

Revisão das Tecnologias Utilizadas para Levantamento Batimétrico em Corpos Hídricos

Review of the Technologies Used for Bathymetric Survey in Water Bodies

Helga Giovanna Carvalho Fonseca Mendes de Jesus*

Jader Lugon Junior**

Cristine Nunes Ferreira***

Resumo

A obtenção de informações confiáveis sobre corpos hídricos é substancialmente importante para a gestão, monitoramento e modelagem de tais sistemas. Empregar técnicas batimétricas apropriadas às diferentes aplicações contribui para a acurácia dos dados, permitindo uma melhor eficiência no diagnóstico do ecossistema estudado. O objetivo deste artigo foi fazer uma inquirição dos triviais procedimentos para investigação das topografias de fundo dos corpos hídricos. A pesquisa, do ponto de vista de sua natureza, é classificada como básica, abordando o assunto de maneira qualitativa. Foi identificada uma lacuna para estimar a batimetria em águas rasas, onde sedimentação, temperatura e viscosidade interferem na constante de velocidade do som.

Palavras-chave: Topografia. Sensor remoto. Habitat aquático.

Abstract

Reliable information is of substantial importance to management, monitoring and modeling of water bodies. Employ appropriate bathymetric techniques to different applications, contributing to accuracy of data allowing for better efficiency in the diagnosis of the studied ecosystem. The aim of this article was to make an inquiry of trivial procedures for investigation of bottom topographies of water bodies. From the point of view of its nature, the research is classified as basic, addressing the issue in a qualitative way. A gap has been identified to estimate the bathymetry in shallow waters, where sedimentation, temperature and viscosity affect the speed of sound constant.

Keywords: Topography. Remote sensor. Aquatic habitat.

1 Introdução

Este trabalho fez um levantamento bibliográfico das principais tecnologias de batimetria levando em conta suas características, metodologias e aplicações. Os limites dos procedimentos, identificados na literatura, também estão presentes para servir de estímulo a novas pesquisas que visem encontrar soluções para mitigá-los.

* Mestranda em Engenharia Ambiental Profissional pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFFluminense), Macaé/RJ – Brasil. E-mail: hgcarvalho1@gmail.com.

** Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 2005 (UERJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFFluminense), Macaé/RJ – Brasil. E-mail: jlugonjr@gmail.com.

*** Pós-doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2005 (UFRJ) e Pós-doutorado em supercordas e teoria M pelo International Center of Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Itália em 2014. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFFluminense), Macaé/RJ – Brasil. E-mail: crinifer@iff.edu.br.

Durante a Guerra Civil Americana, esforços foram criados para pesquisa da costa. No inverno de 1874-1875, começou o processo de mapeamento sistemático do Golfo do México, resultando no primeiro mapa batimétrico moderno e preciso do oceano profundo, como representado na Figura 1.

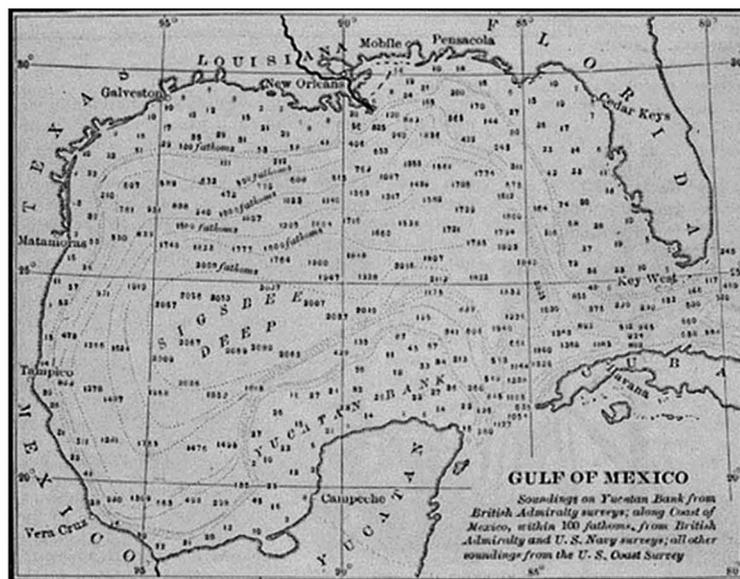


Figura 1: Mapa batimétrico do Golfo do México (1874-1875)

Fonte: <<http://oceanexplorer.noaa.gov/history/breakthru/breakthru.html>>. Acesso em: 4 ago. 2015

A tecnologia também é impulsionada pelo fator econômico. Em Ferreira (2013), é citada a importância da batimetria para a navegação como se observa abaixo:

Mais de 80% do comércio internacional é transportado por vias aquáticas e no Brasil não é diferente. Apenas esta afirmação já poderia ser suficiente para justificar o estudo relacionado à geodésia marinha. Contudo, principalmente no Brasil os conhecimentos acerca dos relevos submersos ainda são escassos.

Processos hidrodinâmicos e acompanhamento da erosão (KRUG; NOERNBERG, 2005), identificação de vulnerabilidade pela interferência antrópica (JESUS; CRUZ, 2014), derivação de critérios morfológicos para definir a extensão jurídica da plataforma continental (MARTINS; NUNES, 2006) ressaltam a importância da técnica. O conhecimento da topografia para compreensão física do oceano, da biologia marinha, da química e da geologia é estratégico (SMITH; SANDWELL, 1997), pois esse ambiente passa a evidenciar uma potencialidade de oportunidades econômicas com rica reserva natural e energética (RIORDAN et al., 2012). O monitoramento por batimetria permite detectar e apreciar a evolução de tendências do relevo do solo que é de muita valia científica, ambiental e econômica (VICENTE et al., 2004).

O imageamento acústico do ambiente subaquático é usado em uma ampla gama de aplicações operacionais e de pesquisa, motivando o estudo nesta área para aprimorar o transdutor ou métodos ligados ao melhoramento da propagação da onda sonora.

No decorrer do artigo serão apresentados os tipos de levantamentos batimétricos, aplicações e restrições a depender do método empregado e da plataforma.

2 Revisão bibliográfica

Nesta seção abordar-se-ão os métodos rudimentares mais utilizados para a medição de profundidade bem como os tipos de sensores remotos empregados para obtenção da batimetria.

2.1 Batimetrias rudimentares

2.1.1 O prumo de mão

Consiste em um peso de chumbo contendo na sua parte superior uma alça, e na base um cavado, onde se coloca sabão ou sebo, com a finalidade de trazer uma amostra da qualidade do fundo. A linha de barca é amarrada na alça da chumbada, onde se faz uma graduação em metros. Geralmente, gradua-se a linha com o zero distante da alça da chumbada de um comprimento igual à altura da mão do operador acima do plano de flutuação. A partir do zero, fazem-se marcações padronizadas na linha, correspondentes a uma escala. A graduação deve ser feita com a linha molhada ou uma já usada e esticada previamente. A velocidade do navio deve ser em torno de 3 nós, e o operador deve lançar a chumbada para vante e fazer a leitura quando o prumo estiver a pique. A leitura de profundidade é geralmente maior que a real devido à catenária formada pela linha. O comprimento da linha varia de 25 a 45 metros e o peso da chumbada de 2,5 a 7 quilos (INSTRUMENTOS NÁUTICOS, *s.d.*). Essa técnica permitia a construção de mapas e gráficos de profundidade.

| 147 |

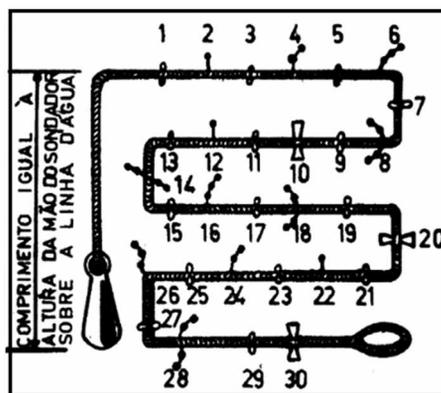


Figura 2: Ilustração do prumo

Fonte: www.mar.mil.br

2.1.2 Régua graduada

É um método que permanece em uso em alguns lugares pelo seu reduzido custo e simplicidade. Em contrapartida, erros de leitura são comuns como a imperícia do observador e posicionamento incorreto da régua. A régua pode ser de madeira ou metal e afere medidas de profundidade tanto sozinha quanto em conjunto a sonares para calibrá-los na correção do valor de velocidade do som na água (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008). É aplicável em rios pequenos, não muito largos e, principalmente, com profundidades inferiores a 1 m e velocidades abaixo de 1 m/s. O levantamento consiste no ato de caminhar pela seção com uma mira ou régua graduada, com o zero no leito (ANA, 2009), como mostra a Figura 3.



Figura 3: Régua graduada - medida de profundidade com régua no Rio Salitre – Bacia do rio Paranaíba

Fonte: ANA, 2009

2.2 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto, segundo Lillesand e Kiefer (1994), é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor), que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno investigado.

Ainda sobre a definição dessa ciência, em *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar* (2014), temos:

O sensoriamento remoto (SR) se caracteriza pela obtenção de informações de um objeto sem existir um contato físico com o mesmo, e muitas vezes a longas distâncias. As primeiras medições por SR foram realizadas através de câmeras acopladas em aeronaves, balões, pipas, foguetes e até pássaros. Atualmente, imagens de sensores remotos podem ser obtidas a partir de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs) [...] (*Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*; 2014, p. 59).

“Estudos ambientais deram um salto enorme em termos de qualidade, agilidade e número

de informações através do uso do SR” (INPE, *s.d.*). As aplicações dessa ciência são úteis pela possibilidade de monitoramento contínuo; diagnóstico especializado para subsidiar tomadas de decisão (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014); para atualizar a cartografia existente; e levantar áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos (INPE, *s.d.*). A classificação dos sensores remotos quanto à fonte de radiação pode ser dividida em duas categorias: ativos e passivos (INPE, 2001), descritos nos subitens abaixo.

2.2.1 Sensores remotos – ativos

“São aqueles que proporcionam fonte própria de energia eletromagnética, como radares, sonares e LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Este último dispara pulsos de laser sobre o terreno e identifica os respectivos retornos, tornando possível saber com precisão as coordenadas X, Y e Z de pontos no terreno. Isso permite gerar “nuvens de pontos”, que podem ser utilizados para levantamentos topográficos” (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014, p. 62).

Diferentes informações são obtidas a depender da plataforma de coleta (terrestre, aéreo ou orbital) (INPE, 2001). A seguir, serão descritas cada uma delas com suas características.

Batimetria por RADAR (*Radio Detection And Ranging*)

As rugas, depressões, criam mudanças no campo magnético da Terra, que provocam flutuações na altura da superfície do mar, e essas feições são estimadas pelo envio de pulso de rádio. Por essa técnica, calcula-se a topografia do fundo do mar medindo o tempo que leva um pulso de radar ir do satélite até a superfície do mar e voltar àquele. Depois relaciona esse resultado com a posição de sua órbita (PEIXOTO, 2007). Ainda em Peixoto (2007), descreve-se como o método gera a feição topográfica do geóide através da relação entre as alturas do satélite acima do elipsoide (h^*) e acima da superfície do oceano (h) (Figura 4).

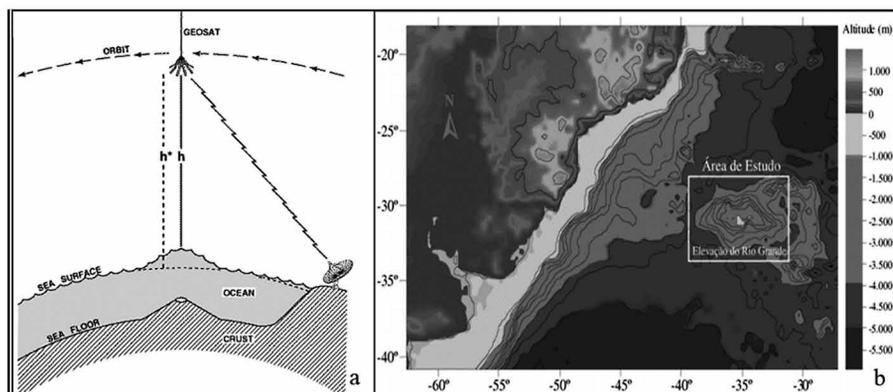


Figura 4: Batimetria por RADAR - (a) Ilustração didática do cálculo do perfil topográfico (PEIXOTO, 2007) e (b) Ilustração do perfil topográfico por radar na identificação de feições do fundo marinho: pode-se verificar que quanto mais escuro, mais profundo é em relação ao elipsoide (MARTINS; NUNES, 2006)

A aferição (h^*) é feita pelas estações globais de posicionamento com cálculos dinâmicos da órbita para refinar a trajetória e altura do satélite. Esta (h) é medida com um radar de micropulso, na frequência portadora maior que 13 GHz (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012), melhor reflexão na superfície do oceano. Feitas as operações, o perfil topográfico é dado pela Equação 1:

$$N = \Sigma (h^* - h) \quad (\text{Eq. 1})$$

As limitações inerentes à técnica de radar estão relacionadas às resistências da ionosfera e litosfera. A instabilidade da superfície do oceano devido às marés, correntes, pressão atmosférica também geram erros no parâmetro de h (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). Áreas de mar com vulcões ou fraturas têm correntes, logo geram desvios das ondas emitidas pelo satélite, carecendo de tratamentos específicos para revelarem o perfil correto (HAXBY et al., 2011). Anomalias da gravidade também influenciam a exatidão da medida da superfície marinha. Segundo Haxby et al. (2011), cálculos com a equação de Laplace combinado com a fórmula de Bruns mostram que um microrradiante, aproximadamente $0,000057^\circ$ de inclinação da superfície oceânica, corresponde aproximadamente a um miliGal ($0,001 \text{ cm/s}^2$) de anomalia da gravidade. Como consequência desse fenômeno, há prejuízo na leitura do tempo do pulso, parâmetro fundamental dessa técnica. Para minimizarem tantos erros, Sandwell e Smith (1997) acrescentam que é preciso fazer o levantamento com elevada taxa de repetição (1.000 impulsos por segundo).

A vantagem do uso do radar está no fato de permitir o monitoramento de uma grande área (varia de 15 a 200 km) e em locais remotos do oceano (MARTINS; NUNES, 2006). Ainda segundo Martins e Nunes (2006), outro aspecto relevante é que os gastos financeiros não são expressivos, visto que as informações estão disponíveis gratuitamente na rede mundial de computadores. A estimação e o acompanhamento histórico do relevo subaquático mostram-se possíveis pela integração e interpolação, respectivamente, de informações das assinaturas topográficas ao longo dos anos fornecidas pelos satélites: Geosat (1984-1989), ENVISAT (2002-presente), ERS-1 (1991- 1998), ERS-2 (1995- presente) e Topex-Poseidon (1992- 2006), GFO (1998- presente), Jason 2 (2008- presente) (SANDWELL; SMITH, 2009).

A aplicação na área de exploração de petróleo para localizar bacias sedimentares marítimas em zonas remotas onde farão pesquisas de sísmica, é empregada por grandes empresas tais como Exxon, Mobil e Texaco (SANDWELL; SMITH, 1997).

Batimetria por LiDAR (*Light Detection and Ranging*) – Óptico

A grande diferença desta técnica ao radar é a faixa de comprimento de onda. O RADAR utiliza frequências variando entre MHz e GHz, e o LIDAR, faixa do infravermelho ao ultravioleta. Dependendo do objetivo do que se quer monitorar, trabalha com determinado(s) comprimento(s) de onda(s) (COSTA, 2011).

A Figura 5 ilustra o princípio de funcionamento do método óptico a laser com a emissão de dois pulsos com comprimentos de ondas de 530 nm (azul-verde), indicada pela seta na parte inferior da figura e 1.064 nm (infravermelho), indicada pela outra seta. A topografia é levantada

com as diferenças nos cálculos dos tempos de retorno entre este, que não refrata na água, e aquele (KLEMAS, 2011).

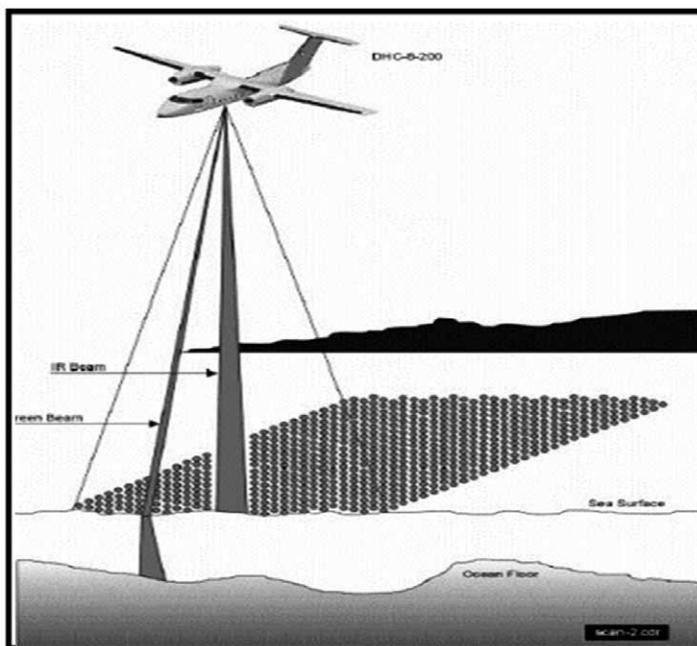


Figura 5: Ilustração didática do cálculo do perfil topográfico pela varredura por LIDAR. O feixe de luz perpendicular à lâmina d'água é o infravermelho (indicado pela seta mais acima na figura); e o inclinado, indicado pela seta mais abaixo na figura, é o azul-verde. (ARTILHEIRO, 2006).

| 151 |

O objeto de estudo é atingido por vários pulsos, sob determinadas taxas de frequência de repetição, e de varredura (BASTOS; ERCOLIN FILHO, 2012). “O sistema LIDAR é muito atrativo devido a algumas características específicas, tais como sua alta resolução espacial e temporal e a possibilidade de observação do objeto de estudo sem interferência direta e em tempo real” (COSTA, 2011).

Segundo o *site* da empresa MRA instrumentação, “o scanner a laser consegue penetrar em águas rasas para obter a profundidade das zonas costeiras, leitos de rios, etc”. Como a costa é uma área crítica a ser mapeada e estudos evidenciam a indubitável importância da batimetria nesta área para entender os processos geomorfológicos, hidrológicos e sedimentares (KLEMAS, 2011), esta seria, então, a solução para fazer o levantamento topográfico em águas rasas. Mas, no seu endereço eletrônico, a empresa completa:

Neste caso, o LIDAR deve ir colocado numa aeronave e é o complemento perfeito para uma batimetria com uma sonda multifeixe em águas muito rasas onde não é possível operar com uma embarcação. Com esta tecnologia é possível medir profundidades que podem ir até 10 metros de profundidade (MRA Instrumentação)

Segundo Klemas (2011), em áreas muito rasas, menores que 2 m, há limites técnicos que são inerentes à propagação da onda. Também prejudicam a estimação da profundidade, as

zonas de arrebentação, onde há dificuldade de “penetração” na coluna de água pela agitação dos sedimentos avultando o grau de turbidez (STOKER et al., 2011). Para solucionar esse impasse, o mapeamento é feito em voos sucessivos na maré baixa, usando o sistema LIDAR, e na alta em conjunto com um batímetro (NIEMEYER et al., 2014).

Batimetria por sistema acústico

O som é uma energia acústica que necessita do meio para se propagar, deslocando-se melhor através de sólidos e líquidos. Ao contrário da luz, tem inúmeras aplicações em oceanografia (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

Os oceanos são ambientes caros de se monitorar tanto pelo meio aéreo, pelas limitações meteorológicas e relacionadas à luz; quanto pelas imagens de satélite, com fornecimento superficial, pouco nítido, de informações subaquáticas para maiores profundidades (HOLEMANS, 2015; LIMERICK, 2012). Neste viés, o emprego de sonares é apropriado.

A qualidade dos dados depende de muitos fatores, dentre eles, a precisão do posicionamento do transdutor, a plataforma, a estabilidade do reboque (para scanner lateral), duração do pulso, o ângulo de incidência dos feixes e o ruído da coluna d’água (SILVA, 2010). A velocidade do som na água é dependente da pressão, temperatura e salinidade. A variação desses parâmetros implica algumas características na sua propagação. O aumento da temperatura da água diminui a densidade e, nas camadas superficiais do oceano, cada 1 °C de incremento na temperatura leva ao aumento de cerca de 3 m/s na velocidade do som nesse meio. A profundidade também provoca um aumento da velocidade, exceto no canal de som. Já abaixo da termoclina, a temperatura e a salinidade variam pouco, e a pressão é o fator de controle dessa velocidade (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

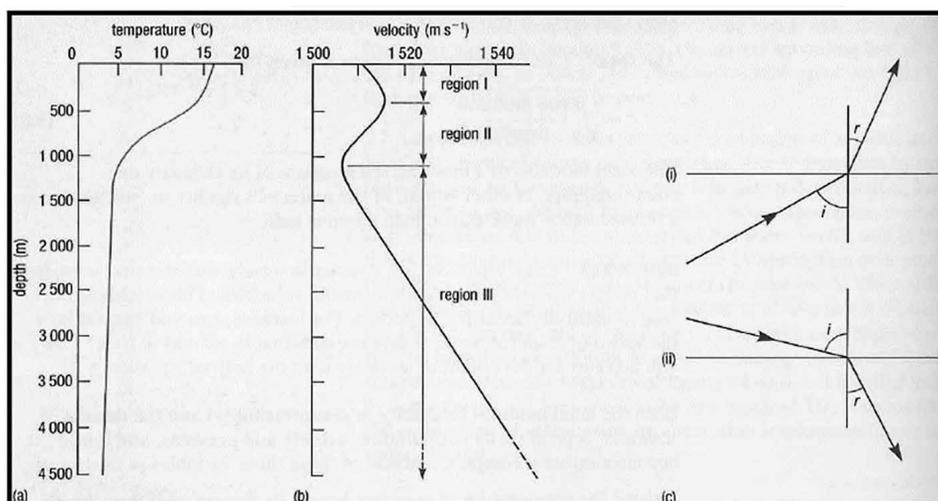


Figura 6: (a) e (b) Ilustração das variáveis velocidade e profundidade - Comportamento da temperatura e a velocidade do som em relação à profundidade, (c) O comportamento do ângulo de incidência e reflexão com a variação da densidade. (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

O método acústico é amplamente utilizado pela marinha, empresas de exploração, instituições de pesquisa, organizações governamentais, ecologistas marinhos e oceanógrafos para adquirir grande volume de informações. Destas, há várias citações quanto à quantidade de sedimentos, à hidrodinâmica, à investigação de *habitat* específicos, à detecção de hidrocarbonetos, e à identificação do relevo do leito ao reconhecer naufrágios e diversas paisagens submersas (FLENER et al., 2010).

As características operacionais dos sondadores são determinadas pela frequência acústica. Quanto mais elevada, mais reduzidos são seus alcances devido às perdas por absorção ao longo da coluna de água (ARTILHEIRO, *s.d.*). A distância de varredura também é correlacionada com a frequência do sinal acústico. Desta maneira, se o objetivo do levantamento é cobrir amplas áreas em um curto espaço de tempo, o sinal deve ser de baixa frequência. A resolução ficará comprometida porque a baixa frequência implicará uma largura maior de pulso. Para obter alta resolução, mais detalhes na imagem, é necessário sinal de alta frequência; porém a menores distâncias. Os estratos sedimentares não são penetrados e o sinal retorna ao transdutor, imprimindo a estrutura da superfície (SILVA, 2010).

I Sonar ativo

É emitido o sinal acústico, e os sons refletidos pelos objetos existentes são recebidos pelos transdutores e posteriormente processados. O principal parâmetro considerado na propagação sonora é a velocidade do som, dependente da temperatura, da densidade e pressão. A expressão, em líquidos, é empírica obtida a partir da equação de estado da termodinâmica. Segundo Correia Junior (2008 apud CLAY, 1977), a fórmula mais aplicada no meio científico para $0^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$, $0 < S < 45 \text{ ‰}$ e $0 < Z < 1.000 \text{ m}$ é:

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029 T^3 + (1,34 - 0,01T) (S - 35) + 0,016z \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

T (temperatura) é expressa em $^{\circ}\text{C}$,

S (salinidade), em parte por milhão ($^{\circ}/_{\infty}$),

Z (profundidade) em metros,

C (velocidade do som) em metros por segundo.

I. a Sonar de feixe único

Sua base de funcionamento é comum aos sonares acústicos. Uma discrepância considerável está no tempo do levantamento hidrográfico. Este utiliza um menor espaçamento entre os perfis batimétricos no levantamento, especialmente em profundidades mais elevadas suscitando morosidade quanto ao tempo e inferior quantidade de pontos, tendo uma resolução inferior ao multifeixe. As principais características estão na Tabela 1.

Tabela 1: Características da onda - Relações dos parâmetros de alcance, potência de transmissão, penetração nos sedimentos e abertura do feixe com as diferentes frequências da onda sonora. (ARTILHEIRO, 2006)

Frequência (kHz)	24 - 33	180 - 250
Alcance (m)	~1500	~ 100
Abertura do feixe (°)	15 - 25	5 - 15
Potência de transmissão (W)	500	100
Penetração nos sedimentos	Sim	Não

I.b Sonar multicanal

Contém vários transdutores com a mesma frequência e é utilizado para baixas profundidades. A vantagem sobre o de multifeixes é a cobertura do solo subaquático com a mesma largura de faixa. A Figura 7 ilustra essa tecnologia.

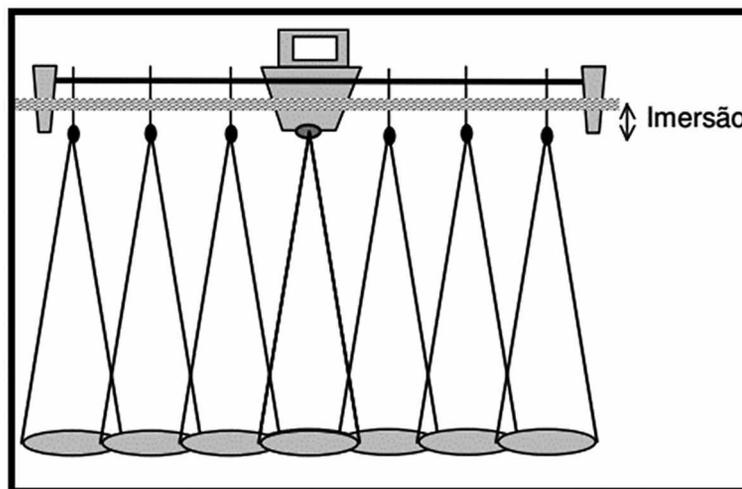


Figura 7: Ilustração do sondador multicanal (ARTILHEIRO, 2006)

I.c Sonar multifeixe

Este método revela o fundo do mar em detalhes. É uma base excelente para interpretações geológicas e identificação de relevo do leito de grande relevância ecológica (ELVENES et al., 2013).

Os sistemas multifeixes medem e registram o tempo decorrido entre a emissão e recepção do sinal do transdutor para o fundo do corpo hídrico ou objeto. Produzem uma “faixa” de sondagens com largura cerca de três a sete vezes a profundidade média. Geralmente há sobreposição de linhas paralelas para assegurar a cobertura integral de uma área (MCCONNAUGHEY, 2001). Eles têm frequência de operação de 12-450 kHz, são bastante sensíveis à movimentação da plataforma e à variação temporal e espacial do perfil de velocidade de propagação do som na água (ARTILHEIRO, 2006). Segundo Ilva (2010), a aquisição de dados desse sistema gera grande quantidade de informações necessitando de servidores de grande

porte de memória. A Figura 8 ilustra os tipos de feixe gerados pelos sonares e a resolução das imagens batimétricas.

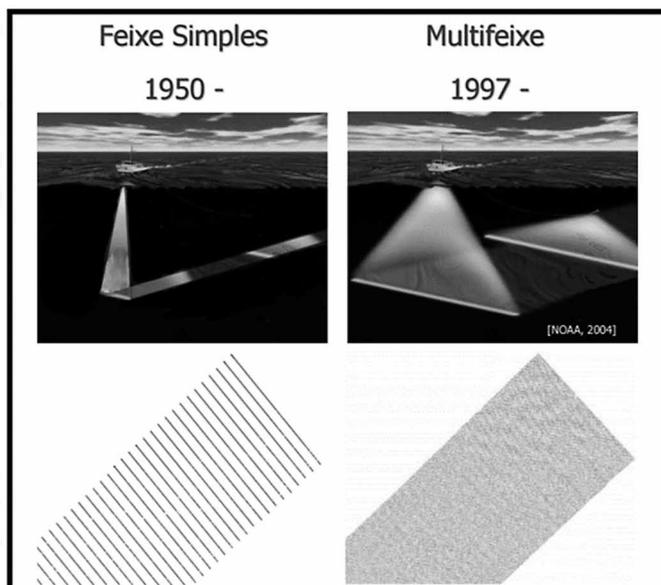


Figura 8: Feixe simples e multifeixe - Comparação dos métodos de batimetria por sonar multifeixe e varredura lateral com monofeixe. (ARTILHEIRO, 2010).

I.d Sonar de varredura lateral

O método usa feixes estreitos de energia acústica na direção paralela à rota de navegação (média de 2°) e na perpendicular, largo (40° a 50°) (SILVA, 2010). É projetado para fornecer imagens sem distorções acústicas para detectar obstruções gerando para cada intensidade de eco, um pixel. Aplicado para identificar mudanças de estruturas marinhas, desde leves inclinações a afloramentos rochosos. É um instrumento muito utilizado na indústria do petróleo na investigação de riscos englobando estruturas que possam prejudicar a integridade de oleodutos, gasodutos. O imageamento de rotas de navegação para verificação de necessidade de dragagem e o monitoramento do local de descarte desse material são aplicações desse método (MCCONNAUGHEY, 2011).

Como regra geral, a varredura lateral não efetua medida de profundidade. É usado, frequentemente, junto aos sonares multifeixes para obter esse parâmetro. Requer velocidade reduzida da embarcação (ARTILHEIRO, 2006).

Há forte correlação entre características da imagem e contrastes texturais existentes na superfície de fundo contribuindo para a interpretação dos dados (LIMERICK, 2012). Objetos duros (recifes, cabos, dutos) do fundo, enviam um eco forte e criam imagens escuras. Sombras são áreas suaves, como lama e areia, que enviam ecos mais fracos, criando assim uma imagem mais clara. Essa técnica, no entanto, não costuma fornecer dados batimétricos (SILVA, 2010).

2.3 Sensores remotos passivos

[...] “registram a energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo, como a radiação solar refletida ou radiação termal emitida. São exemplos de sensores passivos os sensores multiespectrais a bordo de diversos satélites” (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014, p. 62).

Assim, sonar passivo não pode medir o intervalo de um objeto a menos que seja usado em conjunto com outros dispositivos de escuta passiva.

2.3.1 Eletroespectrais

As imagens hiperespectrais são radiometricamente calibradas para convertê-las em unidades de radiância. Softwares específicos são requeridos para obter valores de reflectância para cada pixel de imagem em cada banda espectral. Há diferentes estratégias para calibrar a profundidade derivada das imagens (LEGLEITER et al., 2011). Uma grande vantagem do sistema é que os sensores ópticos podem ser acoplados em aeronaves, foguetes, balões ou satélites artificiais. Cada tipo de plataforma utilizada implica um grau de operacionalidade e custo (INPE, 2001).

A localização remota de alguns corpos hídricos torna difícil a implantação e manutenção de sistemas tradicionais de medição. O fomento ao livre uso dos dados dos satélites vem tornando o monitoramento pelo método óptico uma ferramenta atraente (ABILEAH et al., 2011; ARSEN et al., 2013), mas sua utilização como alternativa para obter profundidade, em rios, é pouca em número (MERSEL et al., 2013) e, pelas propriedades ópticas de reflexão, difração e difusão, fica limitado o seu uso em grandes profundidades. Em Krug e Noernberg (2005), foram feitas comparações entre o valor estimado pelo sensor remoto e o colhido em campo. Observou-se que até um metro, a diferença entre a profundidade verdadeira e a estimada é pequena. Para profundidades entre um metro e três, os erros apresentam uma variação maior. A partir dessa profundidade, o erro aumenta consideravelmente.

Suas distintas aplicações dependem do tipo de banda que operam nas mais diferentes faixas do espectro eletromagnético. Com a banda mais adequada, pode-se fazer o mapeamento de águas costeiras e interiores (INPE, 2001). Há limitações de detecção quanto à profundidade e sedimentação dos corpos hídricos, bem conhecidas na literatura pelas características eletromagnéticas.

Em Legleiter et al. (2011), fica clara a complexidade em se estimar a profundidade a partir dessa técnica em águas turvas. Segundo estudo, é viável; mas não tem boa precisão. Para um resultado satisfatório, há necessidade de medições em campo. Ainda relata a dificuldade do alinhamento correto entre as imagens (correlacionar cada pixel a uma área de campo).

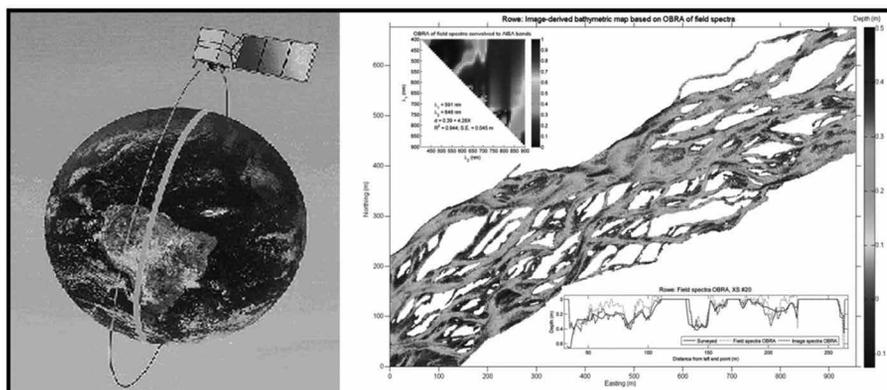


Figura 9: Batimetria por ondas eletrospectrais - Varredura do satélite CBERS sob a órbita polar da Terra (INPE, 2001) e a representação do mapa eletrospectral do rio Platte, Centro de Nebraska-EUA. As áreas, no lado direito, em tons de cinza escuro, representam cotas de profundidade (0,3-0,5m) (LEGLEITER et al., 2011).

3 Material e método

A metodologia de pesquisa usada foi básica, dispondo de artigos, dissertações, teses, jornais, anais e livros como fonte primárias para conhecer mais detalhes técnicos e qualitativos sobre a batimetria em corpos hídricos. Do levantamento inicial, gerou-se este artigo e um pedido de patente a ser depositado. Os objetivos iniciais de identificar como são feitas as leituras da altura da lâmina de água, de relevo, nas técnicas batimétricas para caracterização da topografia, foram alcançados. Além disso, foram exemplificadas aplicações e limitações para nortear o desenvolvimento de uma nova proposta de melhoria na leitura em águas de baixo calado (0,2-3 m).

| 157 |

4 Considerações finais

Todas as técnicas de batimetria levantadas têm um princípio em comum de funcionamento: a propagação de energia. Seja ela sonora, eletromagnética ou a rádio, entender as limitações e funcionamento das técnicas contribui para utilizá-las de maneira coerente aos seus princípios fundamentais (reflexão, refração, difusão) no melhor cenário de rendimento (MÁXIMO, ALVARENGA, *s.d.*, p.703-815).

Sabe-se que não são apenas fatores técnicos que influenciam a tomada de decisões para escolha de uma determinada tecnologia, por exemplo. Os econômicos, sociais, políticos e ambientais também são considerados. No caso da Noruega, há o programa de monitoramento ambiental financiado pelo governo (ELVENES et al., 2013), com 40% do valor investidos em batimetria. O custo não foi fator limitante e, através desse projeto, dados importantes sobre clima e *habitat* marinho estão sendo revelados.

A batimetria pela técnica da propagação do som é mais usada, por ele propagar-se na água

melhor do que as outras formas de energias. Todos os métodos de um só feixe, multifeixe, estão disponíveis em várias frequências, e, por ser uma onda mecânica, a interferência dos sedimentos, em comparação com a luz, não atenuam esta como aquela. A pesquisa teórica na literatura é fundamental para o embasamento técnico possibilitando discutir, propor e sugerir alternativas para o aperfeiçoamento dos trabalhos na área investigada. Em Haris et al. (2011); Pereira e Baracury (2008), houve a pesquisa com o multifeixe. Os primeiros testaram o desempenho em várias frequências, comparando-o com o valor real de profundidade, em três comprimentos de ondas; enquanto os últimos determinaram a bacia hidráulica do açude Bodocongó. Com uma visão de melhoramento do sistema de batimetria, Tianjin (2014) propôs medidas inovadoras como a proposta de embarcações autônomas, com rotas predefinidas, que enviam os dados lidos em campo para uma base em terra ou os armazenam para leitura futura. Isso conferirá a essas pequenas embarcações a função de alimentar uma grande base de dados integrada para estudos em águas rasas e colaborar para a gestão hídrica. Em Juliano et al. (2012), foi utilizada a batimetria para aplicações da plataforma MOHID para simulação computacional de deriva oceânica de petróleo na bacia de Campos, no Rio de Janeiro.

Dados batimétricos foram usados como entrada para modelagem de sistemas ambientais aplicada à gestão de recursos hídricos em Pessanha et al. (2011). No caso desse artigo, usaram-se conceitos de modelagem matemática para simular cenários da lagoa de Imboacica considerando impactos ambientais para fazer projeções futuras desse patrimônio natural.

Com os problemas evidenciados quanto à questão hídrica no mundo, principalmente pela necessidade vital desse recurso, pesquisas que abordam esse tema terão grau de relevância alto.

5 Conclusão

Este artigo elencou algumas das técnicas para levantamentos batimétricos além de informar aplicações e limites próprios do método a ser empregado. Eles se mostram eficientes a depender do meio onde serão utilizados, exigindo um conhecimento das peculiaridades técnicas ímpares da área a ser monitorada.

A batimetria pela técnica de som consome tempo e custo expressivos para o levantamento (NIEMEYER; SOERGEL, 2013), mas ainda é o meio mais utilizado em atividades à base de água, porque as ondas sonoras atenuam menos do que radar e ondas de luz. Melhor resolução de imagem com curta distância é produzida em frequências mais altas de som (até 1 Mhz); e, do contrário, frequências entre 50 kHz e 100 kHz (MCCONNAUGHEY, 2001). A acurácia da medida de profundidade está fortemente relacionada com a velocidade do som na água. Esta depende de variáveis como temperatura, salinidade, pressão, cobertura vegetal, biota e outras partículas na coluna de água, podendo afetar a precisão dessa medida (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). Em águas rasas, o método acústico fica limitado, sendo possível o uso de sensores batimétricos por luz. O limitante aqui são as características inerentes às propriedades ópticas influenciadas, por exemplo, pela turbidez, gerando erros na leitura de profundidade. Sedimentos e

fitoplâncton absorvem a luz superestimando essa medida. Águas claras permitem uma qualidade de reflexão melhor favorecendo uma estimacão mais precisa (LEGLEITER et al., 2011). Outro entrave é a atmosfera, que acrescenta mais fótons ao sinal, sendo um desafio fazer sua correção. Não são técnicas baratas para áreas reduzidas. Os ópticos ativos, LiDAR (Light Detection and Ranging) por laser, diferem dos passivos por não dependerem da luz do sol, podendo operar à noite. São capazes de mapear terra e água na mesma missão, proporcionando o maior conhecimento do nível do mar em zona costeira. Apesar de a aplicacão dessa técnica ser para profundidades de até 6 m, segundo a maioria da literatura pesquisada, Dierssen e Theberge JR (2012) citam ser conveniente a estimacão no *range* de até 40 m e, em condições muito ideais relativas à propagacão da luz, de até 60 m de profundidade.

Em áreas remotas, onde há pouco tráfego de navios, usa-se a altimetria. Ela permite o monitoramento batimétrico em uma larga extensão com melhor cenário em bacias oceânicas profundas onde os sedimentos são finos; do contrário, surgem erros (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). São muito complexos os cálculos para essa técnica, visto que a anormalidade da gravidade, fatores da ionosfera e atmosfera, também são variáveis presentes para a estimacão de profundidade.

Todas as técnicas passam por processamentos para interpretacão dos dados obtidos e há uma demanda expressiva em melhorar os modelos de maré para avaliar mais acertadamente as estimativas em águas rasas. É desafiadora também a caracterizacão do geóide para aprimorar as técnicas gravimétricas. É notória a maior preocupacão com o levantamento batimétrico da massa líquida marinha.

Indiscutivelmente, todas as técnicas, devidamente aplicadas, corroboram para ajudar na compreensão dos processos dinâmicos do planeta. Neste ínterim, os conhecimentos das paisagens subaquáticas tornar-se-ão cada vez mais dominados auxiliando as autoridades na gestão dos recursos naturais e impetrando medidas, de cunho científico, para a sustentabilidade dos mesmos.

| 159 |

Referências

ABILEAH, R.; VIGNUDELLI, S.; SCOZZARI, A. A completely remote sensing approach to monitoring reservoirs water volume. XV International Water Technology Conference (IWTC). Alexandria, Egypt. p. 1-17, 2011.

Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014. 596 p.

ANA- Agência Nacional de Águas. *Mediçãõ de descarga líquida em grandes rios: manual técnico/ Agência Nacional de Águas* – Brasília. 88p, ISBN: 987-85-89629-34-8, 2009.

ARSEN, A.; CRÉTAUX, J-F.; NGUYEN, M. B.; RIO, R. A. D. *Remote sensing-derived bathymetry of lake Poopó*. Journal Remote Sens. V.6, p. 407-420, doi: 103390/rs6010407. Disponível em: <file:///C:/Users/HP1/Downloads/remotesensing-06-00407.pdf> Acesso em: 27 jul. 2015.

ARTILHEIRO, F. M. F. *Fundamentos de hidrologia*. Documento de trabalho, p. 1-50, 2006. Disponível em: <http://www.bombeiros.pt/wp-content/uploads/2013/03/Fundamentos_Hidrografia.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2015.

_____. Engenharia Hidrográfica: do fio-de-prumo ao sondador multifeixe. *Hidrográfico marinha de Portugal*. 2010. Disponível em: www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/9a5cf933bb72d4288de00dbee8a93227.pdf. Acesso em: 29 jul. 2015.

BASTOS, B. da C.; ERCOLIN FILHO, L. *Utilização da tecnologia lidar em projetos de engenharia de infraestrutura viária*. XI Congresso nacional y VIII Latinoamericano de agrimensura. Curitiba/PR/Brazil. 2012.

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

CONGRESSO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA – APMTAC, 2015, Lisboa. *Estudo sobre a propagação acústica em águas rasas*. APMTAC, Lisboa – Portugal.

CORREA JUNIOR, C. *Estudo da Propagação Acústica no Mar na Camada de Mistura*. 2008 IX, 71 p. Dissertação (mestrado em Ciências na área de Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE 1, Rio de Janeiro.

COSTA, R. F. da. *Estudo das propriedades ópticas dos aerossóis no estado de São Paulo com a técnica de LIDAR RAMAN*. 2011. 85f. Dissertação (mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.

DIERSSSEN; H. M.; THEBERGE JR, A. E. *Bathymetry: Assessing Methods*. *ENCYCLOPEDIA OF NATURAL RESOURCES*, p. 1-25, 2012.

ELVENES, S.; DOLAN, M. F. J.; MORTENSEN, P. B.; BELLEC, V. K. An evaluation of compiled single-beam bathymetry data as a basis for regional sediment and biotope mapping. *ICES Journal of Marine Science of Oxford*. v. 71, p. 867-881, doi: 10.1093, ISSN: 20724292, 2013.

FERREIRA, Í. O.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, A. DE 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 - PE, 2012, p. 001 – 008.

FLENER, C.; LOTSARI, E; ALHO, P.; KAYHKO, J. Comparison of empirical and theoretical remote sensing based bathymetry models in river environments. *Journal River research and applications*. Department geography university of Turku, Finland. v. 28, p. 118-133, doi: 10.1002/rra.1441, 2010.

HARIS, K.; CHAKRABORTY, B.; DE, C.; PRABHUDESAI, R. G.; FERNANDES, W. Model-based seafloor characterization employing multi-beam angular backscatter data--a comparative study with dual-frequency single beam. *Journal Acoustical Society of America*. v. 130, 2011.

HAXBY, W. F.; KARNER, G. D.; LABRECQUE J. L.; WEISSEL J. K. Digital images of combined oceanic and continental data sets and their use in tectonic studies. *Journals Transactions Geophysical Union (AGU)*. Malden, MA- USA. V. 64, p. 995 – 1004, DOI: 10.1029/EO64i052, 2011.

HOLEMANS, W. (Washington, DC). *Autonomous sailboat for oceanographic monitoring*. Walter Holemans. US 8973511 B2. 18 de mar. de 2013, 10 de mar. de 2015. 17p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. STEFFEN, C. A. Introdução ao sensoriamento remoto. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

_____. *Sistemas Sensores*. Maurício Alves Moreira. 2001. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/LER5831/Angulo/sensores.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

INSTRUMENTOS NÁUTICOS: *As “ferramentas” do navegante*. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap11.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

JESUS, J. B. de; CRUZ, M. A. S. Modelagem do nível superficial e vulnerabilidade dos aquíferos de Sergipe. In: *Anais VII Encontro de Recursos Hídricos*. Sergipe, 2014.

JULIANO, M. M. F.; NEVES, R.; RODRIGUES, P. P. G. W.; JADER JUNIOR, L.; FERNANDES, R. Aplicação da Plataforma MOHID para simulação computacional de deriva oceânica de petróleo na bacia de Campos - RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 6, n. 1, p. 161-172, jan./jun. 2012.

| 161 |

KLEMAS, V. Beach Profiling and LIDAR bathymetry: an overview with case studies. *Journal of Coastal Research*. Florida – USA. V. 27, p. 1019- 1028, 2011.

KRUG, Lilian Anne; NOERNBERG, Maurício Almeida. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, 2005. p.3077-3084.

LEGLEITER, C. J.; KINZEL P. J.; OVERSTREET B. T. Evaluating the potential for remote bathymetric mapping of a turbid, sand-bed river: 2. Application to hyperspectral image data from the Platte River, Water Resources Research. V. 47, p. W09532, doi:10.1029/ 2011WR010592. 2011.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

LIMERICK, Universidade (Limerrick, IE). Riordan, James; Toal, Daniel; Thurman, Edward. *Method and apparatus for determining the topography of a seafloor and a vessel comprising the apparatus*. US 8305841 B2, 14 de fev. de 2010, 11 de jun. de 2012. 20p.

LUZ E SOM NOS OCEANOS. Disponível em: <<http://www.cgmdesign.net/docs/oceanografia/3%20-%20Luz%20e%20Som.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

MARTINS, LUIZ R.; NUNES, S. Aplicações de Imagens de Satélites Altimétricos na Identificação de Feições do Fundo Marinho. *Revista Gravel*, Porto Alegre, vol. 4, p. 119-124, 2006.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física*. 3º ed., editora Harbra Ltda. v.2, São Paulo.

MCCONNAUGHEY, Dr. B. *Klein 5000 side scan sonar*. Research Fishery Biologist and Project Chief Scientist RACE Division, NMFS Alaska Fisheries Science Center, Seattle, WA, 15 jul. 2001.

MERSEL, M. k.; SMITH, L. C.; ANDREADIS, K. M.; DURAND, M. T. Estimation of river depth from remotely sensed hydraulic relationships. *Journal Water Resources Reserch*. V. 49, p. 3165-3179, DOI: 10.1002/wrcr.20176, 2013.

NIEMEYER, J.; SOERGEL, U. Opportunities of airbornet laser batymetry for the monitoring of the sea bed on the Baltic sea coast. *Journal International Archives os the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*. v. 40, p. 179-184, 2013.

NIEMEYER, J.; KOGUT, T.; HEIPKE, C. *Airborne laser bathymetry for monitoring the German Baltic Sea Coast*. 2014. Disponível em: <<http://www.dgpf.de/neu/Proc2014/proceedings/papers/Beitrag117.pdf>> . Acesso em: 25 jul. 2015.

PEIXOTO, P. da S. Jason-1: Lendo os dados de altimetria por satélite para o nível do mar. Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (USP). Trabalho de conclusão do curso de especialização em “medição, análise, previsão e modelagem do nível do mar. p. 1-40.

| 162 |

PEREIRA, J. P.; BARACUHY, J. G. V. *Ecobatimetria teoria e prática*. Campina Grande- PB. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE- UFCG. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. 1º ed., ISBN: 978-85-60592-06-7, 2008. 84p.

PESSANHA, C. M. D.; JADER JUNIOR, L.; FERREIRA, M. I. P.; SOUZA, P. R. N.; HORA, H. M. C. Uso de modelagem computacional aplicada à gestão sanitário-ambiental: uma proposta de adaptação da plataforma MOHID Water para corpos lênticos aplicada à lagoa Imboacica, Macaé-RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 5 n. 2, p. 45-70, jul. / dez. 2011

QUINN, R. *Acoustic seafloor mapping*. Digital Resources for Common Module in Offshore Multidisciplinary Operations in Marine Science. University of Ulster. p. 1-10.

SANDWELL, D. T. ; SMITH, W. H. F. *Exploring the ocean basins with satellite altimeter data*. Scripp Institution of Oceanography of University of California, Santa Cruz, 1997.

_____. *Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate*. *Jornal of Geophysical Research*, v. 114, p. 1-18, B01411, doi:10.1029/2008JB006008, 2009.

SILVA, J. G. S. *A utilização do sonar de varredura lateral e do ecobatímetro multifeixe na interpretação e análise da morfologia da baía de Vitória (ES)*. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências- Departamento de Geologia/ LAGEMAR. Monografia em Geofísica. Niterói, 2010.

STOKER, J.; TURNIPSEED, D. P.; WILSON, K. V. Using regional-scale pre- and post Hurricane Katrina Lidar for Monitoring and Modeling, Recent Hurricane Research - Climate, Dynamics, and Societal Impacts. Ed. Prof. Anthony Lupo. ISBN: 978-953-307-238-8, p.556-592, 2011.

THOMAZINI, D.; ALBURQUEQUE, P. U. B. *Sensores Industriais: fundamentos e aplicações*. 2º ed. Editora Érica, Campina Grande, 2008.

TIANJIN Northern Blue Water Technology Co., Ltd (Tianjin, Nankai District). Sunya Lin; Zhang Anmin; Cao Weixin; *Utility model for a new measurement: USV*. CN 204037874 U. 3 de jul de 2014, 24 de dez. de 2014. 9p.

VICENTE, J.; ARTILHEIRO, F.; PEIRIÇO, A. A primeira história dos sondadores multifeixe do IH. In: *Anais do Instituto Hidrográfico, Portugal*, nº 17, 2004.