



Análise dos Pontos Difratores em um Reservatório Modelo Saturado com Óleo.

Adalto O. da Silva e Roseane M. Misságia (LENEP/UENF)

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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.

Resumo

In this paper we propose a workflow to evaluate the seismic resolution through the modelling of the points diffractors. The chosen wavelet was the one of the type Ricker with dominant frequency of 20Hz, 40Hz and 80Hz. Through the numeric modelling, we analyzed the obtained results considering a reservoir saturated with oil and we tested the efficiency of a program computational developed for this end. In these results we showed the geometry of acquisition of seismic data, VSP and Surface, your respective points diffractors, the hyperbolic answer of the point diffractors and your spectrum (frequency - wavenumber).

Introdução

Este artigo propõe um fluxo de trabalho para avaliar a resolução sísmica por meio da modelagem dos pontos difratores. O fenômeno da difração pode ser definido pelo princípio de Huygen's. Considerando que cada ponto refletor é uma fonte secundária, refletindo a energia proveniente de uma fonte na superfície e gerando uma nova onda para um receptor na superfície ou em um poço. O cálculo da curva do tempo de trânsito de um ponto difrator é feito utilizando a equação (1):

$$t_x^2 = t_0^2 + \frac{4(x - x_0)^2}{v^2} \quad (1)$$

Onde (x_0, z) é a coordenada do ponto difrator,

$t_0 = \frac{2z}{v}$, e a velocidade v é a velocidade constante. A

curva de reflexão definida é usualmente referida como uma difração, com um formato que depende da profundidade do refletor e da velocidade v . A equação é exata para velocidades constantes e é uma aproximação para meios com camadas limitadas por interfaces planas e paralelas quando se usa a velocidade RMS no lugar de v . Ao considerar-se o modelo de difração, tem-se que, quando todos os traços geológicos são convertidos para

difrações, o ruído inerente das mesmas se cancela e o modelo sísmico desejado é então construído. A técnica do modelo de difração é usada para supor que todos os dados sísmicos são formados de difrações. As geometrias de aquisição de dados sísmicos consideradas neste trabalho foram o levantamento sísmico VSP (Vertical Seismic Profile) que é uma técnica que utiliza fontes na superfície e receptores (hidrofonos) posicionados em diferentes profundidades dentro do poço, registrando duas frentes de onda: uma descendente ("downgoing wave") e outra ascendente ("upgoing wave"), esta resultante da reflexão da primeira nas interfaces rochosas abaixo da posição dos receptores (Hardage 2000). A Sísmica de Reflexão de Superfície é uma técnica em que um pulso sísmico, gerado próximo da superfície, é gravado por receptores dispostos ao longo da superfície sobre as camadas que se deseja imagear (Ylmaz, 2001). A velocidade da onda é afetada pelo tipo de saturação da rocha. Para cada tipo de saturação há uma velocidade específica conforme podemos ver no modelo apresentado (tabela 1), fluidos diferentes têm densidade e compressibilidade diferentes. As medidas das várias propriedades da onda sonora podem produzir informações úteis a respeito da camada atravessada pela onda. As propriedades mensuráveis de um sinal acústico incluem velocidade, que expressa a rapidez com a qual a onda passa pelo meio geológico; frequência, que é uma expressão da taxa de oscilação da onda; amplitude, que significa o quanto forte é o sinal; e atenuação, uma expressão da perda de energia do sinal com a passagem deste através de uma dada substância. (Brock, 1986). Estas duas propriedades determinam o comportamento da variação de velocidades em função do tipo de fluido. Os valores de velocidade da onda P e densidade das camadas de um reservatório saturado com óleo são especificados na tabela 1. Utilizamos a migração $f - k$ para migrar os pontos espalhadores e a e seu espectro (f, k_x) . Neste trabalho consideramos o seguinte fluxo: gerar um arquivo com dados referentes as velocidades das ondas P (compressionais), densidades das camadas do modelo, plotar a geometria de aquisição, migrar os pontos difratores e seu espectro $f - k$ (frequência - número de onda). Utilizando para tal migração a wavelet do tipo ricker em três frequências dominantes 20, 40 e 80Hz..

Metodologia/ Problema Investigado

A Figura 1 ilustra o reservatório modelo representado por uma seqüência composta por três camadas limitadas por interfaces planas e paralelas com impedâncias distintas.

Os valores de velocidade de propagação da onda P e densidade são especificados de acordo com a Tabela 1. A região R2 representa o reservatório e será analisada para a situação do reservatório saturado com óleo e espessura de 200m entre as profundidades 900m e 1100m. A figura 2 ilustra o espectro da wavelet ricker nas três frequências e a figura 3 o espectro da amplitude em uma escala decibel. O algoritmo de migração f-k com velocidade constante é estruturado das seguintes etapas:

- 1) A seção de entrada no tempo;
- 2) A Transformata de Fourier da seção de entrada;
- 3) A seção Transformada de Fourier migrada;
- 4) A seção migrada em profundidade após a Transformata Inversa de Fourier.

Saturação	Regiões	v_p (m/s)	ρ (kg/m ³)
	R1	2650	2270
Óleo	R2	2036	1990
	R3	3200	2530

Tabela 1 – Velocidade das ondas P e S, e densidades das regiões da Figura 1 (extraído de Matsumura, 2006).

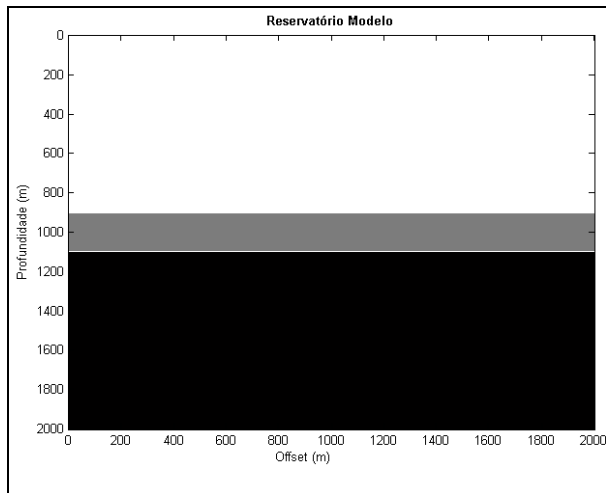


Figura 1: Modelo de Reservatório.

As Figuras 5 e 6 ilustram a geometria de aquisição do dado sísmico, VSP e Superfície, considerando as ondas P. A fonte se encontra a 50 metros de profundidade. No VSP com 300 metros de *offset*, 11 receptores espaçados de 50 metros. A profundidade inicial dos receptores é de 300 metros e a final de 800 metros. No Levantamento Sísmico de Superfície, 11 receptores espaçados de 50 metros o primeiro receptor está a 350 metros de *offset*, espaçamento e profundidade de 50 metros. A frequência

dominante PP 40 Hz. A *wavelet* Ricker (Fig.2) é analiticamente dada por (Margrave, 2003):

$$w(t)_{ric\ ker} = [1 - 2\pi^2 f_{dom}^2 t^2] e^{-\pi^2 f_{dom}^2 t^2}, \quad (3)$$

onde:

f_{dom} → frequência dominante;

t → tempo amostral

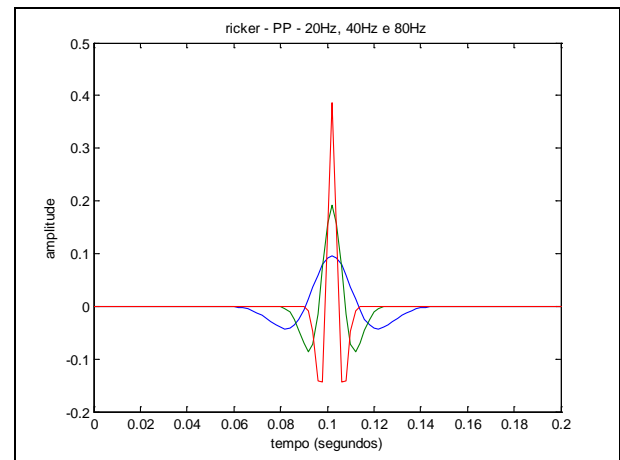


Figura 2: Wavelet Ricker da onda PP

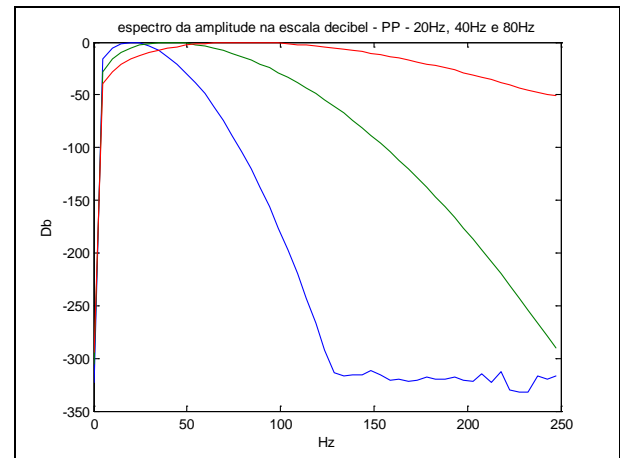


Figura 3: Espectro da amplitude em uma escala Decibel.

A Transformata de Fourier simplifica o processo de migração. Aplica-se a Transformata de Fourier em uma seção de entrada, Obtendo $P(k_x, w)$, onde o número p de onda k_x é a transformata de Fourier da componente x , e a frequência radial w , a transformata de Fourier da

componente t . A Transformata de Fourier da wavelet Ricker (Sheriff and Geldart, 1995):

$$W(f) = \frac{2f^2}{\sqrt{\pi} f_{dom}^2} e^{-f^2 / f_{dom}^2} \quad (4)$$

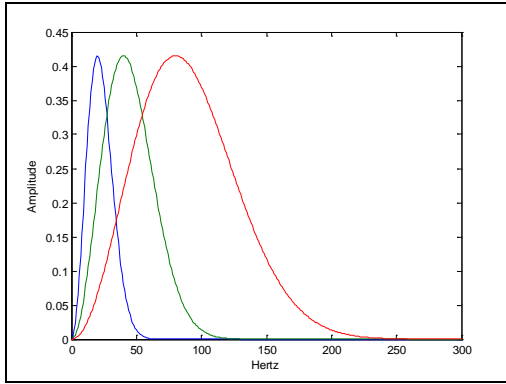


Fig.4 - Espectro da Transformata de Fourier da wavelet Ricker com frequência dominante 20, 40Hz e 80Hz.

As equações da onda nos domínios do tempo-espço e número de onda-freqüência são dadas a seguir:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (5)$$

$$K_x^2 + K_z^2 = \frac{w^2}{v^2} \quad (6)$$

De (5) e (6) :

$$K_z = \sqrt{\frac{w^2}{v^2} - K_x^2} \quad (7)$$

Resultados

A modelagem da trajetória do raio das ondas sísmicas PP em ambas aquisições demonstram o desvio da trajetória do raio devido ao contraste da impedância entre as camadas. Pela lei de Snell o raio ao interceptar uma camada com diferentes propriedades acústicas tem sua trajetória alterada. Se a camada interceptada tem impedância maior o raio é transmitido aproximando-se da normal. Caso contrário o raio é transmitido afastando-se da normal. Observa-se ainda nas Figuras 5 e 6 que o tempo de chegada no levantamento sísmico de superfície

é maior do que o do VSP devido a dupla trajetória do raio pela subsuperfície. A figura 7 ilustram os pontos espalhadores das geometrias de aquisição. Nas figuras 9 e 10 os mesmos pontos com um zoom na imagem, verifica-se os 8 pontos difratores que refletem a onda para os oitos receptores no poço. De forma análoga na figura 8 com os 19 pontos difratores refletindo a onda para os 19 receptores na superfície. A superposição das hipéboles de difração são mostradas nas figuras 11 e 12 nas aquisições em estudo e na figura 15 em todo o reservatório. A superposição dos pontos difratores na figura 16 demarca o topo e a base do reservatório. A diferença dos espectros do número de onda do VSP e Superfície são nítidos nas figuras 13 e 14. A figura 17 ilustra um ponto difrator nas três freqüências consideradas e a figura 18 seus respectivos espectros do número de onda.

Discussão e Conclusões

Levando-se em consideração que o objetivo principal era testar a eficiência do programa e visualizar os pontos difratores. O programa mostrou-se capaz de gerar os pontos difratores do modelo assim como a superposição da hipérbole de difração. A superposição dos pontos gerados demarcou o topo e a base do reservatório, (topo = 900 metros e a base = 1100 metros). O espectro da frequência-número de onda permitiu concluir que a frequência dominante de 40Hz apresenta a melhor resolução com a definição do ponto difrator. Considera-se satisfatório os resultados obtidos com o modelo analisado. O programa mostrou também ser eficaz em gerar a geometria de aquisição do levantamento sísmico VSP e o de Superfície.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo (LENEP/UENF) pela infraestrutura disponibilizada.

Referências

- Brock, J. G. (1986). Applied open-hole log analysis. V.2. Texas: Gulf Publishing Company.
- Hardage, B. A., 2000. Vertical Seismic Profiling: Principles. Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration. Third Update and Revised Edition, USA.
- MARGRAVE, G.F. Numerical Methods of Exploration Seismology. Department of Geology and Geophysics the University of Calgary.2003.
- Matsumura, C. N.. Modelagem Acústica, Elástica e Viscoelástica: Aplicações na Geofísica de Reservatórios. Tese de Doutorado. LENEP / UENF. Brasil,2006.
- Sheriff, R. E., Geldart, L. P. Exploation Seismology. Cambridge Universiaty Press, United Kingdom, 1995.
- Ylmaz, O. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data 2. ed. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, 2001. 2v.

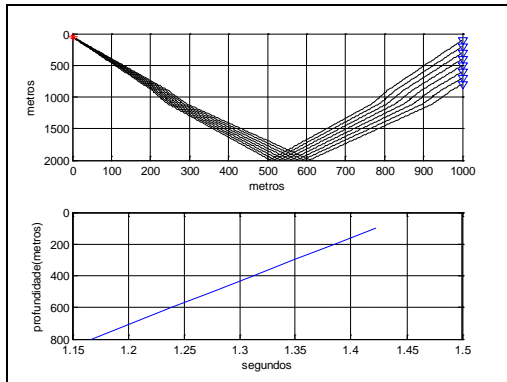


Figura 5: Geometria de Aquisição e tempo de chegada das ondas PP (VSP) reservatório saturado por óleo.

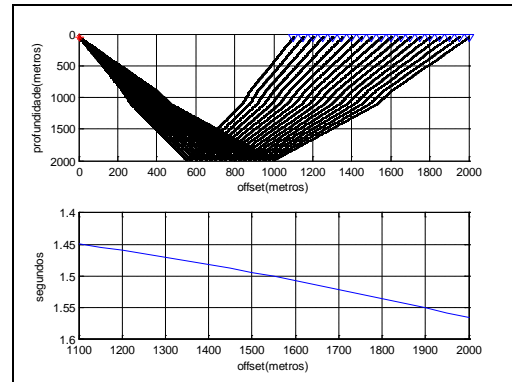


Figura 6: Geometria de Aquisição e tempo de chegada das ondas PP (Superfície) reservatório saturado por óleo.

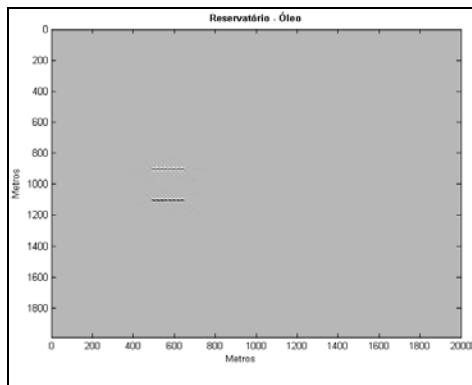


Figura 7: pontos difratores(migraçãoof-k.

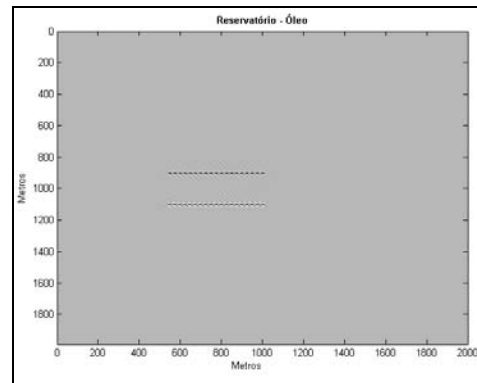


Figura 8: pontos difratores(migraçãoof-k.

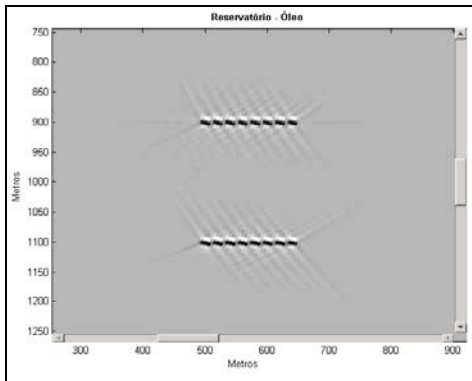


Figura 9: zoom dos pontos difratores.

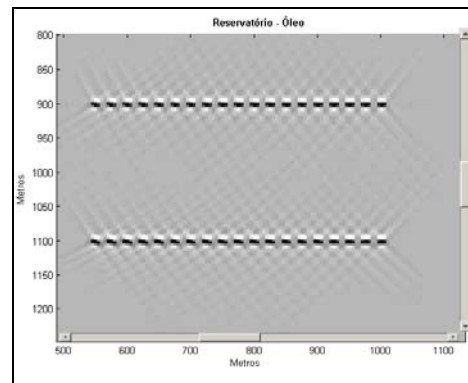


Figura 10: zoom dos pontos difratores.

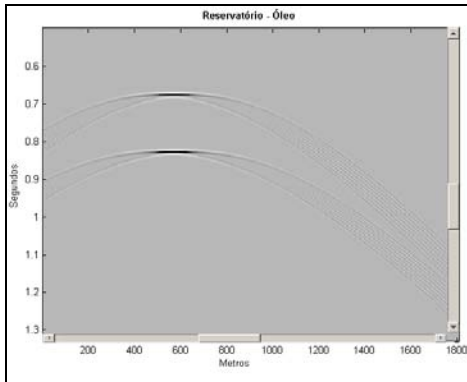


Figura 11: hipérbole de difração.

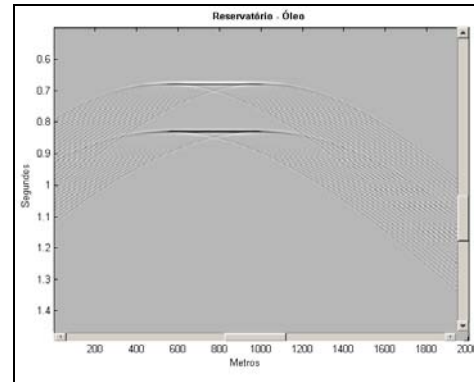


Figura 12: hipérbole de difração.

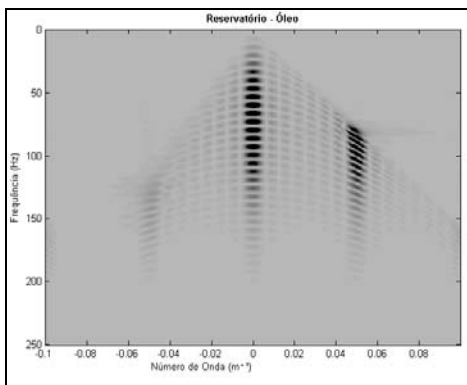


Figura 13: espectro f-k.

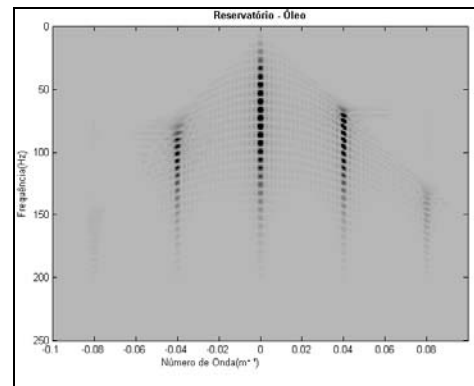


Figura 14: espectro f-k.

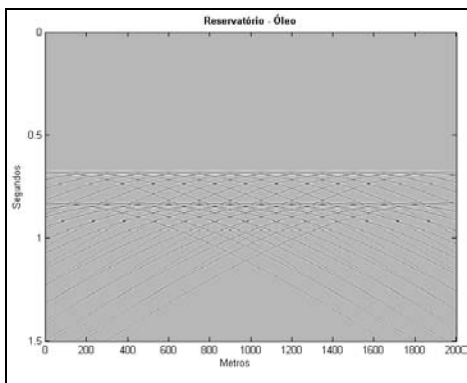


Figura 15: pontos difratores superpostos.

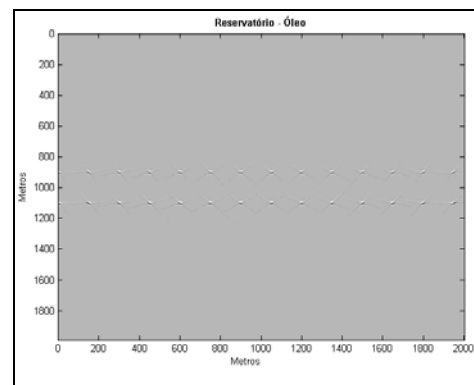
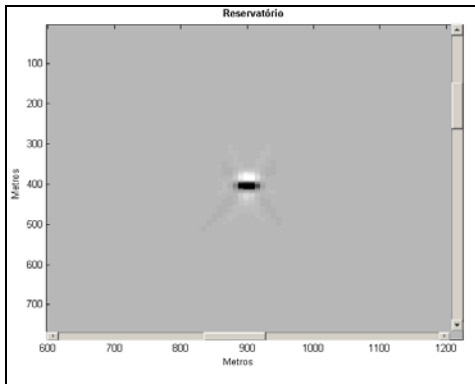
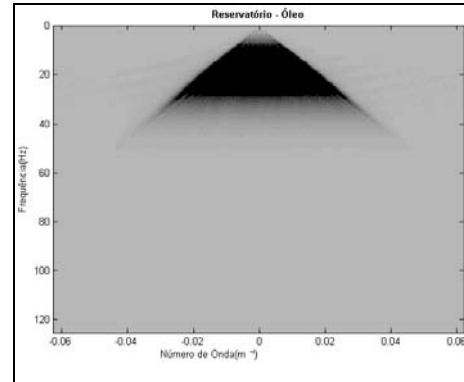


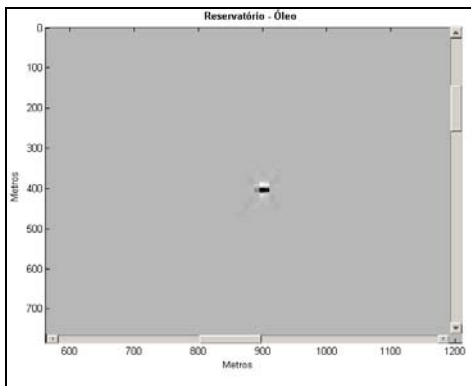
Figura 16: pontos difratores superpostos.



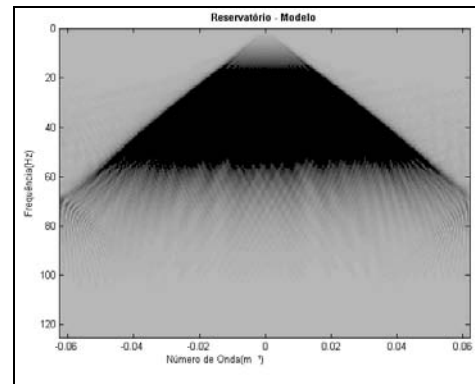
a)



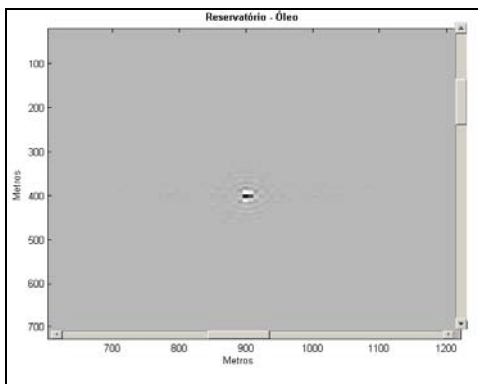
a)



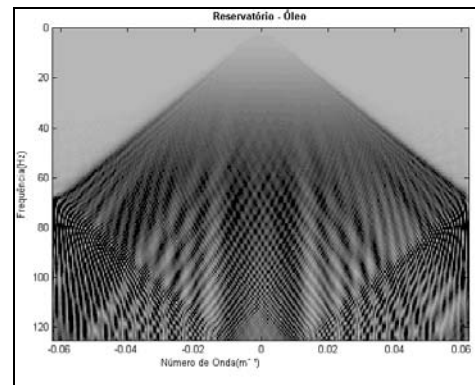
b)



b)



c)



c)

Figura 17: zoom de um ponto difrator de Frequência: a) 20Hz b) 40Hz c) 80Hz.

Figura 18: espectro f-k de frequências: a) 20Hz b) 40Hz c) 80Hz.