

## **APOIO AO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO NO BRASIL**

A FVD – Fundação Victor Dequech, entidade sem fins lucrativos, criada em 2001, apoia e incentiva ações e projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e Inovativo no Brasil.

Com foco na pesquisa e engenharia mineral -- bem como nas áreas de energia, óleo e gás, meio ambiente e tecnologias a elas relacionadas -- a FVD sente-se plenamente honrada por apoiar a ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental na edição de suas Diretrizes, Guias, Manuais, Boletins e outros documentos assemelhados, agora como Normas Técnicas dessa conceituada associação.

A FVD e a ABGE estão irmanadas no esforço para a educação e a capacitação continuada, que proporcionam qualificação, habilidades e competências de empresas e de profissionais, contribuindo assim com o desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida em nosso país.

Cumprimentamos a todos os participantes dessa iniciativa pioneira.

Antonio de Padua Vieira Chaves  
**Diretor Presidente da FVD**



Rua São Vicente, 255. Bloco B  
Bairro Olho D'água - Belo Horizonte, Minas Gerais,  
Brasil. CEP 30.390-570.  
Tel. +55 31 3288-1742 | [www.fvd.org.br](http://www.fvd.org.br)



NORMA DA ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE  
ENGENHARIA E AMBIENTAL

NÚMERO DE REFERÊNCIA:  
**NORMA ABGE 205/2023**  
1ª Edição, 2023

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁGUA  
– INVESTIGAÇÃO DE SUPERFÍCIE E  
SUBSUPERFÍCIE SUBMERSAS ATRAVÉS  
DE RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO,  
ELETRORRESISTIVIDADE, MAGNETOMETRIA,  
CÂMERAS ACÚSTICAS, LASER SCANNER  
SUBAQUÁTICO E FILMAGEM**

NORMA ABGE 205  
1ª Edição, 2023

ABGE — AJUDANDO AS EMPRESAS A TRABALHAREM MELHOR



Copyright 2023. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE  
Todos os direitos reservados a ABGE.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Souza, Luiz Antonio Pereira de  
Norma ABGE - 205/2023 : investigação geofísica em água : investigação de superfície e subsuperfície submersas através de radar de penetração no solo, eletrorresistividade, magnetometria, câmeras acústicas, laser scanner subaquático e filmagem / Luiz Antonio Pereira de Souza, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo. -- 1. ed. -- São Paulo : ABGE, 2023.

Vários colaboradores.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-88460-22-1

1. Geofísica 2. Geologia 3. Geotecnia  
4. Infraestrutura 5. Normas técnicas I. Gandolfo, Otávio Coaracy Brasil. II. Título.

23-179473 CDD-628  
-624.151  
-624.15

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Geofísica aplicada 628
2. Geologia de engenharia 624.151
3. Geotecnia 624.15

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

**Sugestão de referência bibliográfica:**

Souza, L. A. P.; Gandolfo, O. C. B. Norma ABGE 205/2023: Investigação geofísica em água – investigação de superfície e subsuperfície submersas através de radar de penetração no solo, eletrorresistividade, magnetometria, câmeras acústicas, laser scanner subaquático e filmagem. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL – ABGE**  
**Av. Prof. Almeida Prado, 532, Prédio 59. Cidade Universitária, São Paulo, SP CEP 05508-901**  
**www.abge.org.br – abge@abge.org.br**  
**Fones: (11) 3767.4361 (11) 9.8687.6560**

A ABGE e todos os colaboradores, revisores, coordenadores, autores e editor participantes dessa Norma ou de artigos e livros utilizados como referência bibliográfica, não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas pessoais ou de bens originados do uso da presente publicação. Aqueles que usam essa publicação são responsáveis por tomar suas próprias decisões quando aplicarem as informações aqui fornecidas e as cotejarem e harmonizarem com outras. Críticas e contribuições devem ser encaminhadas a Secretaria Executiva da ABGE: **abge@abge.org.br**

# SUMÁRIO

	APRESENTAÇÃO .....	5
<b>1.</b>	INTRODUÇÃO .....	7
<b>2.</b>	FINALIDADE .....	8
<b>3.</b>	EQUIPAMENTOS, PROCEDIMENTOS E INFORMAÇÕES GERAIS.....	9
<b>4.</b>	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	9
	4.1 Breve descrição do método.....	9
	4.2 Aquisição de dados.....	10
	4.3 Vantagens.....	11
	4.4 Limitações.....	12
	4.5 Processamento e apresentação dos resultados.....	12
<b>5.</b>	MÉTODO DE ELETRORRESTIVIDADE.....	13
	5.1 Breve descrição do método.....	13
	5.2 Vantagens.....	14
	5.3 Limitações.....	14
	5.4 Aquisição de dados.....	15
	5.5 Processamento e apresentação dos resultados.....	16
<b>6.</b>	MÉTODOS POTENCIAIS: MAGNETOMETRIA.....	17
	6.1 Breve descrição do método.....	17
	6.2 Vantagens.....	20
	6.3 Limitações.....	20
	6.4 Planejamento dos ensaios.....	21
	6.5 Controle de qualidade .....	21
	6.6 Aquisição de dados.....	22
	6.7 Equipamentos.....	24
	6.8 Processamento e apresentação dos resultados.....	24
<b>7.</b>	CÂMERAS ACÚSTICAS .....	25
	7.1 Vantagens.....	26
	7.2 Limitações.....	26

<b>8.</b>	LASER SCANNER SUBAQUÁTICO .....	27
8.1	Vantagens .....	28
8.2	Limitações.....	29
<b>9.</b>	ROV E FILMAGEM .....	29
9.1	Vantagens .....	29
9.2	Limitações.....	29
<b>10.</b>	PRINCIPAIS PARTICIPANTES .....	30
<b>11.</b>	REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS .....	30
<b>12.</b>	REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS .....	31

## APRESENTAÇÃO

A Norma ABGE 204/2023 e a Norma ABGE 205/2023 abordam a investigação geofísica em água. Ambas têm por base o conteúdo do livro “Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente – Manual de boas práticas” (Souza e Gandolfo, 2021), publicado pela ABGE.

A Norma ABGE 204/2023 trata dos métodos acústicos de batimetria e sonar de varredura lateral para investigação de superfícies submersas e perfilação sísmica contínua para investigação de subsuperfície submersa, que são os métodos de uso mais frequentes para aplicação em água.

A Norma ABGE 205/2023, objeto da presente publicação, complementa a Norma ABGE 204/2023 e apresenta seis métodos geofísicos aplicados na investigação de ambientes submersos: **radar de penetração no solo (GPR), eletrorresistividade, magnetometria, câmeras acústicas, laser scanner subaquático e filmagem**. Essa Norma deve ser cotejada com a “ABGE Norma 200/2023 – Investigações geofísicas – Métodos e técnicas”, norma essa que fornece informações de âmbito conceitual, dentre elas as que possibilitam a escolha dos métodos mais adequados para aplicação da geofísica em estudos, projetos e obras de engenharia e as de natureza ambiental.

A Geofísica Aplicada, em terra e em água, é uma das mais importantes técnicas de investigações geológico-geotécnicas. Quando bem planejada e interpretada, conjuntamente com os demais estudos e investigações como, por exemplo, mapeamentos geológicos, sondagens mecânicas e ensaios de campo e laboratório, sua importância se torna um método de investigação não apenas eficaz, mas imprescindível às boas práticas da engenharia de obras e de natureza ambiental.

A Norma ABGE possui formato próprio, mas semelhante ao publicado por entidades civis e associações técnicas e profissionais, nacionais ou estrangeiras, como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), API (American Petroleum Institute), ISO (international Organization for Standardization), ASCE (American Society of Civil Engineering), CDA (Canadian Dam Association), IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment), dentre

outras. Essas entidades publicam Normas (Standards), Diretrizes (Guidelines), Boletins (Bulletins), Regras (Codes) e outros documentos assemelhados, com a finalidade de ajudar empresas e profissionais a trabalharem melhor.

As normas e as publicações técnicas editadas pelas entidades acima citadas, assim como a presente NORMA ABGE, são de aceitação voluntária. A sua aplicação somente passará a ter caráter vinculante no plano legal/normativo, caso seja reconhecida e de alguma forma chancelada/acolhida pelo poder público (por exemplo, se a adoção de alguma NORMA ABGE for exigida ou referida por algum dispositivo legal); e, no plano privado, caso seja mencionada em um contrato como norma a ser observada pelas partes no cumprimento de suas obrigações (Passini & Alvares Sociedade de Advogados, 2021).

Sugerimos que os usuários das informações dessa publicação a cotejem e a harmonizem com outras sobre o mesmo tema, assim possibilitando maior consistência nos termos de referências e contratos e maior eficácia, segurança e economicidade nos estudos, projetos e obras.

Agradecimentos aos sócios, às empresas patrocinadoras da ABGE e a todos que apoiaram e colaboraram com a presente publicação, em especial aos autores e colaboradores do livro “Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente – Manual de boas práticas”, publicado pela ABGE em 2021.

**João Jeronimo Monticelli**

Editor

**Fábio Soares Magalhães**

Presidente da ABGE – Gestão 2023-2024

# 1 INTRODUÇÃO

Para aprimorar o conhecimento dos conceitos básicos e dos fundamentos e aplicabilidade dos métodos sísmicos em terra e em água, recomenda-se a leitura das várias publicações disponíveis na literatura geofísica, como as mencionadas na NORMA ABGE 200/2023, itens Referências Bibliográficas, Leituras Recomendadas e Referências Normativas e Diretivas. Recomenda-se, ainda, consultar o Glossário publicado naquela Norma.

Observa-se, nestes últimos anos, uma proliferação de projetos em áreas submersas, especialmente no mar. Pontes, túneis, hidrovias, cabos e dutos subaquáticos, projetos de energia renovável (parques eólicos, marés, ventos e plataformas solares) e de mineração são alguns exemplos, que ratificam os mais recentes movimentos da sociedade no rumo da intensificação do uso e ocupação do mar, rios e de reservatórios de água. Os maiores riscos em projetos desta natureza encontram-se justamente nas incertezas com relação às condições geológicas e geotécnicas dos solos submersos onde serão implantadas as estruturas, a se destacar a presença de: falhas, solos moles ou duros, paleocanais, rocha, sismicidade e gás em sedimentos, entre outros. As primeiras fontes de informações utilizadas, para minimizar os riscos decorrentes das condições geológicas e geotécnicas das áreas de interesse, são os ensaios geotécnicos (intrusivos) e os ensaios geofísicos, também denominados de métodos não destrutivos (COOK *et al.*, 2014).

Os principais métodos geofísicos aplicados na investigação em água, que correspondem aos Métodos Acústicos, estão apresentados na Norma ABGE 204/2023. A presente Norma ABGE 205/2023 apresenta métodos geofísicos complementares aos Métodos Acústicos, os quais são: radar de penetração do solo (GPR), eletrorresistividade, magnetometria, câmeras acústicas, laser scanner subaquático e filmagem.

## 2 FINALIDADE

As principais aplicações dos métodos geofísicos empregados em levantamentos de ambientes submersos rasos (rios, lagos naturais e artificiais, áreas costeiras – plataforma continental interna) visam:

- determinação da espessura da coluna d'água/topografia de fundo;
- identificação de estruturas sedimentares na superfície de fundo;
- mapeamento de paleocanais enterrados, estruturas de escavação e preenchimento;
- mapeamento da cobertura sedimentar (classificação de fundo, contatos geológicos);
- mapeamento de estruturas geológicas (lineamentos, falhas etc.);
- mapeamento de áreas de exsudação de gás;
- caracterização da estratigrafia rasa (determinação da espessura das camadas de sedimentos inconsolidados em suporte a projetos de dragagem, assoreamento de reservatórios, entre outros);
- mapeamento de depósitos de interesse mineral (material de construção etc.);
- determinação da profundidade do embasamento rochoso;
- mapeamento de áreas favoráveis à implantação de cabos e dutos;
- inspeção de dutos e cabos subaquáticos;
- arqueologia subaquática e operações de busca e salvamento;
- investigação de áreas restritas para inspeção de detalhe de ambientes submersos, como corpos de barragens, estruturas de concreto, píeres, estacas, bases de pontes e túneis, entre outras estruturas, e tem por objetivo a prospecção de fissuras, desgastes e rachaduras e demais anomalias estruturais.

### 3 EQUIPAMENTOS, PROCEDIMENTOS E INFORMAÇÕES GERAIS

Os equipamentos, procedimentos e informações gerais sobre os métodos complementares aos métodos acústicos de investigações geofísicas em áreas submersas estão descritos nos tópicos referentes a cada método, a seguir apresentados.

## 4 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

### 4.1 Breve descrição do método

O Radar de Penetração no Solo (GPR – *Ground Penetrating Radar*), assim como os demais métodos geofísicos, é um método de investigação não invasivo ou não destrutivo. Emprega ondas eletromagnéticas e é executado de forma contínua ao longo de uma linha de navegação, permitindo identificar a espessura da coluna d'água e a espessura das camadas de sedimentos finos subsuperficiais, analogamente à Perfilagem Sísmica Contínua.

A maior ou menor penetração do sinal do GPR nas camadas subsuperficiais está diretamente relacionada com a condutividade elétrica do meio e a escolha adequada da frequência do sinal emitido pela antena transmissora ( $T_x$ ). Em áreas de baixa condutividade elétrica (água doce), os sinais do GPR penetram mais que em áreas condutivas (águas salgadas ou salobras).

No método GPR, as frequências, mais baixas proporcionam maior penetração do sinal nas camadas de sedimentos, mas, por outro lado, analogamente à sísmica, oferecem menor resolução. Por esta característica, da relação frequência do sinal versus penetração, a tarefa mais importante no planejamento de um levantamento de GPR em água é a escolha da frequência mais adequada ao ambiente a ser investigado.

O desempenho do sistema GPR será sempre melhor quanto mais próximas da superfície de fundo estiverem as antenas transmissoras e receptoras do sinal eletromagnético. A melhor solução é utilizar sistemas com antenas submersíveis. Muitos dos equipamentos de GPR no mercado atual já

disponibilizam antenas submersíveis, o que viabiliza uma maior aproximação do sistema da superfície de fundo e, portanto, viabilizando uma menor perda de energia do sinal ao longo da coluna d'água.

O GPR tem potencial de aplicação em estudos de áreas submersas, notadamente em áreas continentais (rios e lagos), em projetos de monitoramento de operações de dragagem, em estudos de assoreamento de reservatórios, lagoas de decantação, em projetos de rotas de navegação e em operações de localização de dutos e cabos enterrados. Salienta-se, entretanto, que os produtos da aplicação deste método geofísico não substituem aqueles oriundos de levantamentos sísmicos e, sendo assim, sugere-se que sejam utilizados em caráter complementar na investigação de ambientes submersos.

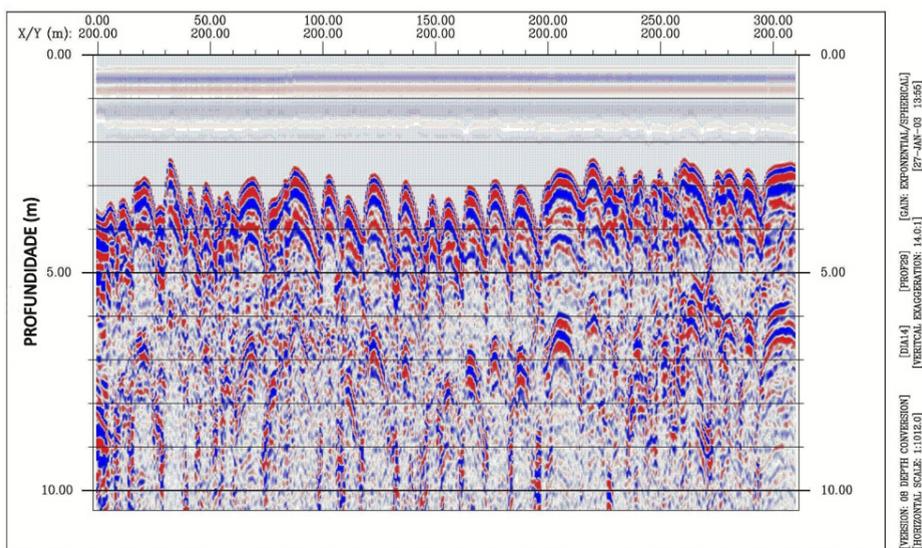
## 4.2 Aquisição de dados

O uso do GPR não foi originalmente idealizado para atuar em água e, em função disso, num primeiro momento, adaptações foram desenvolvidas para tornar viável a aquisição de dados de GPR em rios e reservatórios. A Figura 1 mostra uma embarcação de pequeno porte adaptada a uma instalação lateral de catamarãs para transporte das antenas de GPR, criada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo para o desenvolvimento de projeto de estudo de assoreamento do rio Taquari, no Pantanal sul mato-grossense, em projeto conjunto com o IAG-USP e Embrapa. A Figura 2 mostra um registro de GPR obtido neste projeto.



**Figura 1** – Embarcação de pequeno porte adaptada pelo IPT para execução de levantamentos de GPR (Ramac) no rio Taquari, MT.

Fonte: fotografia dos autores.



**Figura 2** – Registro obtido em levantamento com GPR no rio Taquari, MS.

Fonte: Porsani, Moutinho e Assine (2004).

### 4.3 Vantagens

Investigar ambientes submersos com coluna d'água inferior a 3 m – 4 m é um grande desafio para os convencionais métodos de Perfilagem Sísmica Contínua, que utilizam fontes acústicas do tipo *chirp*, *boomer* ou *sparker*. As reverberações dos sinais acústicos entre a superfície de fundo e a superfície da água geram reflexões múltiplas que sobrepujam as reflexões oriundas das camadas de sedimentos, dificultando, ou até impossibilitando, a identificação da espessura das camadas sedimentares subsuperficiais. O método GPR tem mostrado resultados interessantes na investigação destes ambientes, tendo em vista principalmente o fato de constituir-se em um conjunto de equipamentos leves e de fácil manuseio, proporcionando facilidades operacionais na aquisição de dados, quando comparados a outros métodos geofísicos.

Pode ser entendida também como uma vantagem do método GPR a possibilidade de utilização das antenas a certa distância da superfície d'água, sustentadas por drones, ou cabos, o que permite a aquisição de dados mesmo em condições operacionalmente complexas como lagos/lagoas de pequeno porte, rios com fortes correntes, áreas imediatamente a jusante de barragens, várzeas e pântanos. Um excelente exemplo desta capacitação é a adaptação de antenas

de GPR para drones, que tem sido utilizada, em caráter pioneiro no Brasil, pela empresa Neogeo (Figura 3). Essa integração drone-GPR possibilita a aquisição de dados de forma mais rápida em comparação com as técnicas tradicionais, mantendo uma excelente precisão no posicionamento, menor custo e, no caso de levantamento de áreas de difícil acesso, garante maior segurança aos operadores.



**Figura 3** – Antena de GPR de 80 MHz instalada em um drone.

Fonte: cortesia da Neogeo.

#### 4.4 Limitações

O sistema GPR tem aplicação restrita em ambientes eletricamente muito condutivos (água salgada, por exemplo). A presença de interferências (cabos submarinos etc.) pode ser obstáculo à aplicação do GPR, pois geram artefatos nos registros e dificultam o processo de interpretação.

#### 4.5 Processamento e apresentação dos resultados

O processamento, a análise e a interpretação dos registros obtidos por meio do GPR, seguem procedimentos análogos aos adotados para o processamento de dados sísmicos. Nos registros observam-se basicamente os refletores que representam os contatos entre as camadas com diferentes propriedades

elétricas, como a coluna d'água, os estratos sedimentares subsuperficiais inconsolidados e o embasamento rochoso, quando identificáveis.

O Quadro 1 apresenta as recomendações para os entregáveis mínimos na contratação de serviços de levantamento de GPR em água.

**Quadro 1** – Produtos entregáveis de levantamentos de GPR em água.

PRODUTO	FORMATO
Mapa de isópacas/mapas estruturais/mapas de cotas dos horizontes de interesse Seções (perfis)	PDF, DWG, DGN, SRF etc.
Dados brutos (arquivos digitais)	SGY, SEG-Y (ou SEG-Y), SEG2 e formatos originais dos fabricantes.
Dados vetoriais (X, Y, cotas de horizontes, isópacas)	XYZ, ASCII, CSV, SHP.
Croqui da embarcação e da geometria das instalações (antenas do GPR, GPS etc.)	PDF, PNG, JPG.

Fonte: elaborado pelos autores.

## 5 MÉTODO DE ELETRORRESTIVIDADE

### 5.1 Breve descrição do método

O Método da Eletrorrestividade está embasado no conceito da facilidade ou dificuldade de um determinado material de conduzir a corrente elétrica. O método mede o potencial elétrico gerado por corrente elétrica artificialmente injetada no subsolo. As variações nos potenciais permitem discriminar materiais com propriedades elétricas distintas.

Em levantamentos de Eletrorrestividade em água as leituras são feitas a partir de um longo cabo com eletrodos que pode ser rebocado na superfície da água, à meia-água ou mantido fixo na superfície de fundo. Para todos os casos, é necessário associar os dados de Eletrorrestividade a dados batimétricos de precisão. No caso de reboque à meia-água, também é preciso registrar

os dados referentes à profundidade do cabo, o que normalmente é executado por sistemas com base em medição de pressão da coluna d'água.

Nos levantamentos de Eletrorresistividade em água, o planejamento das linhas de aquisição de dados ocorre de forma análoga ao planejamento de linhas sísmicas, ou seja, é composto de linhas retas e paralelas e de algumas linhas de controle, perpendiculares a estas.

## 5.2 Vantagens

Uma das principais vantagens do emprego da Eletrorresistividade na investigação de ambientes submersos é a possibilidade da observação do perfil geológico da área investigada, abaixo do embasamento acústico (comumente interpretado, na sísmica, como o embasamento rochoso da área investigada). Eventualmente, zonas fraturadas e outras feições estruturais podem ser identificadas.

## 5.3 Limitações

A Principal limitação da Eletrorresistividade é a baixa resolução vertical quando comparada à Perfilagem Sísmica Contínua.

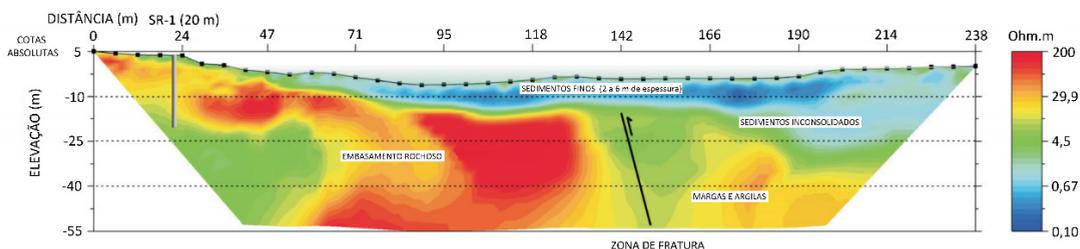
A Eletrorresistividade tem pouca aplicação na investigação de ambientes submersos com coluna d'água superior a 20 m, tendo em vista a complexidade operacional envolvida, em especial com relação ao posicionamento dos cabos com eletrodos às profundidades específicas (meia água). Nestes casos, a opção é dispor os cabos na superfície de fundo, procedimento que eventualmente pode exigir a presença de profissionais de mergulho. Existem exemplos na literatura de ensaios de Eletrorresistividade em águas profundas, com longos cabos dispostos na superfície de fundo, possibilitando a penetração de dezenas ou centenas de metros na coluna sedimentar.

Levantamentos marinhos são também complexos, em especial com relação ao posicionamento dos eletrodos, que podem sofrer alterações devido ao efeito de ondas, ventos ou, ainda, como consequência de turbulências geradas pela passagem de embarcações de grande porte em áreas portuárias. Águas calmas sempre representam ambiente mais propício à execução de ensaios de Eletrorresistividade.

Investigações profundas em áreas com coluna d'água da ordem de centenas ou milhares de metros podem exigir correntes de intensidade da ordem de 20 ampères, quando são necessários geradores de energia especialmente desenvolvidos para essa finalidade.

## 5.4 Aquisição de dados

Conforme descrito anteriormente, a aquisição de dados pode ser feita com o cabo na superfície da água (ou à meia água) rebocado por embarcação ou disposto na superfície de fundo. Apesar da baixa produtividade, nesta segunda opção pode-se obter uma melhor resolução vertical dos estratos, uma vez que a proximidade dos eletrodos com a coluna sedimentar possibilita a aquisição de dados com espaçamentos menores entre eletrodos. Além disso, em um regime de aquisição de dados estacionário, a resolução horizontal é incrementada em relação a um regime dinâmico. Neste arranjo, desconsidera-se a presença da coluna d'água, o que contribui positivamente para o processamento dos dados, uma vez que esta primeira camada geológica é eliminada. Um exemplo de perfil de resistividade elétrica em água é mostrado na Figura 4.



**Figura 4** – Exemplo de seção modelada 2D de resistividade elétrica em água.

Fonte: cortesia da Advanced Geosciences Inc. Copyright 2020.

A profundidade de investigação na Eletrorresistividade é função direta da extensão do cabo de eletrodos de potencial. Para levantamentos no mar, comumente a profundidade de investigação é cerca de 15% a 20 % da extensão do cabo, números que podem ser menores à medida do aumento da salinidade da área investigada. Existem equipamentos que têm a capacidade de

acoplamento de cabos sequenciais e do emprego de grande número de canais de recepção. Essas características viabilizam a aquisição com diferentes aberturas de eletrodos de modo a investigar maiores profundidades à medida que se aumenta o espaçamento entre eles.

A resolução vertical do método de Eletrorresistividade tem relação direta com o espaçamento entre eletrodos. Quanto maior o espaçamento visando à investigação de maiores profundidades, menor a capacidade de resolução vertical do método, que diminui à medida que são investigados os níveis mais profundos.

Diminuindo-se a distância entre os eletrodos, aumenta-se a resolução horizontal do método, mas, em contrapartida, diminui-se a cobertura em profundidade (penetração). Esta limitação é em parte resolvida pelos sistemas de aquisição de dados que permitem o uso concomitante de múltiplos espaçamentos, o que garante penetração e resolução.

A resolução horizontal tem também relação com a velocidade de deslocamento da embarcação. Quanto mais lenta se desloca, melhor a resolução, pois é coletada maior quantidade de dados (leituras).

O espaçamento entre as linhas de investigação comumente obedece à relação 2 x 1, ou seja, as linhas são distanciadas entre si de no máximo duas vezes o espaçamento entre os eletrodos, em especial quando o objetivo é a construção de imagens 3D da área investigada.

## 5.5 Processamento e apresentação dos resultados

Nos registros obtidos em campo por meio da Eletrorresistividade observam-se, basicamente, as camadas com diferentes comportamentos elétricos, como a própria coluna d'água, os estratos sedimentares inconsolidados e o embasamento rochoso.

O Quadro 2 apresenta as recomendações para os entregáveis mínimos na contratação de serviços de levantamento de Eletrorresistividade em água.

**Quadro 2** – Entregáveis recomendados para levantamentos de Eletrorresistividade.

PRODUTO	FORMATO
Seções modeladas de resistividade elétrica	Formatos variados
Dados brutos	Formatos originais dos fabricantes
Dados vetoriais (X, Y, cotas de horizontes identificados)	XYZ (ASCII), CSV, SHP
Croqui da embarcação e geometria da instrumentação empregada no levantamento (posições dos eletrodos, do GPS, do ecobatímetro etc.)	PDF, PNG, JPG

Fonte: elaborado pelos autores.

## 6 MÉTODOS POTENCIAIS: MAGNETOMETRIA

### 6.1 Breve descrição do método

Dentre os métodos geofísicos conhecidos como métodos potenciais e no contexto de projetos de geologia e geologia de engenharia em áreas submersas rasas, destaca-se a Magnetometria aquática.

Os magnetômetros são instrumentos passivos (não emitem sinal, apenas recebem) que medem a intensidade do campo magnético da Terra (CMT). A prospecção de minérios ferromagnéticos é a principal aplicação desse método no campo da geofísica de exploração. No campo da geologia de engenharia, é na operação de busca de obstruções ferromagnéticas (enterradas ou não) e de embarcações metálicas naufragadas que reside importante aplicação desse método de investigação de áreas submersas. Observa-se que o mapeamento de obstruções é um processo fundamental no controle de orçamento do projeto e tem relação direta como o sucesso de um empreendimento, uma vez que previne atrasos e danos a equipamentos, consequência da presença de interferências no projeto original (projeto de dragagem, por exemplo).

Obstruções ferromagnéticas são quaisquer materiais que tenham capacidade de distorcer o campo magnético e impliquem obstáculos para empreendimentos

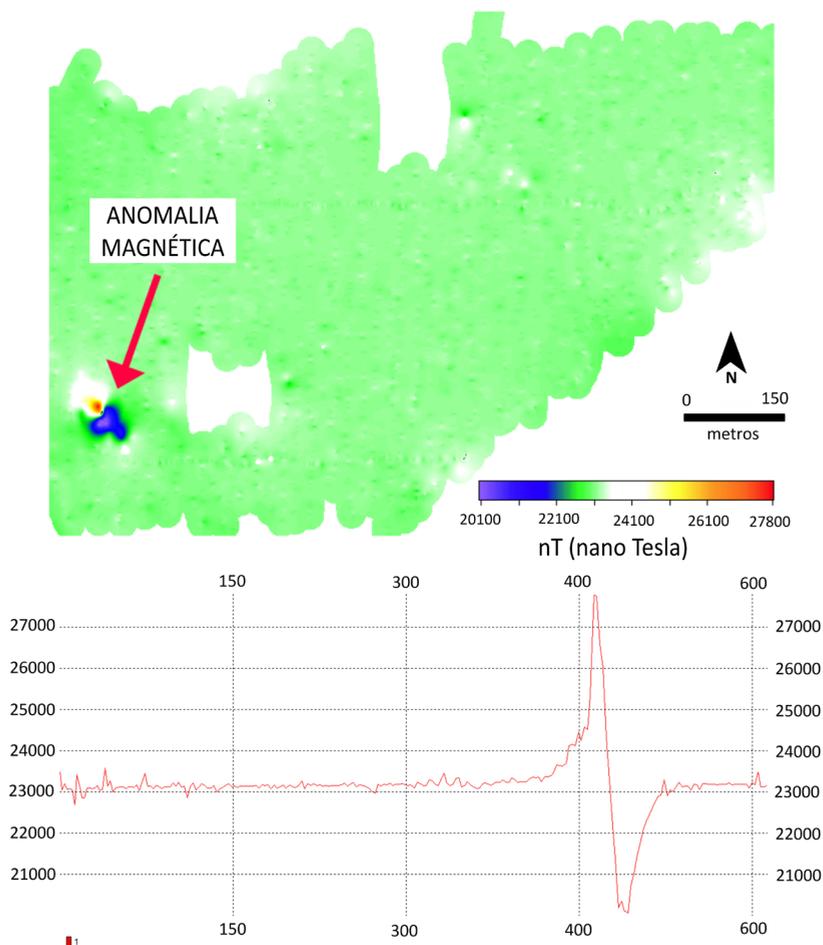
que envolvam interface direta com o meio aquático. São exemplos de obstruções em ambientes aquáticos rasos a presença na superfície de fundo de âncoras, cascos soçobrados, cabos de telecomunicação, dutos entre outros.

O nível de distorção do campo magnético causado por um objeto (anomalia magnética) é função direta da massa de material ferromagnético contida no objeto, do formato do objeto, da quantidade de tempo em que se encontra no local, do alinhamento em relação ao campo magnético local, da intensidade do campo magnético local, do volume do objeto e da suscetibilidade magnética do material.

Para se encontrar uma embarcação naufragada por meio da Magnetometria, esta deve possuir casco de metal ou outros componentes metálicos na sua estrutura, como motores ou mastros. Da mesma forma, cabos de telecomunicação são mapeados quando em funcionamento, pois a distorção do campo magnético captada pelo sensor é gerada por energia eletromagnética do cabo ativo. Cabos inativos e desenergizados são de difícil mapeamento, uma vez que sua massa de material ferromagnético é insignificante perante a resolução do método.

A utilização de magnetômetros ou gradiômetros em conjunto com outros equipamentos geofísicos é uma prática muito eficaz e recomendada para o mapeamento de obstruções. Fontes de anomalias magnéticas que estejam sobre o assoalho marinho podem ser rapidamente identificadas se dados do Sonar de Varredura Lateral forem adquiridos concomitantemente. Uma anomalia magnética não observada nos registros do Sonar de Varredura Lateral, pode significar que o objeto da busca esteja enterrado. Em função disso, novas linhas de detalhe devem ser planejadas, de preferência, incluindo-se um sistema de Perfilagem Sísmica Contínua com fonte acústica ressonante (*chirp*), de forma a garantir que o objeto enterrado seja detectado e tenha sua posição definida com precisão, em especial no caso de se utilizar magnetômetros simples (não gradiômetros). No caso do emprego de gradiômetros, o posicionamento da anomalia é mais preciso, tendo em vista o robusto e estável método de rebouque, os periféricos associados e o fato de este sistema empregar pelo menos dois sensores. A Figura 5 ilustra um exemplo de produto oriundo do emprego da Magnetometria em uma operação de busca de obstruções no fundo do mar.

Os magnetômetros são equipamentos relativamente baratos quando comparados aos equipamentos de sísmica. As operações de aquisição de dados são também mais simples quando comparadas com os complexos processos de aquisição de dados sísmicos. Assim, é sempre recomendável que levantamentos magnetométricos ocorram de forma acoplada a levantamentos sísmicos.



**Figura 5** – Mapa e perfil de uma anomalia magnética mostrando a localização de um naufrágio na Baía de Guanabara (RJ).

Fonte: cortesia da Tessec Engenharia e Serviços Marítimos.

Magnetômetros combinados em arranjos gradiométricos são necessários quando existe a expectativa da presença de grande quantidade de anomalias,

de anomalias de pequena ordem de grandeza ou quando se prevê que anomalias possam ocorrer muito próximas umas das outras, impondo grande desafio ao sistema em termos de resolução. A impossibilidade de se utilizar uma estação base de referência pode também justificar o emprego de gradiômetros.

Existem vários tipos de arranjos nas diferentes técnicas de aquisição de dados da gradiometria e alguns deles demandam a instalação de pelo menos quatro magnetômetros. A escolha por determinado arranjo é baseada em diferentes fatores, como: direção de navegação, tipos de objetos da busca, a presença de interferências (por exemplo, turbinas eólicas), posição geográfica do objeto da busca, entre outros. É relevante mencionar que as operações com gradiômetros demandam mais recursos, profissionais mais capacitados e maior infraestrutura operacional, comumente com o apoio de bons periféricos (profundímetros e altímetros), guinchos e posicionadores acústicos.

## 6.2 Vantagens

Os magnetômetros são equipamentos robustos e de operação relativamente simples (com exceção dos gradiômetros) e com excelente relação custo-benefício.

Esses equipamentos não distinguem água, sedimentos, rochas (não magnéticas) etc., ou seja, essas interfaces não impõem barreiras para a aquisição ou análise dos dados.

Quando do uso de gradiômetros, não há necessidade de estações base de observação das anomalias do campo magnético total da Terra.

## 6.3 Limitações

As profundidades de enterramento dos objetos da busca são obtidas a partir da combinação de um sensor de pressão instalado no equipamento e de um sistema batimétrico (ou de um sistema de Perfilagem Sísmica Contínua ressonante de alta frequência) em operação simultânea de aquisição de dados. Ressalta-se que, é intrínseco à física do método magnetométrico a ocorrência de incertezas (comumente da ordem de 20% a 30%) na determinação da distância entre o objeto da busca e o sensor. Trata-se, invariavelmente, de um sistema rebocado, logo, seu posicionamento requer ajustes durante o

processamento dos dados. Observa-se, ainda, que a aparente simplicidade do processo de aquisição dos dados na Magnetometria, com apenas um sensor, pode permitir erros de planejamento e, assim, é importante considerar a presença de pessoal qualificado nas operações de aquisição dos dados, sob pena de comprometer a geração de resultados apropriados ao objetivo do projeto.

## 6.4 Planejamento dos ensaios

Apesar de relativamente simples, a aquisição de dados de Magnetometria deve obedecer a um rigoroso planejamento visando à garantia do sucesso da operação. Não é o objetivo deste manual discorrer detalhadamente sobre todas as etapas de planejamento e execução desse tipo de levantamento geofísico, mas estas devem estar muito bem documentadas pelo executante para possibilitar uma completa análise dos produtos para certificar-se de que os resultados são assertivos.

Como mencionado anteriormente, os magnetômetros são instrumentos passivos e, assim sendo, ocorre a necessidade de os perfis planejados passarem próximos o suficiente da fonte de distorção do campo magnético, para que a anomalia magnética seja detectada. Para que isso ocorra, calcula-se a mínima anomalia detectável, ou seja, a qual distância do sensor o objeto de interesse precisa estar para que a distorção de campo causada por ele seja detectada. Para isso, é calculada a distância máxima do sensor com base na massa estimada do objeto e a mínima anomalia detectável pelo sensor (recomenda-se no mínimo 2 nT).

## 6.5 Controle de qualidade

Durante o levantamento, é necessário monitorar o ruído magnético da embarcação e de outras fontes potenciais ao redor, como motores e geradores de energia. É considerada boa prática que o reboque do magnetômetro ocorra a uma distância equivalente a três vezes o tamanho da embarcação com a concomitante verificação de que esta não está influenciando nos dados. Esta verificação pode ser feita com breves puxões no cabo de reboque e a simultânea observação no sistema de aquisição, verificando-se se há variação de mais de 2 nT nos dados.

Durante o processo de aquisição de dados, é importante também certificar-se do pleno funcionamento dos periféricos como profundímetros e altímetros (no caso do gradiômetro). Normalmente, esses sensores produzem elementos numéricos de controle de qualidade para cada leitura.

## 6.6 Aquisição de dados

Cada dado de leitura do campo magnético da Terra (CMT) deve conter as coordenadas X, Y, o fluxo magnético, data, hora e a profundidade.

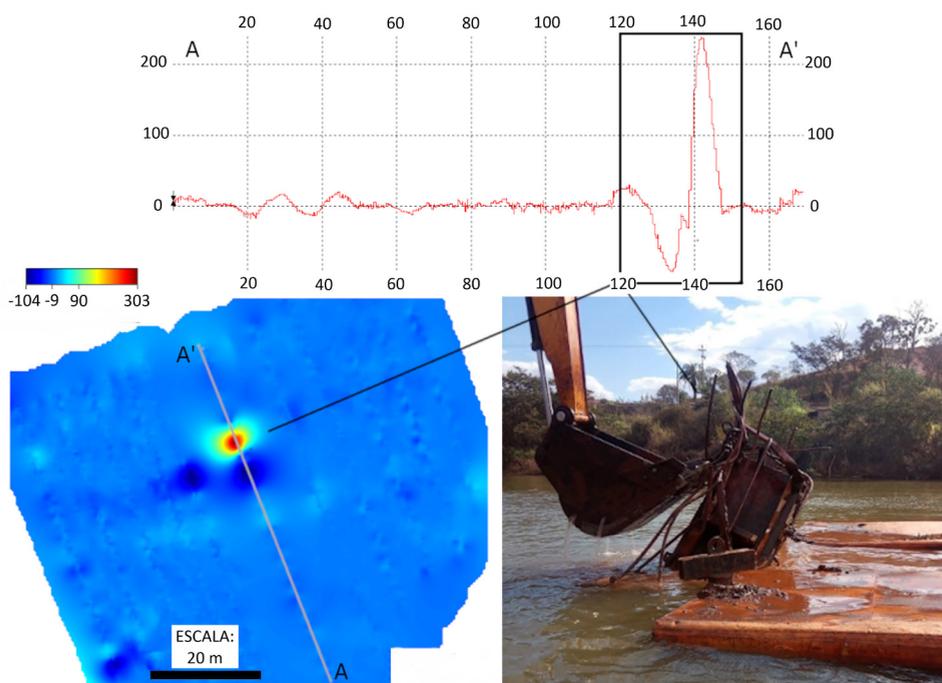
É considerada uma excelente prática a realização de testes de detectabilidade que consistem em lançar um objeto conhecido à água e mapeá-lo em diferentes direções e alturas do magnetômetro em relação ao assoalho marinho. Além de atestar a capacidade de detecção do magnetômetro, verificam-se os erros do sistema de posicionamento.

Consiste também em procedimento de controle de qualidade na aquisição de dados o monitoramento da profundidade do sensor na coluna d'água, para que este não seja rebocado muito distante do assoalho marinho, garantindo-se que sejam obedecidos os parâmetros definidos no planejamento. Observa-se, ainda, que a velocidade de deslocamento da embarcação deve seguir o planejamento original, de forma a se garantir que sejam atingidos os parâmetros relativos à resolução do método, que ao fim, permitirão detectar objetos de interesse.

Dependendo do objetivo do levantamento, é necessário proceder correções de variações magnéticas diurnas, que são função do embate dos raios solares na ionosfera, o que é realizado a partir da instalação, em locais apropriados (livres de ruídos), de estações de observação magnetométricas fixas. Eventualmente, a realização de linhas cruzadas pode contribuir para minimizar os erros de leitura e a influência das variações naturais do campo magnético terrestre.

Observa-se que a aquisição de dados de Magnetometria pode também ser realizada utilizando pequenos veículos aerotransportados (drones ou *vants*), que proporcionam um levantamento rápido e com ampla cobertura em área, tendo vasta aplicabilidade, especialmente no estudo de locais de difícil acesso ou em ambientes com pequena espessura da coluna d'água. A possibilidade de se executarem levantamentos com os sensores mais próximos do solo

ou da superfície da água (1 m a algumas dezenas de metros) garante a este sistema uma interessante resolução dos dados e, por conseguinte, uma vasta aplicabilidade em investigações de detalhe, como operações de busca de peças metálicas (obstruções) enterradas em projetos de dragagem de áreas submersas ultrarrasas (Figura 6) ou em projetos de prospecção mineral. Em levantamentos magnetométricos com drones, os sensores podem ser acoplados diretamente na aeronave ou rebocados a certa distância dela. Ao se optar pela primeira estratégia, haverá sempre um ruído inerente oriundo da indução magnética dos motores, para o qual o sistema deve possuir a capacidade de compensação. Se a opção for por rebocar o sensor a certa distância da aeronave (comumente ao redor de 3 m), cuidados devem ser tomados com relação aos ruídos gerados pelo movimento de pêndulo do sensor. A opção por uma técnica ou outra dependerá basicamente de fatores práticos e logísticos (acessibilidade) relacionados ao local do levantamento.



**Figura 6** – Acima, perfil da anomalia magnética provocada por objeto metálico enterrado; abaixo, à esquerda, mapa da anomalia magnética e rota do voo; abaixo, à direita, objeto metálico causador da anomalia sendo retirado.

Fonte: cortesia da Tessec Engenharia e Serviços Marítimos.

## 6.7 Equipamentos

A lista de fabricantes de magnetômetros aquáticos para uso profissional é bastante restrita e, sendo assim, podem ser citados, nominalmente, nesta seção.

Os equipamentos utilizados profissionalmente na atualidade medem o campo magnético por diferentes técnicas: a fabricante norte americana Geometrics produz sensores de excitação ótica por vapor de césio; a canadense Marine Magnetics produz sensores *overhauser*, que são uma evolução da técnica de precessão protônica (os magnetômetros de próton não são mais recomendados para uso profissional em função da sua baixa resolução e baixa taxa de aquisição) e a alemã Sensys produz sensores *fluxgate* de alta qualidade, recomendados profissionalmente (existem outros sistemas do tipo *fluxgate*, mas não são recomendados para investigação de ambiente marinho).

Para a contratação de serviços de Magnetometria aquática, não é recomendado especificar o tipo de equipamento a ser utilizado, mas sim o objetivo do levantamento, pois todos os equipamentos supracitados podem atender à maioria das demandas.

## 6.8 Processamento e apresentação dos resultados

O fluxo básico de processamento de dados de Magnetometria tem por objetivos: proceder com a correção correspondente à geometria de aquisição de dados, a eliminação dos dados espúrios, a compensação do *background* geológico e das variações diurnas para produção dos mapas com as superfícies interpoladas do campo magnético terrestre da área investigada, para finalmente, determinar os possíveis contatos (anomalias).

Os entregáveis mínimos recomendados na contratação de um serviço de levantamento magnético simples ou de gradiometria estão listados no Quadro 3.

**Quadro 3** – Entregáveis recomendados de levantamentos de Magnetometria.

PRODUTO	FORMATO
Mapa de CMT (com isolinhas magnéticas e escala de cores)	PDF, DWG, DGN
Mapa de contatos ou obstruções (pode ser sobreposto ao CMT)	PDF, DWG, DGN
Dados brutos	ASCII
Dados processados	ASCII
Dados vetoriais (X, Y, contatos)	XYZ (ASCII), CSV, SHP
Croqui da embarcação e da geometria das instalações dos equipamentos (magnetômetro, GPS etc.)	PDF, PNG, JPG

Fonte: elaborado pelos autores.

## 7 CÂMERAS ACÚSTICAS

Além dos métodos geofísicos clássicos, existem outras técnicas de investigação indireta para a inspeção de detalhe de ambientes submersos. Tendo como base conceitos de acústica ou de ótica, estas técnicas têm especial aplicação na investigação de áreas restritas como corpo de barragens, estruturas de concreto, píeres, estacas, bases de pontes e túneis, entre outras estruturas submersas, e têm por objetivo a prospecção de fissuras, desgastes, rachaduras e demais anomalias estruturais.

Algumas dessas técnicas são descritas nesse item 7, de título Câmeras Acústicas. Nos itens 8 e 9 são descritos o Laser Scanners Subaquáticos e ROV/Filmagem.

Câmeras Acústicas são sistemas de alta resolução que empregam frequências a partir de 1 MHz e que, emitindo dezenas de feixes simultaneamente, possibilitam a geração de imagens acústicas com características muito similares a imagens de vídeos.

Estes instrumentos não necessitam de luz para viabilizar a inspeção detalhada de estruturas submersas em condições inadequadas de visibilidade. Podem ser operados por meio de tripés instalados no fundo (com giro de 360°) ou operados remotamente a partir de uma embarcação (instalados ou não em um ROV). Podem gerar imagens em 2D análogas àquelas oriundas do Sonar de Varredura Lateral, ou até mesmo prover uma nuvem de pontos em 3D com resolução centimétrica ou milimétrica. As imagens são avaliadas em tempo real a partir da observação das características do alvo, tais como: textura, formas e orientação.

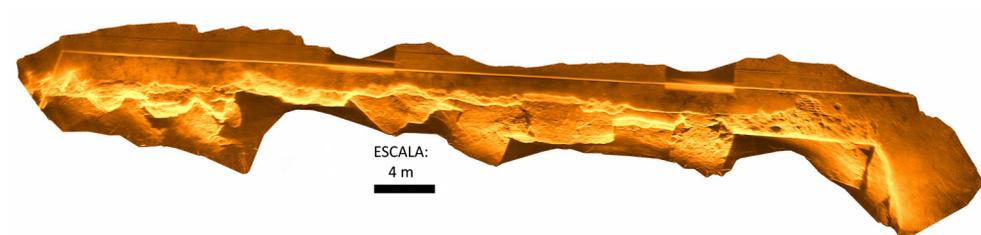
Estes sistemas têm vasta aplicação na inspeção de estruturas de concreto submersas, já que permitem a identificação de fraturas, juntas, trincas, deslocamentos, deslocamentos e desgastes, o que possibilita concluir sobre a integridade dessas estruturas. A Figura 7 mostra uma imagem obtida por uma câmera acústica mostrando uma estrutura de concreto danificada (corroída) pelo excesso de movimentação de sedimentos ao redor. A Figura 8, apresenta um exemplo de mapeamento acústico de uma embarcação naufragada, em um projeto que tinha por objetivo identificar partes de uma embarcação a serem removidas para viabilizar uma rota de navegação.

## 7.1 Vantagens

Não depende de visibilidade da água e é pouco sensível à presença de materiais em suspensão.

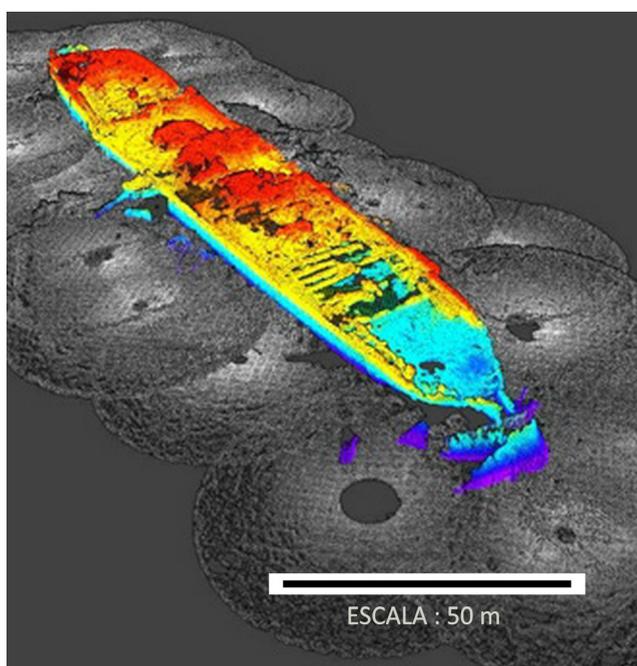
## 7.2 Limitações

A operação de aquisição de dados é complexa e, em alguns casos, pode necessitar da assistência de mergulhadores. A operação desses sistemas acoplados a um ROV dedicado pode facilitar a aproximação dos alvos de investigação e, por conseguinte, aumentar o desempenho do processo de aquisição de dados. Eventualmente, pode ser necessário o emprego de um ROV mais robusto e acoplado a um sistema inercial e posicionador acústico.



**Figura 7** – Mosaico de registros oriundos do sistema de imageamento acústico do sonar ARIS 3000, em procedimento de avaliação de substrato de concreto em usina hidroelétrica.

Fonte: cortesia da Acquest Geotecnologia.



**Figura 8** – Casco soçobrado imageado e modelado pela câmera acústica 3D Blue View da Teledyne. Os pontos mais escuros mostram os locais onde o tripé foi instalado.

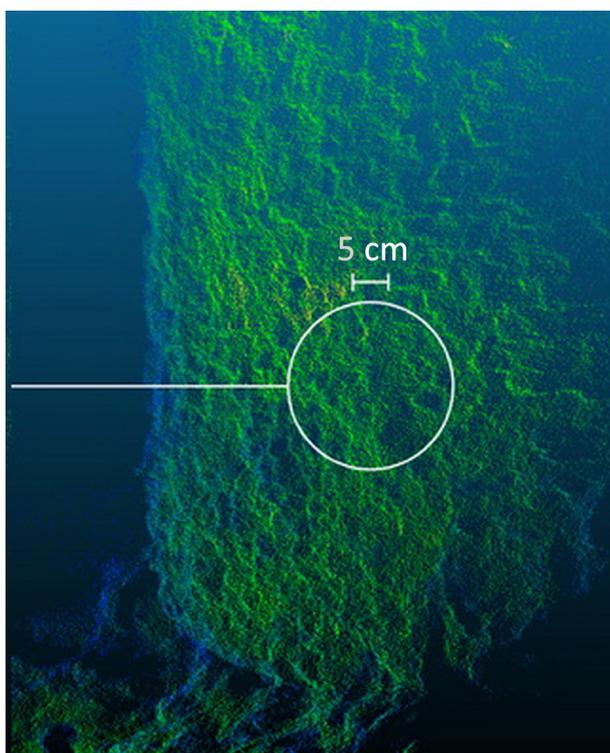
Fonte: cortesia da Tessec Engenharia e Serviços Marítimos.

## 8 LASER SCANNER SUBAQUÁTICO

A exemplo das câmeras acústicas, os dados de Laser Scanner Subaquático podem ser adquiridos com o sistema apoiado em um tripé de porte

compatível com a necessidade de estabilização das câmeras durante a aquisição das imagens ou acoplados em veículos controlados remotamente (ROV, AUV ou *Crawler*).

As ferramentas que se utilizam de laser têm a capacidade de gerar nuvens de pontos em 3D com resolução da ordem de milímetros, permitindo a identificação de estruturas submersas com alta precisão e detalhes. A Figura 9 ilustra o produto da inspeção do pilar de um cais, mostrando resolução milimétrica do sistema e, neste caso, a integridade da estrutura de concreto.



**Figura 9** – Imagem mostrando resultado de inspeção de pilar de um cais com o Laser ULS-200 da 2G Robotics em Ilhabela (SP). Notar a capacidade de observação/resolução milimétrica do método.

Fonte: cortesia da Tessec Engenharia e Serviços Marítimos.

## 8.1 Vantagens

Resolução milimétrica e possibilidade de se gerar modelos das estruturas em 3D.

## 8.2 Limitações

A operação de aquisição de dados é complexa e comumente deve ser assistida por mergulhadores. Em algumas situações, envolve até mesmo a construção de estruturas rígidas.

O alcance do método depende das condições de visibilidade no local e é recomendado que operações em águas rasas sejam feitas durante a noite.

Assim como as câmeras acústicas, a operação de um sistema de Laser Scanner acoplado a um ROV pode facilitar a aproximação dos alvos de investigação e, por conseguinte, a aquisição de dados.

## 9 ROV E FILMAGEM

Os veículos remotamente controlados (ROV) por cabos e equipados com câmeras e lanternas são excelentes instrumentos de investigação de superfícies submersas. Atualmente, existem no mercado sistemas muito versáteis e estáveis, de pequeno porte e de fácil operação. Em condições favoráveis de luz, a utilização destes instrumentos permite gerar imagens de vídeos de alta resolução sobre as quais é possível se desenvolver análises relativas à integridade das estruturas submersas.

### 9.1 Vantagens

Este método de observação de estruturas subaquáticas permite a aproximação do instrumento a locais de acesso limitado, e com livre movimentação, já que seu deslocamento é controlado remotamente pelo operador instalado em uma embarcação.

A análise e interpretação dos produtos obtidos destes sistemas é bastante intuitiva, consistindo em vídeos com overlays acoplados a logomarcas das empresas, com registro do local, hora, profundidade e direção da navegação.

### 9.2 Limitações

Esses sistemas têm base ótica e, portanto, o sucesso da operação depende da visibilidade no local dos estudos.

## 10 PRINCIPAIS PARTICIPANTES

**Editor:** João Jeronimo Monticelli

**Autores:** Luiz Antonio Pereira de Souza e Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

**Colaboradores:** Adalberto Aurélio Azevedo (Consultor), Adriano Marchioreto (Alta Resolução), Aluizio Oliveira Júnior (Delfos Marítima), Anita Gomes Oliveira (UFBa), Antonio Celso de Oliveira Braga (Consultor), Arthur Ayres Neto (UFF), Augustinho Rigoti (Gideon), César Alexandre Félix (Tessec Serviços Marítimos), Debora Silveira Carvalho, (Geofísica Consultoria), Deborah Durgin e Carol A. Morrissey (Klein Marine Systems), Eduardo Rodrigues e Hasan Aktarakçi (AGI), Fábio Novais e Kayque Bergamaschi (Rural Tech), Garry Kozak (Edgetech), Geraldo Cunha (Microars), Gerrit Olivier e Tjaart de Wit (IMS), John Gann e Ashley Chan (Chesapeake), José Domingos Faraco Gallas (IGC-USP), Juliano Vitorino e Fábio Miranda (Neogeo), Kim Olá e Tom Olá (Meridata), Kinoshita Yasumasa (Serviço Geológico do Japão - GSJ) - *in memoriam*, Leonardo Santana, Eduardo Yassuda, Camila Rodrigues e Lorena Andrade Oliveira (Tetra Tech), Lisa Brisson e Damon Wolfe (Echo81), Luis Américo Conti (USP Leste), Marco Ianniruberto (UNB), Marcos Saito de Paula (JS Geologia Aplicada), Mariucha da Silva (Consultora), Mascimiliano de los Santos Maly (IO-USP), Michel Michaelovitch de Mahiques (IO-USP), Mike Brissette (R2Sonic), Moysés Gonzales Tessler (Consultor), Nabil Alameddine (Ministério Público do Estado de São Paulo), Oleg Bokhonok (UNISANTOS), Régis Gonçalves Blanco (*in memoriam*), Carlos Alberto Birelli, Vicente Luiz Galli e Leonides Guireli Netto (IPT), Renato Luiz Prado (IAG-USP), Roberto Bianco (INPH), Rodolfo Jasão Soares Dias (Subgeo), Sérgio Augusto Palazzo (SAP Service Engenheiros Consultores) e Sérgio Correia (Belov).

## 11 REFERÊNCIAS/LEITURAS RECOMENDADAS

AYRES NETO, A.; BAPTISTA NETO, J. A. Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico. *In*: PONZI, V. R.A.; BAPTISTA NETO, J.

A.; SICHEL, S. E. (org.). **Introdução à Geologia Marinha**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2004. p. 127-151.

PASSINI & ALVARES – SOCIEDADE DE ADVOGADOS. Parecer – Natureza das “Normas” a serem emitidas pela ABGE. 2021. **Relatório de consultoria jurídica à ABGE**, 13 p. Disponível em [www.abge.org.br](http://www.abge.org.br), 2021.

PORSANI, J. L.; MOUTINHO, L.; ASSINE, M. L. GPR survey in the Taquari river, Pantanal Wetland, West-Central Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR, 10., 2004, Delft, Netherlands. **Proceedings**. Piscataway: IEEE, 2004

SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. 2006. 311 f. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2006.

SOUZA, L. A. P. *et al.* Geophysical methods to support ocean outfall monitoring: a side-scan application. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OUTFALL SYSTEMS, 2011, Mar del Plata, Argentina. **Proceedings [...]**. Madrid: IAHR/IWA, 2011.

SOUZA, L. A. P.; MARRANO, A.; IYOMASA, W. S. Geofísica aplicada a estudos de lagos em áreas urbanas. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFISICA, 1., 2004, São Paulo. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBGf, 2004.

## **12** REFERÊNCIAS NORMATIVAS E DIRETIVAS

Cabe ao usuário da presente publicação cotejar a mesma com outras normas (e com diretrizes, guias, manuais, boletins técnicos, instruções e artigos técnicos, em geral), nacionais e estrangeiras, visando harmonização e melhor aplicação prática nos projetos. No presente caso, recomenda-se considerar, dentre outras, as seguintes publicações:

COOK, Mike et al. (ed.). **Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments**. London: Society for Underwater Technology, 2014, 49 p. (Offshore Site Investigation and Geotechnics Committee).

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. Standards for Hydrographic Surveys. **S-44. Edition 6.0.0**. Principauté de Monaco: IHO, 2020. 50 p.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. **Mariners' Guide to Accuracy of Depth Information in Electronic Navigational Charts (ENC)**. Principauté de Monaco: IHO, 2020. 28 p.

JONES, E. J. W. **Marine geophysics**. Baffins Lane, Chichester: John Willey & Sons, 1999. 466 p.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos**. (S.L.): Marinha do Brasil, 2017. 94 p. 9 (NORMAM – 25/DHN)

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O. C. B. **NORMA ABGE 200/2023: Geofísica aplicada – Métodos e técnicas**. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O. C. B. **NORMA ABGE 204/2023: Investigação geofísica em água - Métodos acústicos: batimetria e sonar de varredura lateral para investigação de superfícies submersas e perfilagem sísmica contínua para investigação de subsuperfície submersa**. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.