



Visualização por Ultrassonografia e Propriedades Acústicas de Materiais Empregados para Simulação Física de Depósitos Sedimentares

J.C.G.Pires, D.S.Souza, C.S. Moura, R.M.Papaléo, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Copyright 2014, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Neste trabalho foi investigado o desempenho da ultrassonografia no processo de visualização não invasivo de depósitos sedimentares, simulados em laboratório, utilizando um equipamento clínico de visualização, com um transdutor linear de 5,0 e 7,5 MHz. Os modelos físicos foram criados utilizando materiais convencionais. Investigaram-se diferentes características acústicas desses materiais. Para a realização das análises foram criados diferentes arranjos, onde se modificou a topografia, a espessura das camadas e a granulometria do material. A frequência do transdutor e o tempo de sedimentação também foram controlados nos ensaios. Os resultados obtidos indicaram que a profundidade máxima de visualização variou em função da granulometria do material sedimentado. Os cálculos de velocidade de propagação da onda ultrassônica nos materiais revelaram que ao se diminuir o tamanho do grão a velocidade de propagação no sedimento aumenta levemente. No que se refere ao tipo de material, os materiais revelaram diferentes graus de contraste.

Palavras-Chaves: Visualização de sedimentos, profundidade máxima do sinal, velocidade de propagação.

Introdução

Os estudos de visualização de fundos e subsuperfície oceânicas baseiam-se fortemente no uso de ondas acústicas, através da técnica de varredura sísmica, da sonografia e da batimetria [1]. Esses métodos de caracterização funcionam segundo os princípios da mecânica ondulatória. A transmissão, reflexão e espalhamento de ondas acústicas entre dois ou mais meios físicos de propriedades elásticas distintas, variam de maneiras diferentes de acordo com as propriedades do meio onde a onda se propaga, permitindo a diferenciação de camadas de diferentes propriedades acústicas. A coluna d'água e o número de camadas sedimentares também afetam os resultados obtidos [2]. A varredura sísmica permite o estudo da posição estrutural das camadas sedimentares abaixo do fundo marinho, tornando possível avaliar parâmetros como espessura de camadas, presença de falhas, ocorrências de acúmulos de fluidos e deslizamentos submarinos [3]. Já a batimetria, fornece informações sobre as características morfológicas e sedimentológicas da superfície do fundo do oceano. Ela mostra contornos do relevo e a variação da distribuição superficial dos sedimentos [4]. Estudos baseados na observação de modelos físicos criados em laboratório auxiliam análises

de sistemas complexos de difícil observação natural, como os estudos de simulação de correntes de densidade conservativas e não conservativas. Esses estudos são de grande valia, pois de acordo com Kneller et al. [5], essas correntes são os principais agentes transformadores de depósitos sedimentares em ambientes aluviais e marinhos profundos. Esse tipo de estudo é importante não somente pelo potencial risco ambiental causado por avalanches e tsunamis em acomodações geológicas, mas é também muito útil na exploração de hidrocarbonetos. Em modelos físicos a visualização por ultrassom apresenta a vantagem de ser não destrutivo, além de gerar um grande número de imagens em um curto intervalo de tempo em diferentes posições na amostra. O presente trabalho busca desenvolver de maneira sistemática, uma metodologia capaz de auxiliar a visualização do interior de modelo físico, testando o desempenho de um ecógrafo clínico na visualização de depósitos sedimentares subaquáticos criados em laboratório, utilizando materiais convencionais e artificiais.

Metodologia/ Problema Investigado

Modelos sintéticos em escala de bancada foram criados empregados materiais convencionais, usados em simulações hidráulicas: carvão, pó de quartzo (areia) e microesféricas de vidro (balotina). Um dos equipamentos utilizados para a visualização foi um ecógrafo da marca Siemens modelo *Sonoline 7,5 L* com transdutor linear multi-frequencial (5,0; 7,5 e 9,0 MHz) pertencente ao Núcleo de Estudos em Correntes de Densidade (NECOD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. As imagens bidimensionais foram obtidas em modo de brilho (modo B) e permitiram visualizar com boa resolução lateral e axial as estruturas dos modelos sedimentares.

Para a realização das medidas de profundidade máxima de visualização, um conjunto de três béqueres de 1000 mL foi usado para a montagem de diferentes configurações de sedimentos homogêneos. As amostras foram preparadas em água, onde são misturadas e colocadas para sedimentar. A análise dos materiais foi realizada após a sedimentação. O carvão utilizado na construção dos modelos não foi lavado nem peneirado, o que leva a uma larga faixa granulométrica presente na amostra, proporcionando que partículas menores fiquem mais tempo em suspensão. No preparo de modelos usando o carvão, as partículas menores levam mais tempo para se acomodarem, criando uma camada superficial com granulometria fina (<180 µm) que é altamente refletora e causa atenuação brusca do sinal. Em todas as aquisições de imagem, o controle de ganho temporal (TGC), não foi corrigido para evitar resultados de penetração modificados pela eletrônica do equipamento. As imagens nos diferentes materiais ensaiados (carvão, calcário, areia e balotina), foram analisados no *software Image J* de modo a determinar-se a profundidade máxima de visualização. Para determinação correta desses valores, visto que o ecógrafo é setado com uma velocidade de propagação

adequada para fins clínicos, a velocidade de propagação do ultrassom nos materiais visa corrigir os valores de profundidade máxima do sinal no material. A velocidade de propagação ultrassônica no material foi estimada pela relação entre a espessura da camada de material sedimentado com o tempo de trânsito, obtido com as especificações do equipamento.

Para a análise da diferença de contraste entre os materiais foram elaborados dois modelos de testes: um com camadas sobrepostas de diferentes materiais, acrescentadas cuidadosamente em sequência vertical e outro contendo o mesmo material com granulometrias diferentes ou diferentes materiais com a mesma granulometria, um ao lado do outro. As imagens, nesse caso, foram adquiridas em cinco partes e posteriormente agrupadas, devido ao pequeno campo de visão do transdutor.

Resultados

Características dos Materiais Experimentados nos Modelos

A forma de grão do material empregado nos modelos físicos é de grande importância, pois o acamamento durante a deposição está relacionado a esta propriedade. Para que o material represente na pequena escala os fenômenos naturais em grande escala, é necessário que a forma dos grãos seja esférica e arredondada. A Figura 1 apresenta micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos materiais empregados, que visam observar a morfologia das partículas.

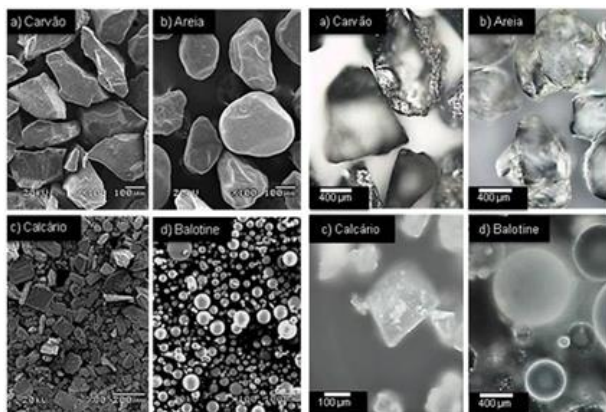


Figura 1: As quatro imagens da esquerda apresentam imagens obtidas por MEV para classificar os materiais pela geometria da partícula. As quatro imagens da direita mostram imagens de microscopia óptica para verificar a estrutura interna das partículas dos materiais. Em ambos os lados, a), b), c) e d) mostram as imagens para carvão 205, areia (quartz), calcário e, balotina (vidro), respectivamente.

Nota-se que a morfologia externa das partículas do material apresenta diversas formas, o que para os testes de visualização tornou-se uma característica importante. O carvão apresentou o formato sub-anguloso, a areia o formato arredondado, o balotina foi classificado com formato esférico e o calcário com o formato anguloso. Todos os materiais também foram analisados por microscopia óptica com o intuito de observar possíveis estruturas internas nos mesmos. Isso resultou na descoberta de uma região central oco nas partículas de balotina da amostra.

Profundidade Máxima de Visualização

Na Figura 2 a) observa-se uma imagem em modo brilho, usado para medir a profundidade máxima a que o sinal acústico alcança. Uma linha azul está indicando a região de onde foi feito o perfil da imagem. A Figura 2 b) mostra o perfil retirado da imagem, em um gráfico de distância percorrida (eixo das abscissas) e tons de cinza da região marcada na imagem (eixo das ordenadas). A profundidade máxima do sinal é medida até iniciar o ruído (sinal paralelo com o eixo das abscissas).

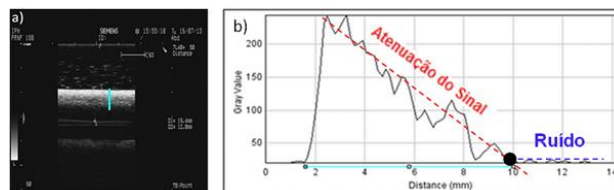


Figura 2. Em a) Imagem ecográfica em modo B feita no material sedimentado e em b) Gráfico da distância por tons de cinza da imagem representada pela linha em azul na imagem a).

A Tabela 1 mostra os valores médios obtidos nos testes de profundidade máxima de visualização. Conforme se pode notar, os materiais com grânulos menores refletem o sinal do feixe acústico com mais eficiência e, devido a isso, forma-se uma interface bastante ecogênica e com pequena profundidade de visualização. A medida que os materiais são testados com granulometrias maiores, a profundidade de visualização também aumenta e a interface fica mais anecóica. A Tabela 2 apresenta os valores médios e a faixa granulométrica empregada, bem como a geometria do grão de cada amostra.

Tabela 1. Dados obtidos dos materiais quanto a velocidade de propagação, profundidade máxima de sinal e contraste.

Material	Velocidade de Propagação Média (m/s)	Velocidade de Propagação (m/s)		Profundidade Máxima (cm)	
		f_1 (5,0 MHz)	f_2 (7,5 MHz)	f_1 (5,0 MHz)	f_2 (7,5 MHz)
Carvão 205 (<250 μ m)	1989 \pm 74	1973 \pm 50,10	2005 \pm 102,36	1,92 \pm 0,07	1,59 \pm 0,04
Carvão 210	1705 \pm 45	1696 \pm 42,75	1713 \pm 55,24	1,97 \pm 0,25	1,15 \pm 0,43
Calcário (<180 μ m)	1653 \pm 38	1651 \pm 9,40	1654 \pm 59,74	0,91 \pm 0,34	0,87 \pm 0,29
Areia (<180 μ m)	1634 \pm 73	1622 \pm 62,55	1647 \pm 94,00	1,26 \pm 0,17	1,09 \pm 0,09
Areia (180-250 μ m)	1532 \pm 38	1534 \pm 45,50	1531 \pm 37,98	1,11 \pm 0,07	1,08 \pm 0,01
Balotina (<180 μ m)	1660 \pm 97	1639 \pm 78,23	1680 \pm 126,97	1,57 \pm 0,06	1,40 \pm 0,08

Tabela 2. Características dos materiais quanto a tamanho e forma da partícula.

Material	Média granulométrica (μ m)	Faixa granulométrica (μ m)	Moda granulométrica (μ m)	Geometria do grão
Carvão 205 (180-250 μ m)	278	100 a 500	243	Sub-anguloso
Carvão 210	758	300 a 1400	600	
Calcário (<180 μ m)	147	10 a 490	86	Anguloso
Areia (<180 μ m)	218	75 a 500	183	Arredondado
Areia (180-250 μ m)	252	90 a 500	213	
Balotina (<180 μ m)	72	10 a 140	72	Esférico

Contraste Acústico dos Diferentes Materiais

Nas Figuras 3 e 4 podemos observar a presença de múltiplas interfaces, representando o encontro de dois materiais com impedâncias acústicas diferentes. A presença de subcamadas de sedimentos em meio aquoso pode ser evidenciada pela diferença de contraste obtido nas imagens ecográficas em modo B. Pelo contraste, associado à profundidade máxima

visual, pode-se estimar quais são as características (tamanho e morfologia) do grão e qual é a espessura da camada sedimentada no modelo. Nota-se que na Figura 4 não existe diferenciação entre as interfaces dos materiais devido a granulometria da areia grossa, que dispersa o sinal acústico.

Como estamos utilizando um feixe ultrassônico de ondas mecânicas para obter as imagens ecográficas é natural que ao longo da linha de propagação este sinal sofra atenuação. Assim, testes com apenas uma camada podem esclarecer ainda mais a questão do contraste, conforme apresentado na Figura 5.

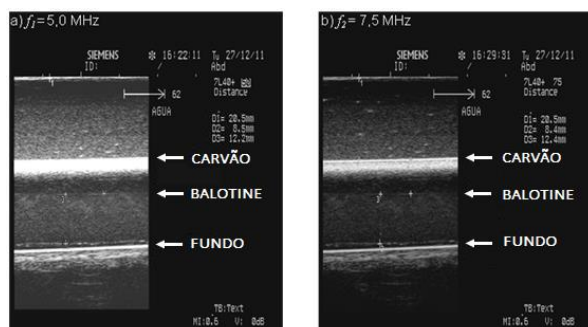


Figura 3. Imagem de uma amostra heterogênea de carvão e balotina depositados em um béquer, onde se observa diferenças de contraste devido aos materiais utilizados para as frequências de 5,0 e 7,5 MHz em a) e b), respectivamente.

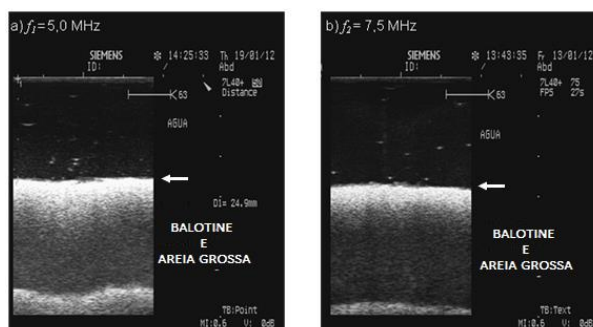


Figura 4. Imagem de uma amostra heterogênea de balotina e areia grossa depositados em um béquer, onde não há diferença de contraste devido aos materiais utilizados para as frequências de 5,0 e 7,5 MHz em a) e b), respectivamente.

Contraste de Duas Camadas de Sedimento com Três Materiais Diferentes Justapostos

A Figura 5 apresenta os resultados de análise de contraste obtidos com os modelos físicos montados para visualizar as amostras lado a lado com apenas uma camada. A análise sugere que materiais com morfologia granular esférica ou arredondadas são bastante ecogênicos, como é o caso da areia e do balotina. Esses dois materiais também têm uma grande massa específica, se comparado ao carvão, e, por isso, foram sedimentados em primeiro lugar para garantir a formação de interfaces homogêneas. As granulometrias menores que 180 μm mostram-se bastante reflexivas de um modo geral. Já entre 180 e 250 μm apresenta-se uma diminuição da reflexividade.

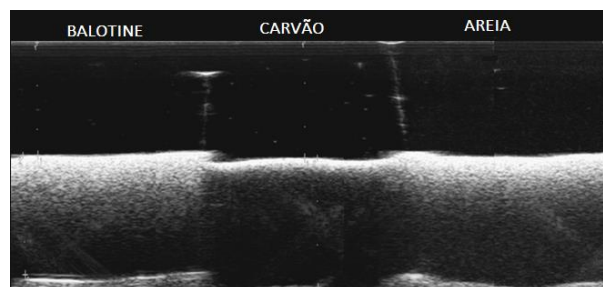


Figura 5. Imagem mostrando a diferença de contraste balotina, carvão 205 e areia.

Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que a profundidade máxima de visualização em 5,0 MHz não foi superior a 2 cm para todos os materiais utilizados. A profundidade de visualização variou em função da granulometria do material sedimentado, sendo levemente maior em materiais com grãos maiores. Para granulometrias maiores que 180 μm , se obteve uma profundidade máxima de visualização da ordem de 1,3 cm para o carvão 210 e 1,10 cm para a areia. Os materiais com faixas menores que 180 μm ofereceram maior dificuldade à propagação do sinal do feixe, indicando que o feixe é refletido com grande eficiência.

Os cálculos de velocidade de propagação da onda ultrassônica nos materiais revelaram que ao se diminuir o tamanho do grão, a velocidade de propagação no sedimento aumenta levemente. O valor de velocidade de propagação do som estimado para o carvão 205 foi de 1989 ± 74 m/s, enquanto para o carvão 210 foi de 1705 ± 45 m/s. No calcário, areia e balotina com granulometria menor que 180 μm a velocidade de propagação foi da ordem de 1650 m/s.

A intensidade do sinal sonoro foi praticamente a mesma entre os diversos materiais. Contudo, as micrografias das amostras revelaram uma morfologia esférica e oca do balotina que proporcionou uma maior propagação de sinal e favoreceu o contraste entre camadas, quando materiais distintos como o carvão são usados em camadas vizinhas. A morfologia mais arredondada da areia também possibilitou resultados de contraste similares ao do balotina. A granulometria também influenciou na atenuação do sinal, já que grãos maiores favoreceram a reflexão difusa, enquanto a maior compactação de sedimentos de grãos menores cria condições mais favoráveis à reflexão quase especular de maior intensidade.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Petrobras pelo apoio financeiro e pela permissão de publicar o trabalho, e ao Núcleo de Estudos em Correntes de Densidade (NECOD) situado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo fornecimento dos materiais de simulação.

Referências

[1] KRUG LA & NOERNBERG MA. 2005. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná – Brasil. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO.

[2] BUCKINGHAM M.J. Compressional and shear wave properties of marine sediments: comparisons between theory and data. *Journal of the Acoustical Society of America*. v.117(1), pp.137-152, 2005.

[3] NETO, A. A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.18(3), pp. 241-256, 2000.

[4] AYRES NETO A. 1998. Relationships Between Physical Properties and Sedimentological Parameters of Near Surface Marine Sediments and their Applicability in the Solution of Engineering and Environmental Problems. Tese de Doutorado. Universidade de Kiel, Alemanha. 126 p.

[5] KNELLER, B.C.; et al. The structure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of some recent studies and their geological implications. *Sedimentology* v.47, p. 62–94, 2000.