

Filtragem de dados sísmicos terrestres utilizando a Derivada Direcional 2D

Ramon Ferrari Pinto (CPGG/IGEO/UFBA) e Milton José Porsani (CPGG/IGEO/UFBA, INCT-GP/CNPQ/MCT)

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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.

RESUMO

Por ser o processamento de dados uma etapa importante do método sísmico, e por isso englobar grande parte das pesquisas para o melhoramento de seções sísmicas, este trabalho apresenta o filtro de Derivada Direcional 2D, uma alternativa aos principais métodos de filtragem disponíveis na literatura e nos pacotes de processamento sísmico.

A filtragem tem por finalidade extrair da seção sísmica regiões que apresentam ruídos, sejam eles coerentes ou não. Neste sentido, utilizamos dados que apresentam *ground roll* e aplicamos tal filtro como forma de verificar a sua ação e empregabilidade. O *ground roll*, ou ruído de rolamento superficial, ocorre em dados sísmicos terrestres, mascarando reflexões de interesse, estando associado à componente vertical da onda Rayleigh, com as principais características: altas amplitudes e baixas frequências.

O programa, desenvolvido no CPGG/UFBA e portado na plataforma GêBR (de código aberto e utilização gratuita) foi testado e comparado com outros métodos de filtragem, e se mostrou bastante eficaz na remoção do *ground roll*.

INTRODUÇÃO

Nos sismogramas, os ruídos estão normalmente presentes, e constituem um problema para o processamento sísmico. Dentre eles, existem os chamados coerentes, que são aqueles que apresentam certa regularidade traço a traço e podem constituir um grande desafio. Destacamos aqui o *ground roll*.

As ondas superficiais do tipo *Rayleigh* constituem a origem mais aceita do *ground roll* nas seções sísmicas. Estas ondas, por serem superficiais, têm sua energia decaída por espalhamento geométrico numa menor proporção do que as ondas de corpo. Além disso, elas se propagam em baixas velocidades (100 a 1.000 m/s). Assim, aparecem no sismograma com altas amplitudes, e em tempos similares às chegadas das ondas compressoriais refletidas em subsuperfície. Assim, este ruído se localiza juntamente das reflexões primárias de interesse.

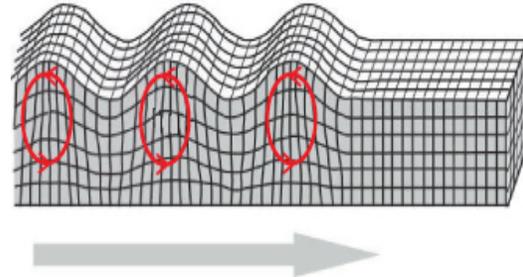


Figura 1: Onda superficial do tipo *Rayleigh*. A seta indica a direção de propagação da onda.

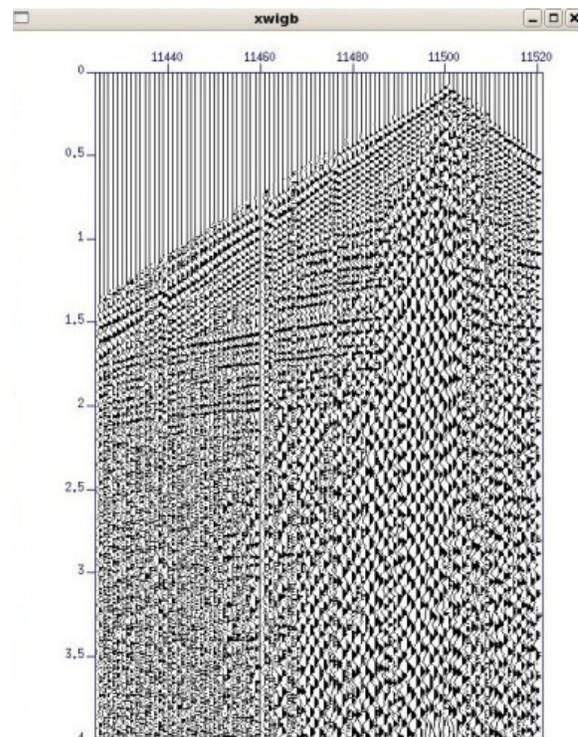


Figura 2: Sismograma contaminado com o *ground roll*.

Utilizamos para o teste da Derivada Direcional 2D um dado que constitui uma linha cedida pela ANP em 2001 ao CPGG-UFBA, a linha 204-RL-247 da Bacia do Tacucu. As etapas básicas do processamento foram realizadas utilizando os pacotes da Plataforma GêBR. O dado consiste em um dado terrestre com presença de *ground roll*. O ruído aparece sob forma de eventos lineares inclinados, com mergulho aparente para ambos os

lados e grande amplitude (Figura 2).

A técnica de Filtragem de Derivada Direcional 2D (FD-2D) foi implementada na linguagem de programação FORTRAN e um módulo foi portado na plataforma GêBR. A plataforma GêBR é uma interface que fornece um ambiente gráfico para a montagem e execução de fluxos das rotinas utilizadas no processamento sísmico. O Filtro de Derivada Direcional é um novo método de filtragem baseado na eliminação de eventos lineares, como o *ground roll*, através de um operador 2D para obtenção da derivada direcional. Este operador é aplicado diretamente sobre a matriz de dados que representa, numericamente, o sismograma. A filtragem é obtida através da convolução do operador 2D de derivada com o sismograma de dados originais. A derivada age atenuando as amplitudes coerentes na direção de aplicação do filtro.

METODOLOGIA/ PROBLEMA INVESTIGADO

A filtragem direcional busca a coerência de amplitudes existentes numa determinada direção. Devemos encontrar, primeiramente, os operadores da derivada. Estes operadores podem ter dimensões variadas, mas o mais comum, e o adotado neste trabalho, é o operador 3×3 (Figura 3). Operadores maiores significam que pontos mais afastados da posição central do operador irão influenciar nos valores da função interpolada e, conseqüentemente, da derivada. Seja $f(x, t) = f(r)$ um campo

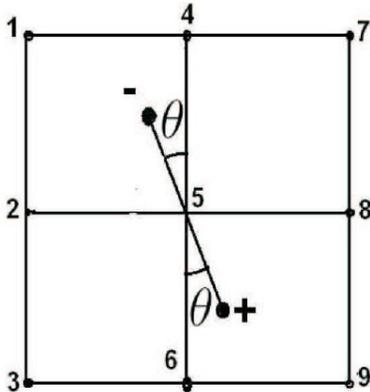


Figura 3: Representação de um operador 3×3 .

de onda, que é registrado no sismograma. Uma aproximação da derivada com relação a direção r pode ser calculada a partir da diferença de valores interpolados para uma vizinhança positiva e negativa da posição central do operador, simetricamente distribuídas ao longo da direção r . Ou seja,

$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial r} \approx \frac{f(\mathbf{r}^+) - f(\mathbf{r}^-)}{2\delta_r} \approx \frac{I^+ - I^-}{2\delta_r} \quad (1)$$

A interpolação utilizada é a proposta por Melo et al. (2009), que utiliza o Método de Shepard (1968), que

sugere uma interpolação baseada no inverso da distância, de forma que pontos mais próximos ao ponto a ser interpolado terão pesos mais significativos. Assim,

$$f(r^+) \approx \sum_{i=1}^N w_i^+ A_i = I^+ \quad (2)$$

$$f(r^-) \approx \sum_{i=1}^N w_i^- A_i = I^-$$

Oss pesos w_i utilizados são dados por:

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{d_j}} \quad (3)$$

Onde,

$$d_i = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| \quad (4)$$

- d_i é a distancia entre as posições fixas do operador ao ponto \mathbf{r}^+ ou \mathbf{r}^- .
- δ_i representa uma perturbação na variável tempo. N representa o número de amostras da interpolação (a dimensão do operador).
- A_i representa a amplitude da amostra i .
- w_i^+ e w_i^- representam os pesos da interpolação.
- $\mathbf{r}^+ = (x, t + \delta_t)$ e $\mathbf{r}^- = (x, t - \delta_t)$ representam os vetores posição.

A direção do evento a ser filtrado é estimado pelo próprio programa a partir da velocidade do evento a ser filtrado:

$$\theta = \arctan \frac{dt}{dx} v \quad (5)$$

Sendo que dt é o intervalo de amostragem e dx é a distância entre traços. Estes parâmetros, junto com a velocidade, são os parâmetros que entrarão no programa para a aplicação do filtro de derivada direcional. O passo final é:

$$\mathbf{A}_r = \mathbf{A} * \mathbf{D}_r \quad (6)$$

Sendo \mathbf{A}_r a matriz filtrada, \mathbf{A} a matriz original, e \mathbf{D}_r o filtro da Derivada Direcional 2D.

Pela própria definição, a derivada direcional calculada na direção do mergulho do evento terá valores muito pequenos, próximos a zero. Quando este operador de derivada for convolvido com a matriz de dados, o resultado é a eliminação dos eventos homogêneos e certo destaque aos demais eventos.

O Filtro de Derivada Direcional foi aplicado utilizando-se a Plataforma GêBR. A GêBR é utilizada como interface gráfica de pacotes de processamento sísmico de distribuição livre, a exemplo do Seismic Unix (SU). Por possuir código aberto, possibilita a inserção de novos módulos, que podem ser desenvolvidos por alunos ou pesquisadores. A GêBR trabalha em ambientes UNIX/SOLARIS/LINUX, e sua operação é facilitada devido a arquitetura composta por janelas, menus e botões. Essa característica facilita bastante o trabalho

do usuário, já que para executar muitas tarefas, exige apenas a utilização do mouse.

Implementado na Plataforma GêBR, o programa FD-2D (figuras 7 e 8) é utilizado fornecendo um dado de entrada (no formato *.su*) e um nome para o arquivo de saída (também no formato *.su*), além dos seguintes parâmetros:

- Número de traços por painel;
- Ordem da derivada (também é possível se fazer derivadas de ordem superior);
- Velocidade do evento;
- Distância entre geofones;
- Intervalo de amostragem;
- Posição da fonte.

RESULTADOS

As características do *ground roll* fazem com que ele possa ser tratado com aplicação da Derivada Direcional 2D, já que se trata de um evento linear, cuja velocidade pode ser estimada. Para esta linha sísmica, a velocidade ficou estimada em 400 m/s. O operador FD-2D utilizado foi o de dimensões 3×3 , sendo aplicado à matriz de dados por uma operação de convolução 2D.

Para fins comparativos, outros filtros foram aplicados: filtragem de frequência em banda - trapezoidal, e filtragem de frequência 2D (ou filtragem *f-k*). Nestas, o objetivo é a mudança do domínio tempo - frequência e espaço - número de onda, com a remoção de determinadas faixas do espectro, e obtendo-se uma seção filtrada.

Os resultados das diferentes filtrações executadas encontram-se ilustradas nas imagens 3, 4 e 5.

Procedeu-se então ao processamento de dados sísmicos na plataforma GêBR, gerando como resultado final diferentes seções empilhadas, cada qual tendo sido feita uma filtragem diferente (figuras 9 e 10). A qualidade da seção empilhada destacará qual filtragem foi a mais efetiva.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Nos sismogramas apresentados no domínio do tiro foram realizados três tipos de filtragem, utilizando: filtro de frequência (passa - banda), filtro *f-k*, e filtro de Derivada Direcional 2D.

O filtro de banda trapezoidal utilizado eliminou todo o ruído linear, porém, apagou também o sinal das reflexões que estavam mascaradas pelo ruído.

Com o uso do filtro *f-k*, houve uma pequena atenuação do *ground roll*, que não se mostrou muito efetiva.

Ainda no domínio do tiro, o filtro de Derivada Direcional mostrou os melhores resultados, vez que o programa calculou a direção do evento (a partir de sua velocidade), calculou a derivada na direção do evento (que, pela definição, será um valor próximo a zero), e aplicou o filtro no sismograma, eliminando as amplitudes coerentes na direção do filtro.

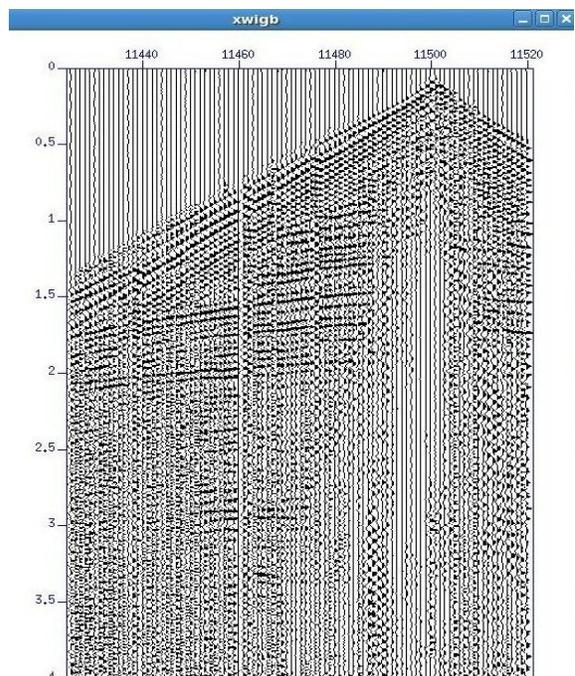


Figura 4: Aplicação de filtro de frequência *passa-banda* no mesmo tiro mostrado anteriormente.

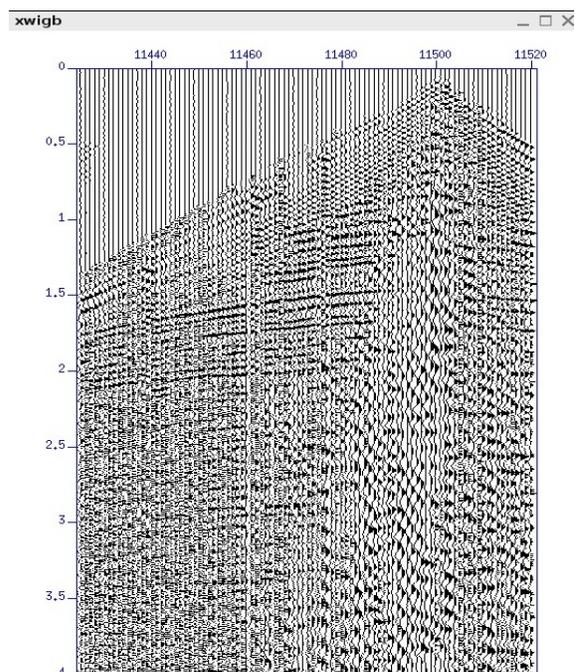


Figura 5: Aplicação do filtro *f-k* no mesmo tiro mostrado anteriormente.

Na seção empilhada do dado bruto (sem nenhum processo de filtragem), o imageamento encontra-se extremamente prejudicado pela presença do *ground roll*. As reflexões, embora evidentes, ficam mascaradas pelo

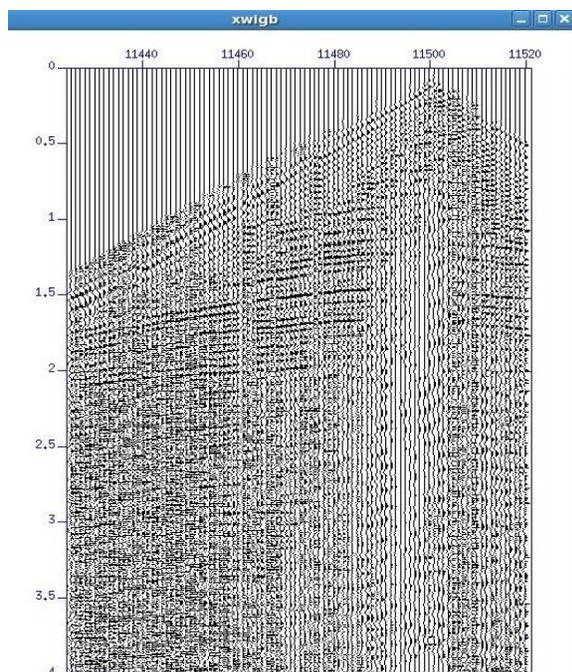


Figura 6: Aplicação do Filtro de Derivada Direcional 2D no mesmo tiro mostrado anteriormente.

efeito de eventos lineares.

Na seção empilhada em que houve aplicação prévia do FD-2D, nota-se que os eventos de reflexão ganharam maior evidência e maior continuidade lateral. As camadas encontram-se contínuas e bem definidas. Houve eliminação quase que total dos eventos lineares.

Dessa forma, comprova-se a aplicabilidade e eficiência do Filtro de Derivada Direcional 2D, vez que ele se mostrou bastante eficaz para atenuação do *ground roll* em comparação aos métodos convencionais de filtragem. O programa estará disponível nas próximas versões da Plataforma GêBR.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCT-GP/CNPq/MCT, à PETROBRAS, FAPESB e CNPq/PIBIC/UFBA e ANP pelo financiamento em forma de bolsas de estudo. Ao LAGEP e ao CPGG/UFBA pela estrutura física e computacional. Agradecemos à SBGf por oferecer a oportunidade de divulgação. Agradecemos também às empresas Landmark e Paradigm pela licenças educacionais dos softwares de processamento sísmico.

REFERÊNCIAS

- Ferreira, L. E. S., 2009, Atenuação do ground-roll utilizando a plataforma gêbr: Trabalho de Graduação.
- Melo, P. E. M., Porsani, M. J., and Silva, M. G., 2009, Ground-roll attenuation using a 2d time derivative filter: *Geophysical Prospecting*, **57**, 343–353.
- Melo, P. E. M., 2007, Novos métodos para a filtragem de dados de reflexão: Dissertação de Mestrado.
- Oliveira, V. Q., 2009, Filtragem de eventos lineares nos dados sísmicos utilizando derivada direcional bidimensional: Trabalho de Graduação.
- Shepard, D., 1968, A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data: *Proc. 23rd. nat. Conf. ACM Brandon/Systems Press Inc.*, pages 517 – 523.

Filtragem de dados sísmicos terrestres utilizando a Derivada Direcional 2D

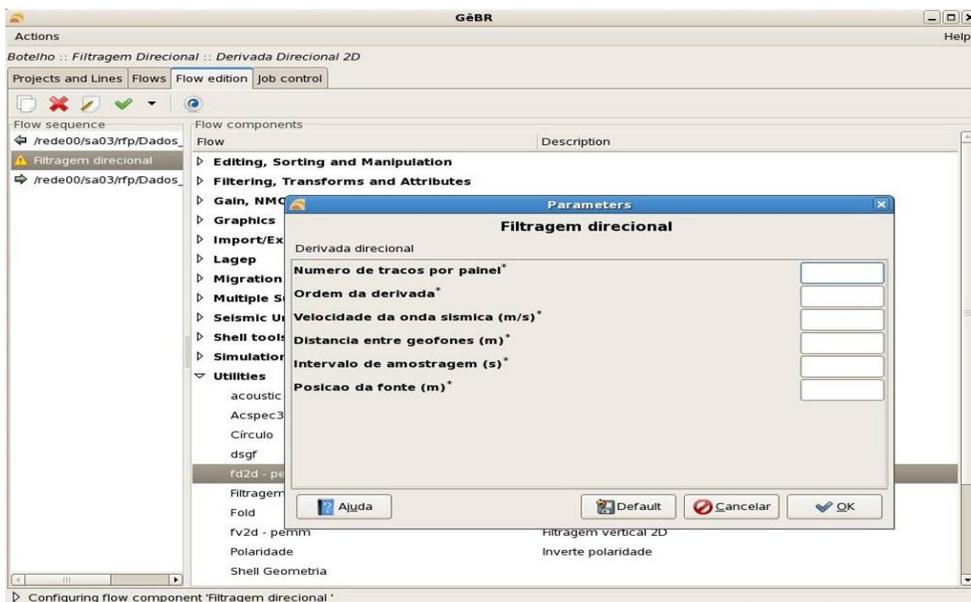


Figura 7: Painel de Filtragem Direcional 2D na Plataforma GêBR.

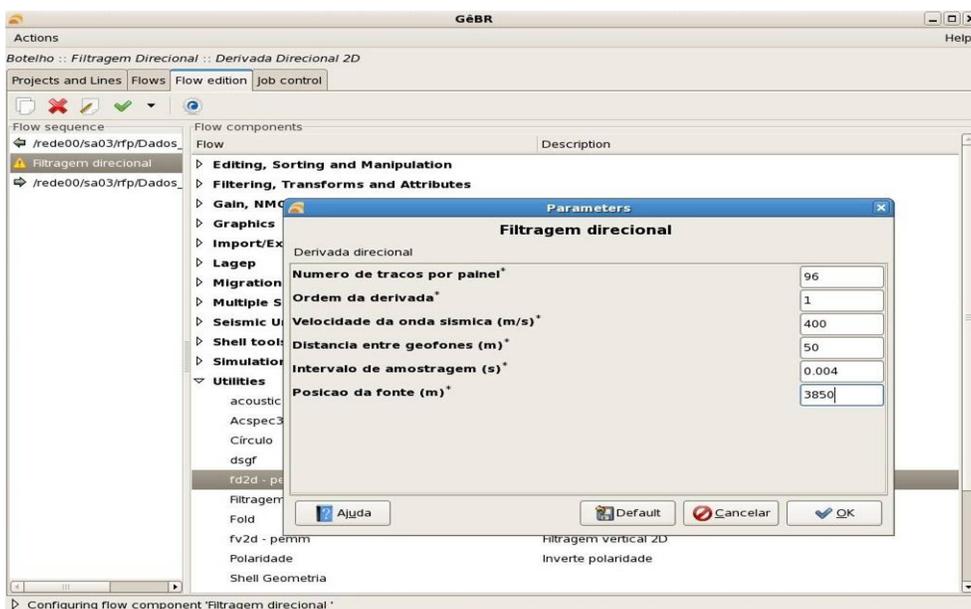


Figura 8: Painel preenchido de Filtragem Direcional 2D na Plataforma GêBR.

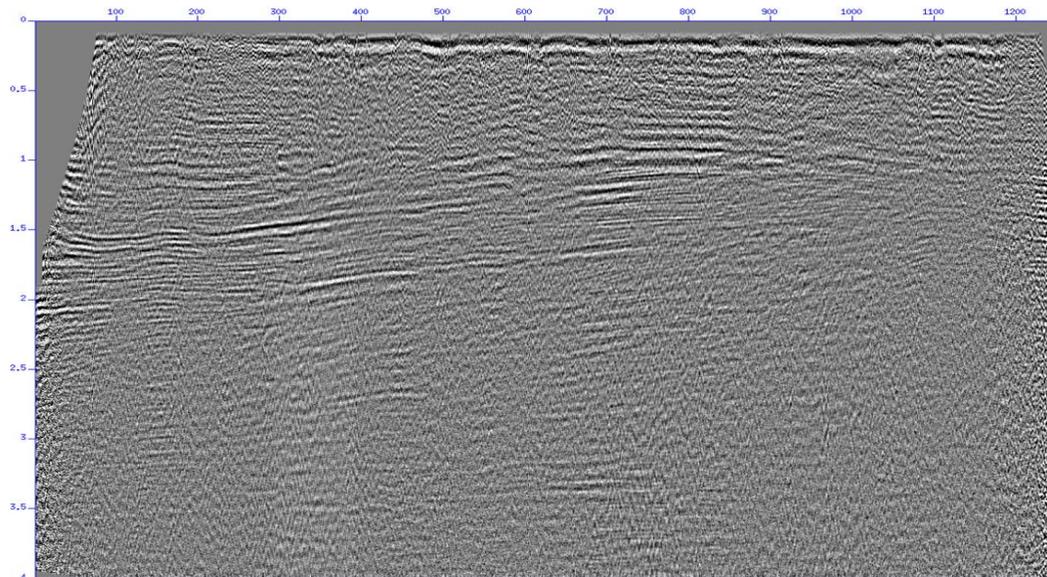


Figura 9: Seção empilhada do dado sísmico sem aplicação de filtros.

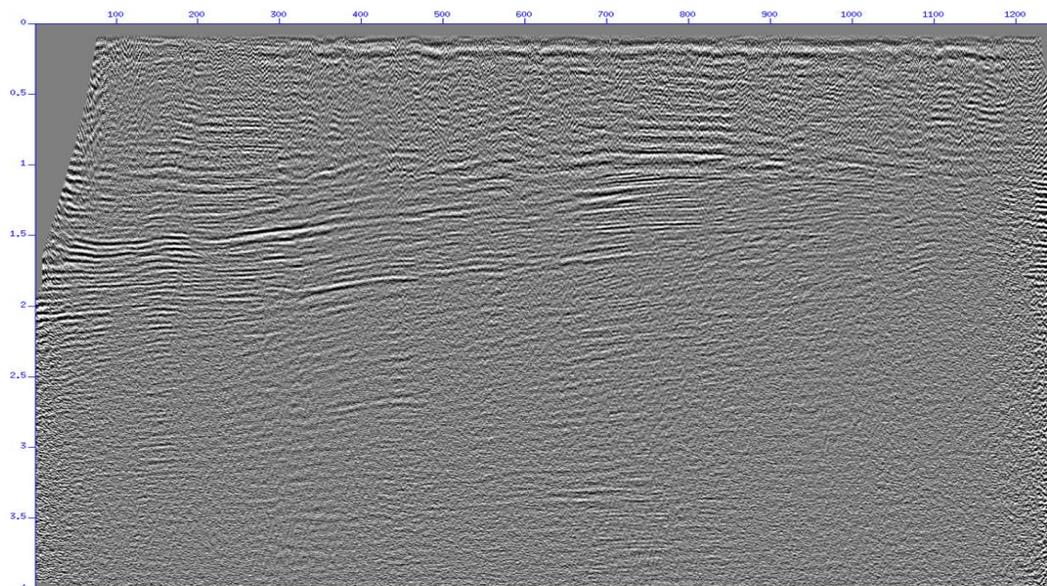


Figura 10: Seção empilhada do mesmo dado, com utilização do Filtro de Derivada Direcional 2D.