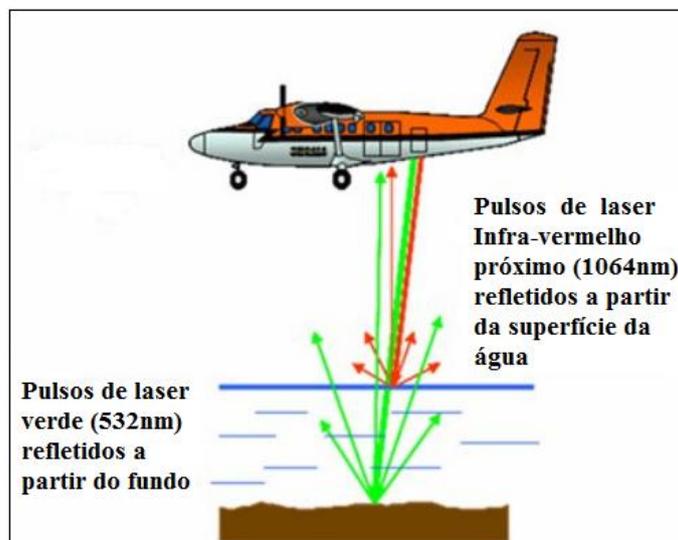


Figura 33 – Utilização do LIDAR para execução de levantamento batimétrico
Adaptado de PortoGente (2015)

A CPRM (Serviço Geológico do Brasil) está empregando tecnologia Laser em projetos de geologia marinha, realizando levantamentos batimétricos e de faciologia de sedimentos de fundo na Plataforma Continental Rasa do Brasil, começando pela costa do estado de Alagoas e Arquipélago de Fernando de Noronha. Este trabalho faz parte do Programa de Geologia do Brasil, que prevê cartografar a Plataforma Continental Rasa ao longo de toda a costa brasileira, dentro do contexto do

Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (Remplac). O uso da técnica *Airborne Laser Bathymetry*, batimetria (ALB) tem-se consolidado no levantamento hidrográfico apresentando resultados integrados de profundidade do oceano, incluindo a parte emersa (praia) e os tipos de sedimentos.

No projeto citado, a aquisição de dados é feita com o sistema SHOALS Lidar 1000 T e a análise e classificação do imageamento de fundo com o software *Rapid Environmental Assessment* (REA), de última geração em sistemas marinhos do tipo “Lidar”. Tem a vantagem de poder ser operado ao mesmo tempo no modo batimétrico (adquirindo 1.000 sondagens por segundo) e topográfico com 10.000 medidas de elevação do terreno por segundo, representando a cartografia simultânea da terra e do mar com o mesmo sistema (CPRM, 2011).

Apêndice: A. Levantamento batimétrico com apoio de base georreferenciada

Para relacionar os pontos de profundidade obtidos com um sistema de coordenadas georreferenciadas, pode ser utilizados uma série de métodos, entre eles um levantamento batimétrico com apoio de base georeferenciada.

Um método de referenciar o perfil batimétrico é realizar irradiações a partir de uma base de coordenadas conhecidas.

Após a definição dos perfis e suas respectivas verticais e da calibração do ecobatímetro, a partir de uma base conhecida serão irradiados pontos sobre o perfil que está sendo percorrido; cada ponto escolhido sobre o perfil será comunicado via rádio ao operador do ecobatímetro, que registrará o ponto sobre o perfil. Posteriormente, dispendo-se das coordenadas da base, do ângulo e da distância de cada vertical, calcula-se sua coordenada. Nesta metodologia é muito importante:

- O acompanhamento da haste do transdutor pelo operador da estação total e do ecobatímetro, de modo a haver sincronismo entre a coordenada da vertical e sua profundidade.
- O piloto da embarcação deve tentar manter a velocidade estável e a trajetória planejada para o perfil.

12. CONCLUSÕES

Os levantamentos hidrográficos são de fundamental importância. No caso do Brasil que possui um litoral extenso e uma grande quantidade de rios navegáveis utilizados pra transporte de cargas e de pessoas, requer que sejam disponíveis cartas de navegação de confiabilidade e atuais.

Tanto a execução quanto o controle dos levantamentos hidrográficos, bem como a produção e edição das cartas náuticas são de atribuição da Marinha do Brasil, através da DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Considerando-se a dinâmica dos sistemas hídricos, onde ocorrem a deposição e erosão nos canais de navegação, rios e áreas próximas à costa, o surgimento de bancos de areia entre outros, faz com que as informações batimétricas das cartas náuticas devam ser constantemente atualizadas, o que requer a execução dos levantamentos batimétricos.

Conhecimentos específicos que envolvem as reduções e correções envolvidas também são importantes para assegurar a precisão necessária à navegação e exploração de recursos naturais.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVARES, M. T.; FERNANDES, S.; MARIANO, A. C.; PIMENTA, M. T. **Monitorização Batimétrica em Albufeiras**, Lisboa: Instituto da Água, Direção de Serviços de Recursos Hídricos. 2001. Disponível: http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/sedimentologiafichas.html Acesso em: 20 set 2015.

ALVEIRINHO DIAS, J.; FERREIRA O.; COLI, A. B.; FACHIN S.; GONZALEZ R., **Projecto EMERGE** – Estudo Multidisciplinar do Estuário do Rio Guadiana (2001). Disponível em http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/EMERGE/4_Batimetria_red.pdf. Acesso em 13/10/2015

ASSI, G.R.S., **Representação geométrica da embarcação: Fundamentos da Engenharia Naval**. PNV/USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em: http://www.ndf.poli.usp.br/~gassi/disciplinas/pnv2341/PNV2341_Representa%C3%A7%C3%A3o_geometrica_do_casco.pdf. Acesso em out/2016.

AZAMBUJA, J. L. F., **Batimetria/GPS**, 2012. Palestra na disciplina Levantamentos II. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BORGES, F. S. P., **Estimativa de batimetria utilizando sensoriamento remoto e krigagem bayesiana. Estudo de caso: reservatório Morro Grande, Rio de Janeiro**. Tese (mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.180p.

BRASIL. **Portaria n. 53 / MB**, de 1º de março de 2002. Aprova as "Instruções para Controle dos Levantamentos Hidrográficos pela Marinha do Brasil". Disponível em <http://www.dhn.mar.mil.br/chm/Levantamento/> Acesso em: 16 set. 2015

CHM, **Centro de Hidrografia da Marinha**, Niterói-RJ, 2015. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/oceanografia/bndo.html>. Acesso em 21/10/2015.

CHM, **Centro de Hidrografia da Marinha**, Niterói-RJ, 2016. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/levantamento.html>. Acesso em fev. 2016.

CORRÊA, I.C.S., Topografia aplicada à engenharia civil, 2012, UFRGS. Disponível em: http://www.ufrgs.br/igeo/departamentos/geodesia/trabalhosdidaticos/Topografia_Aplicada_A_Engenharia_Civil/Apostila/TopoAplicada_2012.pdf. Acesso em 19 de setembro de 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, CPRM ENTRA NA ERA DA TECNOLOGIA A LASER NOS PROJETOS DE GEOLOGIA MARINHA, 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1451&sid=48> Acesso em 23/11/2015.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN), *INSTRUÇÃO TÉCNICA H-01 – Critérios para correções a serem efetuadas nas sondagens para representação nas FB*. Rio de Janeiro: Base de Hidrografia da Marinha em Niterói, 1998.

DHN, 2011. NORMAM-25/DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação- Marinha do Brasil. **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**, 2011. Disponível em: https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/downloads/normam/normam_25.pdf. Acesso em 06/10/2015.

DHN, 2014. NORMAM-25/DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação- Marinha do Brasil. **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**, ver.1, 2014. Disponível: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/arquivos/normam25-rev1.pdf>

FERREIRA, I.O.; RODRIGUES, D.D.; SANTOS, A.P., **Levantamento batimétrico automatizado aplicado à gestão de recursos hídricos. Estudo de caso: Represamento do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG**, IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e

Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2012. Disponível em:

https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SReFOTO/110_4.pdf Acesso em 28/09/2015.

FERREIRA, I.O., Coleta, processamento e análise de dados batimétricos viando a representação computacional do relevo submerso utilizando interpoladores determinísticos e probabilísticos.

Dissertação de Mestrado. Universidade federal de Viçosa. 2013. Disponível em:

<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3801/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em out. 2016.

GALDINO, C.A.P.M., **Terrenos de Marinha: da determinação geodésica à sentença.** 2012.

IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2012.

Disponível em: https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/064_1.pdf.

Acesso em 29/09/2015.

GEOSPACE 2016, Geospace Survey Services. Disponível em: <http://www.geospacesurvey.com/>

Acesso em dez, 2016.

GEOLEVEL, 2015. Levantamentos hidrográficos, hidrométricos e topográficos. Disponível em:

http://www.geolevel.com.br/?page_id=529. Acesso em 22/10/2015.

GOMES, M.P., Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na plataforma continental norte do Rio Grande do Norte: Vale Inciso do Rio Açú. **Dissertação de Mestrado.** UFRN. Natal, 2009.

GUARNERI, H.; CORREIA, R.; RATTON, P.; NADAL, C.A.; MOURO, R.C.; BLENINGER, T.; RATTON, E., **Determinação do Modelo Digital de Elevação de rios de grande extensão para uso em projetos de engenharia - Estudo de caso do trecho brasileiro da Hidrovia do Rio Paraguai.** 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior. Manaus - 2015.

Disponível em:

http://www.itti.org.br/portal/images/Artigos/SOBENA_2015/determinacao%20do%20modelo%20digital%20de%20elevao%20em%20rios%20de%20grande%20extensao.pdf. Acesso em 22/11/2015.

IBGE, 2015a. Extraído de II Encontro Nacional de Produtores Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, 2006. Disponível em

http://www.ibge.gov.br/confest_e_confega/pesquisa_trabalhos/CD/oficinas/559-3.pdf. Acesso em 16/11/2015.

IBGE, 2015b. **Esclarecimento sobre a relação entre o Datum Vertical do SGB (Imbituba e Santana) e os Níveis de Redução e “Zeros” Hidrográficos no Litoral Brasileiro.** In: *Relação entre o Datum Vertical do SGB (Imbituba e Santana) e outros Níveis Hidrográficos no Litoral Brasileiro (11/02/2009)* Disponível em:

ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rede_maregrafica_permanente_geodesia/relacao_dvs_gb_nr_zh.pdf. Acesso em 17/11/2015.

IBGE, 2016. **Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG 2001/2015.** Relatório. Disponível em:

ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2015_GRRV.pdf. Acesso em 25/10/2016.

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

KEARNS and BREMAN et al, Bathymetry: the art and science of seafloor modeling for modern applications. J. Breman (Ed.), Ocean Globe, ESRI Press, Redlands, 2010

KONGSBERG MARITIME, 2016. Dynamic positioning basic principles. Disponível em: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/BD306BBB3E7DA73FC1256DAB00353083?OpenDocument>. Acesso em Nov/2016.

KRUEGER, C.P., **Integração do GPS e Ecobatimetria**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 5, p.55-68, 1999. Disponível em: ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/bcg/article/viewFile/1520/1274. Acesso em 07/10/2015.

KRUEGER, C.P., **Levantamentos Batimétricos**, Revista INFOGEO 39 (MUNDOGEO) setembro 2005, Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentos-batimetricos>). Acesso em 24/09/2015.

KRUG, L.A., e NOERNBERG, M.A., **O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá - PR**, Revista Brasileira de Geofísica, vol. 25, suppl.1, 2007.

LH Evolução e Situação Atual. 1º. Encontro de Instituições que realizam Levantamentos Batimétricos. DHN, Brasil, 2001.

LOBIANCO, M.C.B. et al., **Relatório de Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2001-2012**, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: ftp://geofitp.ibge.gov.br/RMPG/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2013_GRRV.pdf

LTG 2013, Noções de Batimetria, PTR2201, Informações Espaciais I, LTG/PTR/EPUSP, Disponível em: http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/212203/mod_resource/content/1/aula%2016%20PTR2201%20-%20No%C3%A7oes%20de%20Batimetria%20v2013.pdf Acesso em 15/10/2015.

MARTINS, L.R.; NUNES, J.C., Aplicação de imagens de satélites altimétricos na identificação de feições do fundo marinho. Gravel n.4, 2006. Disponível em: http://www.ufrgs.br/gravel/4/Gravel_4_10.pdf. Acesso em 23/10/2016.

MATOS, A.C.O.C., Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul. **Tese de doutorado**. 2005. USP – Universidade de São Paulo. Disponível em www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde.../05_capitulo4.pdf Acesso em 23/11/2015

MATOS, A.J.S., Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”. **Tese de doutorado**, São Carlos, USP, 2012.

MIGUENS, A.P., **Navegação: a ciência e a arte**. V.1. Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro. DHN, 1996, 538p. Disponível em: https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/publica_manualnav1.html. Acesso em 08/10/2015.

MIGUENS, A.P., 1996. **Marés e correntes de marés; correntes oceânicas- Cap10. Navegação costeira, estimada e em águas restritas**. Disponível em:
<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap10.pdf> Acesso em 18/11/2015.

PACHECO, C.A.K., 2010, **Levantamento Hidrográfico – Topobatimetria do canal entre as ilhas do Lino e do Laje**, Trabalho de conclusão, Depto de Geodesia, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PENROSE J. D.; SIWABESSY P. J. W.; GAVRILOV A.; PARNUM I.; HAMILTON L. J.; BICKERS A.; BROOKE B.; RYAN D. A.; KENNEDY P. Acoustic techniques for seabed classification, September 2005, Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management, Technical Report 32.

PORTOGENTE, 2015. **LIDAR, uma opção para execução de levantamento batimétrico**. 2011 Disponível em: <https://portogente.com.br/colunistas/edesio-elias-lobes/lidar-uma-opcao-para-execucao-de-levantamento-batimetrico-35299> Acesso em 22/11/2015.

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

RAMOS, A. M.; KRUEGER, C.P., Aplicação de reduções batimétricas GPS em levantamentos hidrográficos, **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, no 4, p.615-635, 2009. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/bcg/article/viewFile/16284/10775>. Acesso em 21/10/2015.

RAMOS, A. M.; KRUEGER, C.P., Observações maregráficas empregando a Técnica RTK-OTF em apoio a levantamentos hidrográficos para atualização de cartas náuticas. COBRAC 2006 – Disponível em <http://www.lage.ufpr.br/downloads/publicacoes/2006/cobrac2006170.pdf>. Acesso em 23/11/2015.

RIBEIRO, S.R.A.; CENTENO, J.A.S.; KRUEGER, C.P., 2008, Uma estimativa de profundidade a partir de levantamento batimétrico e dados IKONOS II mediante redes neurais artificiais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 14, no 2, p.171-185.

SILVEIRA, A. C., Estimativa da acurácia da posição de pixels em sistemas de batimetria multifeixe. 2004. **Dissertação de mestrado**. UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 93p. Disponível em:
http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2004_mestrado_alexandre_coelho_da_silveira.pdf
Acesso em 17/11/2015.

SIMÕES, I.C.V.P., Aplicação da batimetria multifeixe para definição da morfologia detalhada do fundo marinho ao largo da laguna de Araruama e Arraial do Cabo – RJ, **Dissertação de mestrado**, 2007, Universidade Federal Fluminense, 107p.

SUBSEAWORLDNEWS, 2016. Disponível em <http://subseaworldnews.com/2014/10/03/eolien-plans-owfs-seabed-clearance-off-france/>. Acesso em mar 2016.

TEDESCO, A., Estimativa de profundidades utilizando imagens de alta resolução apoiadas por dados de levantamento batimétrico. **Dissertação de mestrado**. UFPR - Universidade Federal do Paraná, 2003. Disponível em:
<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/6781/Andrea%20Tedesco.pdf?sequence=2> Acesso em 03/10/2015.

TÚLIO, S.; GAMARO, P.E.M.; MALDONADO, L.H., 2011. **Avaliação do uso do medidor de vazão Doppler com feixe vertical em levantamentos batimétricos.** XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Disponível em:
http://www.abrh.org.br/sgc3/UserFiles/Sumarios/ae0f450978d29e4b809033a129d9e0a_173a40eb3bbab0d1bb6e6bf347bba762.pdf Acesso em 02/10/2015.

UFPR, 2013. Levantamentos Hidrográficos. Disciplina de Levantamentos Topográficos II-2013. UFPR-Universidade Federal do Paraná. Disponível em: http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/10/Levantamentos-Topograficos-II_lev-hidrografico.pdf. Acesso em 02/10/2015.

http://www.popa.com.br/cartas_mapas/Pedras_do_guaiba.htm