

## UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA MAPEAMENTO DE LAMA FLUIDA NO PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA (ES-BRASIL)

Valéria da S. Quaresma<sup>1</sup>, Alex C. Bastos<sup>1</sup>, Diego V. Loureiro<sup>1,2</sup> e Sandro Paixão<sup>2</sup>

Recebido em 15 fevereiro, 2011 / Aceito em 2 agosto, 2011  
Received on February 15, 2011 / Accepted on August 2, 2011

**ABSTRACT.** Fluid mud are frequently observed in navigational channels and their characterization and mapping are very important for safety reasons. This study investigates the response of different acoustic equipments on the identification and mapping of fluid mud. Sonographic, bathymetric and sub-bottom profile surveys were carried out in order to acoustically map the seabed. Short sediment cores were collected to determine the seabed bulk density. The survey was undertaken along Porto de Tubarão (Espírito Santo State) as part of a dredging project. The occurrence of fluid mud was confirmed by the indirect acoustic methods and direct sediment bulk density data. Acoustic signals behave differently in the presence of fluid mud in all frequency cases, which correlates with sediment bulk densities. The method applied herein proved to be efficient and applicable for these areas.

**Keywords:** fluid mud, high resolution geophysics, dual frequency bathymetry.

**RESUMO.** A ocorrência de depósitos de lama fluida é muito comum em canais de navegação e, por esta razão o mapeamento e a caracterização destes depósitos se tornam cada vez mais importantes para a manutenção da navegabilidade destas áreas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi de demonstrar a aplicação de métodos acústicos de investigação geofísica na identificação da ocorrência de lamas fluidas e seu mapeamento. Para tanto, foram realizados levantamentos sísmicos, batimétricos, sonográficos e coleta de testemunhos para determinação da sua densidade. Estes levantamentos foram realizados na área do Porto de Tubarão (Espírito Santo) visando fornecer subsídios técnicos para o aprofundamento do seu canal de acesso. A presença da lama fluida foi confirmada pela análise dos registros sonográficos, batimétricos e de sísmica rasa, que exibiram um padrão específico relacionado a este tipo de suspensão com altas concentrações. Os valores de densimetria dos testemunhos também indicaram a presença da lama fluida e a tendência de diferenciação dos sinais acústicos em função da densidade do meio.

**Palavras-chave:** lama fluida, geofísica de alta resolução, ecobatimetria de dupla frequência.

---

<sup>1</sup> Labogeo/UFES – Laboratório de Oceanografia Geológica, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 516, Goiabeiras, 29600-075 Vitória, ES, Brasil. Tel.: (27) 4009-2878; Fax: (27) 4009-2500 – E-mails: vdsq@terra.com.br; valeria@derm.ufes.br; ac.bastos@terra.com.br

<sup>2</sup> UMISAN – Hidrografia e Engenharia, Rua Henrique Novaes, 88, SI 407-409, Centro, Vitória, ES, Brasil – E-mails: diego\_velou@yahoo.com.br; sandro.paixao@umi.com.br

## INTRODUÇÃO

Por definição, lama fluida é uma alta concentração de sedimento fino em suspensão (concentrações entre 10 e 100 g/L e densidades inferiores a 1.200 kg/m<sup>3</sup>), bastante fluidizado, que representa um dos estágios iniciais do processo de consolidação e formação de fundos coesivos (Winterwerp & van Kesteren, 2004). A lama fluida geralmente está associada a uma luto-clina e é normalmente relacionada a um rápido processo de sedimentação em áreas com grande suprimento de sedimentos finos e períodos de menor (baixa) turbulência (McAnally et al., 2007b). Dessa forma, a ocorrência de lama fluida é muito comum em canais de navegação devido ao fato de normalmente serem áreas bem protegidas e de baixa hidrodinâmica. O mapeamento e a caracterização desses depósitos se tornam cada vez mais importantes, pois podem causar problemas para a comunidade bentônica, navegação, concentrar poluentes, além de influenciar no processo de eutrofização (McAnally et al., 2007a). Assim, a determinação de sua localização e o entendimento do seu processo de formação se torna fundamental para a intervenção e gestão de ambientes em que ocorrem, bem como para a manutenção da profundidade de navegação e cálculo do volume a ser dragado, no caso de canais de navegação.

O processo de consolidação do sedimento coesivo pode ser descrito por um perfil vertical com variação de densidade do meio, por esta razão, a aplicação de métodos acústicos de investigação vem sendo largamente utilizada para o mapeamento da variação espacial e de espessura deste depósito (Fontein & van der Wal, 2006; Bastos et al., 2009; Holland et al., 2009; Schettini et al., 2010). Baseando-se neste conceito, o objetivo deste trabalho foi de demonstrar a aplicação de métodos acústicos de investigação geofísica na identificação e mapeamento de camadas de lama fluida. Para tanto, foram realizados levantamentos sísmicos, batimétricos, sonográficos e coleta de testemunhos para determinação da densidade dos depósitos a fim de provar a eficácia desses métodos no planejamento de atividades de dragagem e na análise de áreas com fundos de lama fluida.

O presente estudo foi realizado no canal de acesso ao Porto de Tubarão, localizado no limite norte da baía do Espírito Santo (Fig. 1), sendo este o principal porto de exportação de minério de ferro do Brasil. Em virtude do processo de ampliação ao qual o Porto será submetido, foi realizado um levantamento batimétrico, sísmico e geológico para o aprofundamento do canal de acesso e da bacia de evolução. Assim, durante os levantamentos geofísicos para caracterização do substrato sedimentar, foi identificada, localizada e mapeada a ocorrência de lama fluida.

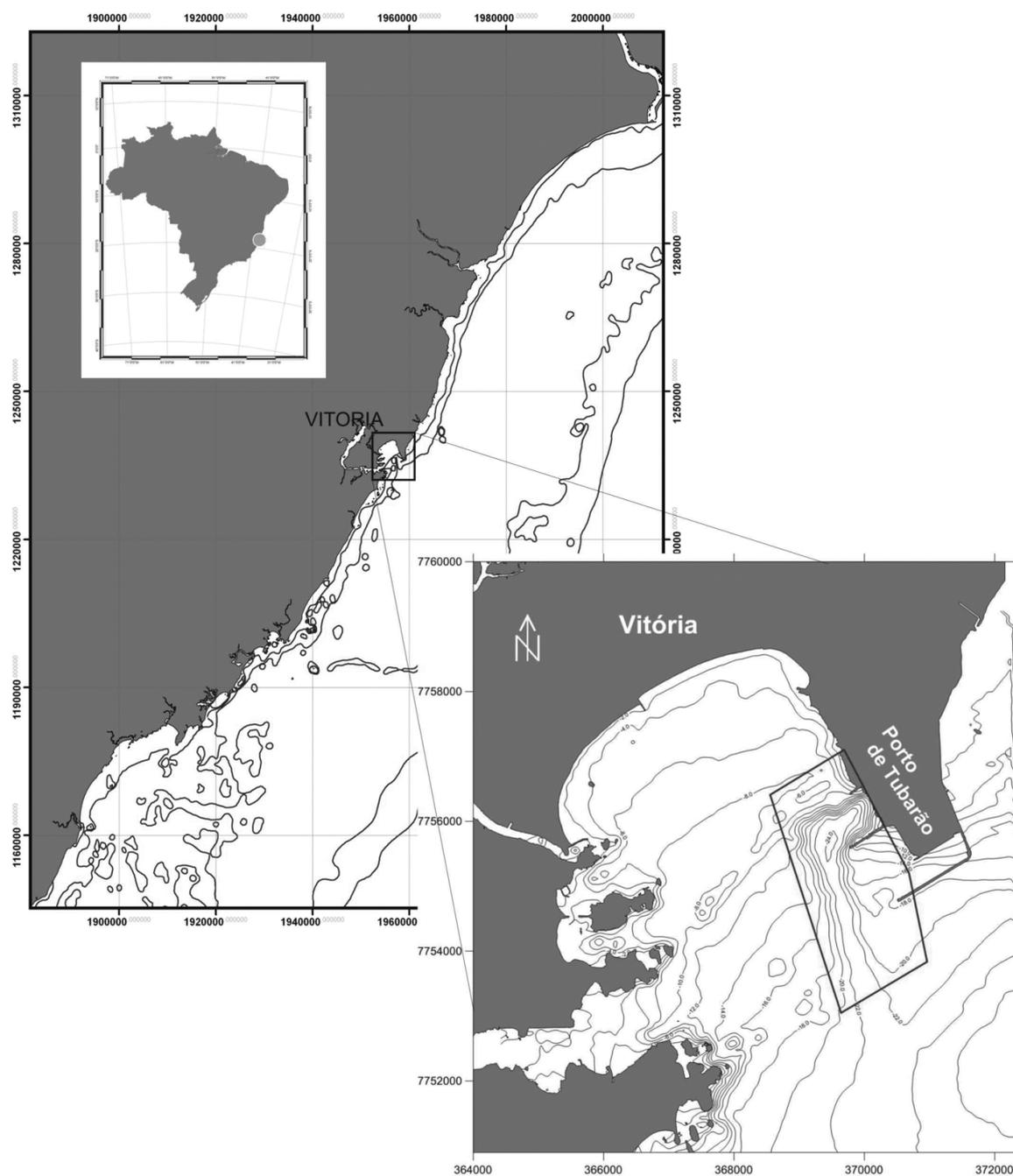
## MÉTODOS ACÚSTICOS E MAPEAMENTO DE DEPÓSITOS LAMOSOS

O método acústico de mapeamento do fundo marinho usa o princípio físico de velocidade de propagação de ondas elásticas para investigar a morfologia do fundo e espessuras das camadas em subsuperfície. Propriedades físicas como densidade e elasticidade do meio são parâmetros que influenciam a velocidade de propagação das ondas. Mudanças de densidade e velocidade de propagação das ondas acústicas geram contrastes de impedância acústica ao longo do meio, o que leva a reflexão e refração do pulso acústico. Sendo assim, camadas lamosas com diferentes graus de compactação induzirão contrastes de impedância acústica que serão registrados pelos diferentes sistemas utilizados.

Em regiões portuárias o método acústico é extensamente aplicado para a determinação de riscos a navegação e dragagem e, por essa razão, levantamentos batimétricos, sísmicos e sonográficos são atividades comuns nesta área de serviço. No caso de ecobatímetros de feixe simples, os sistemas mais usados na aquisição de dados batimétricos operam com frequências entre 33 e 200 kHz. A análise da espessura das camadas sedimentares é geralmente obtida a partir de levantamentos sísmicos de alta resolução que operam com fontes como Boomer, Chirp e Sparker (frequências entre 0,5 e 25 kHz). Já os levantamentos sonográficos são comumente usados em análises de risco geológico, sendo que o sonar de varredura lateral opera geralmente com frequências variando entre 100 e 500 kHz. Mais detalhes sobre equipamentos acústicos e suas frequências podem ser obtidos em Ayres Neto (2000), Wille (2005) e Souza (2006).

Em termos de estudos sísmicos, o fator que controla o tipo de fonte a ser usado é a relação entre penetração e resolução. Em geral, sistemas com alta resolução (>1 m) possuem baixa penetração e vice-versa. O controle básico da resolução sísmica diz respeito ao comprimento de onda gerado, que está diretamente associado à frequência da fonte acústica. Com isso, quanto mais alta a frequência, maior tende a ser a resolução porque menor é o comprimento da onda acústica, permitindo assim um melhor detalhamento espacial (em profundidade) dos contrastes de impedância acústica.

No caso de estudos portuários, onde muitos canais e bacias de evolução apresentam altas taxas de sedimentação e formação de lama fluida, a densidade do meio pode aumentar em virtude da alta concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS), ficando assim entre os valores de densidade média da água do mar (1.000 kg/m<sup>3</sup>) e os valores considerados para fundos conso-



**Figura 1** – Localização da área de estudo. O retângulo mostra a área investigada. Foram realizados levantamentos batimétricos e sísmicos a cada 5 m e as linhas sonográficas foram espaçadas de 100 m.

lidados ( $1.200 \text{ kg/m}^3$ ). O estado de lama fluida pode apresentar características acústicas distintas tanto em ecobatímetros como em perfiladores sísmicos e sonar de varredura lateral. Estas características acústicas são de extrema importância para o gerenciamento das atividades portuárias, principalmente no que tange a determinação da profundidade náutica e do volume a ser dragado.

A aplicação de sistemas de ecobatimetria e sísmica rasa pode gerar respostas distintas no que tange a reflexão e o mapeamento de fundos com lama fluida. A tendência do pulso de ecobatímetros de mais alta frequência é a de refletir o topo de camadas de lama fluida, enquanto que nos ecobatímetros de mais baixa frequência, o sinal acústico tende a penetrar (PIANC, 1997).

Neste trabalho são utilizados vários sistemas para determinação e caracterização acústica da lama fluida e suas relações com os valores de densidade do meio.

## METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foram adquiridos e interpretados dados de ecobatímetros, sonar de varredura lateral e perfilador de subfundo de alta resolução. Dados batimétricos de dupla frequência e de subfundo foram adquiridos simultaneamente, enquanto que os dados de sonar de varredura lateral foram adquiridos ao longo dos mesmos transectos, porém uma semana antes.

As linhas de levantamento foram dispostas de forma transversal ao canal de acesso ao porto, com espaçamento de 5 m (levantamento sísmico e batimétrico), e com varredura total de 100 a 150 m no levantamento sonográfico. No total obteve-se cerca de 550 km de linhas sísmicas e batimétricas e 30 km de linhas sonográficas.

Para o levantamento sonográfico foi utilizado um sonar de varredura lateral da marca Edgetech, modelo 4100, com transdutor TD-272 e sistema de aquisição digital 560P (*software Discover*) recebendo dados de posicionamento através de um sistema GPS. O levantamento foi realizado utilizando-se uma frequência de 500 kHz.

As profundidades foram obtidas com um ecobatímetro digital modelo MKIII, fabricação Odom, operando com um transdutor de 210/33 kHz dotado de registro digital e analógico em papel graduado. O ecobatímetro foi calibrado, no início e no final de cada dia de levantamento, com uma placa metálica fixada a um cabo de aço graduado de metro em metro, sendo deslocada abaixo do transdutor do ecobatímetro.

O levantamento sísmico foi realizado com um perfilador da marca SyQwest, modelo Stratabox 3510, operando com uma fonte ressonante de alta frequência que emite pulsos a 3,5 kHz. O dado sísmico foi adquirido em formato digital (SEGY) com posicionamento simultâneo por meio de um sistema DGPS conectado ao *software* de aquisição sísmica.

Com o objetivo de determinar a densidade total e o teor de água do fundo lamoso, foram coletados 6 testemunhos (sistema de testemunhagem à percussão) ao longo do canal e na bacia de evolução (Figs. 2 e 3). A posição destes testemunhos foi marcada através da observação e interpretação dos registros acústicos dos transdutores de 200 kHz, 33 kHz e 3,5 kHz.

A testemunhagem foi feita com tubos de PVC com 1 m de comprimento cada (Fig. 2). Ao longo dos tubos, foram feitos furos de 3 mm de diâmetro a cada 20 cm. Uma vez coletado o testemunho, este foi sub-amostrado a bordo, usando uma seringa de 50 ml. As amostras foram acondicionadas em potes, sendo

posteriormente pesadas em laboratório. O peso inicial das amostras foi considerado como o peso total (sedimento + água), logo, como o volume amostrado era conhecido (50 ml), a densidade úmida da amostra foi obtida dividindo o peso pelo volume. Posteriormente, a amostra foi levada à estufa para secar a 40°C. O peso total inicial ( $P_i$ ) menos o peso seco ( $P_s$ ) da amostra indica o teor de água (TA).

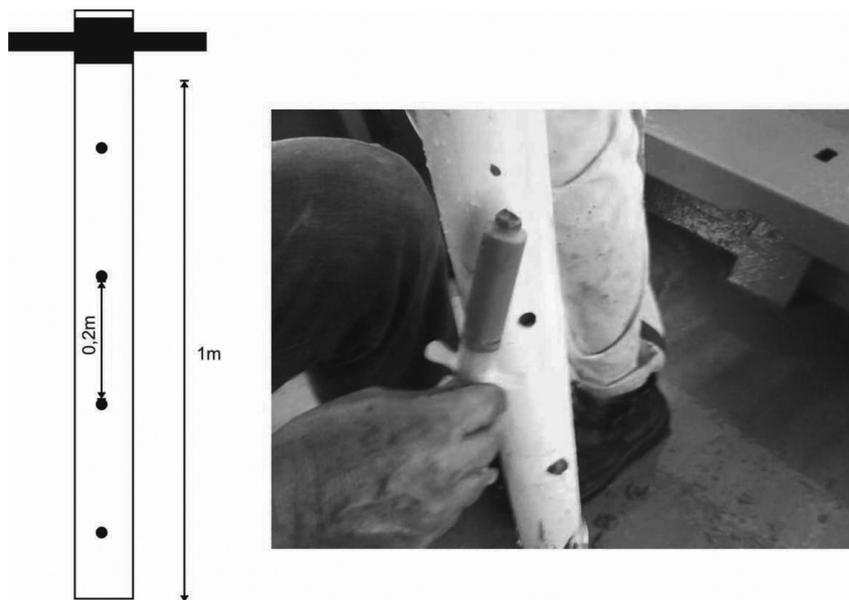
$$TA = P_i - P_s$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

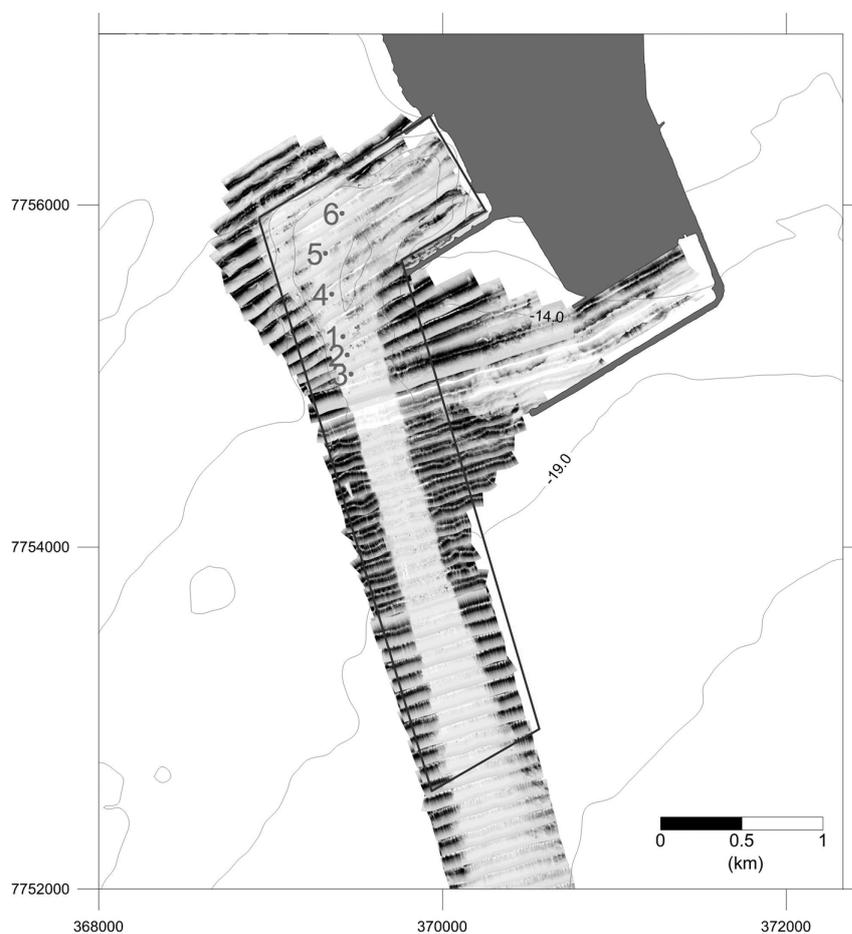
O imageamento do canal de acesso e da bacia de evolução apresentou cinco padrões sonográficos distintos, sendo que o padrão relacionado ao depósito de lama fluida é o de baixa intensidade de retorno do sinal (Fig. 3). Este padrão está diretamente relacionado à elevada quantidade de água e à granulometria fina do sedimento em suspensão (Fig. 3). Essas características fazem com que o sinal acústico seja absorvido diminuindo a intensidade de retorno do sinal (*backscatter*). Em função da densidade do meio, em alguns transectos observa-se a “perda do fundo” ou seja, a não observação do primeiro sinal de retorno do sonar de varredura lateral (Fig. 4). Este padrão no sonograma é um indicativo da ocorrência de lama fluida, como já havia sido observado por Schrottke et al. (2006).

A presença deste depósito, foi ainda confirmada pela análise dos registros batimétricos e de sísmica rasa, que exibiram um padrão característico relacionado à presença de lama fluida. Como os sedimentos constituintes da lama fluida apresentam-se em suspensão e em processo de consolidação, a impedância acústica destas suspensões é muito baixa, gerando um padrão claro, descrito sísmicamente como transparente (*reflection free*) (Fig. 5). Esse tipo de registro permite a definição da espessura do pacote sedimentar podendo ainda indicar qualitativamente a densidade e o estado de consolidação do sedimento.

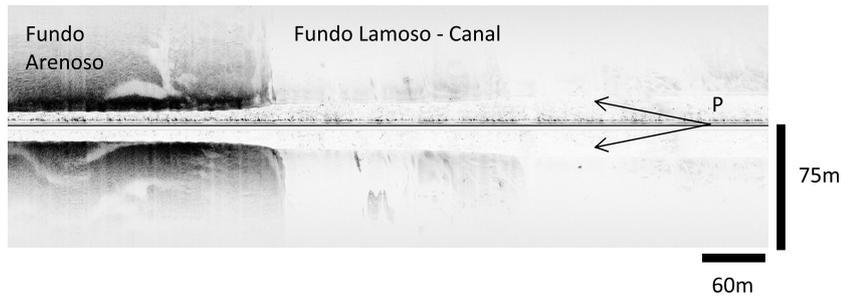
A análise dos registros ecobatimétricos de dupla frequência apontam para a ocorrência de um “eco duplo” ou “descolamento” dos refletores nas áreas de lama fluida. Como pode ser observado na Figura 6, o registro do ecobatímetro que operou na frequência de 200 kHz acompanha a superfície do fundo marinho, enquanto que a frequência de 33 kHz penetra abaixo deste refletor, mostrando a ocorrência de lama fluida. Esse tipo de comportamento é do conhecimento das autoridades marítimas e portuária, bem como da comunidade científica (van Leussen & van Velzen, 1989; Alexander et al., 1997; PIANC, 1997; Holland et al., 2009). A frequência de 200 kHz permite a visualização do contraste de impedância acústica entre a água e a superfície da lama fluida, indicando a superfície de mudança de densidade entre a água e a lama, que corresponde ao topo da camada de lama fluida. A frequência



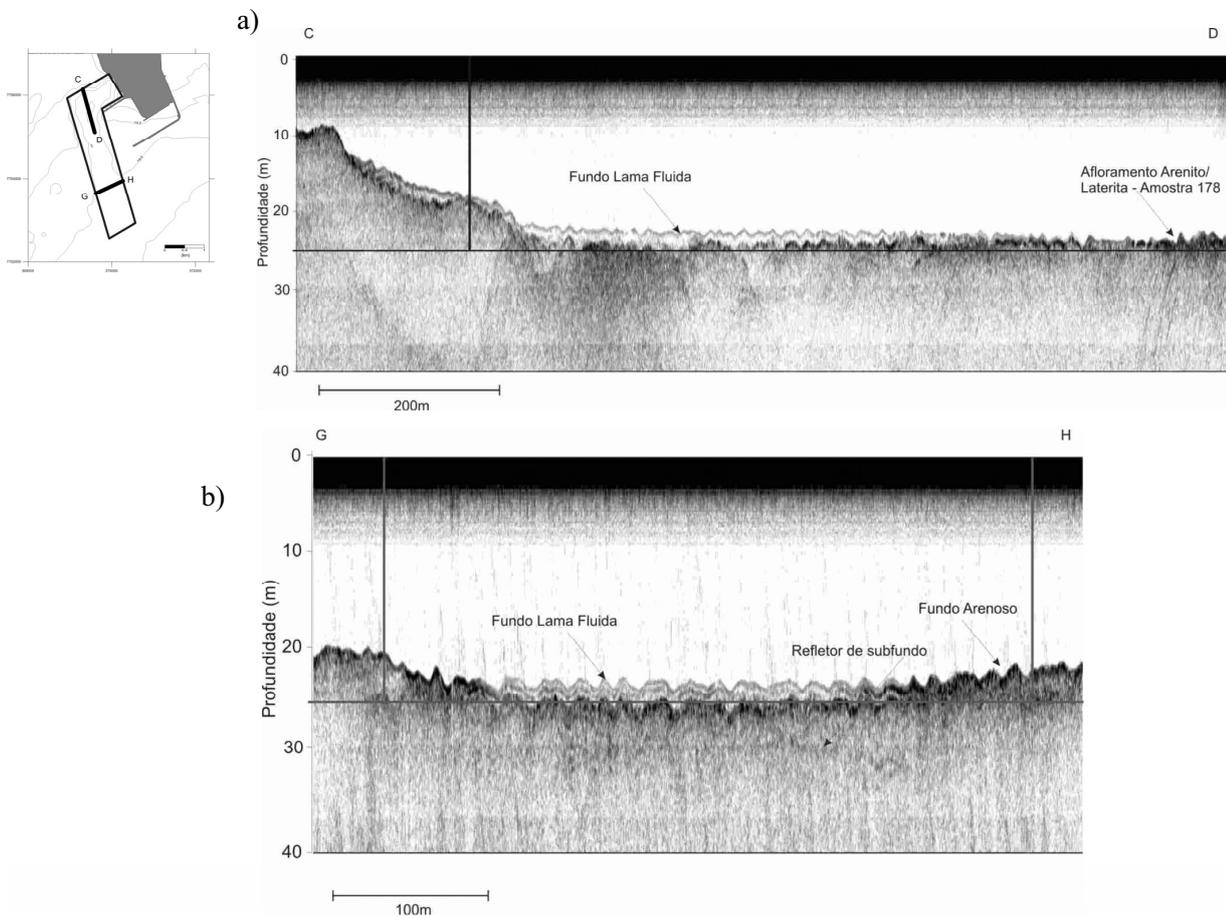
**Figura 2** – Foto do tubo de PVC usado para amostragem do fundo lamoso. Espaçamento de 20 cm entre os furos.



**Figura 3** – Mosaico sonográfico da área de estudo.



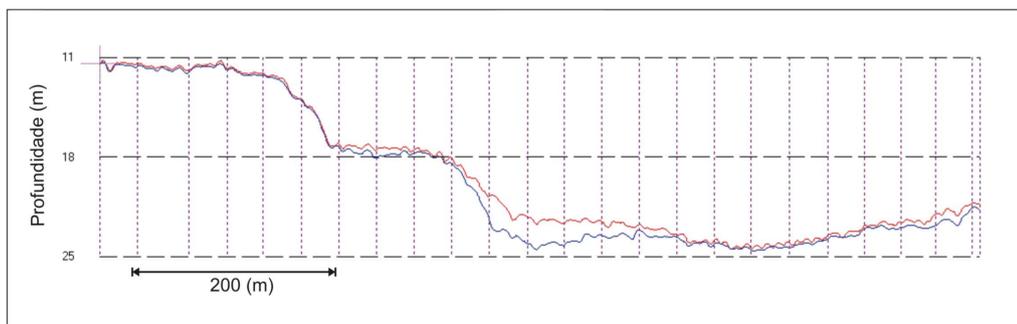
**Figura 4** – Exemplo de sonograma mostrando o padrão de baixa intensidade de retorno do sinal com a característica “perda do fundo” (P) nos pontos onde o primeiro sinal de retorno não é recebido.



**Figura 5** – a) Seção sísmica transversal ao canal de acesso. b) Seção sísmica longitudinal à bacia de evolução.

de 33 kHz penetra na lama e mostra o contraste de impedância acústica a partir de um fundo já consolidado, possibilitando a identificação do fundo com menor teor de água e maior densidade. Um ponto importante de discussão é a determinação dos valores médios de densidade do fundo que estariam sendo registrados pelo ecobatímetro de 200 kHz.

Como demonstrado por Quaresma et al. (2000) e Collier & Brown (2005), o fato de a lama fluida ser um pacote lamoso não necessariamente possibilitará a penetração total do sinal acústico. O que irá controlar o tipo de registro é o estado de consolidação que o depósito apresenta. O sonar de varredura lateral muitas vezes pode apresentar um sinal com alta intensidade de re-



**Figura 6** – Seção batimétrica mostrando o descolamento dos ecos de 200 kHz (vermelho, mostrando o topo da camada de lama fluida) e 33 kHz (azul) mostrando o fundo consolidado.

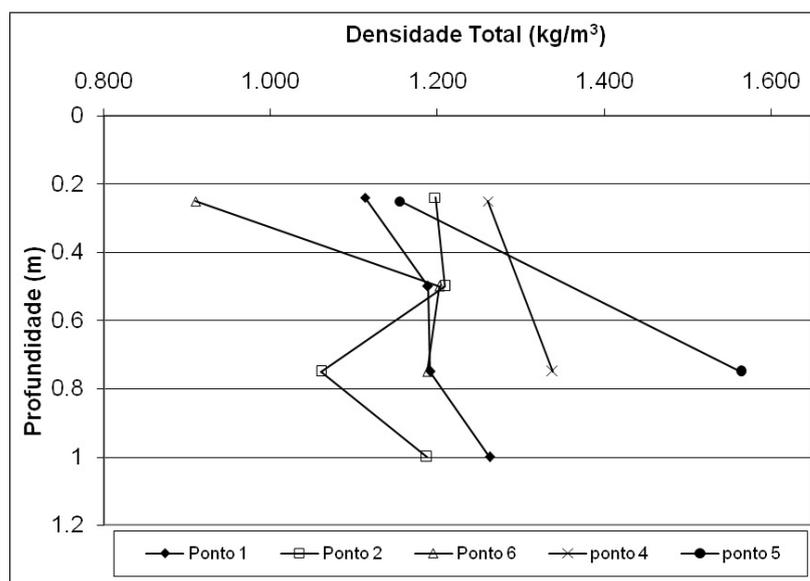
torno (normalmente associado a fundos arenosos) em fundos de lama consolidada e que conseqüentemente apresentam valores de densidade mais elevados.

Com base nos padrões acústicos indicadores da lama fluida, foram realizadas testemunhagens para averiguação da densidade do material de acordo com a profundidade a partir da superfície, nesse caso a superfície ou fundo marcado pelo eco de 200 kHz. As densidades do depósito mostraram valores oscilando entre 900 kg/m<sup>3</sup> e 1.600 kg/m<sup>3</sup> e a tendência geral, como era de se esperar, foi da densidade aumentar com a profundidade ao longo do testemunho (Fig. 7). Esse resultado demonstra claramente o processo de consolidação gradual a partir do material particulado em suspensão. Através da determinação dos valores de densidade, pode-se dizer que ao longo do canal estudado, o sinal acústico

do ecobatímetro de 200 kHz registrou, como leito marinho, um fundo com densidade mínima de 900 kg/m<sup>3</sup>.

Em geral a formação de um fundo de sedimento lamoso (co-esivo) é o resultado da interação de processos de agregação de partículas, decantação e consolidação. Em águas salinas as partículas finas, principalmente argilas, têm uma maior tendência à floculação. Essa tendência se deve à presença de sal, ao pH, presença de matéria orgânica, entre outros fatores (Dyer, 1986; Whitehouse et al., 2000).

De acordo com Berlamont et al. (1993), a velocidade de decantação dos flocos e/ou agregados aumenta com a concentração, até aproximadamente uma concentração de 2 a 10 g/l a partir deste estágio os flocos começam a ser quebrados levando a uma diminuição na velocidade de decantação e a uma inibição da



**Figura 7** – Gráfico mostrando a tendência de aumento da densidade do sedimento com a profundidade. Os pontos amostrais estão indicados na Figura 3.

perda de água, processo esse conhecido como decantação impedida (*hindered settling*) (Dyer, 1986). A decantação impedida origina uma camada com alta concentração de sedimentos em suspensão 10 a 20 g/l conhecida como lama fluida (Mehta & Dyer, 1990).

Durante o processo de decantação impedida o fluxo de água nos poros e o peso do sedimento, cria um estresse que é transmitido de partícula a partícula o que leva a uma contínua perda de água no depósito, até um limite onde a suspensão passa de lama fluida a um fundo coesivo propriamente dito (Parker & Lee, 1979; Dyer, 1986; Mehta & Dyer, 1990; Sills, 1994; Whitehouse et al., 2000). A análise da densidade e do teor de água nos testemunhos, mostra que existe um processo de consolidação do fundo em andamento, pois é clara a tendência de aumento da densidade e diminuição do teor de água com o aumento da profundidade.

A diferença nos sinais acústicos em função da frequência (eco duplo ou descolamento) permite mapear acuradamente o processo de consolidação com a discriminação do fundo consolidado do que ainda está sob processo de consolidação. Sendo assim, é possível a determinação da espessura do pacote de lama fluida. Com base nesse parâmetro foi então produzido um mapa de distribuição e espessura da lama fluida. Através deste mapa observa-se uma espessura próxima a 2 metros em pontos mais profundos do canal de acesso e principalmente na bacia de evolução (Fig. 8), o que demonstra um controle morfológico na distribuição do pacote. A presença das lamas fluidas e dos pacotes de maior espessura, estaria associada diretamente ao aporte de sedimentos finos e à menor energia do meio relacionada às maiores profundidades do canal. Qualquer irregularidade no fundo marinho associada a uma diminuição da energia das correntes e ondas, proporciona as condições necessárias para a deposição das partículas mais finas podendo originar as lamas fluidas. Segundo Ross & Mehta (1989) e McAnally (2007) a lama fluida ocorre em áreas onde a taxa de aporte sedimentar (sedimentos finos) é maior que a taxa de perda de água (ou consolidação) desse material.

## CONCLUSÕES

A utilização de diferentes equipamentos geofísicos que operam em frequências variáveis, mostrou-se bastante eficaz na determinação de pacotes de lama fluida, apontando a resposta de cada frequência para densidades distintas. A superfície do fundo não consolidado foi facilmente identificada com a utilização de maiores frequências (200 kHz) onde a densidade mínima encontrada era por volta de 900 kg/m<sup>3</sup>.

Os dados obtidos com a batimetria de dupla frequência foram fundamentais para a identificação da lama fluida, visto que a

menor frequência possibilita a identificação e determinação da espessura das camadas inconsolidadas. Como a lama fluida ainda está em processo de consolidação, a diferença entre as duas frequências gerou um mapa de isópacas que, quando correlacionado e analisado com os perfis sísmicos, confirmam as espessuras que foram determinadas nos levantamentos batimétricos.

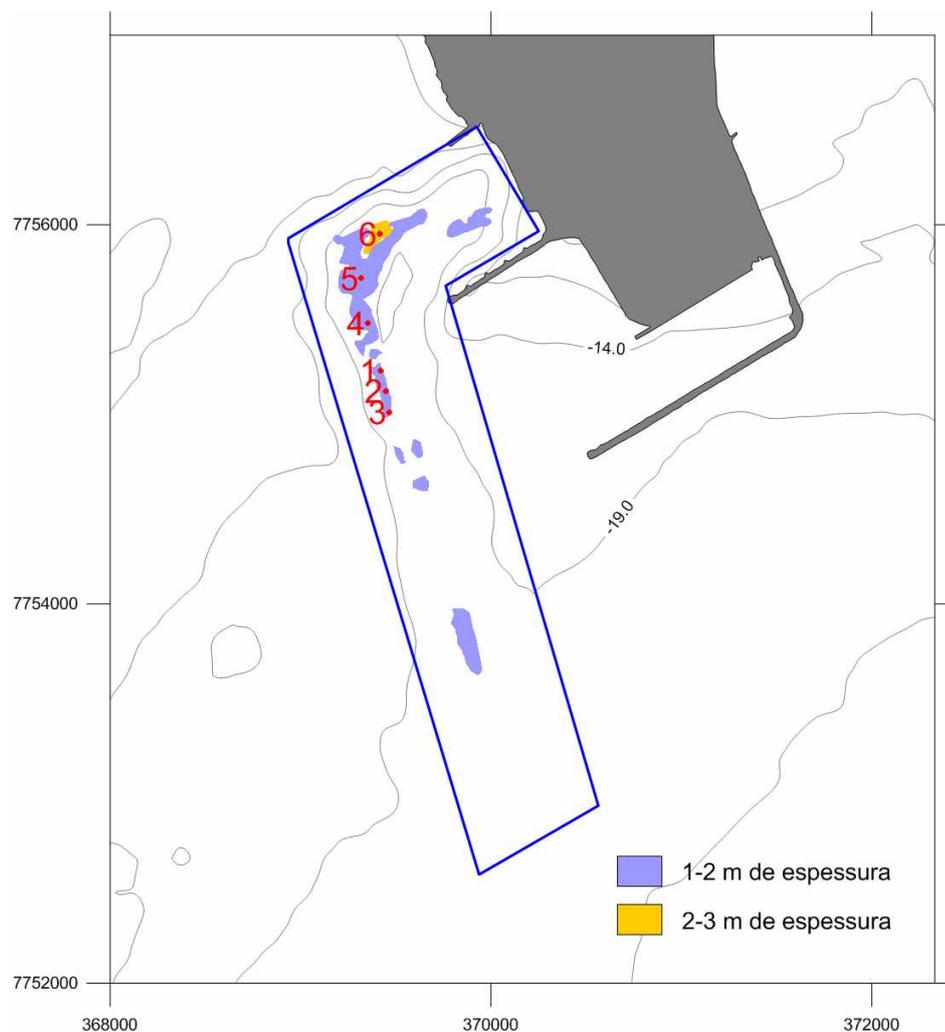
As análises de densimetria corroboraram os resultados obtidos com métodos indiretos, confirmando a presença de lama fluida. Segundo o Manual de Restrições Operacionais da Marinha do Brasil, camadas com densidades menores que 1.200 kg/m<sup>3</sup> podem admitir a navegação de embarcações com calados maiores que a profundidade. Entretanto, deve-se trabalhar com uma margem de segurança, uma vez que esses são métodos indiretos e sempre apresentam erros, no caso da área de estudo os valores de densidade se apresentaram bem próximos dos recomendados, de modo que, levando-se em consideração a segurança da navegação recomenda-se que as camadas de lama fluida sejam retiradas.

Vale ressaltar que neste estudo foram usadas apenas três frequências de feixe simples (200 kHz, 33 kHz e 3,5 kHz) e uma frequência (100 kHz) de varredura lateral. Outras fontes sísmicas podem e devem ser testadas, já que é possível que pacotes lamosos com distintos graus de consolidação respondam diferentemente a frequências como 10-12 kHz (chirp, stratabox), 24 kHz (pinger) e 50 kHz (ecobatímetro), todas bastante comuns para este tipo de estudo. As frequências mais altas para a varredura lateral (500, 900, 1.600 kHz, disponíveis hoje) também podem apresentar resultados distintos. Da mesma forma, a aquisição simultânea dos dados em diferentes frequências é muito importante para que se tenha certeza de que o fundo está sendo mapeado nas mesmas condições.

Assim sendo, os resultados combinados das variadas frequências contribuíram para o mapeamento completo tanto da distribuição espacial quanto da espessura dos pacotes de lama fluida presentes na área de estudo. De uma maneira geral, os resultados comprovaram que a aplicação de uma metodologia de mapeamento a partir da aquisição simultânea de dados de multifrequência é uma excelente forma de se determinar lama fluida em locais em que o predomínio desta facilogia possa interferir na navegação.

## AGRADECIMENTOS

À empresa Vale do Rio Doce pela liberação dos dados e aos dois revisores anônimos que muito contribuíram para a melhoria da qualidade do artigo. Este trabalho foi desenvolvido com recursos e apoio técnico da UMISAN – Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda.



**Figura 8** – Mapa de distribuição da espessura do pacote de lama fluida a partir da diferença de medição entre os ecos de 200 e 33 kHz.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER MP, TEETER AM & BANKS GE. 1997. Development and verification of an intrusive hydrographic survey system for fluid mud channels. Tech. Rep. No. DRP-97-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

AYRES NETO A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3): 241–256.

BASTOS AC, LOUREIRO DV & PAIXÃO SP. 2009. Utilização de Métodos Geofísicos para mapeamento de Lama Fluida no Porto de Tubarão, Vitória (ES-Brasil). In: *Anais 11º Congresso Internacional de Geofísica, Salvador (BA), Brasil. CD-ROM de Resumos Expandidos.*

BERLAMONT J, OCKENDEN M, TOORMAN E & WINTERWERP J. 1993. The characterisation of cohesive sediment properties. *Coastal*

*Engineering*, 21: 105–128.

COLLIER JS & BROWN CJ. 2005. Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology*, 214: 431–449.

DYER KR. 1986. *Coastal and estuarine sediment dynamics*. Chichester UK, John Wiley & Sons, 342 p.

FONTEIN W & VAN DER WAL J. 2006. Assessing Nautical Depth Efficiently in Terms of Rheological Characteristics. In: *Proceedings of the International Hydrographic Conference 'Evolutions in Hydrography'*, Hydro06. Antwerp, Belgium. Disponível em: <[http://www.stema-systems.nl/uploads/paginaafbeeldingen/Nauticaldepth\\_Stema\\_hydro06.pdf](http://www.stema-systems.nl/uploads/paginaafbeeldingen/Nauticaldepth_Stema_hydro06.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2011.

HOLLAND TK, VINZON SB & CALLIARI LJ. 2009. A field study of coastal dynamics on a muddy coast offshore of Cassino beach, Brazil. *Continental Shelf Research* 29: 503–514.

- McANALLY WH, FRIEDRICH S, HAMILTON D, HAYTER E, SHRESTHA P, RODRIGUEZ H, SHEREMET A & TEETER A. 2007a. Management of fluid mud in estuaries, bays, and lakes. I: Present State of understanding on character and behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(1): 9–21.
- McANALLY WH, FASCE, TEETER A, SCHOELLHAMER D, FRIEDRICH S, HAMILTON S, HAYTER E, SHRESTHA P, RODRIGUEZ H, SHEREMET A & KIRBY R. 2007b. Management of fluid mud in estuaries, bays, and lakes. II: Measurements, modeling and management. *Journal of Hydraulic Engineering* January, 133(1): 23–38.
- MEHTA A & DYER K. 1990. Cohesive sediment transport in estuarine and coastal waters. In: LE MEHAUTE B & HANES DM (Eds.). *The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas*. New York, Wiley-Interscience, 9, Part B, p. 815–839.
- PARKER WR & LEE K. 1979. The behavior of fine sediment relevant to the dispersal of pollutants. In: ICES Workshop on Sediment and Pollutant Interchange in Shallow Seas. p. 28–34.
- PIANC. 1997. Approach Channels: A Guide for Design. Report of Working Group No. 30 of the Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin No. 9. Brussels: General Secretariat of the Permanent International Association of Navigation Congresses. 24 p.
- QUARESMA VS, DIAS GTM & BAPTISTA NETO JA. 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*, 18(2): 201–214.
- ROSS MA & MEHTA AJ. 1989. On the mechanics of lutoclinas and fluid mud. *Journal of Coastal Research*, SI 5: 51–62.
- SCHETTINI CAF, ALMEIDA DCA, SIEGLE E & ALENCAR ACB. 2010. A snapshot of suspended sediment and fluid mud occurrence in a mixed-energy embayment, Tijuca Bay, Brazil. *Geo-Marine Letters*, 30: 47–62.
- SCHROTTKE K, BECKER M, BARTHOLOMA A, FLEMMING BW & HEBBELN D. 2006. Fluid mud dynamics in the Weser estuary turbidity zone tracked by high-resolution side-scan sonar and parametric sub-bottom profiler. *Geo-Marine Letters*, 26: 185–198.
- SILLS GC. 1994. Hindered settling and consolidation in cohesive sediments. In: 4th Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport Conference INTERCOH 94, Wallingford – England, Paper 10.
- SOUZA LAP. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, IO, USP, São Paulo. 311 p.
- VAN LEUSSEN W & VAN VELZEN E. 1989. High concentration suspensions: their origin and importance in Dutch estuaries and coastal waters. *Journal of Coastal Research*, SI 5: 1–22.
- WHITEHOUSE R, SOULSBY R, ROBERTS W & MITCHENER H. 2000. Dynamics of estuarine muds. HR Wallingford, London, 210 p.
- WILLE PC. 2005. *Sound and Images of the Ocean – in research and monitoring*. Springer, New York. 471 p.
- WINTERWERP JC & VAN KESTEREN WGM. 2004. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. *Developments in Sedimentology* 56. Elsevier, 465 p.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Valéria da Silva Quaresma.** Geógrafa graduada pela Universidade Federal Fluminense (1992), mestre em Geologia e Geofísica Marinha pelo Laboratório de Geologia Marinha da UFF (1997), doutora em Oceanografia Geológica pela University of Southampton (2004). Desde 2006 é professora adjunta da Universidade Federal do Espírito Santo, fazendo parte do corpo docente do Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental (UFES). Vem atuando na área de dinâmica sedimentar e geofísica de alta resolução aplicada.

**Alex Cardoso Bastos.** Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993), mestrado em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense (1997) e doutorado em Dinâmica Sedimentar pela University of Southampton (2002) com pós-doutorado em Geofísica de Alta Resolução no National Oceanography Center, UK. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, fazendo parte do corpo docente dos programas de pós-graduação em Oceanografia Ambiental (UFES) e Geologia e Geofísica Marinha (UFF). Atua na área de Oceanografia Geológica, com ênfase em Geofísica e Sedimentação Marinha.

**Diego Venturini Loureiro.** Oceanógrafo graduado pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental (UFES) e Oceanógrafo júnior da empresa UMISAN – Hidrografia e Engenharia com atividade na área de Geofísica Marinha.

**Sandro Paixão.** Engenheiro agrimensor formado pela Universidade Federal de Viçosa com pós-graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Atua na área de Hidrografia e Engenharia portuária – UMISAN – Hidrografia e Engenharia.