

Modelamento do Coeficiente de Efeito do Ângulo de Incidência para Transdutores Focalizados usando Curvas Cáusticas e Modelagem Computacional

Valquíria Macedo¹, Brígida Rocha¹, Stefan Luthi² e Valcir Farias³

¹Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Pará, Brazil.

²Department of Applied Earth Sciences, Delft University of Technology, The Netherlands

³Departamento de Matemática, Universidade Federal do Pará, Brazil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

A simple geometric model and a full 3-D solution of the wave field for a focussed transducer confirm that the major effect for the decrease of the reflected amplitude in cases of non-orthogonal incidence is the partial return of the signal to the transmitter/receiver. At a critical angle, the signal gets completely lost. In order to correct for this signal loss, we first calculate the complete surface of the borehole using the transit time and the mud velocity. A local surface is fitted around every point of reflection, and the angle of incidence is obtained. An average correction curve is then used to compensate for the signal loss, except for cases where the angle of incidence is above the critical value. This correction is tested on various synthetic examples and shows excellent results.

Introdução

Uma importante informação para a correção da amplitude, em imagens ultra-sônicas, é o cálculo do ângulo de incidência (Luthi, 2001). Em função da forma do poço, delineada pelo tempo de trânsito, foram calculadas as normais em exemplos sintéticos, usando recursos do aplicativo Matlab (Marchand, 1999; Part-Enaender, 1999), a partir dos quais os ângulos de incidência em cada ponto da superfície do poço foram calculados.

O processo de correção das imagens ultra-sônicas em poços através do ângulo de incidência usa uma técnica ponto-a-ponto, visto que após o processamento a amplitude corrigida depende principalmente de seu valor original e do valor do ângulo de incidência (Macedo et al., 2003). Entretanto, o cálculo do ângulo de incidência depende dos valores de tempo de trânsito que circundam o elemento analisado.

A correção das amplitudes refletidas, pelo efeito da variação da distância do transdutor, até o alvo, também pode ser usada se a superfície média corresponder a uma distribuição de tempos de trânsito que caracterize incidência praticamente normal, ou seja, não ocorra variações significantes de ângulo de incidência na região analisada. Neste caso, a técnica utilizada também é ponto-a-ponto porque só depende de seu valor original e da resposta do transdutor em função da distância para a parede do poço.

Modelamento do coeficiente de efeito do ângulo de incidência na amplitude refletida do sinal ultra-sônico

As técnicas de correção de imagens apresentadas neste trabalho operam no domínio espacial. As funções de processamento de imagens, no domínio espacial, podem ser expressas como:

$$g(j,k) = T[f(j,k)] \quad (1)$$

em que $f(j, k)$ é a imagem processada, e T é um operador sobre f , a imagem original, definido sobre a vizinhança de (j, k) uma vez que os ângulos de incidência são calculados a partir das normais a cada ponto do poço (Marques Filho e Vieira Neto, 1999). O aplicativo faz uma interpolação bicúbica dos dados $x(j,k)$, $y(j,k)$ e $z(j,k)$ e para cada vértice diagonal são computados vetores que são cruzados para formar a normal.

O diagrama de blocos representativo do processo usado para a correção de imagens está mostrado, na Figura 1, onde a aplicação específica do processo serve como parâmetro para a determinação da validade do tratamento dado à imagem.

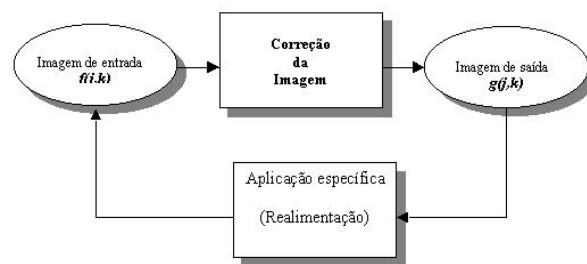


Figura 1 – Diagrama de blocos representativo do processo de correção de imagens

O princípio de funcionamento do algoritmo para o cálculo do ângulo de incidência baseia-se em relações de vizinhança entre os elementos de uma região de tamanho e formato predeterminados. O aplicativo Matlab usa, na definição dos núcleos para o cálculo das normais à superfície, vizinhanças $m \times n$. O elemento correspondente ao pixel central da máscara (ou núcleo da máscara), definido pelas coordenadas (j, k) na imagem destino, receberá um valor calculado em função de todos os elementos da imagem fonte cobertos pela máscara utilizada.

No exemplo mostrado na Figura 2, estes elementos estão variando na horizontal de $(j - 1)$ a $(j + 1)$ e na vertical de $(k - 1)$ a $(k + 1)$, resultando num total de nove elementos por máscara.

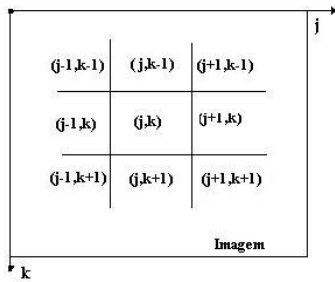


Figura 2 – Vizinhança 3 x 3 em torno de um ponto (j, k) em uma imagem.

Em função da forma do poço, delineada pelo tempo de trânsito, o aplicativo faz uma interpolação bicúbica dos dados $x(j,k)$, $y(j,k)$ e $z(j,k)$, usando uma máscara 6x6, num total de 36 elementos, a partir das quais os ângulos de incidência em cada ponto são calculados.

O processo de correção das amplitudes é realizado por meio de matrizes as quais são aplicadas sobre a imagem. A aplicação da correção com centro na posição (j, k) , sendo j o número de uma dada linha e k o número de uma dada coluna sobre a imagem, consiste na substituição do valor do pixel na posição (j, k) por um novo valor o qual depende dos valores dos fatores de correção calculados através do coeficiente de efeito do ângulo de incidência.

Matematicamente o processo de correção pode ser expresso como

$$A_c(j, k) = B(j, k)A(j, k) \quad (2)$$

onde $A(j,k)$ representa a matriz de amplitudes antes da correção, $B(j,k)$ é a matriz dos fatores de correção e $A_c(j,k)$ a matriz de amplitudes corrigidas.

Em função dos dados de amplitude $A(j,k)$ estarem expressos em dB, a imagem corrigida em dB é expressa por

$$A_c(j, k) = A(j, k) + 10 \log_{10} B(j, k) \quad (3)$$

Como os casos estudados em poços apresentam raios em torno de 12 cm, esta distância foi estabelecida como a distância média entre o transdutor e a superfície refletora. Conhecendo-se a distância focal e o ângulo geométrico, foram calculados os raios da superfície refletora e, para várias simulações, usando variações de até 10% do raio para o poço, a área iluminada mostrou-se praticamente idêntica à área do transdutor.

Na simulação da curva do coeficiente de efeito do ângulo de incidência, para o transdutor focalizado foi adicionado um ruído com amplitude de aproximadamente 10% do valor do sinal, visto que a partir do ângulo crítico a contribuição do ruído na resposta do transdutor é maior que o próprio sinal.

A curva resultante para o coeficiente de efeito do ângulo de incidência com o ruído aditivo é mostrada na figura 3. Esta curva será adotada para efetuar as correções de amplitude para os casos de poços estudados. Para ângulos de incidência absolutos superiores a 11 graus, o sinal recebido é predominantemente dominado pelo ruído

e a correção será a mesma, isto é, todos os ângulos que estiverem nesta faixa serão considerados como sendo iguais 11 graus.

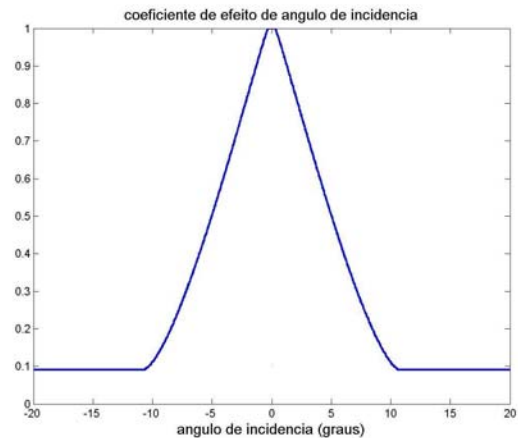


Figura 3 – Coeficiente de efeito de ângulo de incidência com adição de ruído.

Validação do método

Para validar os coeficientes de correção determinados na seção anterior, foram realizados testes com modelagem computacional. As amplitudes refletidas foram simuladas a partir das características reais de um transdutor ultrassônico usado na aquisição das imagens de poço. As superfícies foram simuladas com variações de raio e imperfeições que tornassem a incidência do feixe não ortogonal. A resposta do transdutor foi simulada usando um pacote de programas desenvolvidos por van der Heiden (2000) que foram adaptados para dados reais de diâmetro, raio de curvatura e limites de frequência inferior e superior do transdutor. Na definição do meio de propagação, também foram usados dados reais.

Considerando que as superfícies para os testes são uniformes, e, nesse caso os efeitos de espalhamentos são desprezíveis, decidiu-se negligenciar o efeito do espalhamento, levando-se também em conta o tamanho do raio do transdutor em relação ao comprimento de onda.

Embora na simulação da resposta do transdutor não tenha sido incluído o ruído, a curva adotada para as correções foi a da Figura 3. Esta opção baseou-se no fato de que nas simulações da amplitude do sinal refletido são consideradas uma faixa e não um ponto da superfície e, mesmo para um ângulo de incidência muito grande, haverá sempre uma resposta considerável, em função dos pontos vizinhos, obviamente com uma amplitude menor que para a incidência normal.

Para modelar o efeito da superfície do poço foram utilizados dois modelos, escolhidos com variação geométrica da superfície e nenhuma alteração da característica física das rochas constituintes da subsuperfície. Esta variação vai provocar alterações nos valores de amplitude do sinal refletido em função das variações dos ângulos de incidência e das variações das distâncias. A validação do modelo far-se-á pela constatação de que após as correções será obtida uma

resposta para uma superfície homogênea, sem variações de amplitude, uma vez que o material intrínseco é o mesmo.

O primeiro modelo (modelo 1) apresenta irregularidades na forma de ondulações que vão provocar variações nos valores das amplitudes refletidas mais em função do ângulo de incidência que da distância. O segundo modelo (modelo 2) aproxima-se mais de uma situação real, onde ocorre desabamento (“breakouts”) com ampliações do raio e alterações nos ângulos de incidência, fazendo com que haja variações nas amplitudes refletidas em função das duas causas.

Foram usados 180 pontos na horizontal (azimutal nas coordenadas do poço) para obedecer a varredura de dois graus da ferramenta em cada profundidade. A opção de realizar 12 varreduras na vertical foi feita para poupar o tempo computacional nos cálculos da resposta do transdutor.

A Figura 4 mostra a forma da superfície usada para gerar os dados de amplitude para o modelo 1

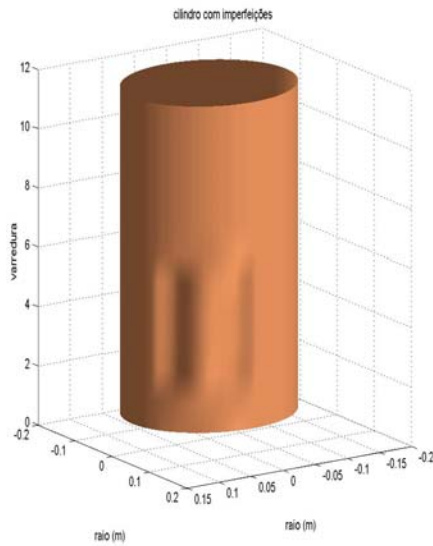
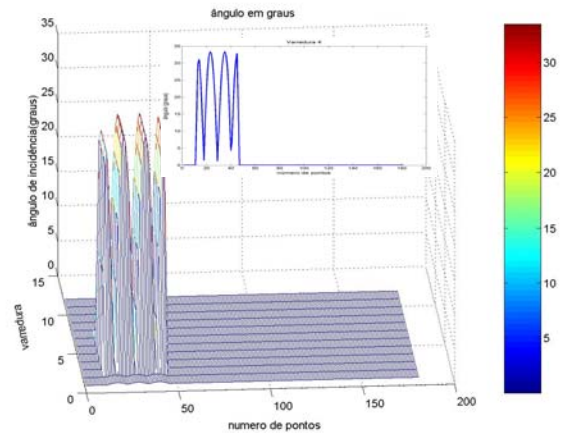


Figura 4 – Modelo 1 - Superfície usada para os testes.

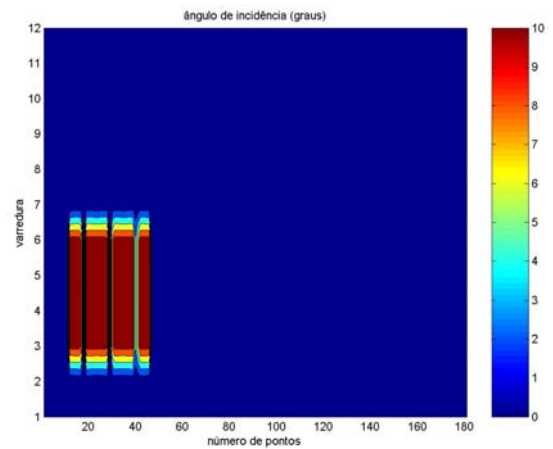
A Figura 5 mostra os ângulos de incidência calculados a partir da forma da superfície.

Percebe-se, no detalhe mostrado na Figura 5.(a) que na parte mais distante do centro do poço a incidência é praticamente normal, isto é, o ângulo de incidência é próximo de zero, e mesmo com a correção o valor final da amplitude será menor que nos outros pontos. Nas regiões que apresentam irregularidades, a incidência não será normal e está bem caracterizada pelos valores encontrados para os ângulos de incidência mostrados na Figura 5.5 (a).

A Figura 6 mostra a resposta do transdutor, destacando bem as diferenças nos valores da amplitude refletida para variações de ângulo de incidência e de distância até o alvo.



(a)



(b)

Figura 5 – Modelo 1 - Ângulos de incidência: (a) vista em perspectiva; (b) vista superior do ângulo de incidência limitado ao máximo de 11 graus

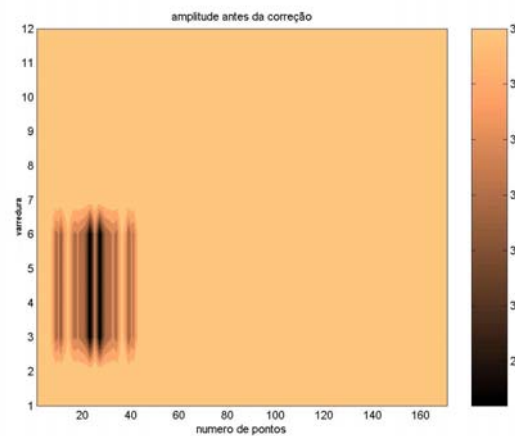


Figura 6 – Modelo 1: Amplitudes antes da correção

A Figura 7 apresenta os resultados da amplitude corrigida pelo efeito do ângulo de incidência. A linha mais escura do lado esquerdo mostra que não houve correção total

deste trecho, caracterizando um valor menor para a amplitude refletida e ângulo de incidência próximo de zero. Por outro lado, todas as amplitudes que sofreram maior influência do ângulo de incidência foram corrigidas para o valor que deveriam apresentar se o ângulo de incidência fosse igual a zero.

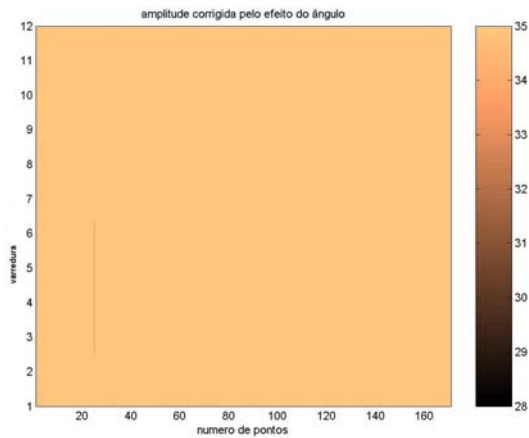


Figura 7 – Modelo 1: Amplitudes corrigidas usando fator de correção devido ao ângulo de incidência.

A Figura 8 mostra a forma da superfície usada para gerar os dados de amplitude para o modelo 2 .

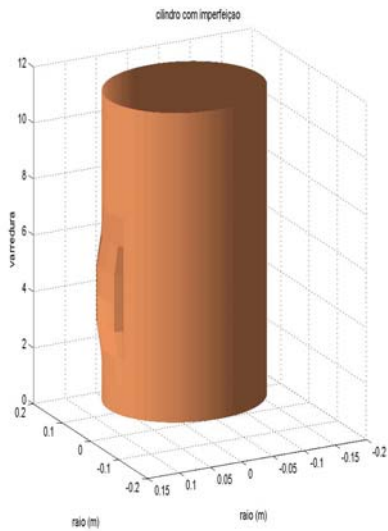
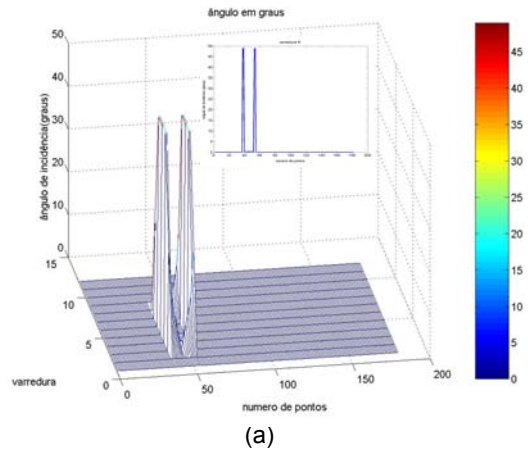
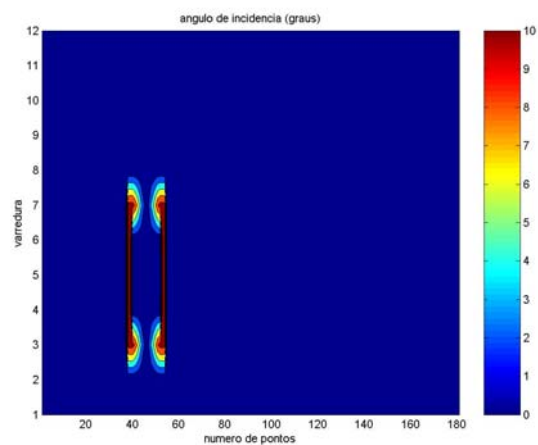


Figura 8 – Modelo 2 - Superfície usada para os testes

A Figura 9 mostra os ângulos de incidência calculados a partir da forma do modelo 2. Para este modelo as variações do ângulo de incidência estão bastante concentradas em uma determinada região, praticamente definindo duas bordas. Nas regiões que apresentam irregularidades, a incidência não será normal e está bem caracterizada pelos valores encontrados para os ângulos de incidência mostrados na Figura 9(a).



(a)



(b)

Figura 9 – Modelo 2 - Ângulos de incidência: (a) vista em perspectiva, (b) vista superior do ângulo de incidência ajustado para o máximo de 11 graus.

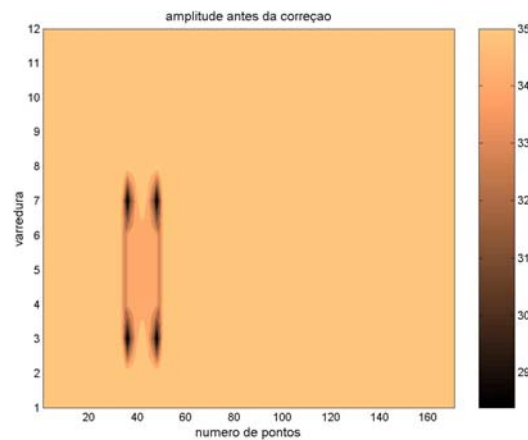


Figura 10 – Modelo 2 : Amplitudes antes da correção

A Figura 11 apresenta os resultados da amplitude corrigida pelo efeito do ângulo de incidência. A faixa mais

escura, na Figura 11, mostra que não houve correção deste trecho, quando comparada com a Figura 10, caracterizando incidência normal e valores mais baixos de amplitude em função da distância do transdutor até o alvo ser maior. Por outro lado, todas as amplitudes que sofreram influência do ângulo de incidência foram corrigidas para o valor que deveriam apresentar se a superfície fosse totalmente regular.

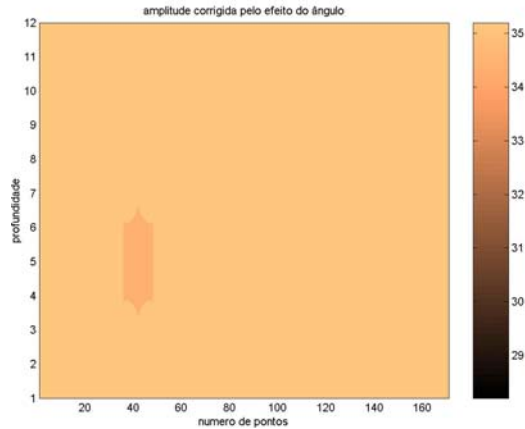


Figura 11 – Modelo 2: Amplitudes corrigidas pelo efeito do ângulo de incidência.

Modelamento do efeito da variação da distância do transdutor até o alvo na amplitude refletida

Com os resultados obtidos para a correção das amplitudes, pelo efeito do ângulo de incidência, mostrados nas Figura 7 e 11, fica clara a necessidade de uma correção pelo efeito da variação da distância do transdutor até o alvo, ou seja, a atenuação devido ao tempo transcorrido no fluido.

Para a determinação da curva do coeficiente de efeito da variação da distância, foi utilizada a equação de campo de um transdutor focalizado (Macedo, 2002) e na região após o foco, a curva foi linearizada, em função da distância. Estes dados foram armazenados em um vetor para serem usados como coeficientes de correção e, também, neste caso, a correção é feita ponto-a-ponto. A Figura 12 mostra os coeficientes de correção que serão usados para corrigir a amplitude do sinal refletido com a variação da distância.

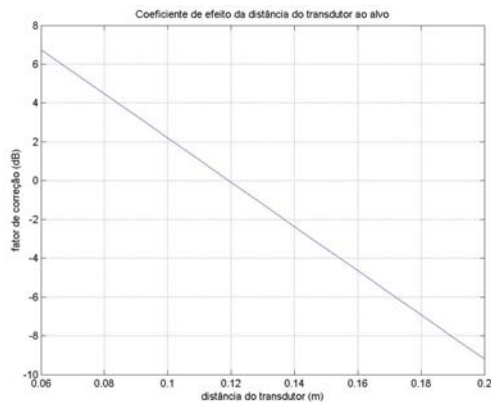
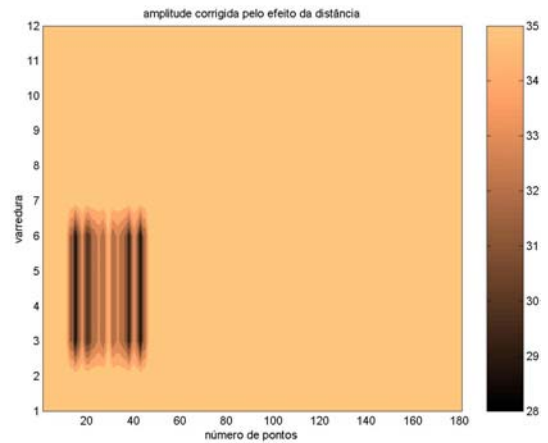
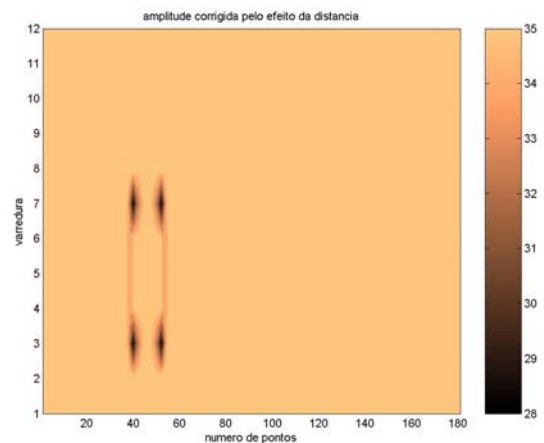


Figura 12 – Coeficiente de efeito da variação da distância.

A Figura 13 apresenta os resultados da amplitude corrigida pelo efeito da variação da distância do transdutor para os modelos 1 e 2.



(a)

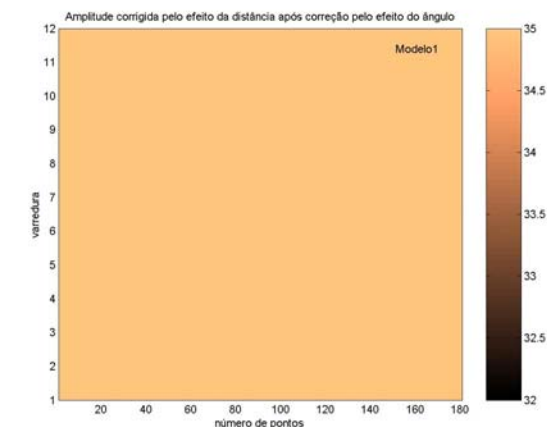


(b)

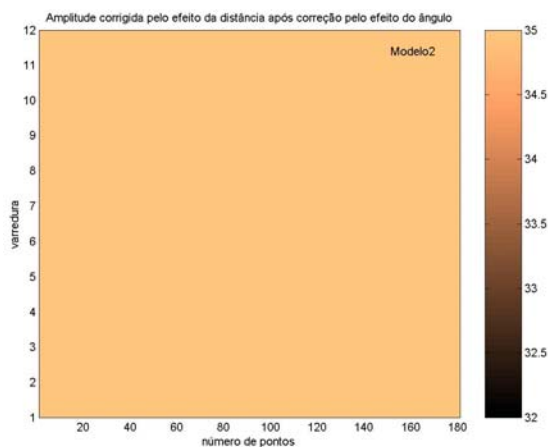
Figura 13– Amplitudes corrigidas pelo efeito da variação da distância:(a) Modelo 1; (b) Modelo 2.

Observa-se na Figura 13 que nos dois casos só foram corrigidos os valores de amplitude para ângulos de incidência pequenos. As faixas mais escuras que aparecem, mostram que não houve correção destes trechos, caracterizando incidência oblíqua e valores mais baixos de amplitude em função dos ângulos de incidência.

A Figura 14 apresenta os resultados da amplitude corrigida pelo efeito da variação da distância do transdutor até o alvo, após ter sido corrigida pelo efeito do ângulo de incidência para os modelos 1 e 2. Observa-se que as deficiências das correções anteriores são completamente eliminadas com esta abordagem.



(a)



(b)

Figura 14– Amplitudes corrigidas pelo efeito da variação da distância após terem sido corrigidas pelo efeito do ângulo de incidência: (a) Modelo 1; (b) Modelo 2.

Conclusão

Os resultados apresentados validam os fatores de correção propostos, enfatizando a sua adequação para correções de amplitudes refletidas diminuídas devido a variações de distância do transdutor até o alvo e a incidência oblíqua do feixe.

Após as correções, foi obtida uma resposta satisfatória para uma superfície homogênea, sem variações de amplitude, uma vez que o material intrínseco é o mesmo.

Referências

Luthi SM (2001), “Geological Well Logs and their Use in Reservoir Modeling”, Springer Verlag.

Macedo VG (2002) – “Correção de Imagens Ultrassônicas em superfícies Irregulares para Extração de Sinais Geológicos” - Tese de Doutorado, UFPa

Macedo VG, Rocha, B, Luthi SM, Heller K (2003), Modelamento do Coeficiente de Efeito do Angulo de Incidência para Transdutores Não-focalizados usando Curvas Cáusticas e Dados Experimentais. Procedimentos Congresso SBGf (este volume).

Marchand P (1999), “Graphics and GUIs with MATLAB”, 2nd ed., CRC Press LLC.

Marques Filho O, Vieira Neto H (1999), “Processamento Digital de imagens”, Brasport Livros e Multimídia Ltda.

Part-Enaender E, Sjoeborg A (1999), “The MATLAB 5 Handbook”, Addison Wesley.

van der Heiden MS (2000) , Programas desenvolvidos no MATLAB para uso em elastografia intravascular, TNO Institute of Applied Physics Instrumentation/ Inspection Technology Department, TUDelft, Delft, Holanda.

Agradecimentos

Agradecemos ao convênio UFPa/CNPq pelo apoio, á empresa Schlumberger pelo financiamento, e ao Maurits van der Heiden por ter fornecido programas de modelamento do campo de ondas para uso em elastografia intravascular desenvolvido na TUDelft e no centro de pesquisa TNO (Holanda).