



Impacto nos cetáceos das atividades de prospecção sísmica de hidrocarbonetos

Ronnie Dennis M. Donald¹, Lurimar S. Batista, UNIT, Brasil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The oceans serve as food source and as source of would materia of some industrial sectors. The industry of the oil is without doubts most important in the present time. With the interest to produce each time plus this well mineral one, technologies had been developed to explore new wells and to maximize the production of already the existing ones. The seismic method is based on the difference of elastic property of the rocks that are in the subsurface. The method can be divided in seismic of reflection and of refraction. The study of the propagation of the seismic waves in the water is directly based in the principles of the propagation equation. From the development of the homogeneous equation of the wave, models had been carried through to observe the scattering of the acoustic wave in marine way. The variation of the field in relation to distance, frequency and propagation velocity, was observed, and checked out that the wave generated ocean floor doesn't show potential hazard to the cetaceans that are nearly the surface. This paper studied the possible effect of these waves on the boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) and the jubarte-wale (*Megaptera novaeangliae*) on the sergipan coast. Was observed that these waves don't imply risk for these animals.

Introdução

A exploração do petróleo é realizada em bacias sedimentares, tanto em Terra (*onshore*) como no Mar (*offshore*). O Brasil possui 35 bacias sedimentares principais, perfazendo um total de mais de 6,4 milhões de quilômetros quadrados, sendo 4,9 milhões de quilômetros quadrados em terra e 1,5 milhão de quilômetros quadrados na plataforma continental, até a lâmina d'água de 3 mil metros. Destas, 19 são exclusivamente terrestres, 7 são exclusivamente marítimas e as 9 restantes são bacias costeiras, que se estendem da terra para a plataforma continental. Apesar da grande área das bacias, 70% delas não registram descobertas de óleo ou gás em quantidades comerciais. (Petrobrás, 2004)

As prospecções geofísicas envolvendo o método sísmico usam curtos e elevados pulsos energéticos de som dirigidos para baixo, na crosta de terra. Estes pulsos sonoros viajam para baixo no solo do mar, podendo ser refletidos ou refratados. Na sísmica de reflexão as ondas voltam à superfície cada vez que o sinal encontra uma mudança no tipo da rocha. Estes pulsos de retorno são

detectados (por uma espécie de serpentina de hidrofones), armazenados e processados, onde então apresentam perfis geológicos do "assoalho" marinho, que serão interpretados por geólogos e geofísicos, indicando as áreas propícias a conter rochas reservatório de óleo e gás (Gordon *et al*, 1998).

Com o passar dos anos e com o desenvolvimento de novas tecnologias, surgiu uma maior preocupação com os possíveis impactos negativos gerados pela produção de petróleo. Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a fim de estudar esses possíveis impactos na biota marinha. No Golfo do México, a Universidade do Texas e o Serviço Nacional Marinho de Pesca, têm conduzido exames visuais e acústicos desde 1992 para descrever a distribuição, abundância e ecologia dos cetáceos (ordem representada pelas baleias, botos e golfinhos), como primeiro passo para determinar os impactos da exploração sísmica sobre estes (Norris *et al.*, 1998). O Departamento de Bioacústica da Universidade de Cornell desenvolveu um trabalho (*Marine Mammal Research Program - MMRP*) para verificar se as atividades sísmicas poderiam acarretar algum dano para a biota marinha, incluindo os mamíferos aquáticos e os quelônios.

Oliveira (2002), ao estudar o impacto das atividades de sísmica sobre as tartarugas marinhas, verificou que a sísmica não afetava diretamente os animais, porém afetava o seu comportamento reprodutivo. As tartarugas marinhas utilizam o som para copularem e verificou-se que os sons gerados na prospecção faziam com que as tartarugas não copulassem e conseqüentemente não tivessem filhotes, reduzindo assim a população de tartarugas marinhas.

Esse trabalho verifica a possibilidade de qualquer alteração comportamental do boto-cinza (*Sotalia fluviatilis*) e da baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) em conseqüência dos sons adicionais introduzidos no ambiente marinho em decorrência das prospecções geofísicas realizadas no Litoral Sergipano.

Caracterização da Área de Estudo

A caracterização e composição da biota aquática estão diretamente relacionadas com alguns fatores, como a concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas, assim como a geologia e a geomorfologia do local.

A região onde são realizados os estudos sísmicos, e conseqüentemente exploração de petróleo, no Litoral Sergipano é chamada de Bacia Sergipe-Alagoas, que está situada entre os paralelos 9° e 11°30'S. Essa região é referente a uma área de 34500 km² até a isóbata de 2000 m, área de influência direta sobre uma variedade de animais aquáticos.

Segundo Oliveira (2003), a configuração da bacia é NE – SW (Nordeste – Sudoeste), uma vez, que seu arcabouço

estrutural é constituído por falhas principais no sentido norte-sul, interceptados por falhas leste-oeste como também nordeste-sudoeste.

A área submersa onde ocorre a exploração petrolífera no estado de Sergipe, Figura 01, é representada por duas províncias: a principal, plataforma continental, é um planalto submerso de declives pouco acentuados, servindo de limite batimétrico para a penetração da luz solar e das variações de temperatura. A segunda província, o talude, é a região submarina, estendendo-se de 200 a 1000 metros de profundidade, essa zona esta compreendida entre a plataforma continental e a zona abissal (Oliveira, 2003).

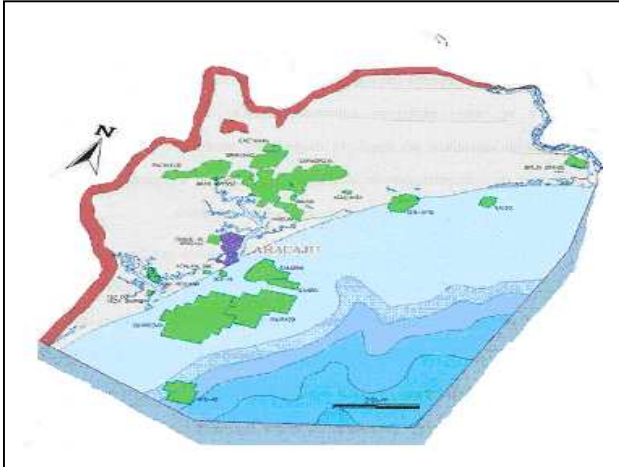


Figura 01 – Áreas de produção de petróleo no Estado de Sergipe.

Método Sísmico

A técnica sísmica é baseada na medição do tempo que as ondas levam para percorrer a distância entre a fonte e os sensores (sismômetros ou geofones em terra, e hidrofones em explorações marítimas). Conhecendo-se o tempo de viagem da onda e sua velocidade, pode-se reconstruir o percurso que ela fez. As informações estruturais são obtidas a partir desses caminhos, podem ser obtidos por duas maneiras: caminhos refratados, ou seja, o caminho da onda que sofreu refração (sísmica de refração), no qual a porção principal do caminho é através das interfaces entre duas camadas de rocha, sendo, portanto, aproximadamente horizontal. O caminho pode ser também o refletido (sísmica de reflexão), no qual as ondas viajam inicial e essencialmente para baixo, e em algum ponto são refletidas de volta para a superfície; é essencialmente vertical.

O objetivo da sísmica é deduzir informações sobre as propriedades das rochas e sua disposição em camadas, assim poder determinar se há a possibilidade de determinada região conter óleo (Telford *et al*, 1990).

O entendimento do método sísmico está diretamente relacionado com o fenômeno de propagação da onda acústica no meio. É governado pela equação da onda tridimensional apresentada na Equação 1.

$$\frac{1}{V^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \quad (1)$$

Existem diversas formas de produção e coleta dos sons produzidos nos levantamentos sísmicos. Muitos são os fatores determinantes para o tipo de metodologia a ser adotada no levantamento marinho, dentre eles: presença de obstáculos para os navios; profundidade do local em estudo; restrições legais; períodos de interdições temporárias relacionados à desova e reprodução da fauna, dentre outros.

Streamer, metodologia baseada numa embarcação dotada com todos os equipamentos necessários para exploração, e essa embarcação arrasta os cabos sismógrafos, chamados de *streamers*. Realizado em águas sem obstáculos.

As embarcações rebocam cabos de grandes comprimentos, podendo variar de 3000 a 8000 m, a depender da profundidade. Essas grandes extensões de cabos dificultam e restringem as manobras dos navios.

Ocean Cable Botton, nesse tipo de metodologia, os cabos contendo os sismógrafos com sensores não são arrastados por um navio, mas sim, deitados sobre o leito do oceano. Nesse caso dois navios são utilizados: um navio conectado aos cabos, recebendo as informações, e um outro navio, que faz os disparos.

Propagação do Som

O estudo da propagação do som na água está diretamente ligado aos princípios da equação de propagação. Para o entendimento da equação da onda é necessário o entendimento de alguns conceitos básicos. As equações de estado, da continuidade e de Euler foram estudadas para se chegar à equação transiente da onda e à equação harmônica da onda (Equação de Helmholtz).

A equação de estado é obtida através da equação de Poisson linearizada para o comportamento de um gás adiabático. Em seguida obtém-se a equação da continuidade, relacionando a velocidade da partícula e a densidade instantânea. Neste trabalho, considerou-se o fenômeno de transporte de massa em um elemento de volume infinitesimal.

A equação de Euler foi obtida através da consideração de um volume infinitesimal que se move com um fluido de massa também infinitesimal. A partir da segunda lei de Newton, essa equação pode ser expressa em termos da força infinitesimal. Em seguida, foi considerados uma nova posição e um novo tempo para essa partícula, isso devido o movimento, e a partir de uma expansão de Taylor, e aplicando-se o operador vetorial, chega-se a equação de Euler para fluidos não viscosos.

A partir da aplicação do operador divergente sobre a equação de Euler para fluidos não viscosos, obtém-se a equação da onda linearizada em termos da pressão acústica,

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}, \quad (2)$$

onde c , representa a velocidade de propagação do som no meio.

Segundo Greco (2000), a pressão acústica pode ser escrita na forma de uma função com comportamento de

serie, uma vez, que sejam consideradas ondas produzidas com vibrações periódicas no tempo, harmônica, com resposta também periódica no domínio da propagação do fluido. Logo, tem-se:

$$p(u,t) = p(u) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot t}, \quad (3)$$

onde, ω representa a frequência angular da vibração e da resposta, ambas com comportamento harmônico.

Metodologia

Segundo Oliveira (2002) os exames sísmicos realizados no litoral de Sergipe, realizam disparos com frequências inferiores a 200 Hz (navios que arrastam os cabos) e inferiores a 100 Hz, quando os cabos são deitados no leito do oceano.

Neste trabalho, foram utilizadas seis frequências: 25, 75, 150, 175, 200 e 250 Hz, e quatro velocidades de propagação do som: 1200, 1500, 1700 e 2000 m/s, a fim de verificar a atenuação da onda nessas condições. A utilização dessas velocidades é devido à elevada concentração de material em suspensão nas águas.

A elevada concentração de material sólido em suspensão faz com que o som propague-se com uma maior velocidade, fazendo com que a onda sonora percorra grandes distâncias.

Modelagem do Espalhamento da Onda Acústica em Meio Marinho

A equação homogênea de Helmholtz (Equação 4) descreve a propagação da onda plana sonora na superfície, ondas Rayleigh,

$$\nabla^2 p + k^2 \cdot p = 0, \quad (4)$$

para, $p(x=0) = p_0$ e $p(x=\infty) = 0$, e $k = \frac{\omega}{c}$.

A Equação 4 é resolvida analiticamente, a partir da solução da equação linear e homogênea de coeficientes constantes (Abunahman, 1979),

$$A_0 \frac{d^n y}{dx^n} + A_1 \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + A_2 \frac{d^{n-2} y}{dx^{n-2}} + \dots + A_n y = 0, \quad (5)$$

Considerando-se $n=1$, determina-se a equação característica,

$$A_0 r^n + A_1 r^{n-1} + \dots + A_n = 0, \quad (6)$$

Admitindo-se apenas raízes reais e distintas e a partir da solução geral, obtém-se,

$$y_1 = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x} + \dots + C_n y_n, \quad (7)$$

Fazendo-se analogamente para a equação de Helmholtz de propagação da onda plana $n=2$ na Equação 5,

$$A_0 \frac{d^2 U}{dx^2} + A_1 \frac{dU}{dx} + A_2 U = 0 \quad (8)$$

A solução geral é dada por,

$$U(x, \omega) = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx} \quad (9)$$

Aplicando-se as condições de contorno, $x \rightarrow \infty$ e $x = 0$, obtém-se a solução da equação do campo,

$$U(x, \omega) = A e^{-kx}. \quad (10)$$

Resultados e Discussão

Tomando-se a velocidade de propagação do som em ambiente aquoso puro, 1500 m/s e frequência de 150 Hz, verifica-se que a onda atenua sua energia com o distanciamento da fonte.

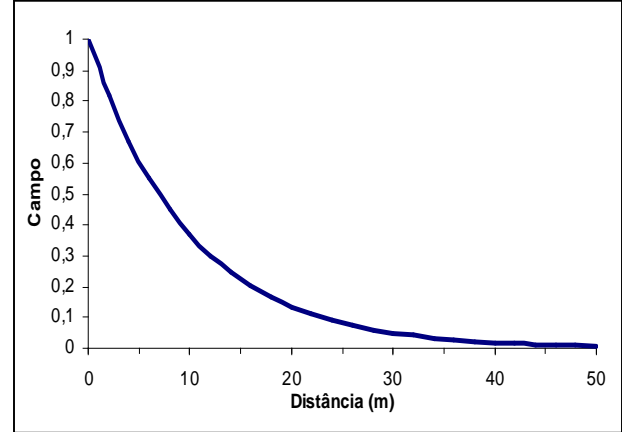


Figura 02 – Atenuação da onda sonora com o distanciamento da fonte a uma frequência de 150 Hz, com velocidade de propagação do meio de 1500 m/s.

A atenuação da onda com o distanciamento da fonte, a uma frequência de 150 Hz num meio com velocidade de 1500 m/s, apresentada na Figura 2. Observa-se que a onda atenua sua energia muito rapidamente com o distanciamento da fonte. Em cerca de 30 m, o campo é de apenas 10% do seu valor inicial. Com isso, verifica-se que o levantamento sísmico não representa um potencial risco aos animais estudados. Aproximadamente a 40 m do local do disparo, observa-se que o campo possui uma intensidade de 1,8% do inicial. Isso demonstra que para a frequência de 150 Hz e um meio unidimensional o campo após o ponto $x = 40$ m não perturba o meio em que está (Donald, 2005).

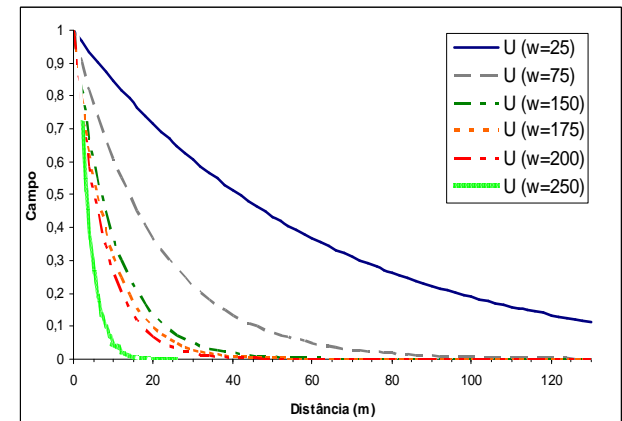


Figura 03 – Atenuação da onda sonora com a distância e frequência variável, mantendo a velocidade de propagação no meio constante a 1500m/s

A atenuação da onda com o distanciamento da fonte em um meio com velocidade de propagação de 1500m/s variando-se a frequência é mostrada na Figura 03. A 20m do ponto de tiro o campo possui um valor de 3,57% do inicial, a frequência de 250 Hz, e apresenta uma intensidade, nesse mesmo ponto, de 39,36% para a frequência de 70 Hz.

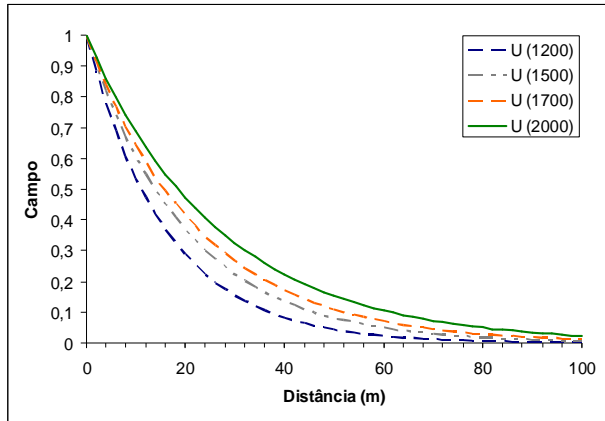


Figura 04 – Atenuação da onda sonora com o distanciamento da fonte a uma frequência de 75 Hz variando-se a velocidade.

A atenuação da onda com o aumento da distância da fonte a uma frequência de 75 Hz para diferentes velocidades de propagação é mostrada na Figura 04. Verifica-se que quando os levantamentos são realizados a baixas frequências, as ondas atenuam a uma distância maior da fonte. Na vertical (profundidade) verifica-se que as ondas diretas representam um reduzido potencial de risco para os animais que estejam a uma distância maior que 60 metros da fonte. Em contrapartida, barcos auxiliares devem ser usados para garantir que as atividades não sejam realizadas quando sejam avistados animais próximos a essa área. O próprio sonar dos barcos pode ser utilizado na localização de grandes animais, como a baleia-jubarte, auxiliando assim, que os disparos sejam apenas realizados quando não existam animais dentro de uma distância crítica, nesse caso, uma distância de 100 m.

As ondas de baixa frequência percorrem maiores distâncias. A velocidade de propagação apresenta-se como parâmetro menos significativo na propagação das ondas.

O Litoral Sergipano apresenta, em geral, uma velocidade de propagação de 1500 m/s. Para linhas sísmicas realizadas a uma frequência de 150 Hz, em distâncias superiores a 30 m o campo possui energia inferior a 10% da inicial. Como a espessura média da lâmina d'água no Litoral Sergipano é de aproximadamente 60 m, as linhas sísmicas não apresentam risco aos animais marinhos estudados.

Conclusões

A partir dos modelos desenvolvidos, observa-se uma queda exponencial do campo com o afastamento da fonte. Observa-se também, que quanto maior a frequência, menor o campo, ou seja, a onda percorre uma distância menor.

Conhecendo o comportamento dos cetáceos que povoam o Litoral Sergipano, animais que se deslocam preferencialmente na superfície marinha, e observando a variação do campo em relação a distância, frequência e velocidade de propagação do meio, verifica-se que os sons produzidos nas linhas sísmicas não apresentam risco aos organismos biológicos estudados, tanto para a metodologia que usa os navios rebocando os *streamers*, quanto para o *ocean bottom cable*.

Uma extensão interessante desse trabalho é a realização da modelagem em estruturas marinhas não homogêneas, anisotrópicas, em duas e três dimensões. Estudos mais aprofundados de caracterização da geologia e geomorfologia do litoral sergipano também devem ser realizados.

Referências

DONALD, R. D. M. **Impacto nos Cetáceos das Atividades de Prospecção Sísmica de Hidrocarbonetos**. Aracaju, SE, 2005, 99f. (Monografia de Graduação). Universidade Tiradentes, UNIT.

GORDON, J.C.D. GILLESPIE D., POTTER J., FRANTZIS A., SIMMONDS M.P., SWIFT R. **The effects of seismic surveys on marine mammals**. In: Proceedings of the Seismic and Marine Mammals Workshop, 1998. **Proceedings...** Londres: Universidade de Santo Andre, 1998.

GRECO, M. **Análise do Problema Harmônico de Radiação e Difusão Acústica, Usando o Método dos Elementos de Contorno**. São Carlos, SP, 2000. 104f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, USP.

O Petróleo e a Petrobras. [on-line] Disponível na Internet via WWW.URL: http://www2.petrobras.com.br/minisite/sala_de_aula/petroleo/petroleo.asp. Arquivo capturado em: 12 de novembro de 2004.

OLIVEIRA, J. T. **Impactos Ambientais da Prospecção Geofísica em Tartarugas Marinhas no Litoral Sergipano**. Aracaju, SE, 2002, 69f. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Tiradentes, UNIT.

OLIVEIRA, J. T. **Aspectos ambientais da prospecção sísmica no litoral sergipano**. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 8., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGF, 2003.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. Reino Unido: Cambridge University Press, 1990.