

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE TEMPO FREQUÊNCIA PARA A DETECÇÃO DE CAMADAS DELGADAS

Marcílio C. Matos^{1,2}, Paulo L. Osório², Evaldo Cesário Mundim³, Marco A. Schreiner Moraes³, ¹ Instituto Militar de Engenharia, DEE, Rio de Janeiro, ² Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro, DEE, ³ CENPES-Petrobras.

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

A new alternative method to characterize thin beds is presented here. We propose to use the ridges of the joint time-frequency analysis, as a new way to detect the instantaneous frequencies and their associated amplitudes, in each trace, and then to use them as a tool to detect thin beds. The technique was applied to a synthesized wedge model and also to a thin bed offshore turbidite reservoir in Campos Basin, Brazil.

INTRODUÇÃO

Atualmente, estima-se que parte significativa das reservas de hidrocarbonetos nacionais pode estar concentrada em camadas delgadas. Usualmente, a interpretação de camadas delgadas depende da experiência e perícia do interprete. Por este motivo, o desenvolvimento de técnicas que realcem o imageamento de reservatórios delgados é de grande importância para a indústria de petróleo.

Na interpretação sísmica, pode-se considerar os sinais sísmicos como respostas impulsivas da sub-superfície da terra, sendo interpretados como uma representação em baixa frequência da refletividade da sub-superfície. Especificamente, os sinais sísmicos são caracterizados por transições devido aos contrastes das impedâncias acústicas entre as diferentes camadas e podem ser sintetizados pela convolução da função refletividade com uma wavelet sísmica. Desta forma, a capacidade de identificação de topo e base de uma camada, ou seja, a resolução sísmica vertical é basicamente controlada pela wavelet sísmica. A resolução vertical normalmente obtida com o dado sísmico convencional resolve de forma satisfatória as porções mais espessas dos reservatórios, mas falha quando as camadas se adelgaçam em direção as bordas. A Figura 1 mostra um modelo em cunha sintético similar ao usado por Partyka et. al.(1999), (Partyka, 2001). Observa-se que a detecção de camadas delgadas somente no domínio do tempo depende de um exímio trabalho de interpretação e qualquer erro pode levar a uma conclusão falsa, ou seja, algumas partes significantes do reservatório podem possuir espessuras

que não sejam diretamente delimitadas através dos mapeamentos sísmicos.

Recentemente, têm sido usadas na detecção de camadas delgadas técnicas de análise espectral utilizando a transformada de Fourier (Partyka et al., 1999), (Partyka, 2001), (Marfurt e Kirlin, 2001), (Johann et al., 2003). Entretanto, o espectro de potência do sinal não revela como o conteúdo em frequência varia ao longo do tempo, nem tampouco a localização das transições sísmicas (Matos, 2004). Por outro lado, os algoritmos de tempo-frequência, como a transformada S podem ser usados para localizar e enfatizar as características de reservatórios com camadas delgadas.

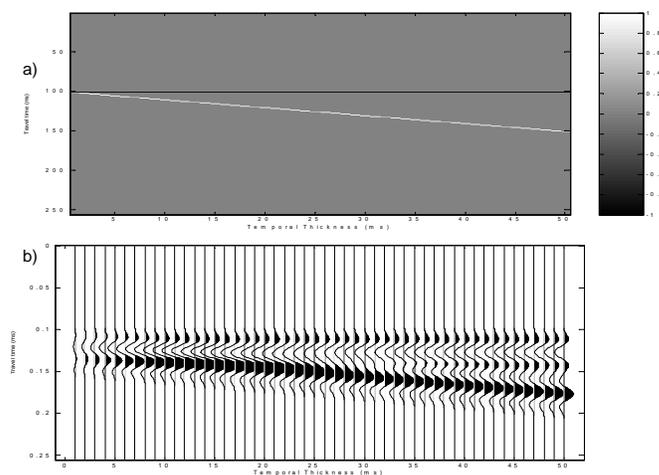


Figura 1: (a) Modelo de refletividade em cunhas; (b) Versão filtrada do modelo de refletividade, usando um filtro de Ormsby [8,10,40,50]

Transformada S

É sabido que o conteúdo da análise tempo frequência de um traço sísmico possui informações a cerca das propriedades da sub-superfície (Steeghs and Drijkoningen, 2001) e pode também ser usado para a caracterização de reservatórios (Matos et al., 2003), (Matos et al., 2004). Dentre as diferentes técnicas de análise tempo-frequência, a transformada S (Stockwell et al., 1996) possui propriedades muito boas de localização em tempo-frequência, que a qualificam como um gerador potencial de atributos sísmicos.

A transformada S de um sinal $s(t)$ é definida como a Transformada Wavelet Contínua (TWC), com uma wavelet tipo Morlet multiplicada por um fator de fase, como é mostrado na equação abaixo [7]:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \left\{ \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[\frac{-f^2(\tau-t)^2}{2} \right]} e^{-2\pi j f t} \right\} dt$$

Em alguns aspectos ela é similar à Transformada de Fourier para Intervalos Curtos (STFT) quando a janela de análise utilizada for uma curva Gaussiana com comprimento inversamente proporcional à frequência e pesos diretamente proporcional à frequência. A transformada S é também inversível e pode ser facilmente implementada na forma direta.

Transformada S Aplicada à Análise de Camadas Delgadas

As Figuras 2a2 e 2b2 mostram os valores absolutos das transformadas S de dois traços diferentes mostrados na Figura 2a1 e 2b2, respectivamente. O eixo horizontal representa o tempo ao longo do traço e o eixo vertical representa a frequência instantânea. Estas representações tempo frequência ilustram claramente a presença de pelo menos duas frequências instantâneas a cada instante de tempo, que são detectadas através dos topos das representações tempo frequência (Mallat, 1999) ilustradas nas Figuras 2a3 e 2b3, respectivamente. Este fato sugere que a frequência instantânea mais alta

pode estar relacionada com a estratigrafia, enquanto a mais baixa pode estar associada com a wavelet sísmica a cada instante de tempo.

Desta maneira, propomos o uso da frequência instantânea mais alta, detectada através dos topos da transformada tempo frequência, como um atributo instantâneo associado a sua contribuição em amplitude. A Figura 3 mostra o modelo em cunha filtrado, a amplitude das frequências máximas instantâneas e a frequência máxima instantânea, todas obtidas através dos topos da transformada S. Pode-se visualizar facilmente a localização em tempo frequência da camada fina no intervalo entre 15ms e 30ms, aproximadamente, de espessura em tempo.

Os resultados mostrados na Figura 3 também sugerem o uso das frequências instantâneas máximas e suas amplitudes associadas com um atributo sísmico de intervalo de tempo. Estes atributos são mostrados na Figura 4 como uma função da espessura do modelo em cunha, e na realidade eles ilustram a sua utilidade com uma ferramenta de caracterização de camadas delgadas. A Figura 4 também confirma a existência de um conteúdo de frequências altas presente em camadas delgadas e o seu comportamento típico em tempo-frequência.

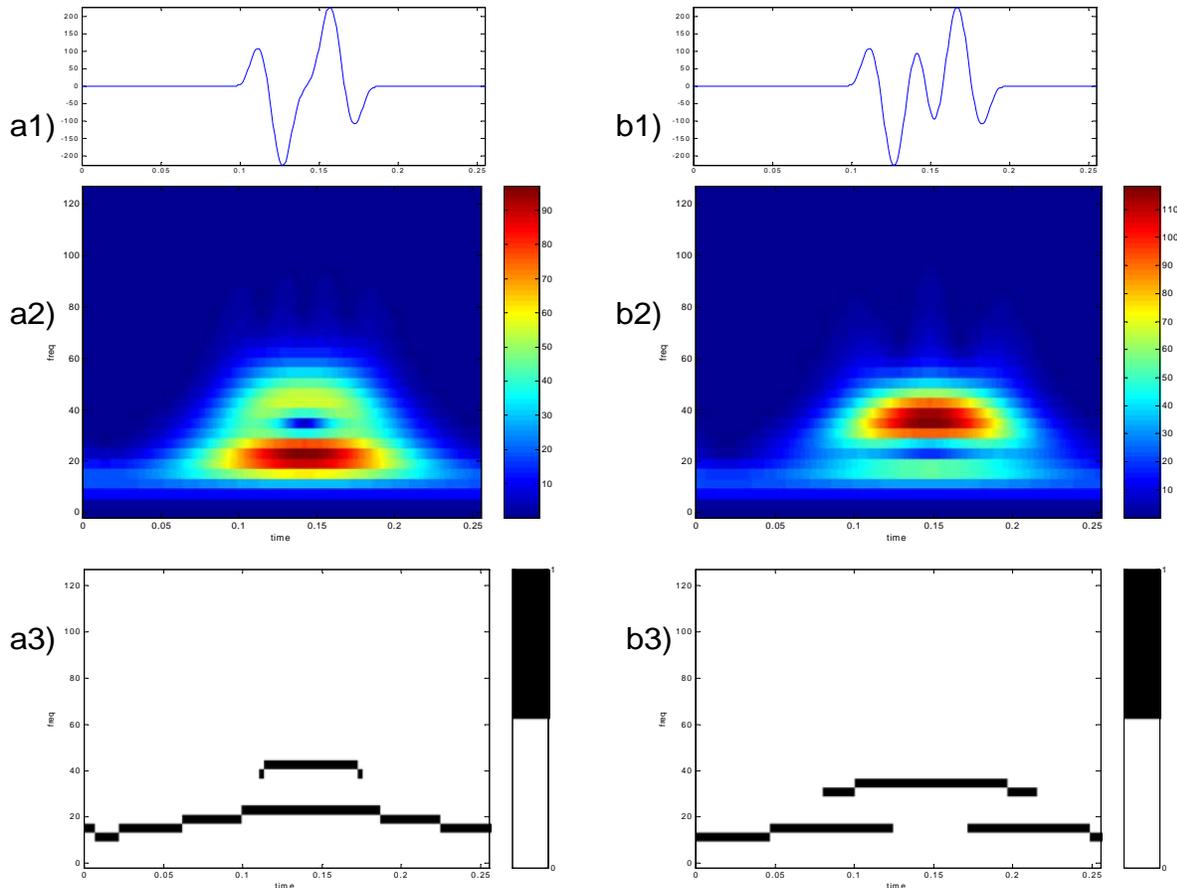


Figura 2 : (a1) traço com 30ms de espessura temporal; (a2) transformada S do traço a1; (a3) picos da a2) mostrando duas frequências instantâneas diferentes; (b1) traço com 40ms de espessura temporal; (b2) transformada S do traço em b1); (b3) picos de b2) mostrando duas frequências instantâneas distintas ao longo do tempo.

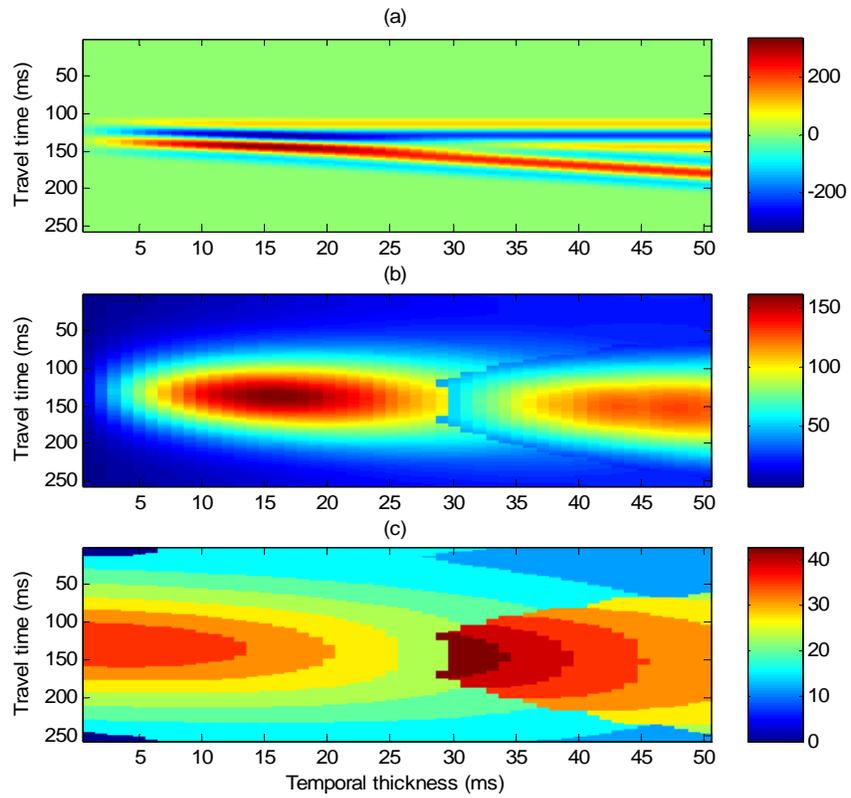


Figura 3: (a) Modelo em cunha filtrado; (b) A amplitude da frequência máxima instantânea obtida a partir dos picos da transformada S; (c) Frequência máxima instantânea.

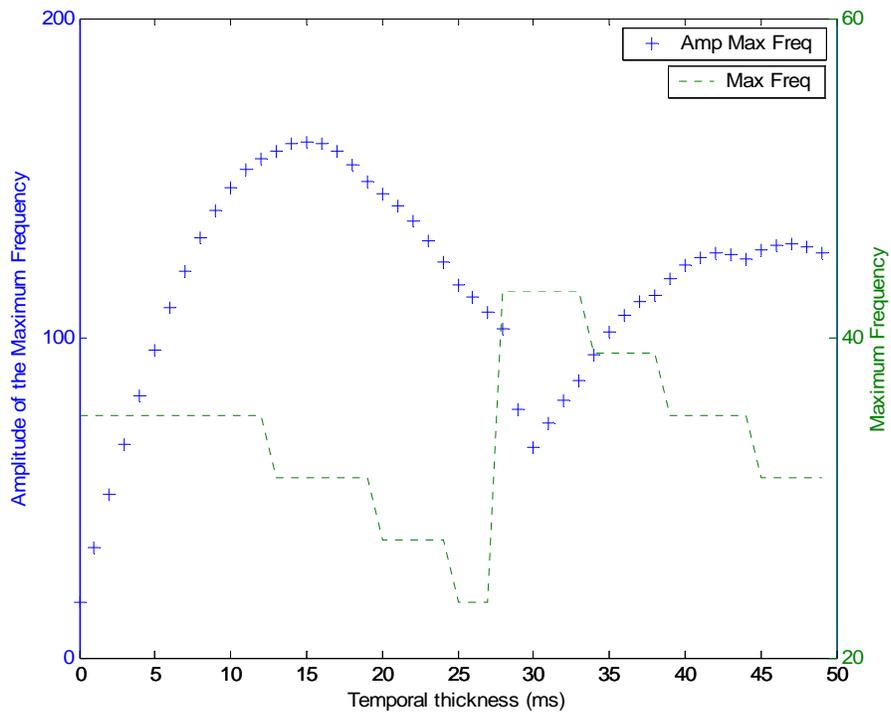


Figura 4 : Atributos sísmicos intervalares: frequência instantânea máxima e sua amplitude associada.

Resultados

A técnica apresentada acima foi aplicada a um reservatório de água profundas da Bacia de Campos formado por um complexo sistema de corpos turbidíticos cuja deposição é controlada pela tectônica salina. A Figura 5 ilustra uma linha sísmica deste campo. Pode-se observar que o reservatório está bem marcado por uma anomalia de amplitude negativa, que entretanto não consegue resolver a sua complexidade interna conforme se pode verificar pela análise no perfil de densidade do poço-1 plotado em amarelo sobre a seção. O intervalo arenoso inferior, que não apresenta uma expressão sísmica bem marcada, é uma fácies de preenchimento do canal que alimentou o lobo turbidítico apontado pela seta amarela. As areias sotopostas, identificadas no poço-1, representam outros eventos geológicos que se empilham em padrão de "backstep". No atributo amplitude da frequência máxima ilustrado na Figura 6, as feições de canais são facilmente identificáveis. Podem ser reconhecidos os muitos canais que alimentam os lobos frontais e outros ao longo da área analisada que atuaram transferindo sedimentos para as mini-bacias localizadas mergulho abaixo. Na parte inferior da Figura 6 pode-se facilmente identificar o canal, já referido na Figura 5, que alimentou o grande lobo a leste, apesar deste canal não ser totalmente visualizado em seção sísmica. Pode-se também visualizar facilmente os canais sinuosos existentes na parte superior da mesma figura.

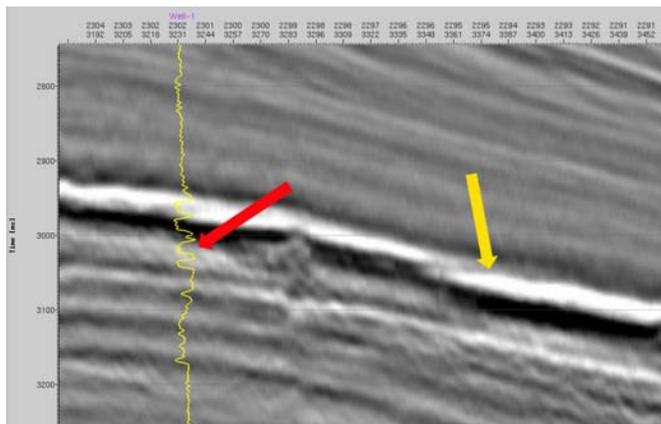


Figura 5: Seção longitudinal do reservatório turbidítico. As fácies areia de canal, reconhecidas através do perfil de densidade do poço-1 (Seta vermelha), estão estratigraficamente correlacionadas com as areias de lobo (seta amarela), entretanto, não possuem uma boa expressão sísmica nesta posição

Conclusões

Os resultados obtidos usando o modelo sintético em cunha mostraram que o método proposto pode ser uma alternativa muito boa para a caracterização de camadas finas. Como os atributos propostos são gerados a partir de parâmetros extraídos de uma análise tempo-frequência, a sua robustez sugere que alterações no tamanho da janela de análise podem ter pouca influência neles, o que significa que a presente metodologia é menos sensível a ruídos de interpretação (picking).

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao suporte financeiro da Petrobrás através do programa de pesquisas PRAVAP 19. Gostaríamos também de agradecer a Evaldo C. Mundim, Djalma M.S. Filho e Paulo R.S. Johann da Petrobras e Marco C. Santos e Felipe P. Loureiro da PUC-Rio, pelos seus comentários e ajuda.

Referências

- Johann, P.R.S., Ragagnin, G., Spínola, M.,** 2003, Spectral Decomposition Reveals Geological Hidden Features in the Amplitude Maps from a Deep Water Reservoir in the Campos Basin, 73th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1740-1743.
- Partyka, G.; Gridley, J.; Lopez, March.,** 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization; The Leading Edge, 353-360.
- Partyka, G.,** 2001, Seismic thickness estimation: three approaches, pros and cons, 71th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts., 503-506.
- Marfurt, K. J.; Kirlin, R. L.,** 2001, Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning, Geophysics, 66, 1274-1283.
- Steeghs, P. and Drijkoningen, G.,** 2001. Seismic sequence analysis and attribute extraction using quadratic time-frequency representations, Geophysics; 66, 1947-1959.
- Matos, C.M., Osorio, P.L.M. and Johann, P.R.S.,** 2003, Unsupervised seismic reservoir characterization using wavelet transform and self organizing maps of a deep-water field, Campos Basin, Offshore Brazil, 73th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1458-1461.
- Matos, C.M.,** 2004, Reconhecimento de padrões sísmicos utilizando análises tempo-frequência, Tese de Doutorado, DEE-PUC-Rio.
- Matos, C.M., Osorio, P.L.M. and Johann, P.R.S.,** 2004, Using matching pursuit and self organizing maps for seismic reservoir characterization of a deep-water field, Campos Basin, offshore Brazil, 74th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1611-1614.
- Stockwell, R.G., Mansinha, L., Lowe, R.P.,** 1996, Localization of the complex spectrum: the S transform; IEEE Transactions on Signal Processing, 44, 998-1001.
- Mallat, S.** A wavelet tour of signal processing, 2nd ed. 1999. Academic Press.

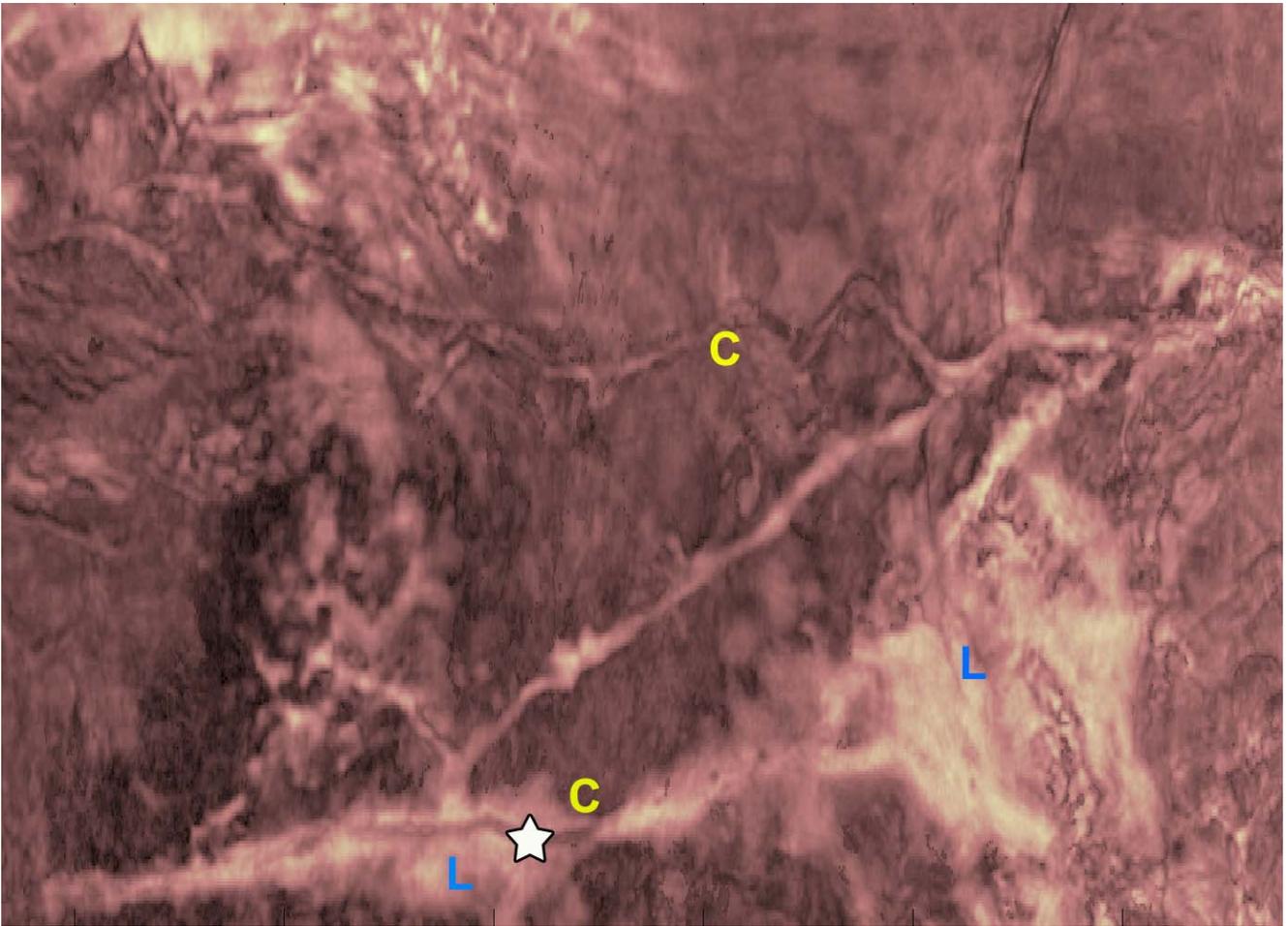


Figura 6: Seção representando a amplitude da frequência máxima do reservatório turbidítico ilustrando os lobos frontais e seus canais de alimentação. A estrela representa a localização do poço-1, a letra L em azul indica a localização de alguns lobos e a letra C em amarelo indica a localização de alguns canais.