



PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL EDGETECH 6205

Capitão-Tenente João Celso Silva de Deus¹

RESUMO

O sonar de varredura lateral (SSS) Edgetech 6205 inovou ao medir profundidades combinando a batimetria multifeixe tradicional (beamforming) e a batimetria por diferença de fase, chamada pelo fabricante de “batimetria multifase”. Esse sistema possui a maioria dos princípios de funcionamento dos SSS tradicionais, entregando imagens do fundo submarino com alta resolução. Simultaneamente, a técnica de batimetria multifase é utilizada para adquirir uma varredura contínua e extensa, potencialmente mais eficiente que sistemas tradicionais. Apesar disso, ainda existe a necessidade de desenvolver experimentos para avaliar se esse sistema pode ser efetivamente utilizado para substituir ecobatímetros multifeixe em águas rasas.

Palavras-chave: Sonar de varredura lateral, interferometria, diferença de fase.

¹ Capitão-Tenente. Atualmente cursa o Mestrado Ocean Engineering – Ocean Mapping na Universidade de New Hampshire.



ABSTRACT

The side scan sonar Edgetech 6205 is innovating in measuring depths with a hybrid approach named “multi-phase bathymetry”. It still got most of the traditional side scan sonar principles of operation, and it can deliver high-resolution backscatter products. Simultaneously, phase difference and beamforming technologies are used together to derive a full and wide swath, which implies potential increase of cost-efficiency in surveys. Though it remains unknown if this technology can effectively replace multibeam echosounders in shallow waters, so the need for new experiments is highlighted.

Keywords: Side scan sonar, interferometry, phase difference.

1. INTRODUÇÃO

O sonar de varredura lateral Edgetech 6205 é um equipamento que coleta dados de retroespalhamento para gerar imagens, detectar alvos no fundo do mar e medir profundidades. Esse sistema não é o primeiro sonar de varredura batimétrico. Tecnologias conhecidas como interferometria e batimetria por diferença de fase já têm sido utilizadas há muito tempo, mas nunca foram capazes de apresentar resultados com qualidade similar aos tradicionais ecobatímetros multifeixe (MBES). O diferencial do Edgetech 6205 é a adoção de uma tecnologia híbrida, chamada pelo fabricante de “batimetria multifase”.

Esse artigo se propõe a fazer uma revisão do princípio de operação do sistema Edgetech 6205. Inicialmente, apresentaremos a geometria de sonares de varredura lateral tradicionais; seguindo-se com as técnicas de batimetria por interferometria e

por diferença de fase e, finalmente, abordaremos a tecnologia de batimetria multifase.

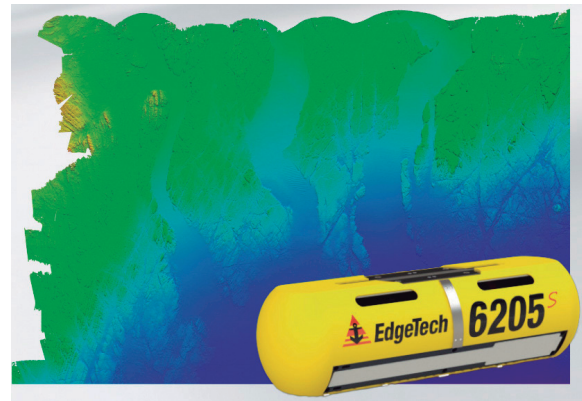


Figura 1 – Transdutor do Edgetech 6205. Fonte: Edgetech (2019)

2. SONARES DE VARREDURA LATERAL

Sonares de varredura lateral (SSS) têm sido utilizados para imagear o fundo submarino desde os anos 50, quando o U.S. Navy Mine Defense Laboratory desenvolveu um instrumento capaz de encontrar minas (Sternlicht, 2017). Em essência, um sonar de varredura lateral é composto por dois transdutores lineares, longitudinais ao movimento da plataforma e inclinados em relação à vertical (Figura 2). O sistema pode ser instalado na quilha de navios (como o Edgetech 6205), rebocado ou, mais recentemente, integrado a veículos autônomos submarinos (AUV).

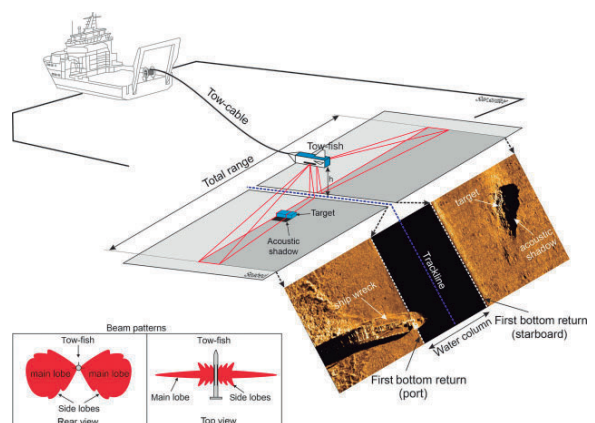


Figura 2 – Sonar de Varredura Lateral rebocado. Fonte: Dondurur (2018)

Cada transdutor linear transmite pulsos sonoros para um dos lados do instrumento, montando uma imagem raster baseada na intensidade dos ecos recebidos, de acordo com o instante de recepção. Essa imagem sempre terá uma faixa sem informação no centro da linha (nadir), em que o sistema não consegue registrar adequadamente o retroespalhamento, por motivo de ambiguidade.

A imagem bruta do sonar de varredura lateral é mais brilhante próximo ao nadir e escurece ao se afastar dele, refletindo a perda progressiva de intensidade com a distância percorrida pela onda sonora, devido aos efeitos de espalhamento esférico e atenuação do meio. Como consequência, os softwares de aquisição normalmente compensam essa perda aplicando ganho variável com o tempo (TVG).

Durante a aquisição, o operador escolhe o alcance lateral do sistema, limitado pela relação sinal-ruído local. Esse parâmetro afeta a frequência de repetição de pulsos (ping rate) do sistema, pois não é possível receber sinal enquanto se está transmitindo. O alcance do sistema limita a velocidade máxima da plataforma, pois espera-se pequena porcentagem de sobreposição entre duas varreduras consecutivas, para garantir levantamento completo do fundo. A OHI (2011) sugere um alcance ótimo de 10 vezes a altitude do instrumento em relação ao fundo do mar.

A principal aplicação de produtos de retroespalhamento em Hidrografia é a detecção e identificação de alvos. Essa habilidade está diretamente relacionada ao tamanho das sombras que o sistema produz, derivada da geometria de aquisição. Quanto menor for a razão entre a altitude dos transdutores e o tamanho da varredura (aspect ratio), maior será a capacidade de detecção de alvos. Tradicionalmente, hidrógrafos se utilizaram de sonares de varredura lateral para buscar alvos

entre linhas de sondagem, a fim de que todos os perigos à navegação fossem pesquisados durante um levantamento (OHI, 2011).

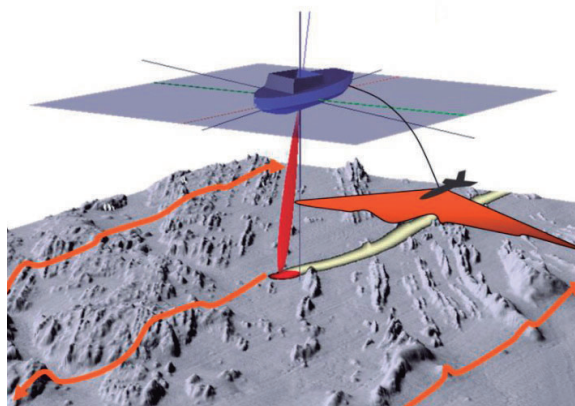


Figura 3 - Combinação tradicional de batimetria e imageamento por sonar de varredura lateral. Fonte: Clarke (2020)

Esses alvos, em imageamento convencional, têm sua altura estimada por semelhança entre o tamanho da sombra e a geometria de aquisição. Sombras que aparecem lateralmente após o alvo, na imagem, indicam que ele se trata de uma elevação; ao passo que sombras anteriores aos alvos apontam depressões.

3. LIMITAÇÕES DOS SONARES DE VARREDURA LATERAL

Após rever os aspectos básicos da geometria dos SSS, é importante mostrar as limitações fundamentais do sistema. O SSS tradicional, que não mede profundidade, assume um fundo plano e simplesmente insere todas as variações de intensidade na imagem. Tais variações não podem ser consideradas exclusivamente texturais (devido ao sedimento presente), pois variam também com o ângulo de incidência da onda sonora (Figura 4) no fundo submarino. Portanto, sem conhecer a batimetria, não se pode efetuar uma classificação de sedimento marinho apenas com a imagem de retroespalhamento. Nesse ponto, ao registrar



simultaneamente o retroespalhamento e a batimetria, sonares de varredura batimétricos podem ser mais eficientes na classificação de sedimentos marinhos.

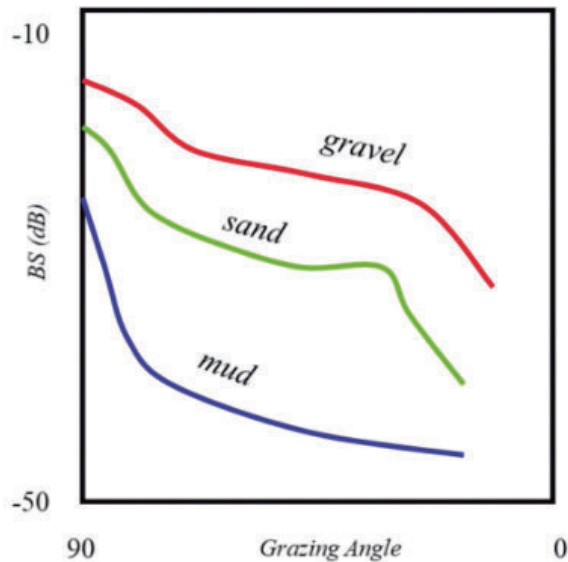


Figura 4 - Curvas de resposta angular para típicos sedimentos marinhos. Fonte: Clarke (2020a)

A segunda limitação a ser descrita é conhecida por layover. Trata-se de um problema de registro da imagem que acontece quando um eco do topo de uma elevação retorna ao sistema antes do eco da base, invertendo o alvo na imagem. Por exemplo, na Figura 5, o ponto B aparecerá na imagem antes do ponto A, ao contrário de sua real disposição no fundo submarino.

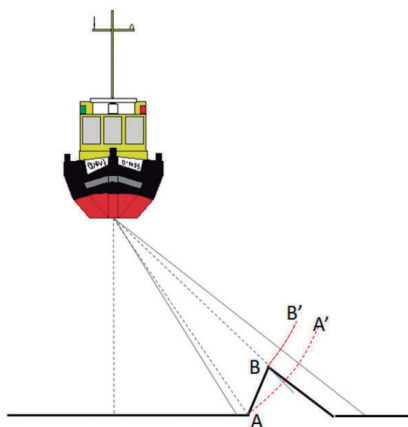


Figura 5- Layover. Fonte: Qinsky (2020)

A terceira limitação diz respeito ao posicionamento de sistemas rebocados. Como o sinal dos sistemas de posicionamento global são totalmente absorvidos pela água do mar, o posicionamento dos transdutores de SSS é efetuado modelando o comportamento do cabo de reboque a partir da posição geográfica do navio. Infelizmente, esse método traz grande incerteza ao posicionamento, da ordem de dezenas de metros, principalmente quando correntes atuam no dispositivo.

Como alternativa, existem sistemas de posicionamento acústico, que utilizam técnicas como o USBL (ultra-short baseline), que proporcionam acurácia de posicionamento na ordem de poucos metros. Entretanto, tais sistemas são caros e não possuem a acurácia milimétrica do posicionamento GNSS em superfície.

Também influencia o registro da imagem a qualidade dos sensores de movimento utilizados. Sistemas rebocados possuem sensores internos simples, muito inferiores aos sistemas inerciais usualmente instalados a bordo de navios de pesquisa.

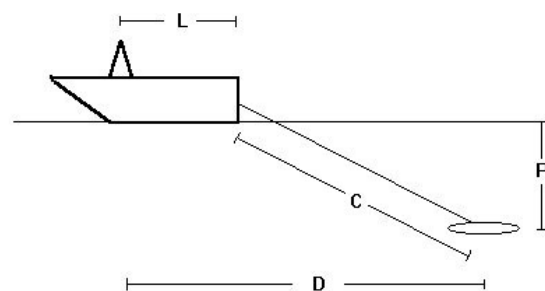


Figura 6 - Offsets usualmente inseridos em sonares de varredura lateral rebocados

4. TÉCNICAS PARA DERIVAR BATIMETRIA EM SONARES DE VARREDURA LATERAL

O fator que limita a medição de profundidades nos sonares de varredura lateral é a incapacidade de medir ou estimar o ângulo de elevação de onde o eco está sendo recebido. A primeira solução relevante para o problema foi desenvolvida ao se perceber que pares de transdutores lineares receberiam o sinal proveniente de uma direção determinada com defasagem dependente do ângulo de elevação.

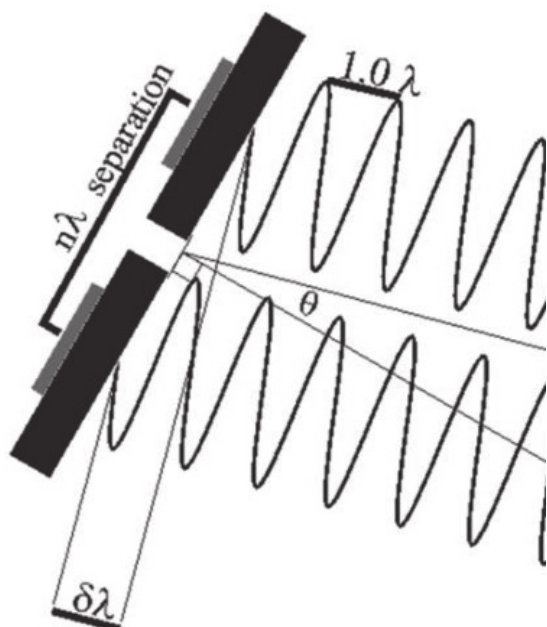


Figura 7- Defasagem dependente do ângulo de elevação. Fonte: Clarke (2020b)

A partir de uma técnica denominada interferometria, sistemas antigos derivavam esse ângulo de elevação, interferindo fisicamente os sinais recebidos pelos dois transdutores em linha (ligando-os no mesmo terminal), dando origem a uma série temporal de intensidades que se anulava toda vez que a diferença entre os transdutores era múltipla de meio comprimento de onda. Contando quantos nulos eram gerados, estimava-se o ângulo de elevação do sinal recebido (Figura 8).

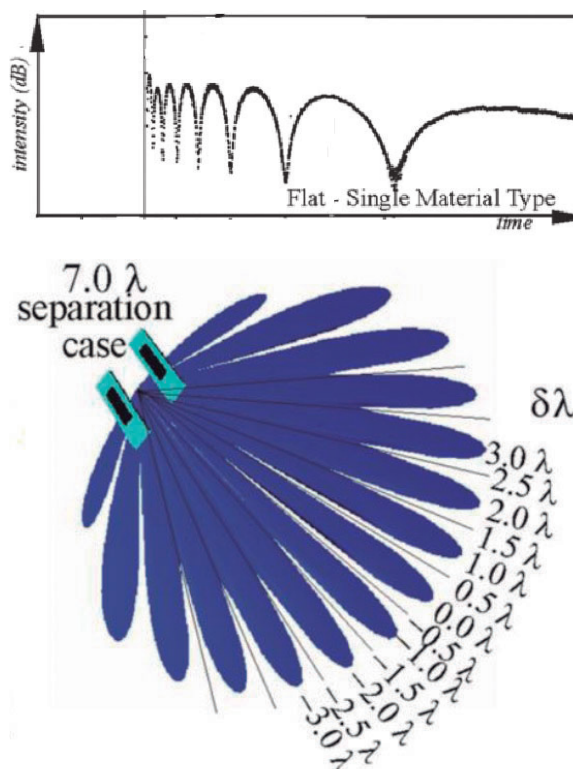


Figura 8- Estimando o ângulo de elevação por meio de interferometria. Fonte: Clarke (2020b)

Apesar de sistemas interferométricos de fato terem apresentado resultados incontestes à época, nulos próximos ao nadir eram facilmente ignorados, como observa-se no início da série temporal da Figura 8. Portanto, distorções eram comuns em áreas pedregosas ou por forte atitude da plataforma (Clarke, 2020).

Com o desenvolvimento da eletrônica digital e da capacidade de armazenamento de dados, tornou-se possível gravar o retorno de cada linha de transdutores, em vez de gravar apenas solução fisicamente interferida (somada). A partir daí, o desenvolvimento natural da técnica de interferometria foi analisar não somente a série temporal de amplitudes do sinal, mas também a de fase. Desse modo, a capacidade de calcular a diferença de fase de maneira contínua proporcionou, então, derivar o ângulo de elevação da mesma maneira, em vez dos antigos passos de meio comprimento de onda.

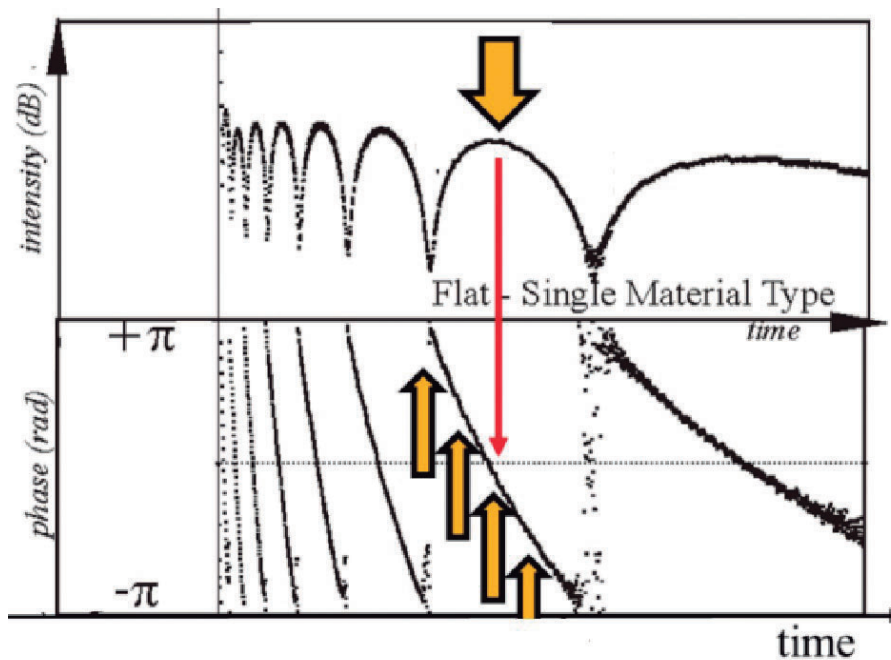


Figura 9- Séries temporais de intensidade e fase. Fonte: Clarke (2020b)

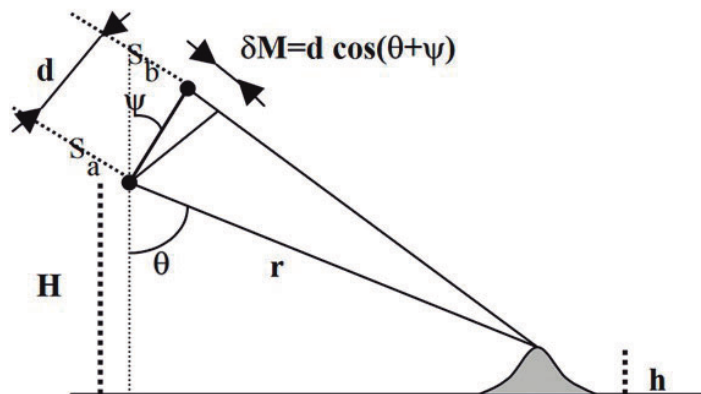


Figura 10 - Calculando o ângulo de elevação a partir de diferenças de fase. Fonte: Sintés (2002)

O método acima, chamado de detecção por diferença de fase, é utilizado pelos sistemas modernos, como o Edgetech 6205. Conforme se observa na Figura 9, a partir de cada lóbulo (intervalo entre dois nulos), deriva-se um ângulo de elevação de modo contínuo, a partir da Equação 1.

$$\theta = a \cos \frac{\Delta\phi \times c}{2\pi f d} - \psi + 2k\pi$$

Adaptado de Sintés (2020).

Em que:

- θ é o ângulo de elevação;
- $\Delta\Phi$ é a diferença de fase;
- c é a velocidade do som na face do transdutor;
- f é a frequência da portadora;
- d é a distância entre os transdutores lineares;
- ψ é o ângulo de montagem em relação à vertical; e
- k é o número de ciclos de fase para a solução.

Como pode ser visto, a equação possui múltiplas soluções para θ , pois os retornos podem acontecer em diferentes ciclos de fase “k”. Analisando a Figura 9, é possível perceber que cada lóbulo se associa a um traço de fase (phase wrap) em sua série temporal, podendo a solução pertencer a qualquer dos traços.

Para resolver essa ambiguidade, uma técnica muito aplicada atualmente é utilizar três ou mais transdutores lineares e comparar as soluções obtidas dois a dois. As soluções que estiverem mais próximas são reduzidas pelo método dos mínimos quadrados e, finalmente, é calculado o ângulo de elevação final. Esse procedimento é chamado de Método Vernier (Figura 11).

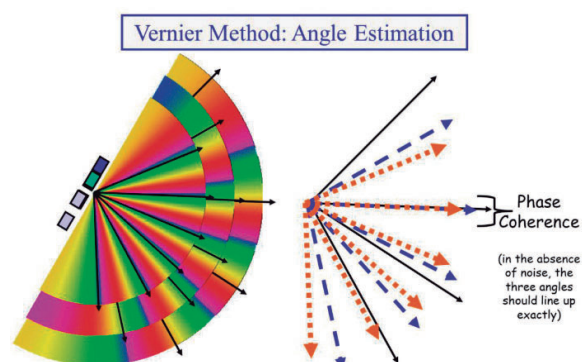


Figura 11- O método Vernier. Fonte: Clarke (2020b)

O método Vernier proporciona um resultado tão preciso quanto maior for o número de transdutores lineares, já que cada par (com diferentes distâncias “d”) proporcionará potenciais soluções para serem comparadas. Segundo Clarke (2020b) e Edgetech (2015), o sonar Edgetech 6205 possui dez transdutores lineares para cada lado, proporcionando redundância suficiente para o cálculo de soluções com grande precisão, fazendo-o capaz de filtrar ruídos e multicaminhamento de modo eficaz.

5. LIMITAÇÕES DA DETECÇÃO POR DIFERENÇA DE FASE

Sendo a diferença de fase o fator primordial para a detecção, espera-se que ecos que cheguem a todos os transdutores no mesmo instante não consigam ser resolvidos. Esse problema é chamado de “ambiguidade de distância inclinada”, acontecendo sempre no nadir e, eventualmente, em elevações paralelas ao ângulo de montagem do transdutor (Figura 12).

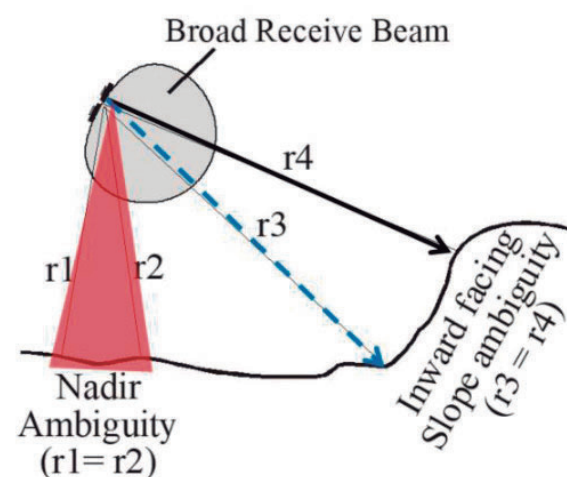


Figura 12- Ambiguidade de Distância Inclinada. Fonte: Clarke (2020b)

O sonar Edgetech 6205 solucionou parcialmente esse problema, pois não utiliza detecção por diferença de fase no nadir, como será explicado nas próximas seções.

6. A DETECÇÃO POR FORMAÇÃO DE FEIXES (BEAMFORMING)

Os ecobatímetros multifeixe modernos utilizam o produto dos diagramas de ensonificação de dois transdutores perpendiculares, dando origem a um feixe de grande diretividade. Essa geometria é chamada de “Mill’s Cross”.

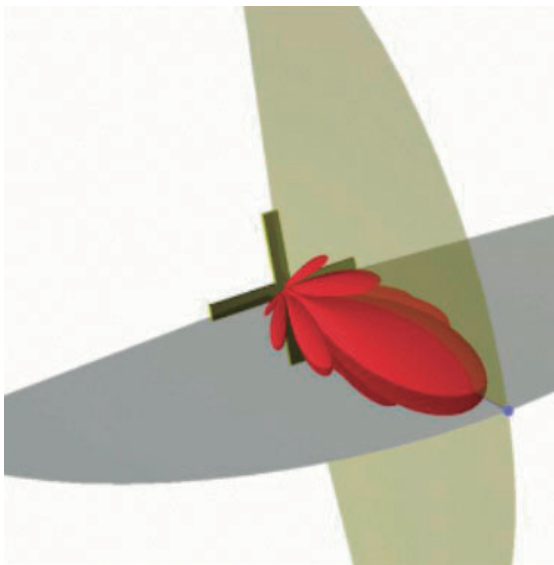


Figura 13- Formação do feixe de uma Mill's Cross.
Fonte: Clarke (2020c)

Sendo o feixe tão estreito quanto possível, atualmente na ordem de 0.5 a 4 graus (longitudinal e transversal), os problemas de ambiguidade e layover acontecem apenas dentro do feixe, sendo desprezíveis para a maioria das aplicações, como o mapeamento do fundo do mar.

Nesse sentido, a geometria "Mill's Cross" resulta na ensonificação de uma pequena área no nadir do sistema. Então, como se deriva uma varredura a partir dessa geometria?

A resposta consiste em dividir os transdutores lineares em inúmeros elementos e isolar os ecos de cada direção no momento da recepção. Esse procedimento é chamado de direcionamento eletrônico dos feixes (beam steering).

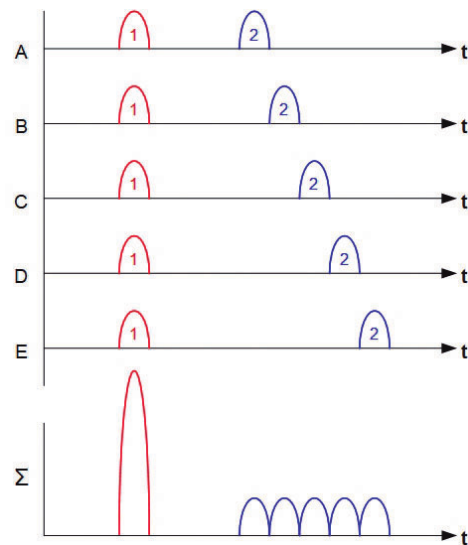
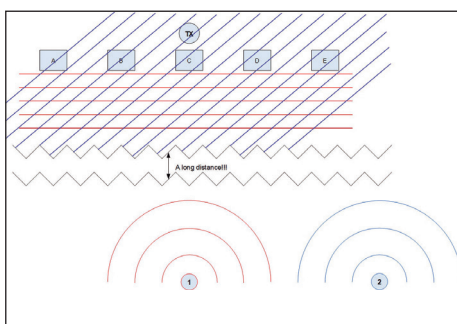


Figura 14- Direcionamento eletrônico de feixes.
Fonte: Teledyne (2017)

No momento da recepção, a frente de onda sonora atinge os diferentes elementos de um transdutor em tempos ligeiramente diferentes, os quais são dependentes do ângulo de chegada da frente de onda. Na Figura 14, ecos vermelhos vindos do nadir e ecos azuis provenientes de um alvo do lado direito são recebidos simultaneamente pelos elementos do transdutor. No entanto, ao se efetuar a soma dos sinais recebidos por cada elemento com diferentes defasagens, respostas diferentes são obtidas construtivamente para cada ângulo de elevação (feixe ou canal). Por esse motivo, a detecção por formação de feixes é capaz de gerar detecções ao longo de todo o feixe de transmissão, resultando na geometria multifeixe conhecida atualmente.

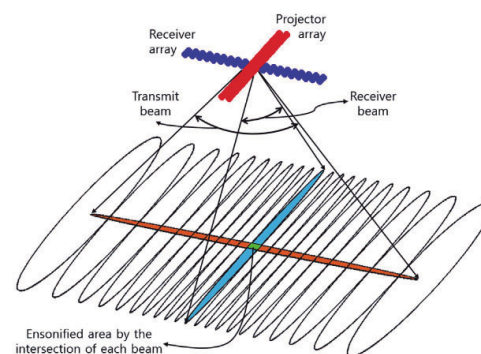


Figura 15- Geometria Multifeixe. Fonte: Jung (2017)

7. A TECNOLOGIA MULTIFASE

O aspecto mais interessante do sistema Edgetech 6205 é a capacidade de aplicar de modo híbrido a tecnologia multifeixe e a tecnologia de diferença de fase. Como o sistema possui grande redundância de linhas de transdutores, com resposta individualizada dos elementos, o sistema consegue formar feixes e direcioná-los para o nadir, onde não se consegue efetuar a diferença de fase. No restante da varredura, aplica-se diferença de fase para haver detecção no maior alcance possível.

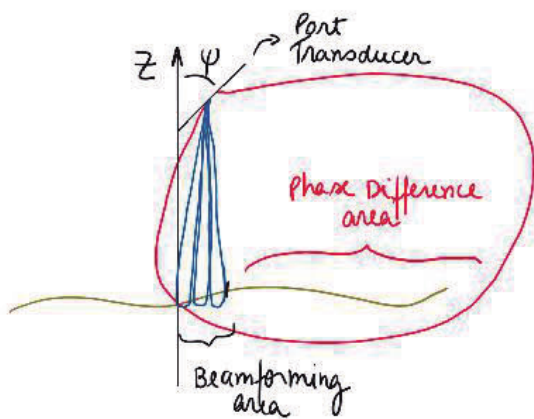


Figura 16 – Métodos de Detecção de Fundo do Edgetech 6205

Segundo o fabricante, Edgetech (2015), o sistema é capaz de capturar dados acústicos reais no nadir, mantendo densidade quase constante ao longo de toda a varredura. Apesar de descrever a tecnologia, a documentação do equipamento não apresenta como, exatamente, o sistema constrói sinteticamente a geometria Mill's Cross. Uma hipótese seria combinar o sinal recebido por elementos perpendiculares de diferentes linhas e aplicar o produto

de seu diagrama de ensonificação com o da transmissão efetuada, aplicando as defasagens necessárias para receber energia do nadir (Figura 17).

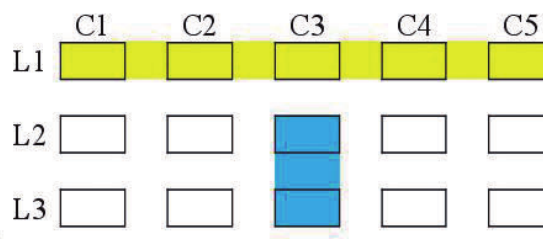


Figura 17 - Simulação de um arranjo de transdutores de sonar de varredura lateral

8. PONTOS FORTES DO EDGETECH 6205

O Edgetech 6205 é uma versão de sonar de varredura lateral para instalação fixa, significando que sua geometria não terá a mesma capacidade de detecção de alvos que um sistema rebocado. No entanto, esse sistema possui a vantagem de receber posicionamento GNSS preciso e informação de movimento da plataforma de sensores inerciais de ponta, gerando grandes benefícios para o georreferenciamento dos dados de retroespalhamento e batimetria. Além disso, por corrigir esses dados, elevações podem potencialmente ser usadas para corrigir a ambiguidade do retroespalhamento, isolando as variações de intensidade texturais. Essa capacidade faz do sistema uma excelente opção para caracterização remota de sedimentos do fundo submarino. A Figura 18 mostra uma montagem do Edgetech 6205 em haste lateral, a bordo da embarcação de pesquisa Gulf Surveyor, da Universidade de New Hampshire (EUA).

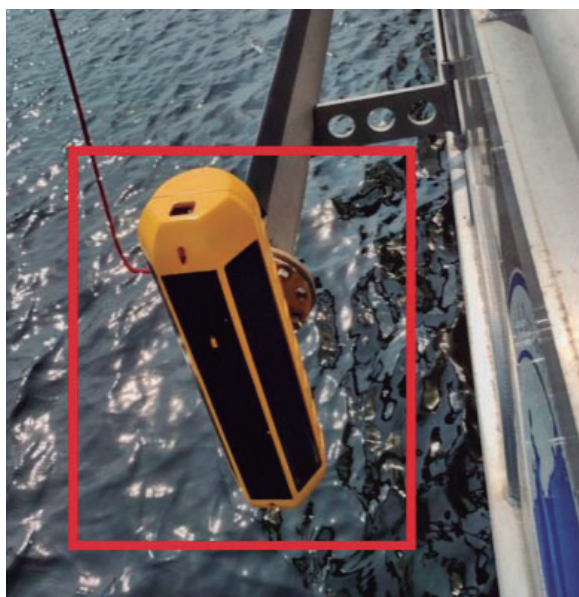


Figura 18 - Edgetech 6205 montado em haste lateral (R/V Gulf Surveyor)

Outra vantagem significativa do sistema é proporcionar imagens reais de sonar de varredura lateral, que podem auxiliar o operador no processamento dos dados de batimetria, para julgar se alvos detectados são reais ou não. Um exemplo de produto final do Edgetech 6205 é mostrado na Figura 19. Nota-se que, no nadir, existem dados de batimetria (direita), mas não de retroespalhamento (esquerda).

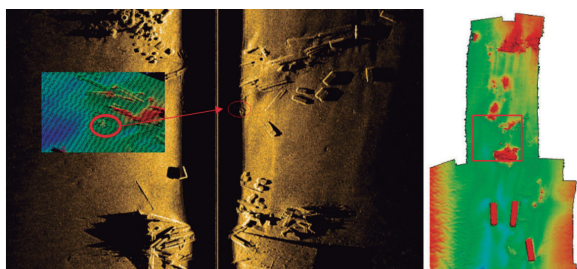


Figura 19 - Retroespalhamento e batimetria do Edgetech 6205 corrigidas. Fonte: Brisson et al. (2014)

9. POTENCIAIS RESULTADOS

Brisson et al. (2014) efetuaram um levantamento com o sistema Edgetech 6205 e o compararam com uma superfície

batimétrica coletada com um equipamento multifeixe tradicional, em uma área de profundidade de 12 metros. Ao comparar a superfície de teste com a de referência, observaram que a superfície diferença oscilava pouco ao redor de zero.

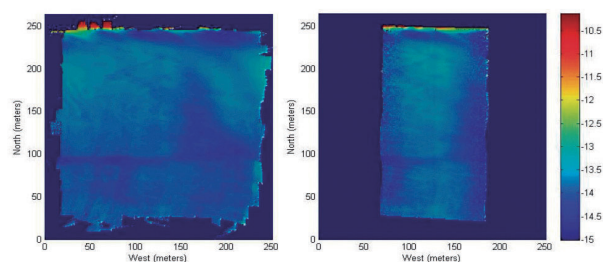


Figura 20 - Superfícies comparadas. À direita, a referência (MBES) e, à esquerda, a teste (Edgetech 6205). Fonte: Brisson et al. (2014)

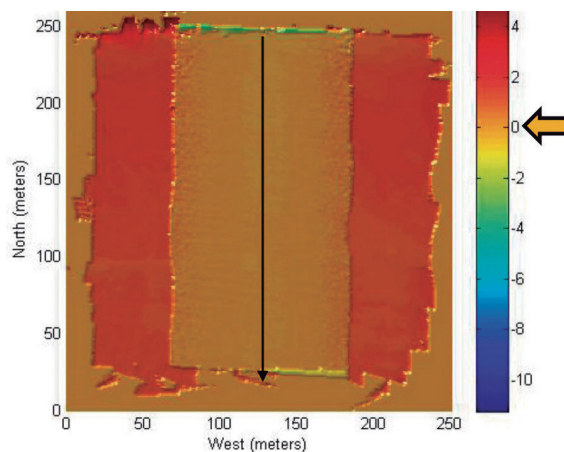


Figura 21 - Superfície diferença entre MBES e Edgetech 6205. Fonte: Brisson et al. (2014)

Além disso, os autores também estimaram a incerteza vertical total do levantamento e a compararam com os parâmetros da publicação S-44 da OHI. Os resultados apontaram que o sistema entregaria dados de ordem especial a uma distância lateral de até 9,5 vezes a profundidade local, o que seria equivalente a um



ângulo de abertura de 84° em um multifeixe tradicional para cada lado.

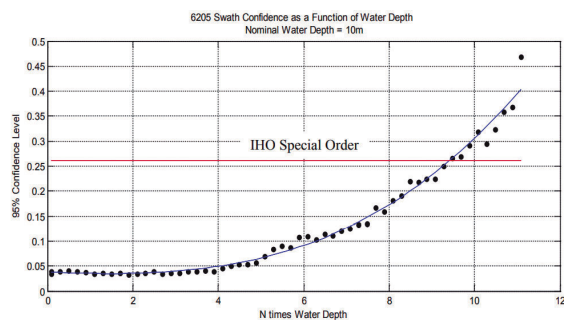


Figura 22 - Dados do Edgetech 6205 vs. Ordem Especial da OHI (vermelho) a 10 metros de profundidade. Fonte: Brisson et al. (2014)

Tendo em vista que um multifeixe tradicional traz resultados de qualidade até cerca de 60° de abertura, o Edgetech 6205 pode diminuir custos e reduzir o tempo de levantamentos hidrográficos em águas rasas. Brisson et al. (2014) estimaram os custos por km² do Edgetech 6205 com varredura de 8 vezes a profundidade e de um MBES com 60°

de abertura (equivalente a uma varredura de 3,5 vezes a profundidade). Em seus resultados, considerando uma velocidade de 5 nós, o Edgetech teria alcançado 2,4 vezes menos custos do que o primeiro, com drástica redução de tempo de levantamento.

10. CONCLUSÃO

Como pôde ser observado, o sistema Edgetech 6205 tem potencial para mostrar melhores resultados que os ecobatímetros de diferença de fase predecessores, além de se mostrar mais eficiente que ecobatímetros multifeixe tradicionais. No entanto, os testes apresentados por Brisson et al. (2014) limitaram-se a uma área praticamente plana e em águas rasas, não tratando de relevantes aspectos como a capacidade de detecção de alvos na batimetria. Nesse sentido, novos experimentos são desejáveis para avaliação do sistema em diferentes profundidades médias e topografias, e na presença de alvos de tamanho significativo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRISSON, L.; WOLFE, D.; STALEY, M. Interferometric swath bathymetry for large scale shallow water hydrographic surveys. Canadian Hydrographic Conference, 2014. Disponível em: <https://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2019/07/EdgeTech-Paper-on-6205-presented-at-CHC2014.pdf>. Acesso em 17 dez. 2021.

CLARKE, J.H. Sidescan Surveying. Looking between the lines. OE/ESCI 874 Seabed Mapping classes. University of New Hampshire, 2020.

CLARKE, J.H. Environmental control on marine acoustics. OE/ESCI 874 Seabed Mapping classes. University of New Hampshire, 2020a.

CLARKE, J.H. Bathymetric Sidescans, the first step toward oblique sounding. OE/ESCI 874 Seabed Mapping classes. University of New Hampshire, 2020b.

CLARKE, J. H. Beam Steering: Time, Phase and FFT methods. Looking away from boresite. OE/ESCI 874 Seabed Mapping classes. University of New Hampshire, 2020c.



DONDURUR, D. Acquisition and Processing of Marine Seismic Data. Extract, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/sidescan-sonar>. Acesso em 20 dez. 2021.

EDGETECH. 6205S. Next generation swath bathymetry & side scan sonar. Edgetech, 2019. Disponível em https://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2019/07/6205S-Brochure-04_22_2021-PN0022427.pdf. Acesso em 16 dez. 2021.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Publication C-13. Manual on Hydrography. Mônaco, 2011. Disponível em <https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/C-13.pdf>. Acesso em 16 dez. 2021.

QINSY. How-to methods used to acquire sonar imagery. [S/l], 2020. Disponível em <https://confluence.qps.nl/qinsy/latest/en/how-to-methods-used-to-acquire-sonar-imagery-182618414.html>. Acesso em 20 dez. 2021.

JUNG, D.; KIM, J.; BYUN, G. Numerical modeling and simulation technique in time-domain for multibeam echo sounder. ScienceDirect, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319476061_Numerical_modeling_and_simulation_technique_in_time-domain_for_multibeam_echo_sounder/fulltext/5e750bc6299bf1892cfbc0f6/Numerical-modeling-and-simulation-technique-in-time-domain-for-multibeam-echo-sounder.pdf?origin=publication_detail. Acesso em 28 mar. 2022.

SINTES, C. Interferometric side scan sonar: a tool for high resolution sea floor exploration. Cedre, 2002. Disponível em: https://interspillarchive.com/previous-events/2002/pdf/6_sintes_gb.pdf. Acesso em 18 dez. 2021.

STERNLICHT, D. Historical development of side scan sonar. Acoustical Society of America, 2017. Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.4989335>. Acesso em 15 dez. 2021.

TELEDYNE. Beamforming principles. Hypack seminar, A2 Marine Solutions, 2017.

