



Heterogeneidades de Velocidade do Sinal Acústico na Coluna D'água de Mar Profundo, Oceano Atlântico Sul

*Bernardo Vieira Mansur¹, Adalberto da Silva¹, 1 - Laboratório de Geologia Marinha, Lagamar

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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.

Abstract

The variation of the speed of sound affects the time of its transit. Thus, a model of stratified ocean is proposed to verify if diversions occur, relevant vertical and horizontal ones, in the submarine bottom. The research aims to improve the resolution of seismic image, through the study of the heterogeneities of speed in the propagation of acoustic signal along the water column in deep sea.

Introdução

O oceano é o primeiro obstáculo a ser vencido pelo sinal acústico. As mudanças de suas propriedades físicas, entre elas a temperatura e a salinidade, influenciam a velocidade do som (Jones, 1999). Assim, durante um levantamento geofísico, massas d'água, correntes e outros obstáculos podem alterar a aquisição de dados sísmicos. O resultado é uma mudança no tempo de gravação do trânsito do som que dificulta o imageamento do dado. Para remover as diferenças do tempo de trânsito, é preciso medir a velocidade do som ao longo da coluna d'água (Fried *et al.*, 2001).

A coluna d'água pode ser dividida em três camadas principais: superior (0-500m), intermediária (500-1500m) e profunda (1500m – fundo submarino). Cada camada é formada por massas d'água de grande porte, aceitas por grande parte dos oceanógrafos. Em regiões de interesse específico, uma investigação mais detalhada, com a aplicação de uma alta resolução, irá revelar uma grande variedade de classificações de massas d'água menores, que podem ser quase infinitas (Emery *et al.*, 1986).

A sísmica é uma ferramenta usada para mapear a estrutura geológica abaixo do fundo submarino. Esta aplicação da sísmica de reflexão é principalmente direcionada para exploração *offshore* de depósitos de óleo e gás, mas cientistas acadêmicos também usam este método para outros estudos (Schneider, 2004).

A pesquisa busca estimar e corrigir as variações na distância e na trajetória que o sinal acústico sofre entre o seu emissor e o seu receptor, sabendo-se que a velocidade média do som na coluna d'água é a última peça para se determinar a distância percorrida e que os deslocamentos horizontais do sinal acústico refratado determinam a sua trajetória.

A sísmica é uma ferramenta largamente empregada na indústria de exploração de recursos marinhos. Melhorias no processamento e na sua resolução tornariam esta ferramenta ainda mais útil, devido ao grande interesse da indústria de petróleo e gás no uso de novas técnicas para o mapeamento de estruturas em bacias sedimentares (Barley, 1999).

Metodologia/ Problema Investigado

A Construção da estrutura vertical da coluna d'água utilizou massas d'água como blocos sobrepostos, onde a temperatura e a salinidade de cada uma apresentam propriedades próprias. Serão utilizadas, no modelo, as médias de temperatura e salinidade das massas d'água do Oceano Atlântico Sul (Fig. 1).

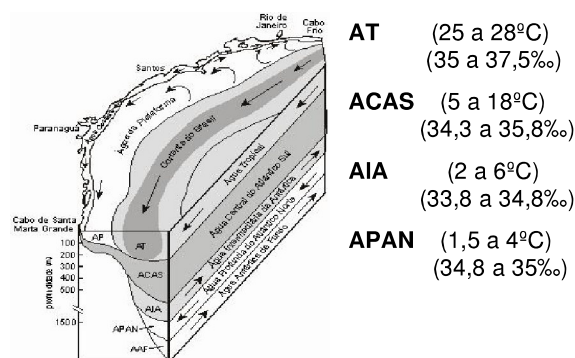


Figura 1 – Estrutura oceanográfica na região sudeste-sul brasileira na época de verão (Figura adaptada de Matsuura, 1986). Gabarito das massas d'água (Emery *et al.*, 1986; Pickard *et al.*, 1992)

A velocidade de propagação da onda (V) foi determinada indiretamente, com a temperatura (t) e salinidade (s) da água, pela expressão empírica de Wilson (1960).

$$V = 1449,22 + V_t + V_p + V_s + V_{s,t,p}$$

V é dado em m/s, t em °C, s em ‰ e p em Kg/cm²

A velocidade também varia com a pressão (p). Assim, em cada massa d'água obteve-se uma velocidade média.

A partir dos dados de profundidade e velocidade, foi feita uma simulação do tempo de propagação de uma onda ao longo da coluna d'água pelo princípio de Fermat, variando o ângulo de incidência em relação à normal, a cada 5 graus.

Em seguida, foram comparados os desvios horizontais e verticais do sinal acústico entre o oceano homogêneo e o heterogêneo, ou seja, uma coluna d'água apresentando uma única camada de velocidade constante (1500 m/s) com outra estratificada por camadas de velocidade constante.

Resultados

A variação vertical da velocidade do som ao longo do oceano modelado (Fig. 2) pode ser dividido em massas d'água. Ao longo da Água Tropical (0-250m), a velocidade do som ficou em 1541 m/s; na Água Central do Atlântico Sul (250-600m), em 1502 m/s; na Água Intermediária da Antártica (600-1500m), em 1483 m/s; na Água Profunda do Atlântico Norte (1500-3000m), em 1498 m/s. Sendo assim, a velocidade do som começa a diminuir com a ACAS, atingindo o mínimo na AIA, para começar a aumentar na APAN.

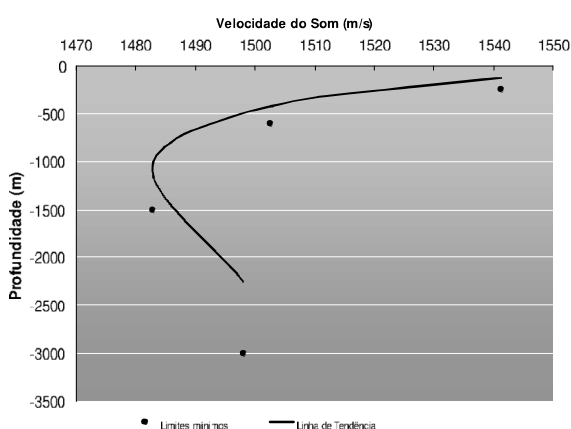


Figura 2 – Velocidade do som ao longo da coluna d'água na época de verão.

A simulação do tempo de propagação de uma onda se deu ao longo das colunas d'água de 500, 1000, 1850 e 3000m, onde o ângulo de incidência vai de 0 a 15°.

A diferença entre o tempo de trânsito na camada estratificada e na homogênea fica em milésimos de segundo. Na coluna d'água de 500 e 1000m, a diferença aumenta com o aumento do ângulo; já na coluna d'água de 1850 e 3000m, ocorre o contrário: a diferença diminui com o aumento do ângulo.

A partir do tempo de trânsito, foi possível estimar as variações na distância percorrida pelo sinal acústico em cada simulação. O resultado final é dado pelo deslocamento vertical do fundo submarino (Tab. 1). O deslocamento vertical na coluna d'água de 500 e 1000m aumenta com o aumento do ângulo, deixando o fundo submarino em um nível mais baixo. O deslocamento na coluna d'água de 1850 e 3000m diminui com o aumento do ângulo, deslocando o fundo submarino para cima, a não ser quando o ângulo de incidência da coluna d'água de 3000m é de 15°. De uma maneira geral, tirando a

coluna d'água de 1000m, o desvio vertical diminui com o aumento da coluna d'água.

Os deslocamentos horizontais foram estimados a partir da trajetória do sinal acústico em cada simulação. Este sempre aumenta com o aumento do ângulo, desviando o fundo submarino para a direita. Assim, o desvio horizontal aumenta com o aumento da coluna d'água.

Discussão e Conclusões

De uma maneira geral, a variação vertical da velocidade do som no oceano modelado se ajusta ao oceano real, apesar deste apresentar apenas uma camada parcialmente homogênea na zona superficial. Segundo Ross (1982), esta zona do oceano apresenta águas bem misturadas, onde a velocidade aumenta com a profundidade devido ao efeito da pressão. O ajuste ocorre bem na segunda camada, onde a velocidade do som diminui por causa da rápida diminuição da temperatura (termoclina). Na última zona, a velocidade do som aumenta com o aumento da pressão e temperatura (constante no modelo).

As profundidades da coluna d'água utilizadas na simulação vão de encontro aos maiores desafios brasileiros de se produzir petróleo offshore. No final dos anos 80, o desafio era produzir petróleo em águas abaixo de 500m. Depois, decidiu-se desenvolver tecnologia necessária para produzir em águas até mil metros. O último recorde foi em janeiro de 1999 no campo de Roncador, na bacia de Campos, produzindo a 1853m de profundidade. A meta, agora, são os 3 mil metros de profundidade. Atualmente, o Brasil tem cerca de 65% da área de seus blocos exploratórios offshore em profundidades de água de mais de 400m.

A imprecisão do posicionamento do fundo submarino, causada pelo desvio vertical, é parcialmente corrigida no processamento, onde os traços são colapsados para a primeira reflexão forte. No entanto, o desvio da posição horizontal, por exceder o limite da resolução, certamente tem um impacto considerável no processamento e imageamento.

O estudo das heterogeneidades de velocidade na propagação do sinal acústico ao longo da coluna d'água de mar profundo ajuda a aprimorar o imageamento sísmico de estruturas em bacias sedimentares. O que torna esta ferramenta ainda mais útil à indústria de petróleo e gás.

Tabela 1 – Deslocamento vertical e horizontal (m) do fundo submarino.

Desvios\Graus	0°	5°	10°	15°
D _{V(500m)}	14,0(↓)	14,1(↓)	14,4(↓)	14,9(↓)
D _{V(1000m)}	3,1(↓)	3,5(↓)	4,6(↓)	6,6(↓)
D _{V(1850m)}	11,7(↑)	10,9(↑)	8,3(↑)	3,9(↑)
D _{V(3000m)}	10,4(↑)	9,1(↑)	5,2(↑)	1,7(↓)
D _H		→	→	→
D _{H(500m)}	0,0	1,1	2,3	3,7
D _{H(1000m)}	0,0	6,1	12,5	19,5
D _{H(1850m)}	0,0	11,4	23,4	36,6
D _{H(3000m)}	0,0	16,7	34,3	53,9

Agradecimentos

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo (PRH-11/ANP) pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor e pelo financiamento deste trabalho.

Referências

Barley, B., 1999. Deepwater problems around the world. *The Leading Edge*, vol. 18 (4): 488-494.

Emery, W. J. & Meincke, J., 1986. Global water masses: summary and review. *Oceanologica Acta*, 9: 383-391.

Fried, J., Mackay, S., 2001. Dynamic Corrections for Water Velocity Variations: A Nova Scotia Case History. *The Recorder*, Canadian Society of Exploration Geophysicists, october, 05-15.

Jones, E. J. W., 1999. *Marine Geophysics*. John Willey & Sons LTD, England.

Matsuura, Y., 1986. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e cabo de Santa Marta Grande (RG). *Ciência e Cultura*, 38 (8): 1439-1450.

Pickard, G. L. & Emery, W. J., 1992. *Descriptive Physical Oceanography*. 5th ed., Pergamon Press, Oxford, England. 320pp.

Ross, D. A., 1982. *Introduction to Oceanography*. 3th ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New York, USA. 544pp.

Schneider, D., 2004. Sea Change: reflection seismology, a tool of geologists, proves useful to oceanographers. *American Scientist online*, *The Magazine of Sigma XI*, The Scientific Research Society, *Science Observer*, july-august, vol. 92, nº 4.

Wilson, W. D., 1960. Speed of sound in Sea Water as a Function of Temperature, Pressure, and Salinity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 32(6): 641-644.