



## Aplicação de métodos geofísicos em obras de engenharia costeira: Um estudo de caso – Baía de Sepetiba - RJ

Daphne Moscon (MICROARS), Roberto Bianco (CDRJ), Mariana Pardal (MICROARS), Geraldo Cunha (MICROARS).

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Geophysical studies applied to coastal engineering have shown a growing importance in unforeseen problems evolving the execution of dredging or coastal ports. This work objective is to show the importance of geophysical methods application as an important tool in the enforcement of coastal works. Bathymetric, sonographic and high resolution seismic 3D models were able to simulate, in this case, that the conventional deepening dredging to a quota around 20m (DHN) in a desired channel waterway located at Sepetiba Bay, RJ, would be rendered impossible by the presence of a crystalline rock in the channel center. The lack of a prior geophysical research allowed severe disorders, such as the review of the project, both in the positioning and in the costing scope. Thus, in order to mitigate unforeseen financial costly and environmental impacts during the implementation of coastal works, this work encourages the use of geophysics as an indispensable tool for marine research.

### Resumo

Estudos geofísicos aplicados a engenharia costeira mostram-se essenciais na previsão de interferências diversas, nos projetos e obras de implantação e ampliação portuária, em particular no âmbito de obras ou dragagens portuárias (Bianco, 2004; Souza, 2006). O objetivo deste trabalho é mostrar a importância da aplicação dos métodos geofísicos na execução de obras costeiras. Os resultados obtidos através de levantamentos de batimetria, sonografia e sísmica de alta resolução demonstram, neste trabalho, que a complementação dos serviços de dragagem de aprofundamento, pretendida para 20m (DHN), no canal de acesso ao Porto de Itaguaí (RJ), foi impossibilitada pela presença de um corpo rochoso, aflorante na proximidade central do canal projetado. A insuficiência de informações conclusivas, por ocasião da elaboração do projeto de dragagem, sejam aquelas baseadas em estudos geofísicos e/ou em levantamentos geotécnicos adequados, permitiu a concepção de um falso panorama

da área de projeto, acarretando severos transtornos, dos quais, o principal deles, foi a não homologação do canal, pela Marinha do Brasil, para a profundidade originalmente pretendida de 20m (DHN). Desta forma, objetivando investigar a extensão e as condições morfológicas do corpo rochoso, recém descoberto pela dragagem efetuada, a Companhia Docas do Rio de Janeiro – CDRJ contratou serviços de perfilagem sísmica contínua, com sistemas Boomer e Chirp, além do imageamento com sonar de varredura lateral, a fim de detalhar o conhecimento da ocorrência verificada e redefinir o projeto de aprofundamento, considerando as hipóteses de derrocagem submarina ou o desvio do traçado do canal, através de dragagem convencional, definindo-se a opção que se mostrasse mais econômica. Assim, o presente estudo de caso pretende demonstrar, a importância da utilização de métodos geofísicos como ferramenta indispensável na pesquisa de áreas cobertas por água.

### Introdução

A geofísica de ambientes costeiros tem se provado ao longo do tempo uma importante ferramenta de investigação indireta do subfundo marinho, tanto pela facilidade de aplicação quanto pela qualidade dos resultados gerados (Morang et al., 1997; Ayres Neto, 2000; Quaresma et al., 2000; Souza, 2006; Paolo & Mahiques, 2008). O interesse inerente a estes ambientes provém da grande concentração da atividade antrópica neles presente. (Souza, 2006)

Em zonas costeiras, a integração de métodos geofísicos de investigação, como sísmica de alta resolução e sonografia de alta frequência, fornece uma visão ampla da geologia de grandes áreas, permitindo a corroboração das hipóteses levantadas a respeito das características do fundo marinho obtidos por cada método. Esta associação de métodos proporciona a visualização de afloramentos rochosos subaquáticos, localização de zonas de dragagem, identificação de obstáculos naturais como troncos e outros obstáculos ou embarcações naufragadas. Cita-se ainda a importância dessas ferramentas para avaliação das condições de quebra-mares, piers e dutos, entre outras estruturas subaquáticas.

Aplicados a engenharia costeira, os métodos geofísicos podem proporcionar uma elucidação da morfologia de fundo e de subfundo de áreas costeiras de interesse portuário, reduzindo a possibilidade de imprevistos e de acidentes, durante e após a construção de obras marinhas. Tais imprevistos podem se tratar de instabilidade de fundo para obras de aprofundamento por

dragagem, presença de formas de fundo indicativas de ocorrência de tempestades, rochas submersas ou qualquer outro fator que dificulte a instalação da obra.

O presente trabalho aborda a aplicação geofísica em obras portuárias da Baía de Sepetiba – RJ, que constitui um corpo lagunar semi-confinado, situado entre as coordenadas de 22° 54' S e 23° 04' S e 43° 03' W e 44° 02' W, com aproximadamente 40 km de comprimento e 16 km de largura e está localizada em um trecho do litoral bordejado pela Serra do Mar, constituído basicamente por granitos, gnaisses, migmatitos e sedimentos quaternários, representados por sedimentos de origem fluvial e marinha (Silva, 2006).

Dados de sísmica de alta resolução analisados por Silva (2006) apontam para a existência de quatro unidades principais na coluna estratigráfica local. Uma unidade próxima ao fundo caracterizada por refletores paralelos e contínuos; uma segunda unidade caracterizada por refletores regulares a irregulares, eventualmente erosivos, onde é notável a intercalação entre sedimentos finos e grossos; e outras duas unidades, cujos refletores apresentam menor intensidade nos registros.

Devido às características abrigadas proporcionadas pelas características geomorfológicas da baía de Sepetiba, existe, atualmente, grande demanda em projetos e obras visando à implantação e ampliação de construções portuárias, transformando a baía em um local de intenso fluxo marítimo. Desta forma, este trabalho visa apresentar um exemplo de caso onde a aplicação de métodos geofísicos foi extremamente bem sucedida, mostrando-se como uma ferramenta essencial e relativamente econômica, no planejamento da logística de terminais marítimos ou mesmo fluviais.

## Métodos

Partindo da execução da dragagem de aprofundamento do canal hidroviário sem a prévia e adequada investigação geofísica, um afloramento rochoso, a uma profundidade aproximada de 19,5m (DHN) foi encontrado próximo ao centro do canal, a uma profundidade mais rasa do que aquela objetivada como cota original do projeto de dragagem (20m). Isso ocasionou a interrupção momentânea da operação de dragagem e a não homologação, pela Marinha do Brasil, do canal para a profundidade de projeto.

A aquisição geofísica, desenvolvida com o objetivo de se avaliar as opções para solução do problema, seja por desvio do trajeto do canal ou por derrocagem do maciço cristalino, foi idealizada para ser executada de forma integrada, possibilitando o máximo aproveitamento dessas técnicas de investigação.

Foram utilizados, simultaneamente, o ecobatímetro monofeixe Odom Hydrotrac para aquisição batimétrica, o Sonar de Varredura Lateral da *Edgetech* 4100 para imageamento do fundo, com o sistema de aquisição digital modelo 560p e transdutor *Edgetech* modelo 4125-D (transdutor – sistema deep tow de 400 e 1250 kHz); e a perfilagem sísmica da coluna sedimentar com as fontes sísmicas do tipo *Boomer* e *Chirp* com sistema de

aquisição MDCS / MERIDATA. O sistema de posicionamento utilizado foi o GPS diferencial (DGPS), em tempo real, com precisão submétrica.

O princípio básico de funcionamento do método sonográfico baseia-se na emissão de sinais acústicos de altas frequências por transdutores submersos, que por sua vez detectam o eco deste sinal e o interpretam de acordo com a intensidade e o ângulo do pulso (Quaresma, 2000). Já a perfilagem sísmica baseia-se na medida do tempo que uma onda gerada por uma fonte sísmica leva para viajar pelas camadas da coluna sedimentar e retornar ao hidrofone (sensor de captação) instalado próximo a fonte de emissão sísmica (Ayres Neto & Aguiar, 2003).

A aplicação dos métodos geofísicos foi orientada por linhas de aquisição planejadas em escritório. As linhas de aquisição consistiram em 51 seções longitudinais ao canal hidroviário, possuindo 4400 m de comprimento e espaçadas a cada 20 m, compreendendo uma área de aproximadamente 4,4 Km<sup>2</sup> (Figura 1). Além disso, linhas espaçadas entre si de 10 m foram realizadas sobre a área do afloramento rochoso.

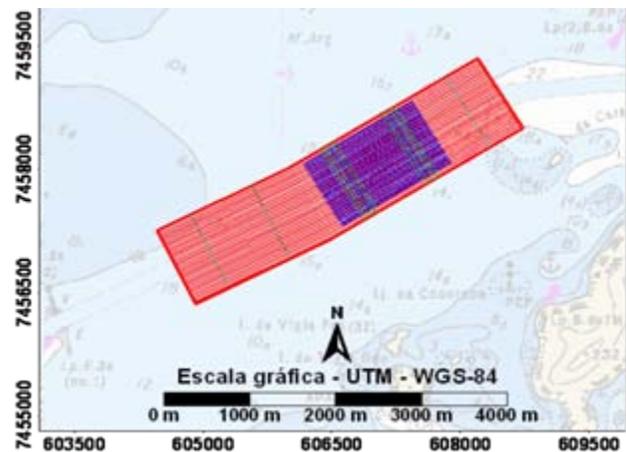


Fig. 1: Linhas de aquisição sísmobatimétrica e sonográfica (vermelha, azul e verde) realizadas no canal hidroviário (linhas pontilhadas).

## Resultados

A aquisição simultânea permitiu a correlação dos resultados em precisa escala espaço-temporal, pois três diferentes fontes geofísicas foram aplicadas ao mesmo tempo no mesmo local. Isso permite a sobreposição integrada de mapas e modelos geofísicos, agrupando os padrões sonográficos e os ecocarateres sísmicos de acordo com as características do fundo.

A sonografia revelou claramente a textura e composição do obstáculo encontrado no centro do canal dragado, reafirmando a natureza cristalina do corpo rochoso. A Figura 2 mostra um sonograma com este exemplo. Já a perfilagem sísmica revelou, em ambas as fontes sísmicas utilizadas, que o afloramento rochoso era a proeminência mais alta de um grande embasamento, que se estende radialmente em subfundo por grande parte do canal (Figura 3 e 4).

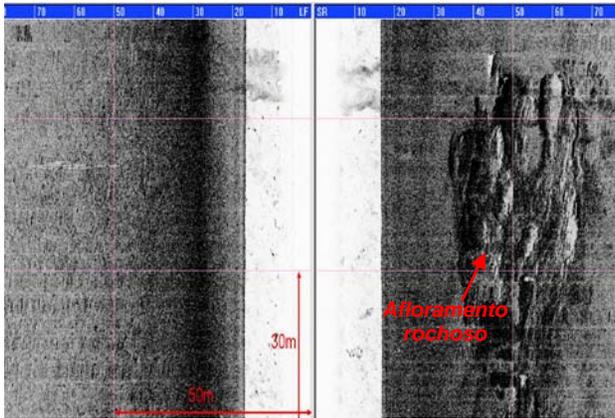


Fig. 2: Sonograma mostrando o padrão de reflexão da rocha cristalina. Escala em metros.

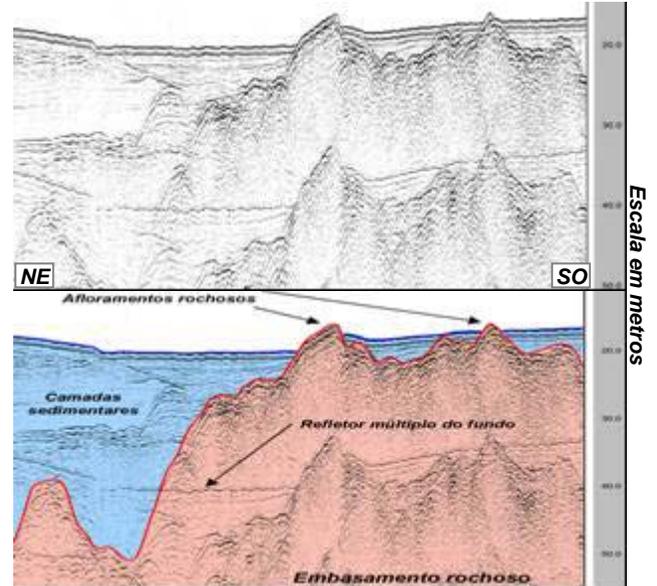


Fig. 4: Sismograma obtido pela fonte sísmica Boomer. Em vermelho encontra-se o embasamento rochoso e em azul o pacote sedimentar sobrejacente.

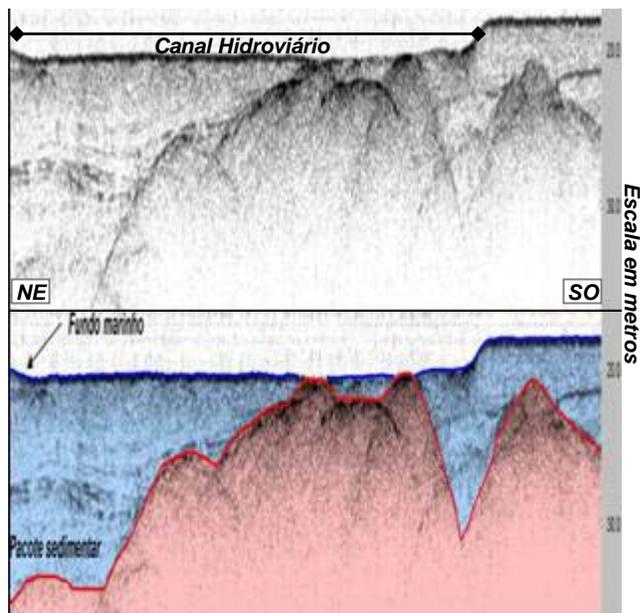


Fig. 3: Sismograma obtido pela fonte sísmica Chirp. Em vermelho encontra-se o embasamento rochoso e em azul o pacote sedimentar sobrejacente.

Os sonogramas e os sismogramas obtidos mostram que o obstáculo encontrado trata-se de um embasamento cristalino, que é uma feição previsível na região, uma vez que a Baía de Sepetiba é bordejada pela Serra do Mar, constituída essencialmente por gnaisses e migmatitos.

Ambas as fontes sísmicas revelam que a continuidade de subfundo deste embasamento percorre todo o canal, aproximando-se do assoalho marinho em diversos pontos. A Figura 5 mostra uma modelagem em três dimensões do embasamento rochoso observado pela sísmica de alta resolução em toda a área de aquisição.

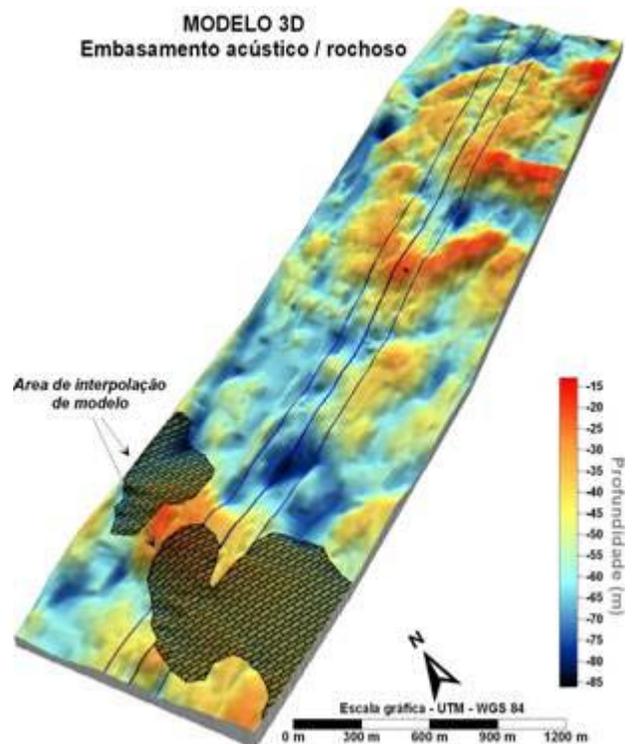


Fig. 5: Modelo 3D do embasamento rochoso distribuído na área de aquisição. A linha preta representa os limites do projeto do canal hidroviário e a área hachurada representa as áreas desconsideradas de interpolação do modelo.

Correlacionando a batimetria da área com a modelagem sísmica, foi realizada uma previsão de aprofundamento para as profundidades de 20m, 21m, 22m, 23m, 24m e 25m.

Assim, considerando os dados adquiridos e, apenas como exemplo, a cota máxima de 25m (DHN), foi simulada a retirada dos sedimentos sobrejacentes ao corpo rochoso para tal cota. A partir do modelo resultante foi somado o modelo do embasamento acústico, evidenciando desta forma o quanto da rocha poderia tornar-se aflorante se a dragagem avançasse até as profundidades de cota máxima. A Figura 5 ilustra os três cenários descritos acima: O primeiro modelo representa a batimetria bruta, o segundo modelo representa a previsão de dragagem para a profundidade máxima de 25m (DHN) e o terceiro modelo representa a batimetria prevista, somada ao modelo sísmico do embasamento rochoso.

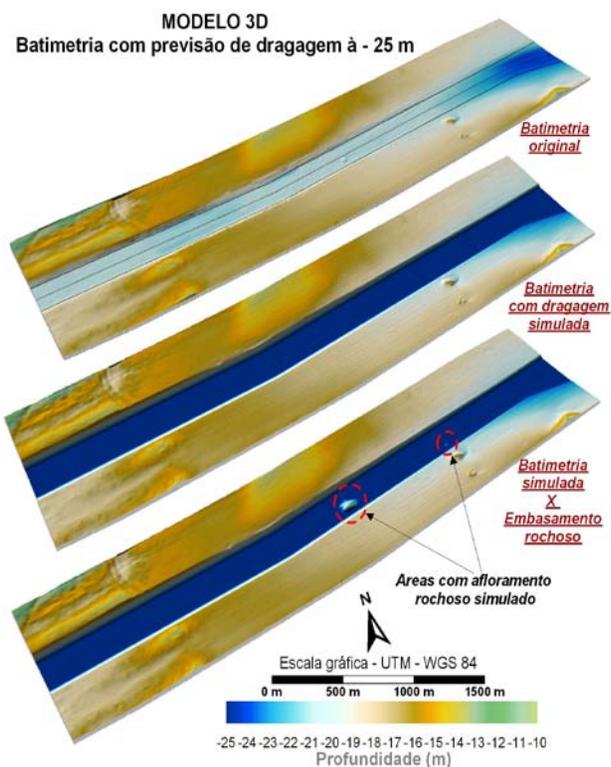


Fig. 5: Modelos três dimensões mostrando a simulação de dragagem para 25 m (DHN) de profundidade. O terceiro modelo mostra circulado de vermelho as áreas onde o embasamento rochoso aflora para a dragagem na cota de -25 m.

A previsão mostrada no modelo de dragagem mostra claramente que para as cotas máximas planejadas, o embasamento acústico é exposto e não permite o completo alcance da cota desejada.

Uma vez a aquisição geofísica realizada previamente ao projeto executivo de dragagem, o transtorno do surgimento surpresa da rocha cristalina em meio ao canal poderia ter sido evitado ou, no pior dos cenários, obter o cálculo dos custos adicionais da derrocagem.

## Conclusões

Os métodos geofísicos mostram-se cada vez mais necessários e aceitos como subsídio fundamental aos projetos de obras civis em zonas costeiras e portuárias. Com alto grau de confiabilidade, a definição clara do contorno do topo acústico-rochoso torna-se essencial como um guia preliminar valioso, no desenvolvimento de projetos básicos e executivos de engenharia costeira e portuária, bem como no apoio à tomada de decisões mitigatórias, em casos de interferências a tais projetos.

Em nível de projeto, procedimentos de dragagem e de derrocagem são distintos, com custos financeiro, ambiental e de prazos muito diferentes. O “aparecimento” de um corpo rochoso cristalino em uma área onde supostamente haveria somente sedimentos arenosos não consolidados proporciona extrema defasagem entre tal realidade com os cálculos dos custos de operação e os encargos ambientais originalmente previstos em projeto.

O exemplo da Baía de Sepetiba discutido neste trabalho ilustra, fortemente, a relevância da aplicação prévia de métodos de investigação geofísica, tornando o empreendedor capaz de prever e evitar transtornos futuros, tipicamente associados a obras e projetos desse tipo.

## Agradecimentos

À Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ) pela liberação dos dados e o apoio recebido na elaboração do presente trabalho e à MICROARS Engenharia e Projetos pelo incentivo à sua publicação.

## Referências

- Ayres Neto, A. 2000. Uso da sísmica de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Brazilian Journal of Geophysics*. Vol. 18 (3): p. 241-256.
- Ayres Neto, A.; Aguiar, A. C. K. V. 1993. Interpretação de reflexões de Side Scan Sonar: uma proposta de nomenclatura e padronização de métodos. *Anais do Congresso Internacional de Geofísica RJ*. 1: 399-403.
- Bianco, R. 2004. Apoio à decisão em obras de implantação e ampliação da infraestrutura aquaviária. In: I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SP. Resumos Expandidos. CD-ROM
- Morang, A.; Larson, A. R.; Gorman L. 1997. Monitoring the coastal environment; part III: geophysical and research methods. *Journal of Coastal Research*, Vol. 13(4): p. 1064–1085.
- Paolo, F. S.; Mahiques, M. M. 2008. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. *Brazilian Journal of Geophysics*. Vol. 26(2): p. 211–225.
- Quaresma, V.S.; Dias, G. T. M.; Baptista Neto, J. A. 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e

7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ.  
*Revista Brasileira de Geofísica*. Vol. 18(2): p. 201–214.

Souza, L. A. P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, IO, USP, São Paulo. 311 p.