



Caracterização remota dos sedimentos marinhos para fins de cartografia sedimentológica através do algoritmo *ANGULAR RANGE ANALYSIS*

Rúben SANTOS¹, Aurora RODRIGUES¹

¹ Instituto Hidrográfico – Marinha

(ruben.santos@hidrografico.pt; aurora.bizarro@hidrografico.pt)

Palavras-chave: Retrodispersão acústica; caracterização remota; *Angular Range Analysis*; sedimentos marinhos; SONAR; modelo de resposta acústica; cartografia

Resumo:

Um dos grandes problemas do mapeamento dos fundos marinhos está relacionado com o esforço despendido na aquisição de dados que permitam a realização de uma caracterização credível no que se refere à natureza geológica da bacia oceânica. A representação da morfologia submarina tem vindo a ser melhorada conforme os sistemas de sondagem têm vindo a evoluir. As superfícies batimétricas que são produzidas apresentam alta resolução e permitem, através da análise geomorfológica, delinear e distinguir as zonas de afloramento rochoso do fundo mais ou menos monótono que está coberto pelos sedimentos marinhos. A descrição, e posterior cartografia dos diferentes depósitos que se encontram na bacia oceânica, estiveram sempre condicionadas pela realização de prolongadas e onerosas campanhas de colheita de amostras de sedimentos e posterior análise em laboratório. Nesse sentido, é justificável, a falta de documentos que representem com uma resolução aceitável, a natureza dos fundos marinhos.

Atenta a esta dificuldade, e à necessidade urgente em rentabilizar os dados acústicos obtidos durante os levantamentos hidrográficos realizados em vastas áreas da margem portuguesa, é apresentada, neste trabalho, a metodologia baseada no algoritmo *Angular Range Analysis* (ARA), presentemente utilizada pelo Instituto Hidrográfico (IH), na delimitação das manchas de sedimentos para o mapeamento dos fundos marinhos do Arquipélago da Madeira, ao abrigo do Programa SEDMAR (SEDimentary cover of the Madeira ARchipelago).

O algoritmo ARA explora o sinal acústico, emitido por um SONAR (*Sound Navigation and Ranging*) e a retrodispersão que ele sofre, após incidir na superfície do fundo marinho, fenómeno provocado pelas características morfológicas da superfície do fundo e pela natureza do material geológico aflorante. As propriedades geológicas do fundo podem assim ser estimadas através da aplicação de um modelo matemático que relacione o sinal acústico recebido com a resposta acústica prevista, para uma determinada combinação de propriedades físicas do fundo. Na prática, a aplicação do algoritmo ARA, que permite estimar algumas das propriedades físicas do fundo marinho, permite normalizar os dados acústicos adquiridos por sondadores multifeixe calibrados e a sua utilização na obtenção de imagens de alta resolução do fundo marinho, distinguindo e localizando com grande resolução os diferentes materiais geológicos.

A caracterização remota dos fundos sedimentares realizada através do algoritmo ARA foi testada com sucesso, no estuário do rio Tejo, local selecionado devido à complexidade da cobertura sedimentar. Os resultados obtidos incentivam à utilização, sem restrições, da mesma metodologia em trabalhos futuros de mapeamento dos fundos marinhos, nomeadamente no âmbito do Programa SEDMAR, já em curso.



1. Introdução

O conhecimento do tipo de fundo marinho é essencial para a realização de qualquer atividade económica ou lúdica que se desenvolva nos ambientes marinhos. Por exemplo, a atividade piscatória está fortemente condicionada pela localização de *habitats*, os quais estão relacionados com o tipo de substrato que se encontra no fundo; os projetos de engenharia exigem a determinação das propriedades geotécnicas do fundo para o dimensionamento e instalação das suas estruturas, sejam elas fixas no fundo (gasodutos, oleodutos, cabos elétricos ou de telecomunicações) ou flutuantes como as turbinas eólicas ou dispositivos de produção de energia renovável requerendo, nestes casos, uma fixação ao fundo; a extração económica de areias ou em manchas de empréstimo depende fortemente do conhecimento exato das características dos depósitos em extração; a deposição de sedimentos quimicamente contaminados (oriundos das ações de dragagem portuária) requer um conhecimento das características do sedimento presente no ambiente marinho de forma a conhecer a taxa de absorção (Bentrem *et al.*, 2006) e a adotar medidas de proteção ambiental ou de restrição da deposição. Mesmo as atividades de índole militar necessitam de um conhecimento adequado do leito do mar, para assegurar a segurança no acesso aos portos ou a qualquer área de interesse estratégico, à delimitação de zonas de fundeadouro ou à realização de estudos de propagação acústica.

Em Portugal, o conhecimento da natureza dos sedimentos marinhos teve início, entre 1913 e 1941, através da publicação das Cartas Litológicas Submarinas pela Missão Hidrográfica da Costa de Portugal (Reis *et al.*, 2014). Em 1974, o Instituto Hidrográfico iniciou a sua atualização e revisão, através do programa SEPLAT (cartografia SEDimentar da PLATaforma continental portuguesa). Este programa visou a publicação de 8 folhas sedimentológicas onde estão cartografados, à escala 1:150 000, os depósitos sedimentares superficiais que se encontram entre 0 m e os 500 m de profundidade. Tendo como informação de base a amostragem regular dos fundos marinhos, análise e classificação dos sedimentos, os trabalhos de amostragem sedimentar (num total superior a 12 000 amostras distribuídas numa malha regular de 1 milha, adensada para meia milha próximo à costa) demoraram mais de 20 anos (Reis *et al.*, 2014). Os sedimentos colhidos eram depois analisados (textura e teor em Carbonato de Cálcio) e classificados segundo um esquema classificativo próprio que considera aqueles parâmetros sedimentológicos (Fig. 1b). Esta metodologia clássica revelou-se bastante morosa e dispendiosa, por estar baseada numa amostragem regular pontual, cobrindo toda a plataforma, independentemente do seu enquadramento geográfico e geológico. Por outro lado, a delimitação dos depósitos sedimentares foi condicionada pela resolução da malha de amostragem, a qual nem sempre permitiu distinguir particularidades do ambiente sedimentar.

Na última década, a crescente utilização dos sistemas de sondagem multifeixe, permitiu o desenvolvimento de modelos que permitem a caracterização remota do fundo marinho de forma simples e reduzindo substancialmente os recursos necessários à obtenção das amostras necessárias à caracterização sedimentar de qualquer ambiente marinho (Santos *et al.*, 2015). De facto, apesar dos sondadores multifeixe serem utilizados principalmente na medição da profundidade (ou batimetria), a riqueza e o rigor dos dados adquiridos, bem como a densidade de informação obtida com a cobertura quase total do fundo marinho, permitem explorar os parâmetros do sinal refletido no fundo e aplicá-los no mapeamento de diferentes tipos de fundo, com um ganho evidente no rigor com que se definem os limites entre os diferentes tipos de fundo, sejam eles rochosos ou sedimentares, bem como no número de amostras de sedimentos que é necessário analisar. A ferramenta que permite esta funcionalidade assenta na aplicação do algoritmo *Angular Range Analysis* (ARA), desenvolvido por Fonseca e Mayer (2007). O algoritmo ARA permite estimar algumas das propriedades físicas do fundo marinho, tais como a impedância acústica, a atenuação acústica, a rugosidade da superfície do fundo e, no caso dos fundos sedimentares, a determinação do tamanho médio do grão. Este algoritmo usa o sinal acústico, emitido por um SONAR (*Sound Navigation and Ranging*) e da retrodispersão que ele sofre após incidência na superfície do fundo marinho. As propriedades do fundo podem assim ser determinadas através da aplicação de um modelo matemático que relaciona o sinal acústico recebido com a resposta acústica prevista por um modelo, para uma determinada combinação de propriedades físicas do fundo.

Este trabalho tem como principal objetivo descrever a metodologia que está a ser utilizada para a caracterização remota da margem insular do arquipélago da Madeira (Programa SEDMAR - SEDimentary cover of the Madeira ARchipelago). Este programa cobre uma extensa área, geologicamente pouco conhecida, envolvendo as ilhas do arquipélago da Madeira onde seria impensável a abordagem utilizada no continente para a cartografia sedimentar (Fig. 1b). Neste trabalho também se apresenta a caracterização remota obtida pela metodologia descrita neste trabalho, para uma zona estuarina do rio Tejo com uma cobertura sedimentar de elevada complexidade.

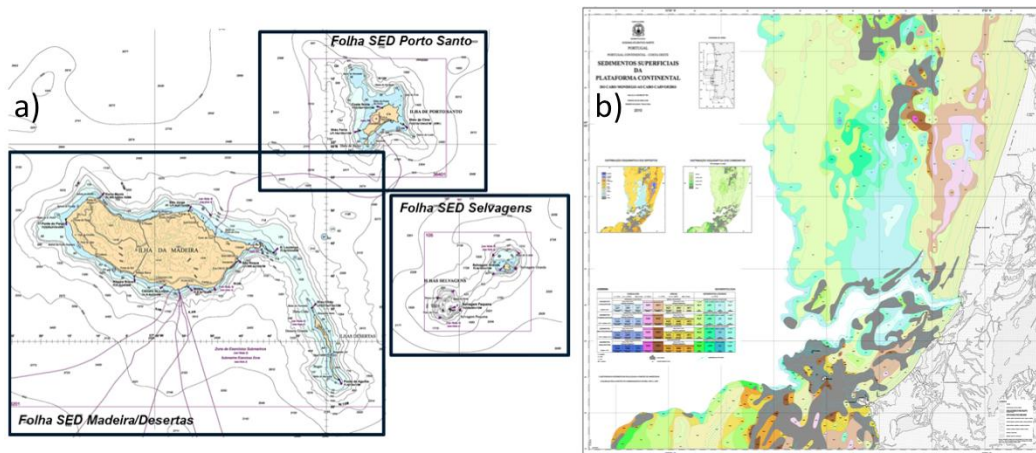


Figura 1 – a) As três folhas SED do programa SEDMAR: Madeira/Desertas; Porto Santos e Selvagens. b) Folha SED 3 do programa SEPLAT, realizado a partir da colheita, análise e classificação de mais de 3 000 amostras de sedimentos.

2. Interação do sinal acústico com o fundo marinho

2.1 Retrodispersão acústica

A retrodispersão acústica é um fenómeno que ocorre durante a sonorização de uma determinada área de uma superfície mais ou menos rugosa. Em meio marinho, o sinal emitido pelos transdutores do SONAR propagam-se ao longo da coluna de água até atingirem a superfície do fundo marinho, onde uma parte significativa do sinal é refletido e disperso em múltiplas direções, devido à rugosidade natural do leito, e a restante parte penetra pelo sedimento, sofrendo igualmente o mesmo tipo de dispersão. Após a sonorização do fundo, o sinal da retrodispersão sofrida na superfície do fundo, bem como da dispersão do sinal que penetra no leito sedimentar regressa aos transdutores (Fig. 2). Nesse sentido, a retrodispersão total que ocorre numa área é função da rugosidade do fundo marinho e da composição do volume de sedimentos (Novarini e Caruthers, 1998). A espessura da camada sedimentar que afeta a dispersão do sinal está relacionada com as características do próprio sinal, nomeadamente a frequência, o ângulo de incidência e a natureza sedimentar da camada.

O sinal de retrodispersão é assim a energia dispersa na direção do transdutor e é habitualmente decomposta em duas componentes, a contribuição da superfície e a contribuição do volume (Jackson e Richardson, 2007) (Fig. 2a).

O sinal registado no sonar (EL – *Echo Level*) pode ser dado pela equação sonar (Eq. 1), que consiste na subtração das perdas (TL – *Transmission Loss*) à intensidade do sinal transmitido (SL - *Source Level*) e somando a razão entre a intensidade do sinal de retrodispersão e a intensidade incidente no fundo (TS – *Target Strength*).

$$EL = SL - 2TL + TS \quad (1)$$

O SL é determinado pela equação 2, onde S representa a sensibilidade do transdutor, V é a voltagem do sinal emitido e V_{ref} é a voltagem de referência.

$$SL = S + 20 \log_{10} \frac{V}{V_{ref}} \quad (2)$$

As perdas ao longo do trajeto entre o transdutor e o fundo são determinadas pela equação 3, onde R representa a distância entre o transdutor (Fig. 2b) e o fundo, enquanto o α representa o coeficiente de absorção ao longo da coluna de água.

$$TL = 20 \log_{10}(R) + \alpha R \quad (3)$$

O TS pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$TS = BS + 10\log_{10}[A] \quad (4)$$

Onde BS é a quantificação da energia de retrodispersão (BS – *Backscatter Strength*) e A é a área sonorizada pelo sinal acústico e pode ser determinada pela equação 5 (considerando que a área sonorizada é limitada pelo comprimento do impulso).

$$A = \theta_{3dB} R \frac{c\tau}{2\sin\varphi} \quad (5)$$

Onde θ_{3dB} é o ângulo de abertura do feixe transmitido; R é a distância entre o transdutor e o fundo; c é a velocidade do som na água; τ é a duração do impulso e φ é o ângulo do feixe na recepção do sinal (Fig. 2 a, b e c).

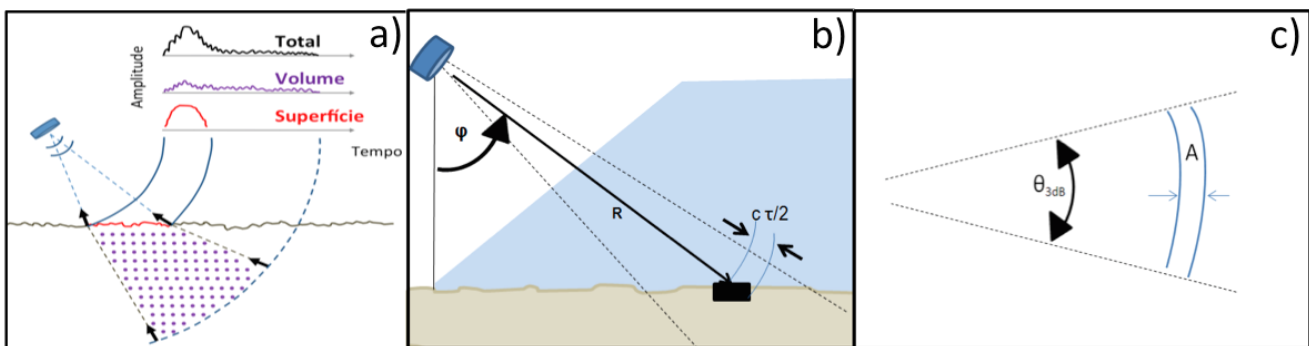


Figura 2 – a) A contribuição da superfície e do volume na retrodispersão do sinal acústico; b) Vista lateral da geometria da área sonorizada c) Vista superior da geometria da área sonorizada

A quantificação da retrodispersão do sinal acústico pode ser determinada através da equação 6 (Jackson e Richardson, 2007).

$$BS = 10\log_{10}[\sigma_r + \sigma_v] \quad (6)$$

Onde σ_r e σ_v representam a retrodispersão devido à rugosidade (r) e devido ao volume (v), por unidade de área. O cálculo de σ_r e σ_v pode ser consultado em Jackson e Richardson (2007).

Todas estas correções consideram um fundo relativamente plano e horizontal e, após a aplicação de todas as correções radiométricas e geométricas, obtém-se o BS e o ângulo de incidência no fundo (θ). Mas, em geral, o fundo marinho não é, nem plano, nem horizontal, pelo que, para se determinar o real ângulo de incidência, é necessário conhecer, com rigor, a morfologia da área sonorizada e a respetiva inclinação local. Outro parâmetro que tem de ser controlado é a velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, porque as interferências causadas pela refração do som nas várias massas de água afetam o trajeto do impulso, tal como o ângulo com que este chega ao fundo.

O mosaico criado com todas as correções mencionadas anteriormente preserva a variação da intensidade do sinal retrodisperso com o ângulo de incidência e a natureza do fundo. Como é desejável que o mesmo tipo de sedimento surja com os mesmos valores, o valor de BS tem de ser normalizado para um valor angular de referência. Esta normalização é obtida através da aplicação de um ganho variável em ângulo (AVG – *Angular Varying Gain*) (Fonseca e Mayer, 2007).

2.2 Caracterização remota através do Algoritmo Angular Range Analysis

A caracterização remota do fundo marinho é possível porque o BS varia com a frequência do sinal, o ângulo de incidência e o tipo de sedimento (Fig. 3a) e, desta forma, pode ser comparado com os valores obtidos por um modelo físico de retrodispersão (Fonseca e Mayer, 2007). No entanto, o ajustamento dos valores de BS ao modelo, implica a sua inversão, de forma a determinar o tamanho médio do grão, a impedância acústica, a atenuação acústica e a rugosidade da superfície do fundo. Para que a solução se aproxime à realidade, a inversão do modelo necessita do constrangimento dos seus parâmetros, sendo aplicadas as equações de Hamilton para as propriedades físicas dos sedimentos (Hamilton, 1974).

O algoritmo ARA consiste, assim, na análise de um conjunto de dados sucessivos (entre 20 a 30 impulsos acústicos) para cada lado do SONAR (bombordo e estibordo), de forma a permitir a redução do ruído que está presente em qualquer método de prospeção acústica. Para cada conjunto de dados é obtido um valor para a caracterização do fundo marinho através do ajustamento da resposta acústica do modelo aos dados (Fig. 3b). Este facto limita a resolução espacial do resultado em relação ao mosaico do sinal de retrodispersão normalizado. O algoritmo ARA classifica o tipo de fundo através da análise a três zonas da resposta angular: próximo ($0^\circ - 25^\circ$), afastado ($25^\circ - 55^\circ$) e fora do alcance ($55^\circ - 90^\circ$), onde ocorrem as grandes variações das respostas acústicas para os diferentes tipos de sedimentos (Fig. 3a).

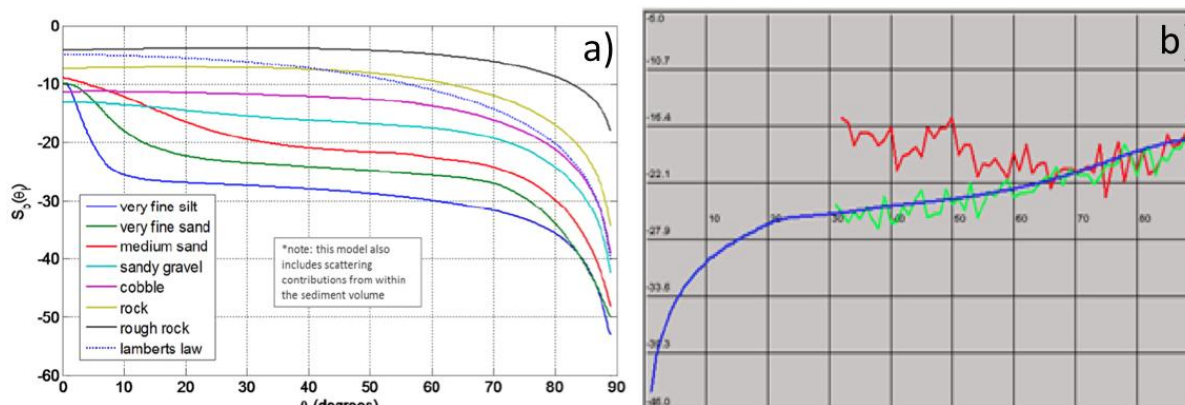


Figura 3 – a) Resposta acústica de diversos tipos de sedimentos - Modelo APL-UW (Lurton e Lamarche, 2015);
b) Ajustamento entre a resposta acústica obtida pelo modelo e a obtida para os dados de retrodispersão (adaptado de Rosa, 2007)

3. Metodologia e dados

A metodologia implementada no IH para a caracterização remota do fundo marinho utiliza os dados colhidos por sondadores multifeixe e as análises granulométricas realizadas em amostras representativas da cobertura sedimentar marinha.

3.1 Levantamento hidrográfico (LH)

Os dados registados pelos sondadores multifeixe são utilizados para obter a superfície batimétrica da área a caracterizar, tal como para realizar o processamento dos dados de retrodispersão. No presente, o Instituto Hidrográfico tem diversos sondadores multifeixe que permitem cobrir toda a gama de profundidades, desde as águas pouco profundas até as zonas oceânicas. A caracterização remota do tipo de fundo tem vindo a ser testada com os seguintes sondadores multifeixe da Kongsberg: EM2040C ($f=300$ kHz); EM3002 ($f=300$ kHz); EM 710 ($f=70 - 100$ kHz) e EM 120 ($f=12$ kHz).

O processamento dos dados batimétricos é realizado através do algoritmo CUBE (*Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator*) desenvolvido por Calder (2003). Este algoritmo tira partido da elevada densidade de sondas adquiridas pelos sondadores multifeixe. No entanto, para que os resultados sejam consistentes é necessário garantir um número mínimo de sondas por cada célula da superfície (> 10 sondas), de forma a permitir que a solução estimada apresente uma elevada robustez estatística.

A superfície que resulta desta aplicação é importante no planeamento da malha de amostragem sedimentar, tal como no processamento do sinal de retrodispersão.

3.2 Processamento do sinal de retrodispersão

Os dados da sondagem são processados com a ferramenta *Fledermaus Geocoder Toolbox* (FMGT), que permite a decomposição dos datagramas existentes no ficheiro, a aplicação das diversas correções do sondador (ganhos; intensidade da fonte, a forma de feixe), a correção das perdas ao longo do trajeto do sinal e respetiva área sonorizada, a criação do mosaico do sinal de retrodispersão normalizado através dos processos de georreferenciação, *despeckle* e a aplicação do AVG (Lurton e Lamarche, 2015).

O mosaico de alta resolução com o sinal da retrodispersão normalizado, permite identificar os diferentes tipos de fundo sedimentar, sendo por isso utilizado, numa primeira fase, para selecionar os locais mais representativos para a colheita das



amostras de sedimentos que irão calibrar a resposta acústica das classes identificadas. O planeamento adequado, realizado sobre este mosaico permite reduzir significativamente o esforço de amostragem (e do trabalho laboratorial subsequente), uma vez que o número de amostras a colher vai ser apenas o necessário para representar a variabilidade acústica do sinal recebido.

O algoritmo ARA (Fonseca e Mayer, 2007) está implementado na ferramenta FMGT o que permite a caracterização remota do fundo marinho através da inversão do modelo de resposta acústica APL-UW (Jackson e Richardson, 2007). A implementação da estimação do tamanho médio do grão foi limitada aos valores compreendidos entre -1ϕ a 9ϕ . A escala logarítmica de ϕ (Krumbein e Sloss, 1963) relaciona o diâmetro do grão através da equação 7.

$$\phi = -\log_2 \frac{D}{D_0} \quad (7)$$

Onde D é o diâmetro do grão em mm e D_0 é a dimensão de referência, 1 mm.

3.3 Colheita de sedimentos e análise granulométrica

As amostras de sedimentos e respetiva análise granulométrica desempenham duas funções distintas nesta metodologia: a) determinação da correção à forma do feixe, de forma a fazer coincidir a resposta acústica com o tipo de fundo; b) para a determinação do rigor da caracterização remota realizada com a aplicação do modelo.

Não obstante a possibilidade de utilizar qualquer dispositivo para realizar a colheita de amostras de sedimentos, é desejável que para a caracterização remota dos depósitos sedimentares, seja utilizado um colhedor que permita a preservação da estrutura sedimentar sub-superficial. O colhedor de sedimentos frequentemente utilizado nestes trabalhos é do tipo *Smith-McIntyre* que permite a colheita de sedimentos superficiais até ~15 cm de profundidade. Apesar de não estar assegurada a preservação da estrutura interna dos sedimentos, dependendo do tipo de sedimentos, as amostras colhidas mostram evidências de não estarem perturbadas. Para ultrapassar a questão da preservação deve ser utilizado um colhedor vertical de sedimentos, desejavelmente do tipo box-corer ou multitubos, ambos existentes no IH, mas requerendo plataformas equipadas com aparelhos de força mais robustos.

A análise granulométrica a cada amostra de sedimentos, conforme o protocolo em vigor no Laboratório de Sedimentologia do IH, é realizada através de método interno acreditado pelo IPAC (Instituto Português de Acreditação), que combina o método da difração laser ao método clássico da peneiração (Instituto Hidrográfico, 2009 e 2015). No final de cada ensaio, é obtida uma curva granulométrica, bem como um conjunto de parâmetros estatísticos (calculados pelo método dos Momentos) (Instituto Hidrográfico, 2009 e 2015). Para a caracterização remota do tipo de sedimentos, são considerados apenas a média e a moda da distribuição granulométrica das partículas sedimentares de cada amostra.

3.4 Rigor da caracterização remota do fundo marinho

O resultado da estimativa do tamanho médio do grão, determinado pelo modelo num determinado ponto, é posteriormente comparado com o valor do tamanho médio do grão real, calculado em laboratório, numa amostra de sedimentos colhida na mesma localização. Para isso, a localização das amostras é projetada sobre a caracterização remota com auxílio do programa *Quantum GIS*, e os valores estimados do tamanho médio do grão são extraídos para cada localização. Assim, é possível construir uma tabela com os valores estimados do tamanho médio do grão e os parâmetros estatísticos das amostras de sedimentos reais (moda e média). O rigor da caracterização remota é determinado através das diferenças (resíduos) entre o tamanho médio do grão estimado e cada um dos parâmetros estatísticos determinados em laboratório. O valor do desvio padrão desses resíduos é representativo do rigor da caracterização remota (Santos *et al.*, 2015).

4. Caso de estudo da aplicação desta metodologia

Para a realização deste trabalho foram utilizados os dados adquiridos no levantamento hidrográfico (LH) realizado em julho de 2014, na embarcação do IH UAM "Atlanta" com o sondador multifeixe da *Kongsberg EM 2040C* ($f=300\text{kHz}$). Estes dados permitiram o processamento do sinal da retrodispersão e a sua aplicação na caracterização remota do fundo marinho. Para a determinação do rigor da caracterização remota foram utilizadas as análises granulométricas de 25 amostras de sedimentos superficiais, recolhidas com um colhedor *Smith-McIntyre*, durante o cruzeiro ROVEX, realizado pelo IH em 2009. A embarcação utilizada foi posicionada através de DGPS (*Differential Global Positioning System*).

A aplicação desta metodologia ao setor do estuário do rio Tejo junto à Trafaria (Fig. 4) permitiu obter o mosaico com o sinal da retrodispersão normalizado, onde se pode observar a variação do tipo de sedimentos (Fig. 4a) e a respetiva caracterização remota do fundo marinho, sendo possível estimar o tamanho médio do grão estimado (Fig. 4b).

As amostras sedimentares 46 e 91 não foram consideradas na determinação do rigor da caracterização remota por apresentarem valores de moda inferiores a -1ϕ , ou seja, inferior ao limiar do modelo acústico. Assim, as diferenças residuais (Fig. 5) foram determinadas e obteve-se um valor médio para esses resíduos de 1.1ϕ , para a moda e 1.3ϕ , para a média, com um desvio padrão de 1.5ϕ e 1.3ϕ , respetivamente.

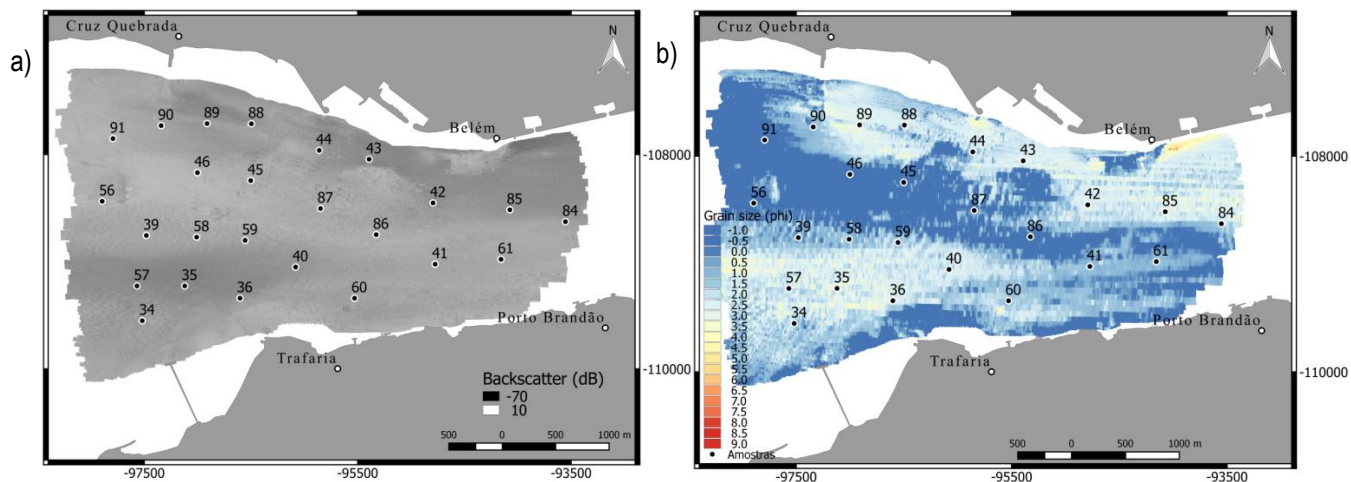


Figura 4 – Mosaico da área estudada com a implantação das estações de amostragem sedimentar: a) valor da retrodispersão acústica normalizada; b) tamanho médio do grão estimado pelo ARA

As amostras: 41, 45, 56, 87 e 90 apresentam resíduos superiores a 2ϕ (Fig. 5), para ambos os parâmetros estatísticos. Estes valores, demasiado elevados, obrigaram a uma análise cuidada para justificar tamanhos desvios, tendo-se chegado à conclusão que os mesmos poderão estar associados à incerteza do posicionamento do colhedor de sedimentos.

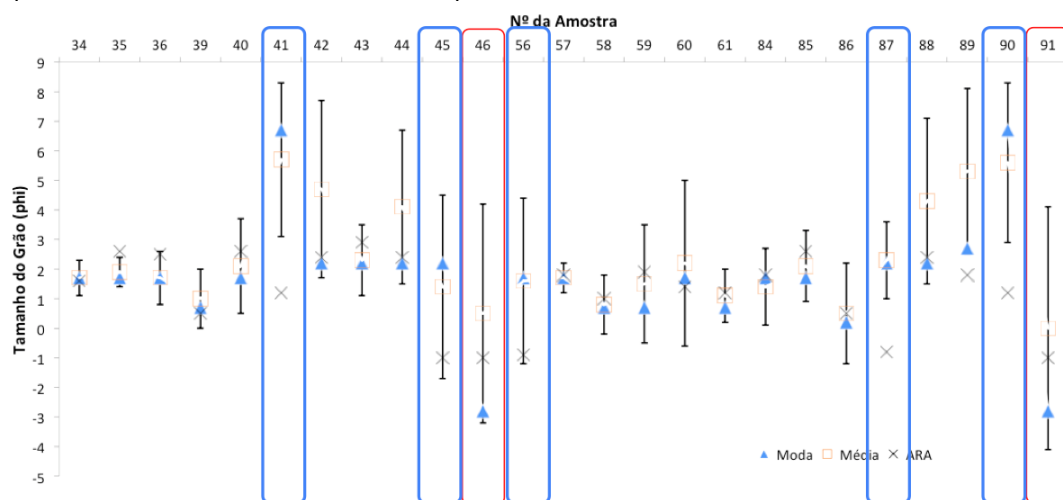


Figura 5 – Gráfico com a moda, média, desvio padrão das amostras e tamanho do grão estimado. As amostras assinaladas foram removidas do estudo

Avaliando a localização constata-se que as cinco amostras estão junto aos limites de depósitos sedimentares (Fig. 4), pelo que a incerteza do posicionamento do colhedor de sedimentos, no momento em que atinge o fundo, poderá ser a justificação para os



resíduos encontrados. Assim sendo, considerou-se que estas cinco amostras não são representativas do depósito que se pretendia amostrar, tendo sido eliminadas do estudo. Com esta operação os valores de desvio padrão dos resíduos ficaram próximos de 0.35ϕ (moda) e 0.89ϕ (média), valores bastante consistentes e que mostram a robustez da metodologia empregue.

5. Conclusão

Com este trabalho conclui-se que a metodologia atualmente utilizada nos estudos de caracterização remota do tipo de fundo marinho se apresenta como uma ferramenta robusta e suficientemente credível para ser aplicada em qualquer ambiente marinho. A metodologia foi testada num sistema estuarino extremamente complexo e caracterizado por uma forte variabilidade sedimentar. Os resultados alcançados são suficientemente consistentes para que a metodologia seja aplicada, sem restrições, em sistemas oceânicos mais vastos.

Ao reduzir significativamente o número de amostras de sedimentos necessárias para a cartografia sedimentológica de uma determinada área, sua aplicação permite a redução drástica nos custos associados a qualquer projeto ou estudo ambiental

Do ponto de vista sedimentar, os dois parâmetros estatísticos testados, a moda é o parâmetro que melhor se correlaciona com o sinal de retrodispersão, reforçando o papel desempenhado pelas partículas sedimentares na dispersão do sinal acústico.

Até ao presente, a única fragilidade da metodologia relaciona-se com o posicionamento do colhedor de sedimentos no ato de amostragem. Os próximos desenvolvimentos estarão concentrados na determinação rigorosa do posicionamento e associar essa incerteza à caracterização remota.

Referências Bibliográficas

- Bentrem, F. W., Avera, W. E., e Sample, J. (2006). Estimating surface sediments using multibeam sonar. *Sea Technology*, 47(physics/0606191:37).
- Calder, B. (2003). Automatic statistical processing of multibeam echosounder data. *The International hydrographic review*, 4(1)
- Fonseca, L., e Mayer, L. (2007). Remote estimation of surficial seafloor properties through the application Angular Range Analysis to multibeam sonar data. *Marine Geophysical Research.*, 28(2), 119-126.
- Instituto Hidrográfico (2009). Norma Técnica: Análise Granulométrica – Método de Peneiração. NT.LB.22. Texto não publicado: 13 pp.
- Instituto Hidrográfico (2015). Norma Técnica: Análise Granulométrica – Método de Difração Laser. NT.LB.23. Texto não publicado: 12 pp.
- Jackson, D., e Richardson, M. (2007). *High Frequency Seafloor Acoustic*. Springer, N.Y.: 616 pp.
- Lurton, X., e Lamarche, G. (2015). Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. *Marine Geological and Biological Habitat Mapping. A collective report by members of the GeoHab Backscatter Working Group*, (May), 200 pp.
- Hamilton, E.L. (1974). Prediction of deep sea properties: state-of-the-art, em: Inderbitzen, A. L., ed. *Deep-sea sediments, physical and mechanical properties*, Plenum Press, 43 pp.
- Novarini, J. C., e Caruthers, J. W. (1998). A simplified approach to backscattering from a rough seafloor with sediment inhomogeneities. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 23(3), 157-166.
- Reis, L., Rosa, L., Rodrigues, A., Pólvora, C., Ribeiro, M., e Pombo, J. (2014). Aplicação de modernas metodologias para cartografia sedimentar: caso prático de S. Pedro de Moel. *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial II, 711-715. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X
- Rosa, L. (2007). *Seafloor characterization of the historic área remediation site using Angular Range Analysis*. Master of Science Thesis. University of New Hampshire. Texto não publicado: 110pp.
- Santos, R., Rodrigues, A., e Rosa, L. (2015). Caracterização remota dos sedimentos marinhos através do algoritmo Angular Range Analysis. *3ª Conferência sobre morfodinâmica estuarina e costeira*. Livro de Resumos, 55-56
- Krumbein, W. e Sloss, L. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition. Freeman, San Francisco: 661pp.