

Análise e interpretação de atributos sísmicos instantâneos: uma contribuição ao estudo do arcabouço tectônico-estrutural da Bacia de Pelotas

Ana Laura Lordi Dias*, UNIPAMPA, Marcus Vinicius A. G. de Lima, UNIPAMPA, Éverton Frigo, UNIPAMPA

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16th 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.

Abstract

The present work aims to contribute to the interpretation of 2D post-stack seismic sections of the Pelotas Basin, based on the enhancement of the image obtained by applying the technique of instantaneous seismic attributes defined by the envelope, phase and instantaneous frequency. The seismic sections, provided by the National Petroleum Agency, are located in the Rio Grande Cone region, which was formed by sediments deposited at a high sedimentation rate, leading to the formation of organic matter. The instantaneous seismic attributes are based on the concept of complex seismic trace, exploring the imaginary component of the seismic signal, and so obtaining envelope information, phase and instantaneous frequency of the trace. The resulting image from the application of these attributes allowed to highlight reflectors, which guided the tracking of horizons and faults, being possible to define gas hydrate indicators (Bottom Simulating Reflector) in all 10 sections between 500 and 3000 meters depth, as well as related structures, such as dome structures and pockmarks.

Introdução

Por ser uma bacia com potencial petrolífero, a Bacia de Pelotas gera expectativas em relação à exploração de hidrocarbonetos, apesar de poucos estudos realizados na área, quando comparada a outras bacias brasileiras. Desta forma, este trabalho se desenvolve através da aplicação de atributos sísmicos instantâneos, justificando-se por contribuir com a análise estrutural e geológica da bacia, melhorando a resolução sísmica e a interpretação das seções, que são essenciais para o estudo de reservatório.

A Bacia de Pelotas está localizada no extremo sul da Margem Continental Brasileira (Figura 1). É uma bacia de margem passiva, sendo delimitada ao norte pela Bacia de Santos, pela plataforma de Florianópolis e ao sul pelas bacias da Margem Continental do Uruguai. Possui parte sobre a crosta oceânica e parte sobre a crosta continental, compreendendo uma área de cerca de 210.000 km², até a lâmina d'água de 2000 m (ABREU, 1998). A bacia acumulou sedimentos que deram origem a rochas como arenitos e folhelhos, além de

conglomerados, rochas basálticas extrusivas e carbonatos (FONTANA, 1996).

O Cone do Rio Grande, localizado nesta bacia, é caracterizado como uma espessa cunha sedimentar, onde as camadas foram depositadas a uma alta taxa de sedimentação, entre o Mioceno e o Recente, abrangendo do talude a elevação continental, com profundidades que variam de 100 a 3600 metros (FONTANA, 1994). Segundo Fontana (1994), a rápida taxa de sedimentação e o rápido soterramento propiciaram a preservação de matéria orgânica e a formação de gás biogênico. Em 1996, o mesmo autor fez uma análise sismoestratigráfica da Bacia de Pelotas, dividindo a região que engloba o Cone do Rio Grande em 17 sequências deposicionais, além de identificar anomalias de amplitude que indicam camadas de hidratos de gás, destacando sua ocorrência numa área que abrange cerca de 40.000 a 50.000 km² na direção NE-SW, sob a lâmina d'água entre 500 a 3500 metros e apresentando uma espessura média de 600 metros, com a existência de gás livre abaixo da zona de estabilidade dos hidratos de gás.

A Figura 2, do trabalho de Rosa (2007) *apud* Ludmann & Wong (2003) ilustra um refletor BSR e estruturas relacionadas a ele, como escapes de gás e *pockmarks*.

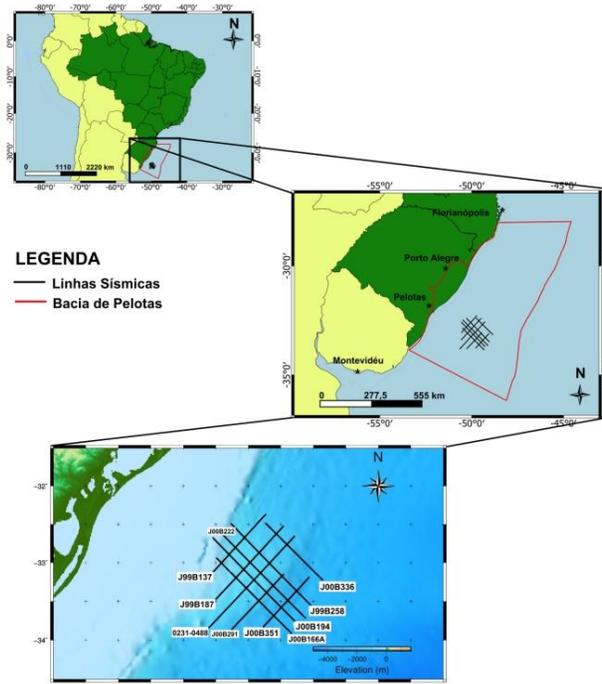


Figura 1 - Área de Estudo delimitando a Bacia de Pelotas (linha vermelha) com as 10 linhas sísmicas (em preto),

localizadas em uma região com batimetria entre 2000 a 3000 metros de profundidade.

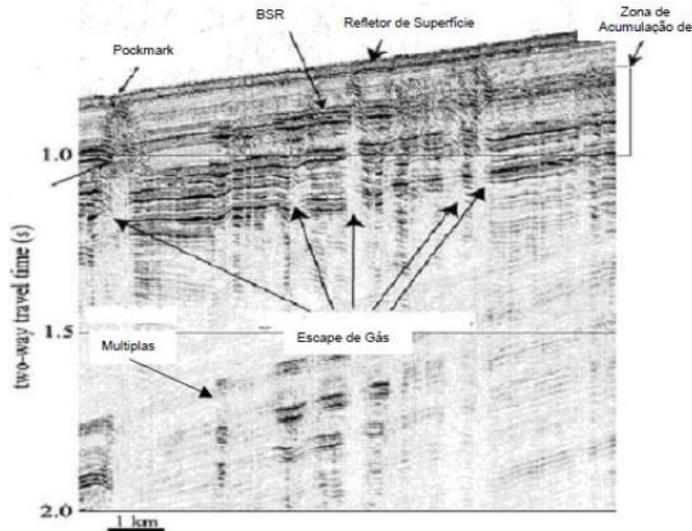


Figura 2 – Seção sísmica mostrando o BSR proeminente e diversas estruturas de escape de gás biogênico que terminam em *Pockmark* (Local: Mar de *Okhotsk*)
Fonte: Rosa, 2007 *apud* Ludmann & Wong, 2003.

Método

Os atributos sísmicos instantâneos são baseados no conceito de traço sísmico complexo (Figura 3), introduzido por *Taner et al.* (1979).

A análise de traços complexos trata um traço sísmico como a parte real de um sinal analítico ou complexo. A parte imaginária, denominada de quadratura ou conjugado, pode ser determinada em termos da transformada de Hilbert, a qual desloca o traço real em 90° , pela operação matemática de convolução, obtendo assim o traço imaginário. Para o cálculo de atributos instantâneos do traço sísmico complexo foi utilizado o programa *suattributes* do pacote de programas *Seismic Un*x* (COHEN & STOCKWELL, 2017).

O atributo envelope, ou amplitude do envelope, é definido segundo *Taner et al.* (1979), como a energia total do traço sísmico. Segundo este autor, este atributo é geralmente associado a grandes mudanças litológicas entre camadas rochosas adjacentes, como discordâncias e limites associados a mudanças bruscas no nível do mar ou em ambientes deposicionais, sendo também associado a acumulações de gás. A medida da amplitude do envelope pode auxiliar na identificação de falhas e acumulações de hidrocarbonetos. As acumulações de hidrocarbonetos, principalmente o gás, podem aparecer nas seções sísmicas como anomalias de alta amplitude, chamadas de *bright spots*.

O atributo de fase instantânea representa o ângulo entre as partes imaginária e real do traço analítico e tem como finalidade rastrear a continuidade dos refletores, sendo eficaz ao destacar descontinuidades, falhas, armadilhas estratigráficas como *pinch-outs*, angularidades e

interfaces de leito. Limites de sequência sísmica, padrões de camada sedimentar e regiões de padrões *onlap/offlap*, frequentemente são exibidos com clareza.

O atributo de frequência instantânea é calculado como a taxa de mudança da fase instantânea. Variações na espessura das camadas ou na litogia, assim como nas bordas das interfaces hidrocarboneto-água, alteram a frequência instantânea mais rapidamente. Segundo *Yilmaz* (2001), frequências mais baixas nas seções sísmicas (chamadas de “sombas de baixa frequência”) são frequentemente observadas em refletores abaixo de reservatórios de óleo, os quais atenuam as altas frequências. Segundo *Taner et al.* (1979) zonas de fratura em rochas frágeis também são, às vezes, associadas com “sombas de baixa frequência”.

Neste sentido, a aplicação dos atributos tende a favorecer o rastreamento (*tracking*) dos horizontes e estruturas geológicas e, desta forma, gerar um modelo de velocidades na escala de tempo mais confiável para a conversão das linhas sísmicas para a escala de profundidade, a fim de serem utilizadas em análises posteriores.

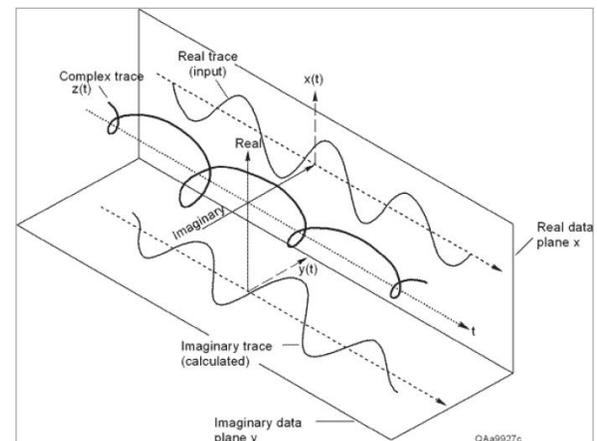


Figura 3 – Representação de um traço sísmico complexo
Fonte: *Hardage B.*, 2010.

Resultados

Com a aplicação dos atributos instantâneos foi possível obter uma melhora considerável no imageamento das seções, tornando mais nítidos refletores e estruturas como falhas, que não estavam muito evidentes nos dados originais.

A aplicação do atributo envelope conseguiu destacar em todas as seções, refletores de amplitude relativamente maior, como aqueles correspondentes ao embasamento e ao fundo mar. Este atributo ainda realçou um refletor subjacente ao do fundo do mar e paralelo a este, de alta amplitude. Acima dele observa-se uma zona com redução da amplitude dos refletores. Esta característica pôde ser observada facilmente em seções como a J99B258 e 0231-0488 (Figura 4), na qual a zona de redução de amplitude dos refletores é evidenciada.

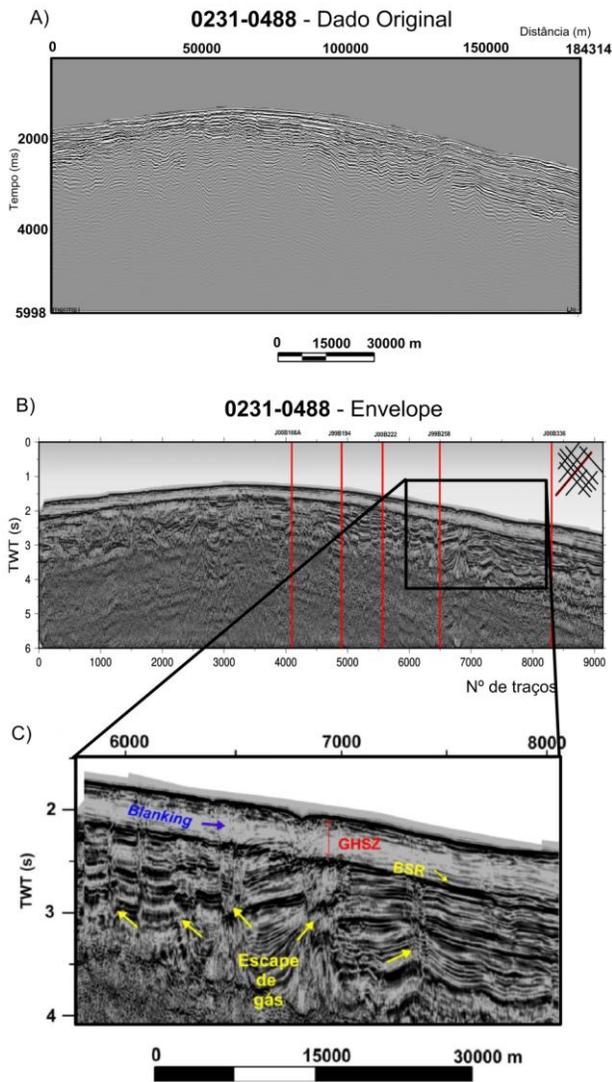


Figura 4 – Seção original 0231-0488 (SW-NE) em (A). Em (B) a mesma seção com a aplicação do atributo envelope indicando a intersecção de outras seções sísmicas com esta (linhas vermelhas verticais) e em (C) parte da seção ampliada, ressaltando regiões com baixa amplitude (*blanking*), onde se localiza a zona de estabilidade dos hidratos de gás (GHSZ) e os possíveis escapes de gás.

O atributo de fase instantânea contribuiu no *tracking* dos horizontes, visto que dá continuidade aos refletos, assim o embasamento e o BSR puderam ser definidos com mais precisão em algumas seções.

O atributo fase aliado ao envelope permitiu também definir discontinuidades nos refletos e conseqüentemente contribuir no mapeamento das falhas, além de facilitar a visualização das terminações de refletos, estruturas dômicas, que puderam ser identificadas em seções como a J99B258 (Figura 5) e *pockmarks* (Figura 6), feições em “V” geradas quando estruturas de escapes de gás atingem o fundo oceânico, formados em algumas seções como na 0231-0488 e J99B187.

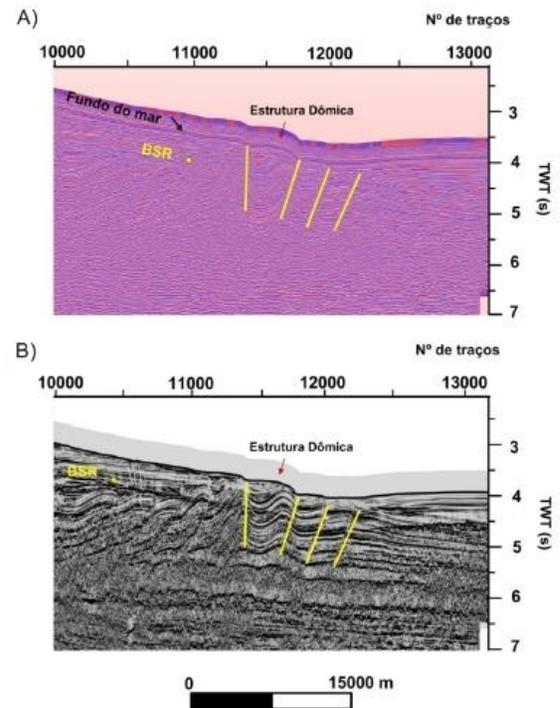


Figura 5 – Estruturas dômicas e falhas (em amarelo), observadas em uma porção da seção J99B258 (NW-SE) pelo atributo de Fase (A) e Envelope (B).

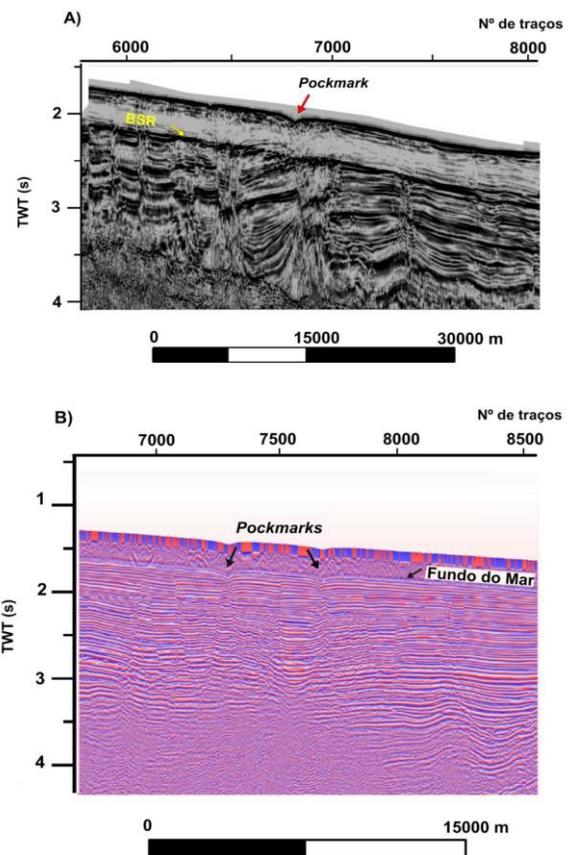


Figura 6 – Porção da seção sísmica 0231-0488 (SW-NE) ampliada (A) mostrando refletos falhados, *pockmark* e

o BSR, obtidos através do atributo de Envelope e em (B) uma porção da seção J99B187 (SW-NE) ampliada destacando *pockmarks* obtidos pelo atributo de Fase instantânea.

O atributo frequência instantânea dividiu as seções em termos de intensidades dos conteúdos de frequência específicos, desta forma, refletores com frequências diferentes do pacote sedimentar, como aqueles correspondentes ao embasamento, puderam ser identificados (zona avermelhada na Figura 7). Nota-se também nas seções, como ocorre com a J00B258, que o atributo ressaltou uma possível mudança na litologia ou espessura das camadas, destacando áreas avermelhadas e amareladas, definidos por diferentes respostas de frequências.

As seções com aparente presença de escapes de gás foram identificadas nessa região, como evidenciado pelas zonas de sombras de frequências mais baixas (tonalidade branco-amarelada) em relação ao pacote sedimentar.

Diferentemente do que ocorre nos atributos envelope e fase, os refletores BSR não puderam ser precisamente identificados nas seções com o atributo frequência instantânea, bem como estruturas verticais. As regiões em que se encontra o BSR apresentam tonalidade de cor e, portanto frequências, semelhantes àquelas observadas nas zonas de escapes.

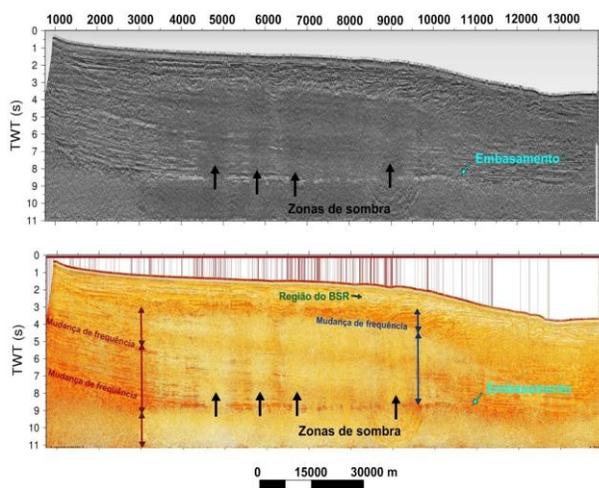


Figura 7 – Seção sísmica J00B258 (NW-SE) em escalas de cores diferentes, realçando a região onde se localiza o BSR, as mudanças de frequência no pacote sedimentar e o refletor do embasamento, falhado nas zonas de sombras.

Após o rastreamento dos refletores, que foram melhorados pela aplicação dos atributos, foi gerado o modelo de velocidades para as seções sísmicas, para a conversão da escala de tempo (TWT) para profundidade. A Figura 8 mostra um exemplo do modelo de velocidades gerado para a linha J00B166A em tempo (B) e em profundidade (C).

Foram construídos modelos consistindo basicamente de duas interfaces (três camadas) correspondentes à lâmina d'água (em azul), sobrejacente ao pacote sedimentar (em verde) com velocidade média de 3245 m/s (utilizando um gradiente linear vertical na camada) e ao embasamento (em vermelho), com 5000 m/s. Nesta seção também foi observada a presença de um refletor BSR.

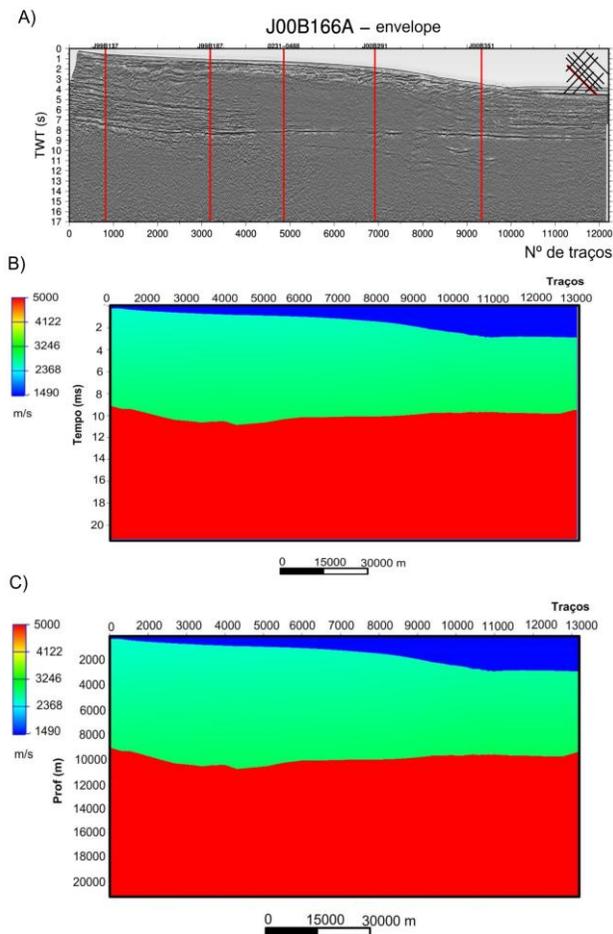


Figura 8 – Em (A) a seção sísmica J00166A (NW-SE) com o atributo de Envelope aplicado (linhas vermelhas verticais indicando seções sísmicas que intersectam esta) e os modelos de velocidade gerados, em tempo (B) e em profundidade (C).

A Figura 9 apresenta as porções iniciais das 10 seções sísmicas (com o atributo envelope aplicado), nas quais puderam ser identificados refletores BSR. A intersecção entre as seções auxiliou na identificação destes refletores em seções em que eles se apresentavam pouco visível.

Estes refletores aparecem nas seções em profundidades abaixo da lâmina d'água, iniciando-se em 500 metros até 3000 metros confirmando, portanto, o intervalo proposto por Fontana (1996) para que estes refletores ocorram.

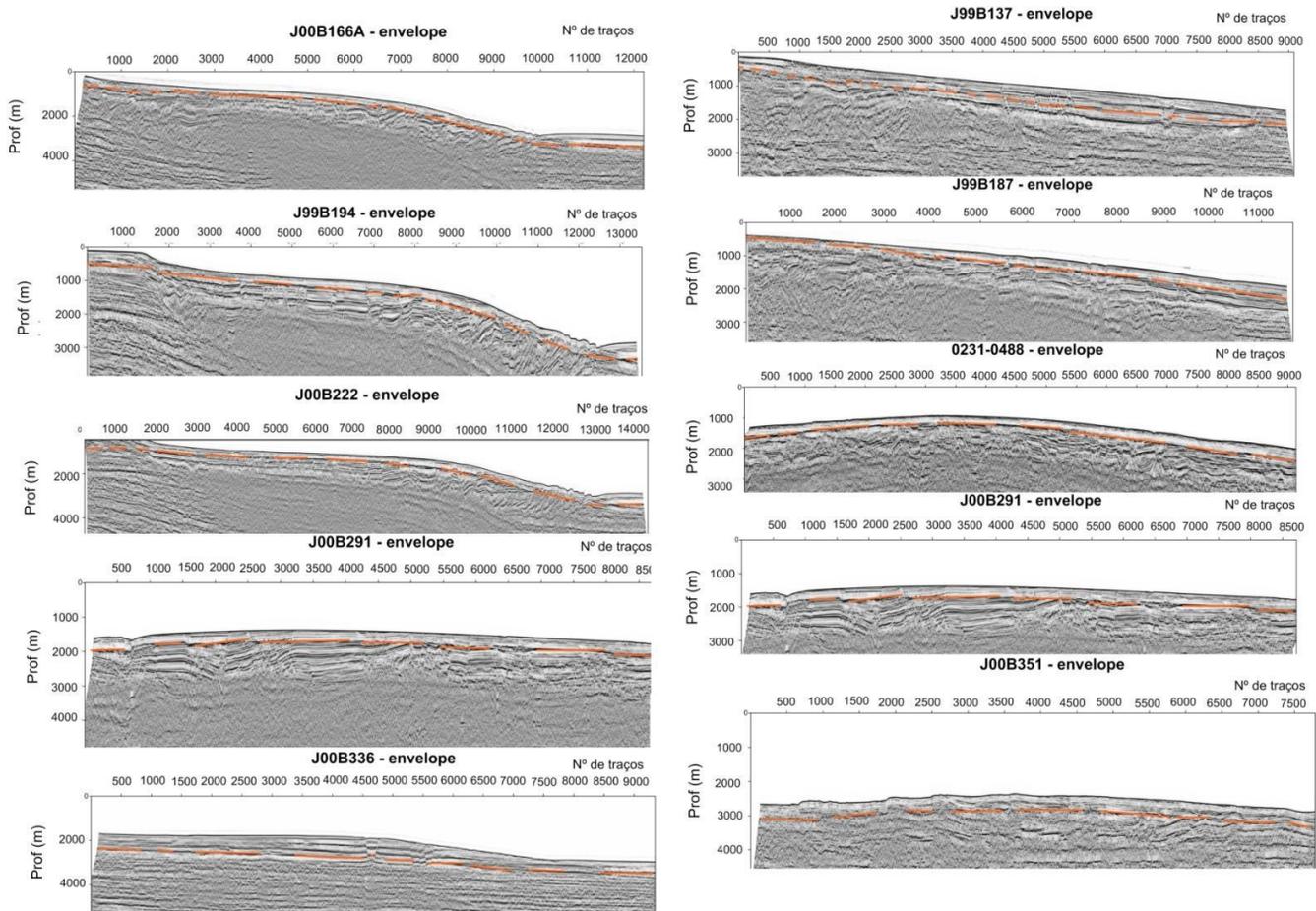


Figura 9 – Seções sísmicas com o atributo Envelope indicando o refletor BSR (linha tracejada em laranja).

Considerações Finais

A partir da aplicação dos atributos sísmicos instantâneos, foi possível melhorar o imageamento, realçando os refletores das seções, que contribuíram na definição de estruturas geológicas, as quais não estavam visíveis nos dados originais.

Os atributos instantâneos utilizados em conjunto, foram muito eficazes na definição de estruturas geológicas como falhas, presentes em todas as seções; *pockmarks*, os quais foram identificados nas direções NW-SE e SW-NE; estruturas dômicas, que ocorrem preferencialmente na direção NW-SE, além de zonas de *blanking*, que ocorrem em conjunto com os refletores BSR, visível em todas as seções.

O atributo envelope realçou predominantemente refletores provenientes de alto contraste de impedância acústica, como aqueles correspondentes ao embasamento e fundo mar, além do refletor BSR, o qual foi identificado nas dez seções entre 500 a 3000 metros de profundidade, indicando a base da camada dos hidratos.

O atributo fase instantânea em conjunto com o envelope, também contribuiu na identificação do BSR e das falhas,

dando continuidade aos refletores. Já a frequência instantânea conseguiu destacar principalmente estruturas de escapes de gás, apresentando nessas regiões uma diminuição do conteúdo de frequência no pacote sedimentar.

A correlação entre as linhas sísmicas contribuiu na definição de refletores, como o do embasamento da bacia e principalmente o BSR, em seções em que estes não estavam aparentes ou que causavam relativa incerteza em relação à sua posição. Com a conversão da escala de tempo para profundidade, foi possível ainda estimar as profundidades em que estes refletores se encontravam.

A interpretação das seções com base na análise dos atributos instantâneos, aliada a trabalhos anteriores na área de estudo, como o de Fontana (1994), que reportou possíveis acumulações de hidratos de gás na Bacia de Pelotas, permitiu destacar o potencial petrolífero da região do Cone do Rio Grande, além de ilustrar o uso bem-sucedido da análise de atributos sísmicos na exploração de hidrocarbonetos.

Referências

ABREU, V. S. Geologic Evolution of Conjugate Volcanic Passive Margins: Pelotas Basin (Brazil) and Offshore Namibia (Africa): Implication for Global sea-Level Changes. Rice University, Houston, Texas, Tese de Doutorado, 354 p., 1998.

COHEN, J. K.; STOCKWELL, Jr. J. W. CWP/SU: Seismic Unix Release No. 44R11: an open source software package for seismic research and processing, Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines, 2017.

FONTANA, R. L; MESSUMECI, A. Hydrates Offshore Brazil. In International Conference on Natural Gas Hydrates, p. 106-113. Annals New York Academy of Science, 1994.

FONTANA, R. L. Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. UFRGS, Porto Alegre, RS, Tese de Doutorado. 214 p., 1996.

HARDAGE, B. Instantaneous seismic attributes calculated by the Hilbert Transform: Search and Discovery Article #40563, 2010.

LUDMANN, T., WONG, H.K. Characteristics of gas hydrate occurrences associated with mud diapirism and gas escape structures in the northwestern Sea of Okhotsk. Marine Geology 201:269-286, 2003.

ROSA, A. P. Interpretação Sismo-Estratigráfica da porção da Bacia De Pelotas que engloba o Cone do Rio Grande e a avaliação do seu potencial petrolífero. UENF, Macaé, RJ. Tese de Doutorado. 299 p., 2007.

TANER, M. T.; KOEHLER, F.; SHERRIF, R. Complex seismic trace analysis. Geophysics, v. 44, nº. 6, p. 1041–1063, 1979.

YILMAZ, O. Seismic Data Analysis - Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data. Investigations in Geophysics Series No. 10. SEG, 2001.