

INTRODUÇÃO

Diferentemente das ondas de rádio, as ondas sonoras precisam de um meio material para se propagar. Dentre os mais variados meios para propagação dessa onda, o oceano é um dos mais complexos. Suas características são heterogêneas, podendo na maioria das vezes ser classificadas em regulares e/ou randômicas. Tais heterogeneidades influenciam, significativamente, na propagação e na pressão acústica nos oceanos. Por exemplo, a variação regular da velocidade do som com a profundidade pode criar um canal de propagação do som, permitindo que o mesmo se propague a longas distâncias. Em outros casos, as heterogeneidades randômicas, tais como as interações com a superfície do mar, darão origem à dispersão do sinal, podendo causar flutuações no campo sonoro [1]. Segundo Siderius [2], os mais novos sistemas acústicos submarinos, como por exemplo os de comunicações, são sensíveis às perdas provocadas por essa dispersão do sinal, bem como às ocasionadas pelos efeitos de Doppler Spread e Shift, causados pelo movimento da superfície e dos sensores acústicos (fonte e hidrofone).

Nesse contexto, este trabalho faz uma análise de padrões de interferência acústica gerados a partir do ruído irradiado por um navio em determinadas situações, tais como: diferentes velocidades do navio, diferentes estados de mar e em determinadas distâncias.

O EFEITO LLOYD MIRROR

O efeito *Lloyd Mirror* é conhecido por produzir um padrão de interferência construtiva e destrutiva entre os raios diretos e os refletidos da onda acústica na superfície do mar. Essa é uma característica da interação de um campo acústico com uma superfície do mar lisa, entretanto, a interação com o leito submarino pode ser tão ou mais importante quanto esse efeito, principalmente em um ambiente de águas rasas [3] (Figura 1).

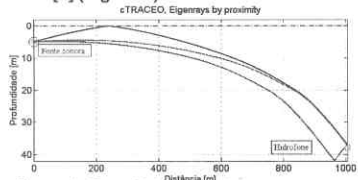


Figura 1 - Exemplo de interações que causam o Efeito Lloyd Mirror

O campo acústico total  $p(r)$  no receptor pode ser interpretado como a soma da chegada direta, com *path* R0, e a chegada refletida na superfície, com *path* R1.

p(r) = (e^{ikR0} / R0) + (e^{ikR1} / R1) (1)

Sendo esse um caso particular do Método da Imagens, onde cada *path* tem origem em imagens virtuais da fonte.

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em 2 dias consecutivos e como fonte acústica foi utilizado um navio de grande porte, nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, em Arrial do Cabo - RJ. Este navio se deslocava entre 2 pontos, A e B, distantes 1km, seguindo um rumo de navegação aproximadamente constante e percorrendo a linha isobatimétrica de 40 metros de profundidade. Na aquisição dos sinais foi utilizado um hidrofone, posicionado a 5 metros do fundo marinho, sendo a distância mínima entre o navio e este hidrofone de 100 metros conforme a Figura 2. Apesar das medições terem sido feitas em um curto período, foi possível a realização de gravações em diferentes estados de mar bem como variadas velocidades do navio.

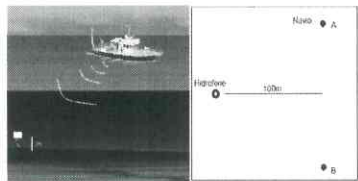


Figura 2 - Vista lateral (esquerda) e de cima (direita) do experimento.

Todos os sinais gravados foram analisados no domínio do tempo e do tempo/frequência. Aplicando a Short-Time Fourier Transform - STFT e calculando a Power Spectral Density - PSD (Eq. 2). Nota-se que o padrão de interferência citado acima está presente em todas as gravações.

P(i, j) = k |S(i, j)|^2 (2)

onde k = 1 / (Fs \* integral w(n)^2) sendo w(n) uma janela Hamming e Fs a frequência de amostragem do sinal. De forma análoga, mas desta vez utilizando a saída de um modelo de propagação acústica (cTraceo), foram calculadas as PSD's para cada frequência da banda analisada (10 Hz a 16kHz). Estes cálculos foram realizados para diferentes cenários a fim de se obter mais informações sobre as flutuações que foram observadas nos espectrogramas.

Os parâmetros ambientais usados nas simulações e no auxílio às conclusões deste trabalho foram adquiridos por uma boia localizada nas proximidades do local do experimento, pertencente ao projeto SIODOC da Marinha.

RESULTADOS

Os dados são coletados de hora em hora e disponibilizados em tempo real no site: http://metocean.fugrogeos.com/marinha. Para esse experimento foram utilizados os dados de temperatura (Figura 3) da boia do dia 12/02/14. Tais dados serviram de entrada para o cômputo do perfil de velocidade do som usado nos cálculos com o modelo de propagação cTraceo.

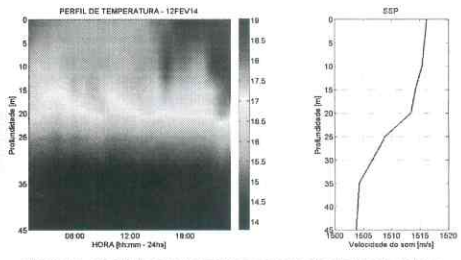


Figura 3 - Perfil de temperatura ao longo do dia (esquerda) e perfil médio de velocidade do som (direita).

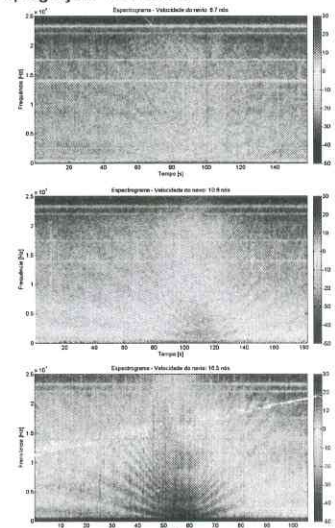


Figura 4 - Espectrogramas das gravações para determinadas velocidades do navio

O padrão de interferência construtiva e destrutiva presente na Figura 4 apresenta algumas peculiaridades relacionadas às características do experimento. Notam-se 2 efeitos que podem estar relacionados ao movimento dos sensores e da superfície do mar. Com relação ao movimento da fonte (navio) pode-se observar que os padrões de interferência possuem um formato de uma hipérbole, cuja angulação é regida pelo efeito Doppler, causado pela velocidade de deslocamento do navio. Já com relação ao movimento da superfície, observam-se algumas flutuações nos padrões de interferência (Figura 5).

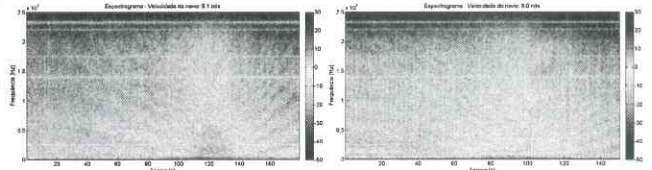


Figura 5 - Espectrogramas - Navio com velocidade de 8 nós com (esquerda) e sem (direita) flutuações intensas no padrão de interferência.

Com o objetivo de se entender melhor as características dos padrões de interferência notadas nos dados coletados, foram feitas algumas simulações alterando a velocidade do navio e a rugosidade da superfície. Estes parâmetros foram usados como dados de entrada em um modelo de propagação. A Figura 4 apresenta uma dessas simulações, onde uma superfície rugosa foi gerada, e, na qual, podem ser observados efeitos semelhantes aos encontrados nos dados coletados.

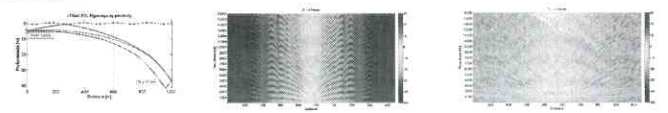


Figura 6 - (esquerda) Eingenrays com superfície rugosa, (centro) Transmission Loss com superfície rugosa e (direita) Transmission Loss com superfície lisa.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As ondas de superfície podem provocar flutuações no padrão de interferência acústica em águas rasas, sendo esses efeitos mais predominantes em altas frequências. A velocidade da fonte (navio) além de reger a angulação dos ramos das hipérbolas de interferência construtiva e destrutiva pode interferir nas flutuações causadas pelas ondas de superfície. A velocidade do navio pode, em algumas situações, diminuir as flutuações provocadas pela superfície.

Em futuros trabalhos pretende-se desenvolver um programa que simule flutuações causadas por diversos tipos de ondas de superfície e que possa, a partir de fontes de oportunidade, inferir o estado do mar de maneira inversa.

REFERÊNCIAS

[1] Brekhovskikh, L. M. and Lysanov, Y. P., Fundamentals of Ocean Acoustics. Springer, 2003. [2] Siderius, M. and Porter, M. B., Modeling broadband ocean acoustic transmissions with time-varying sea surfaces. Journal Acoustical Society of America, 124(1), p. 137-150 2008. [3] Urlick, R. J., Sound Propagation in the Sea. Peninsula Publishing, 1982. [4] Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. and Schmidt, H., Computational Ocean Acoustics. Springer, 2011. [5] Ey, E. and Rodriguez, O. C., CTraceo - User Manual. SIPLab Internal Report. Universidade do Algeve, 2012.