



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Interpretação sísmica 3D com os atributos Semelhança e Envelope do reservatório de hidratos de metano do Blake Ridge (Carolina do sul, EUA)

KARINA CRISTINA CAETANO FARIAS

Belém - Pará
2020

KARINA CRISTINA CAETANO FARIAS

Interpretação sísmica 3D com os atributos Semelhança e Envelope do reservatório de hidratos de metano do Blake Ridge (Carolina do sul, EUA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de Bacharela em Geofísica.

Área de concentração: Métodos Sísmicos

Linha de pesquisa: Interpretação Sísmica

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Ribeiro Cruz

Belém - Pará

2020

1

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F224i Farias, Karina Cristina Caetano.
Interpretação sísmica 3D com os atributos Semelhança e
Envelope do reservatório de hidratos de metano do Blake Ridge
(Carolina do sul, EUA) / Karina Cristina Caetano Farias. — 2020.
57 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. João Carlos Ribeiro Cruz
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de
Geofísica, Belém, 2020.

1. Atributos Sísmicos. 2. Reservatórios Não
Convencionais. 3. Gás Natural. 4. Interpretação Sísmica.
5. Envelope do Traço. I. Título.

CDD 550

KARINA CRISTINA CAETANO FARIAS

Interpretação sísmica 3D com os atributos Similarity e Envelope do reservatório de hidratos de metano do Blake Ridge (EUA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de Bacharela em Geofísica.

Área de concentração: Métodos Sísmicos

Linha de pesquisa: Interpretação Sísmica

Data de aprovação: 11 de dezembro de 2020

Conceito: Excelente

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Ribeiro Cruz –Orientador
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Manuel de Jesus dos Santos Costa - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Estanislau luczynski - Membro
Doutor em Energia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Frida Kahlo me ensinou que ao fim do dia, podemos aguentar muito mais do que pensamos que podemos. E boa parte dessa afirmativa só é possível, devido cada um de nós, contermos pessoas e coisas que sustentam o universo que somos. À família, aos amigos e às instituições, os meus agradecimentos.

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de desenvolver meus conhecimentos na maior universidade da região norte do Brasil.

Ao Instituto de Geociências, por todo apoio acadêmico durante os quatros anos de graduação.

Á PETROBRAS, pela reforma do Laboratório de Inversão de Ondas Sísmicas, estrutura importante para a execução de minhas atividades de pesquisa, local que tive muitas horas de estudo.

Á Lucia Imbiriba, pela correção do TCC.

À minha mãe, Sandra Caetano, por ter me conduzido pelos caminhos que me levaram à este momento. À minha irmã, Karem Caetano, e meu cunhado Péricles Machado, pelos conselhos que me fizeram escolher a Geofísica como carreira. Ao meu tio Sormane Augusto, por ser suporte para os meus estudos desde criança. Ao meu pai Raimundo Simões, pelo incentivo aos estudos ao longo da vida. Ao meu companheiro, Marcos Medeiros, presente na preparação de todas as minhas conquistas e parte fundamental na realização destas. À minha sogra e amiga Benedita Mendonça por sempre acreditar no meu potencial e me incentivar profissionalmente.

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. João Carlos, por todo apoio, oportunidades e confiança que me dedica desde o início do curso. Ao meu amigo Lucas Roberto, pelas horas de conselhos racionais e toda motivação a mim enviadas. Aos meus amigos Alessandro Fernandes, João Paulo, Rafael Rodrigues e Yago Couto por permanecer-mos unidos nesses dez anos, e por torcerem por minhas realizações como se fossem suas. Aos meus amigos Eliane Cardoso, Rayssa Santos e Rafael Furtado, por todas as tardes de estudos e discussões acerca desse tema, as correções deste texto, e todo companheirismo.

Pela maior parte da História, "anônimo" foi uma mulher.

Virginia Woolf

RESUMO

Os atributos sísmicos *Similarity* e Envelope, são utilizados nesta pesquisa para avaliação do desempenho em identificação e distinção de feições sísmicas, na região de *Blake Ridge* na Carolina do Sul, onde existe um extenso reservatório não-convencional de hidratos de metano. Utiliza-se como método de estudo, a premissa de que as amostras do traço sísmico são como componentes de um vetor, e pelo cálculo da distância no hiperespaço ocorre a definição do atributo *Similarity*, responsável pelo aprimoramento da resolução de falhas geológicas. O atributo Envelope, é calculado como o módulo da função complexa que representa o traço sísmico complexo. Esta metodologia utiliza a transformada de Hilbert, que é proporcional linearmente à impedância acústica. Consegue-se através deste estudo, realizar a corroboração de características geológicas publicadas anteriormente, descobrir novas características e destacar os pontos que podem embasar novos estudos.

Palavras-chave: Atributos Sísmicos, Reservatórios Não-Convencionais, Gás Natural, Interpretação Sísmica, Envelope, OpendTect.

ABSTRACT

The Similarity and Envelope seismic attributes are used in this research to assess the performance in identifying and distinguishing seismic features in the Blake Ridge region of South Carolina, where there is an extensive unconventional reservoir of methane hydrates. It is used as a study method, the premise that the samples of the seismic trace are as components of a vector, and by calculating the distance in hyperspace, the Similarity attribute is defined, responsible for improving the resolution of geological faults. The Envelope attribute, is calculated as the complex function module that represents the complex seismic trace. This methodology uses the Hilbert transform, which is linearly proportional to the acoustic impedance. Through this study, it is possible to corroborate previously published geological features, discover new features and highlight the points that can support new studies.

Keywords: Seismic Attributes, Unconventional Reservoirs, Natural Gas, Seismic Interpretation, Envelope, OpendTect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do dado sísmico 3D (Blake Ridge, Carolina do Sul). Fonte: o autor.....	11
Figura 2. Indicações no dado sísmico 3D do Fundo do Mar, Zona de Estabilidade de Hidratos de Metano (ZEHM) e da feição sísmica Bottom Simulating Reflector (BSR).	12
Figura 3. Mapa de distribuição dos reservatórios de hidratos de metano inferidos e recuperados. Fonte: Collet (2014 apud Le Thi Xiu, 2019).....	13
Figura 4. Reservas de hidratos de metano dos Estados Unidos, com destaque para área de estudo. Fonte: MME and EPE, (2016).....	14
Figura 5. Zonas de estabilidade de gás em ambientes marinhos e terrestres. Fonte: Neves et al. (2018).....	15
Figura 6. Mapa de profundidade do Blake Plateau e Blake Ridge.....	17
Figura 7. Bloco diagrama com exemplo de ambiente com hidratos de metano. Fonte: (Geissler et al., 2016).....	19
Figura 8. ZEHM em permafrost (esquerda) e em ambiente marinho (direita). Fonte: adaptado por MME and EPE (2016) de Chong et al. (2016).....	20
Figura 9. Hidratos de Metano. Fonte: (Pinkston and Stern, 2016).....	21
Figura 10. Tipos de hidratos de metano. Fonte: You et al. (2019) apud You et al. (2020).....	22
Figura 11. Morfologia de ocorrência dos hidratos de metano na natureza.....	22
Figura 12. Etapas da indústria do petróleo. De Upstream à sísmica de reflexão.....	24
Figura 13. Etapas da aquisição do método sísmica de reflexão.....	25
Figura 14. Exemplo de uma seção sísmica tempo vs. Offset, ampliada para a visualização dos traços sísmicos com suas amplitudes e polarização.....	25
Figura 15. Exemplo de uma seção sísmica com atributo de tempo vs. Offset, ampliada para a visualização dos traços sísmicos com suas amplitudes e polarização.....	26
Figura 16. Obtenção das amplitudes sísmicas a partir da reflexão nas camadas geológicas....	26

Figura 17. Linha do tempo da criação dos atributos sísmicos. Fonte: (Chopra, 2007).....	28
Figura 18. Comportamento to traço sísmicos complexo ao longo do eixo tempo. Fonte: Hardage (2010).....	30
Figura 19. Espaço de dados tridimensional (x, y, t), onde t é o tempo sísmico, x é o plano de dados reais e y é o plano de dados imaginários. Fonte: Adaptado de Hardage (2010).....	31
Figura 20. Atributo envelope e sua aplicação visual no traço sísmico. Fonte: (Helal et al., 2015).....	31
Figura 21. Definição das posições do traço em relação ao ponto de referência em (0,0). Fonte: dGB Earth Sciences (2019).....	32
Figura 22- Elementos da aquisição sísmica. 1. Bomba de ar comprimido (fonte). 2. Interface de reflexão. 3. Cabos com hidrofones (receptores) conectados. 4. Navio (estação de comandos). Fonte: Silva (2014).....	34
Figura 23. Elementos de uma dobra com identificação da posição de um Flanco. Autor da imagem desconhecido.....	37
Figura 24. Feições sísmicas com rotação para melhor visualização. Em azul, o Fundo do Mar, em roxo e lilás os dois trechos de Bottom Simulating Reflector (BSR), em verde escuro a Onda de sedimentos de Flanco Oriental (OSFO), e em verde claro as Lenter.....	38

Figura 25. (A) Seção sísmica, sem contribuição dos atributos, sem cortes e sem as estruturas traçadas, na localização do *in-line* 11. (B) Seção sísmica na localização da linha sísmica 11 na direção *in-line* com atributo Envelope, e limitação até 5000 ms. Apesar de 3.A não estar interpretada, a linha do *Bottom Simulate Reflectors* (BSR) e da Onda de Sedimentos de Flanco Oriental (OSFO) é de fácil identificação. (C) Seção sísmica interpretada com as estruturas encontradas destacadas. Em azul o fundo do mar, em roxo e lilás a feição BSR, em verde uma OSFO, e em verde claro as lentes. A Barra de cores escolhida para a visualização do atributo Envelope foi a *Seismic*. As colorações vermelhas, alaranjadas, amarelas e pretas variam respectivamente da menor para a maior anomalia, pois, o atributo Envelope realça as altas amplitudes que estão relacionadas aos hidratos de gás.....40

Figura 26. Esquema de seções na direção *Crossline* nas linhas 654, 554, 454. A) Seção sísmica (A,D e G). B) Seção com o atributo Semelhança com barra de cores *Seismics* (B, E e H). C) Seção com atributo Semelhança com barra de cores *Contour Gradients* (C, F e D).....41

Figura 27. Esquema de seções com o atributo Semelhança na direção *Crossline*, com linhas de posição 354, 454, 554 e 654. Com feições BSR no trecho 1 e 2 cruzando a seção.....42

Figura 28. Seções na direção *Crossline*, nas posições 354, 454, 554, 654, 754 com visualização das feições sísmicas. Fonte: (Farias, 2018).....42

Figura 29. Seções de atributos, *in-line* com o atributo sísmico Envelope, *Crossline* com o atributo sísmico Chimney.....43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	16
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	16
2.2 ESTRATIGRAFIA.....	17
3. METODOLOGIA	18
3.1 BOTTOM SIMULATING REFLECTOR (BSR).....	18
3.2 RESERVATÓRIOS NÃO CONVENCIONAIS.....	19
3.3 HIDRATOS DE METANO.....	20
3.4 SÍSMICA DE REFLEXÃO.....	23
3.5 ATRIBUTOS SÍSMICOS.....	27
3.6 ENVELOPE.....	29
3.7 SIMILARITY.....	32
4. RESULTADOS	34
4.1 ANÁLISE DO ATRIBUTO ENVELOPE.....	35
4.2 ANÁLISE DO ATRIBUTO SEMELHANÇA.....	38
5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	46
ANEXO A	49

1. INTRODUÇÃO

A combinação de alta pressão, baixas temperaturas e abundância de água e gás metano dão origem aos hidratos de metano. O metano biogênico, é encontrado nas porções mais rasas da crosta e é típico de solo *permafrost*. O metano termogênico, ocorre em bacias de águas profundas. E a ocorrência mais comum de hidratos de metano, é em margens continentais com alta taxa de sedimentação, que implica em rápido soterramento e preservação de matéria orgânica. Os hidratos de metano desta pesquisa ocorrem em margem continental e estão localizados ao oeste do Oceano Atlântico, no litoral da Carolina do Sul (EUA), na região de Blake Ridge, em coordenadas N 31° 49' 03" / W 74° 43' 18" (figura 1). O Blake Ridge é uma feição proeminente que fica a 600 km da costa, e interrompe a descida da feição íngreme Blake Escarpment para a bacia de oceano profundo, caindo para uma planície abissal com lâmina d'água de 5 km. O carbono armazenado como hidrato de metano e gás metano livre subjacente no Blake Ridge pode chegar a 40 Gt, e pode ser encontrado em uma deriva de sedimentos ricos em argila, com taxas de sedimentação muito altas e uma faixa muito grande de variação de 40 m / Ma a 340 m / Ma durante um período de 6 Ma (Paull et al., 1996 apud Zhang et al., 2020; Sautter, 2012; Montalvão and Eiras, 2003; Paull et al., 2000 apud Holbrook, 2002.).

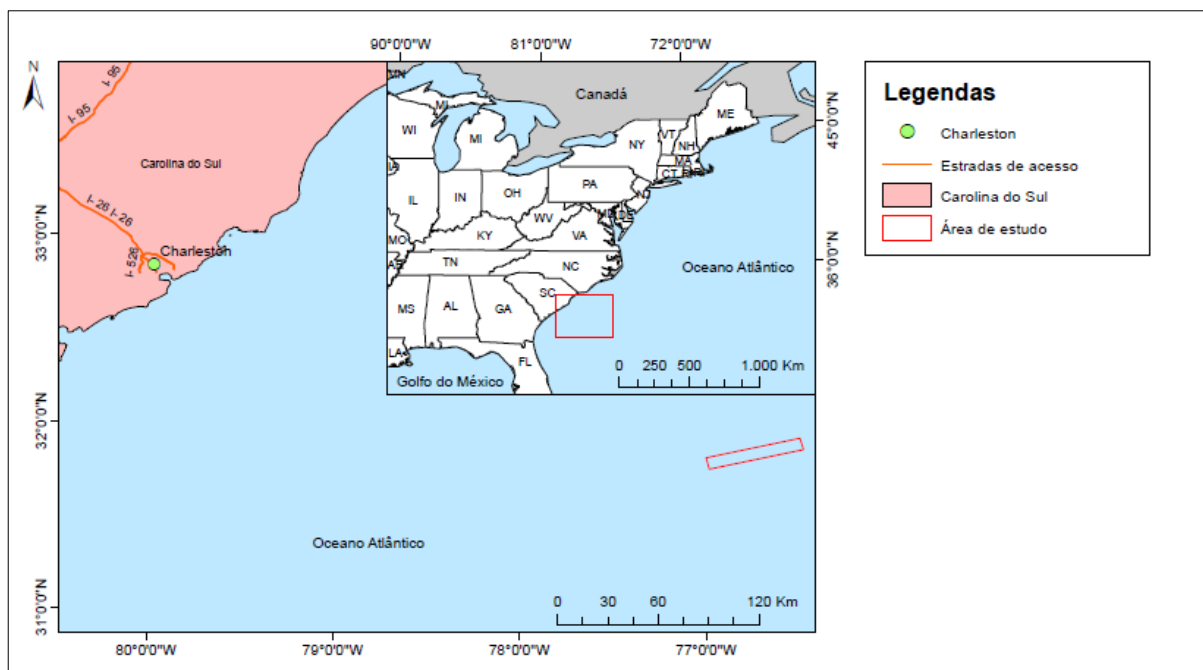


Figura 1. Mapa de localização do dado sísmico 3D (Blake Ridge, Carolina do Sul). Fonte: Autor.

A metodologia aplicada para a caracterização do reservatório de hidrato de metano do Blake Ridge é o estudo de *Bottom Simulating Reflectors* (BSR), entre outras feições sísmicas, por meio de atributos sísmicos, que estão inseridos na área de Interpretação Sísmica, importante fase da exploração de óleo e gás. Montalvão and Eiras (2003) destacam importantes áreas visualizadas em seções sísmicas, a Zona de Estabilidade dos Hidratos, o Campo de Estabilidade do Hidrato de Metano, que é a zona de gás livre abaixo do limite inferior do hidrato, e o *Bottom Simulating Reflector*, caracterizado por ser o limite inferior do hidrato de gás, que faz a separação da zona de gás livre com os hidratos de gás (figura 2).

Os atributos sísmicos são metodologias utilizadas para ressaltar uma característica no dado sísmico, por meio da extração de propriedades físicas, e a aplicação destas em operações matemáticas, gerando seções de atributos. Para o estudo de BSR aplica-se dois importantes atributos, o Envelope, que é sensível a alterações em impedância acústica e enfatiza mudanças de amplitude da seção sísmica possivelmente ligadas a acumulação de gás, e o *Similarity*, responsável por aprimorar regiões com falhas, podendo indicar aprisionamentos de hidratos de metano ou o escape destes.

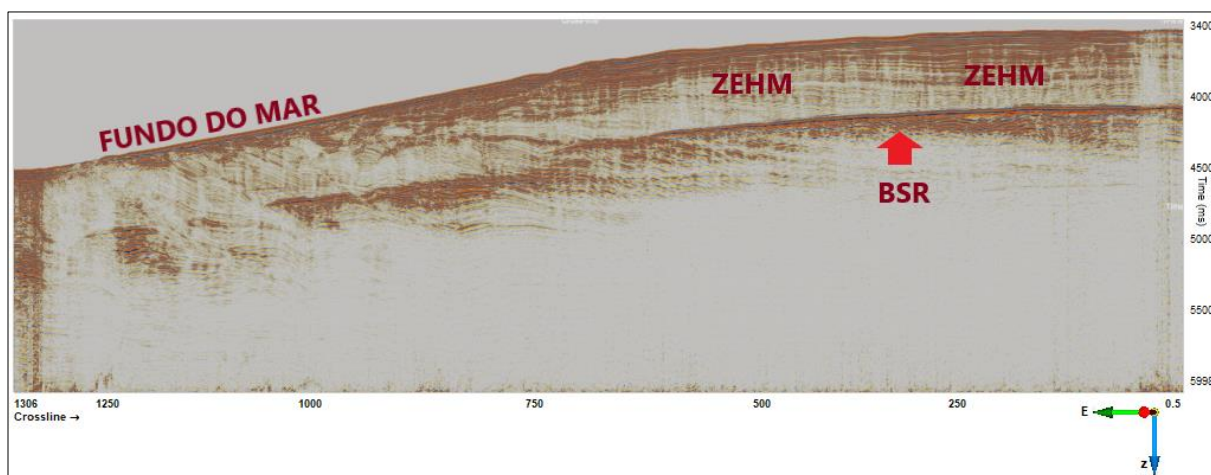


Figura 2. Indicações no dado sísmico 3D do Fundo do Mar, Zona de Estabilidade de Hidratos de Metano (ZEHM) e da feição sísmica Bottom Simulating Reflector (BSR). Fonte: Autora.

O software utilizado é o OpendTect, que é utilizado para análise e carregamento de dados, interpretação sísmica 2D e 3D, análise de velocidades e análise de atributos sísmicos. A versão utilizada é do OpendTect 6.0, um software de interpretação sísmica e é o único de código aberto no mundo. Criado pela dGB Earth Sciences, o OpendTect é dividido em *Free*, *Commercial* e *Academic*. O OpendTect Free é o utilizado neste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

O metano aprisionado em hidratos são a maior fonte de hidrocarbonetos do planeta. Tem o maior poder calorífico, e o maior potencial energético entre os gases. Martins (2003) enfatiza, que dados publicados em 1998 mostram que as reservas de hidratos de metano no Blake Ridge e do Golfo do México podem suprir as necessidades de abastecimento energético dos Estados

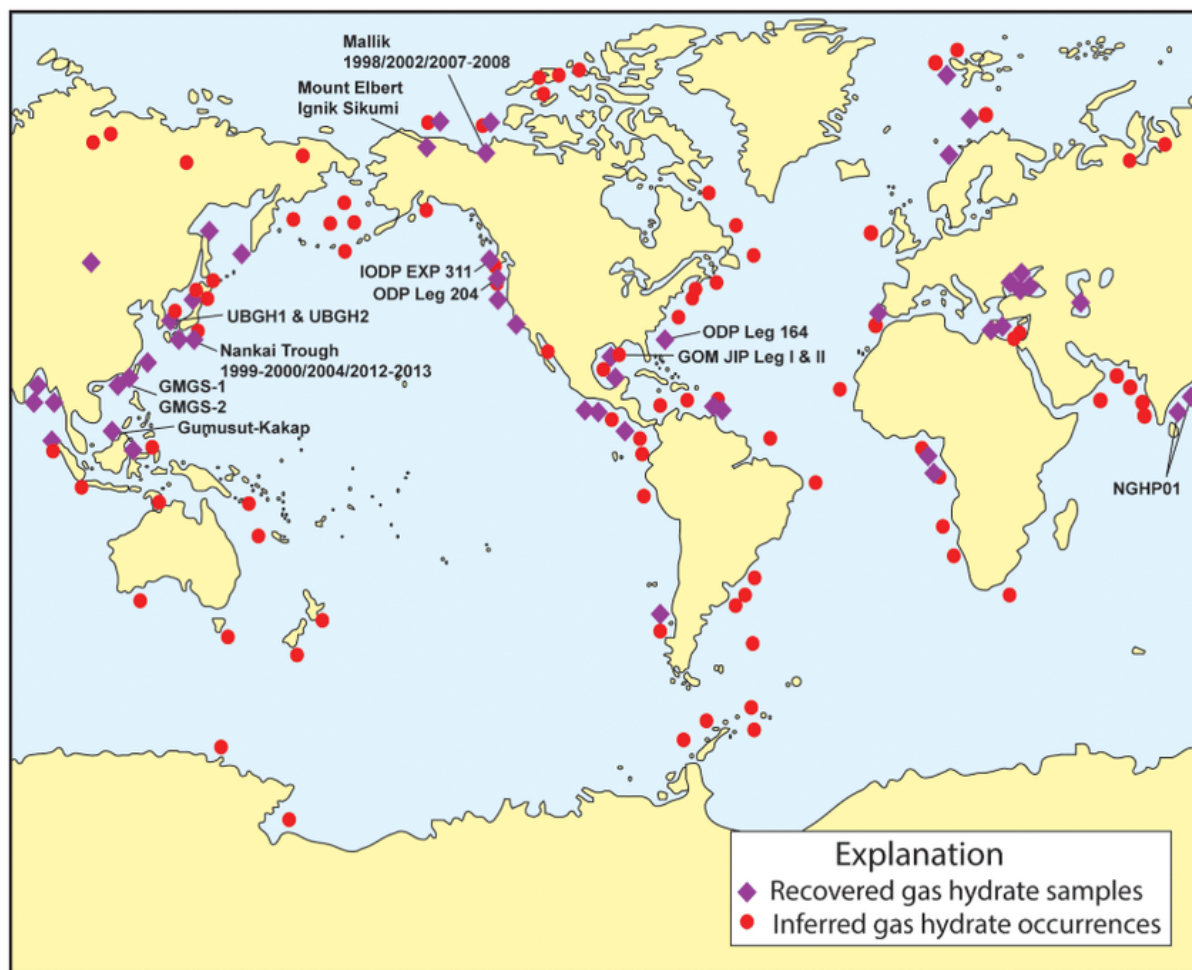


Figura 3. Mapa de distribuição dos reservatórios de hidratos de metano inferidos e recuperados. Fonte: (Collet, 2014 apud Le, 2019).

Unidos, no atual nível de consumo, por cerca de 64.000 anos. Portanto, o hidrato de metano é considerado um potencial futuro recurso de hidrocarbonetos, principalmente para os países com limitações de reservas energéticas.

Riley (2020) ratifica que muitos países com reservas significativas de hidratos de gás carecem de recursos convencionais substanciais e o desenvolvimento de hidratos de gás poderia fornecer a essas nações um recurso doméstico que diminuiria a sua dependência de importações estrangeiras, sendo assim, por meio de testes de campo obteve-se o resultado de que o gás pode ser produzido a partir do hidrato de gás usando tecnologia de produção de poço convencional. Esse resultado estabelece o hidrato de gás como um recurso tecnicamente recuperável, estudos adicionais seriam necessários para determinar se ele pode ser considerado um recurso economicamente recuperável. Conseguindo informações de viabilidade econômica a partir de levantamento geológico, estudos de laboratório, simulação numérica e testes de campo com o objetivo final de alcançar a produção comercial de gás a partir do hidrato de gás, e chegando a números de viabilidade econômica, ainda faz-se necessário compreender as consequências sociais e ambientais mais amplas do desenvolvimento de hidratos de gás para compreender o potencial futuro do recurso, na figura 3 mostra-se a distribuição mundial das reservas de hidratos de metano recuperáveis e as reservas inferidas. E na figura 4 são mostradas as reservas de hidratos de metano dos Estados Unidos com destaque para a localização da área de estudo.

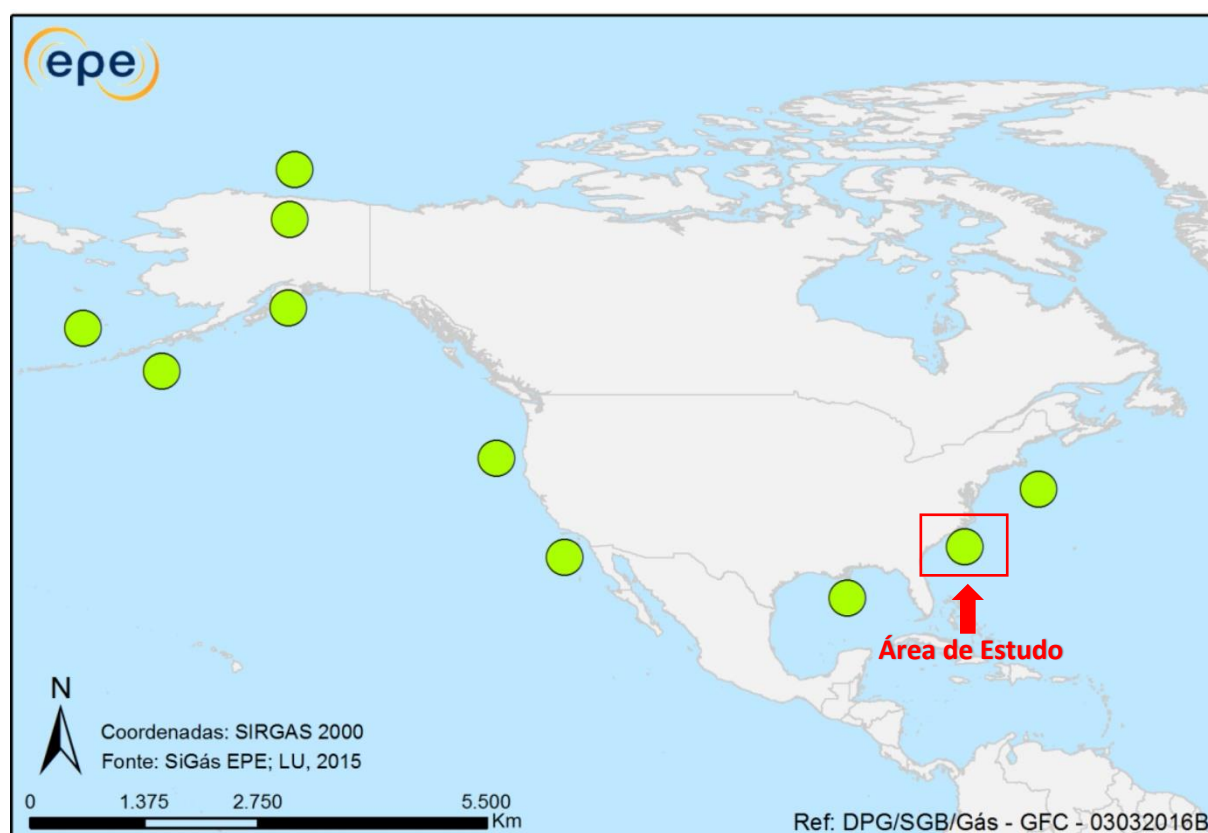


Figura 4. Reservas de hidratos de metano dos Estados Unidos, com destaque para área de estudo. Fonte: (MME and EPE, 2016).

A estimativa de taxa de produção de gás a partir de hidratos de gás é frequentemente limitada à determinação de valores de mercado que tornaria essa produção viável. O caminho incerto do desenvolvimento tecnológico de extração do metano vindo dos hidratos e a situação do mercado global pós pandemia do Covid 19 torna as estimativas uma atividade desafiadora.

Para a sua produção em larga escala, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias de extração seguras. Algumas alternativas de extração seriam a injeção de água quente, a depressurização e a injeção de CO₂. Entretanto, Thomas et al. (2002) por meio do estudo de novos registros de isótopos estáveis, ratifica a teoria de que a dissociação térmica do hidrato de metano foi a causa para a máxima termicidade do período Paleoceno-Eoceno. Isso implica, que a associação de altas temperaturas com os reservatórios de hidratos de metano pode gerar impactos devastadores no planeta. E ocorre, devido as ligações de hidrogênio dentro dos sedimentos só serem capaz de aprisionar o metano em baixas temperaturas (figura 5).

A fonte primária de informação sobre os reservatórios de hidratos de metano são os dados sísmicos somados à análise de dados de poços. O dado sísmico estudado foi adquirido pelo Dr. W. Steven Holbrook, da Universidade de Wyoming. É um dado sísmico 3D, com área

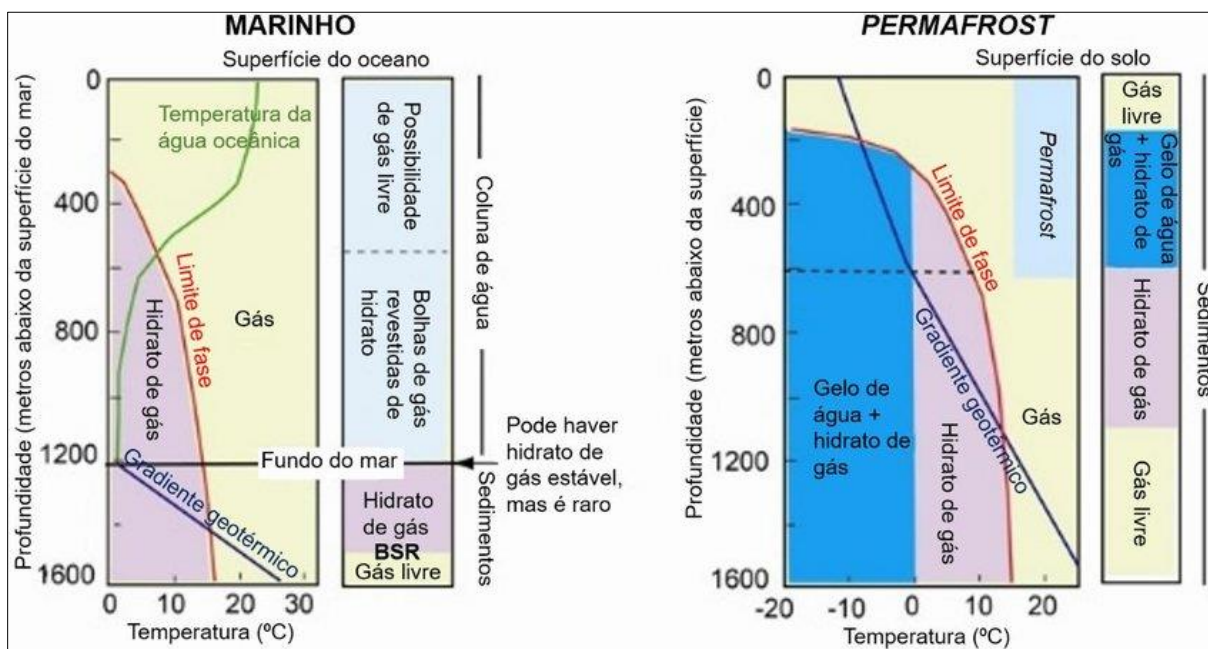


Figura 5. Zonas de estabilidade de gás em ambientes marinhos e terrestres. Fonte: Neves et al. (2018).

de 348.93 km², 5900 ms na direção Z, e com a técnica de migração de dados sísmicos, Pré-Stack Time Migration (PSTM). Writama et al. (2019), explica que comparativamente, a técnica

PSTM, que é aplicada antes do processo de empilhamento, fornece melhores resultados, especialmente para ser conduzido em estruturas complexas de imagem, como estrutura de afundamentos conflitantes e redução de energia de pontos de reflexão devido ao deslizamento lateral do que com Post-Stack Time Migration.

1.2 OBJETIVOS

A finalidade desta pesquisa, é avaliar a eficácia das metodologias geofísicas aplicadas, para contribuir no estudo e monitoramento de reservatórios de hidratos de metano, visto a importância destes como fonte energética e de potencial poluidor, por meio da identificação de feições sísmicas características desse ambiente, iluminação de *Bright Spots*, indicação de trapas, e possíveis condutos de fluidos à superfície.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL

O Blake Plateau Trough é uma grande depressão estrutural que fica de 75 a 200 mi (120 a 320 km) no mar em 1.000 a 3.000 pés (304 a 912 m) de água (Maher and Applin, 1971, p. 4 apud Olson, 1977). O flanco oeste desta bacia sobe gradualmente de uma profundidade maior que 20.000 pés (6.080 m) para o aterro do sudeste da Geórgia que é delineado pelo contorno de 4.000 pés (1.212 m) (Maher and Applin, 1971, p. 26 apud Olson, 1977). Poucas informações específicas são conhecidas sobre a estrutura e os sedimentos dentro desta importante bacia estrutural. As informações de perfuração ao longo das extremidades costeiras sugerem que a bacia provavelmente foi preenchida com sedimentos do Cretáceo Inferior e mais antigos (Scott and Cole, 1975 apud Olson, 1977). As principais inconformidades estão presentes na seção, sugerindo não apenas armadilhas estruturais, mas também armadilhas estruturais e estratigráficas combinadas (Maher and Applin, 1971, p. 64 apud Olson, 1977).

Uchupi (1968 apud Olson, 1977) descreveu o Blake Plateau como "uma ampla plataforma que se estende da ponta norte do Estreito da Flórida até o Mirante do Cabo, onde se funde com a encosta continental". Aquela parte do planalto oposto à costa da Carolina do Sul - de 34 a 32 ° N lat. - foi descrita por Uchupi como uma rampa inclinada que começa a diminuir o ângulo de inclinação de menos de 1° para menos de 2° e se alarga de 25 para 85 mi (40 a 140 km). Esta parte da superfície do planalto é interrompida por bancos gigantes cujas bordas voltadas para o mar estão em profundidades de 320 a 280 m. As bancadas são separadas por encostas com cerca de 40 m de altura (Uchupi, 1968 apud Dover et al., 2003). A configuração geral e as profundidades de água do Blake Plateau e a extremidade em direção à Blake Outer Ridge são indicadas na figura 6.

A depressão proeminente no Blake Ridge Diapir está provavelmente relacionada à infiltração de metano no fundo do mar, mas o processo que levou à sua formação é desconhecido. Sugere-se que o gás se acumula sob uma vedação relativamente impermeável (como o carbonato). As fraturas em desenvolvimento ligam a bolsa de gás ao oceano sobrejacente e são os meios para a liberação do excesso de pressão e formação de manchas. Alternativamente, a depressão pode ser a expressão superficial da retirada de sal resultante da dissolução química subsuperficial, como é frequentemente observado no topo de diopiros de sal no Golfo do México (Aharon et al., 1997; Hovland and Judd (1988); Uchupi et al. (1996) apud Dover et al., 2003).

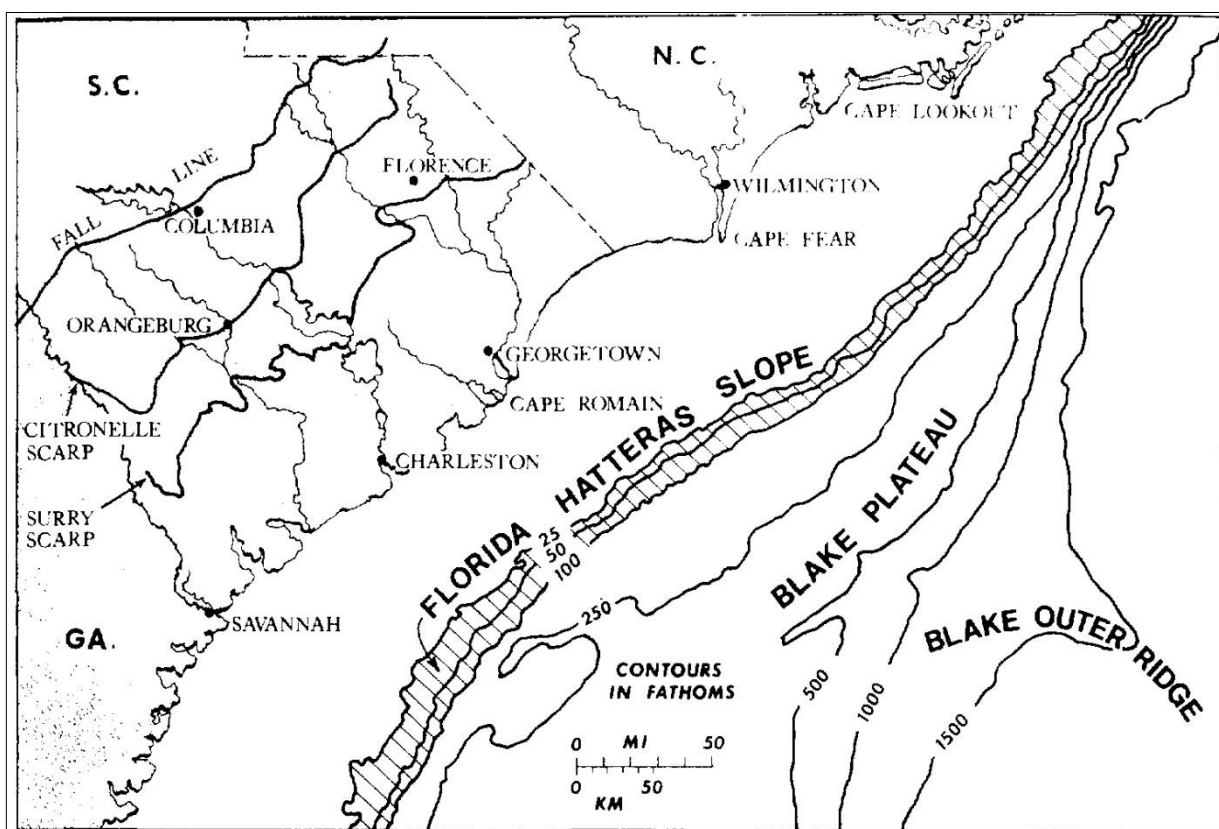


Figura 6. Mapa de profundidade do Blake Plateau e Blake Ridge.

2.2 ESTRATIGRAFIA

Na maior parte da região, o topo do depósito de hidrato de metano de Blake Ridge provavelmente se encontra em profundidades superiores a 100 m abaixo do fundo do mar (mbsf; Paull et al., 1996 apud Dover et al., 2003). Em alguns locais, no entanto, o hidrato de gás e o gás livre subjacente ocorrem perto do fundo do mar, e a interação do reservatório de hidrato

com processos geológicos, oceanográficos e outros leva ao desenvolvimento de infiltrações focalizadas (Dover et al., 2003).

Sedimentos consistindo de silte e argila com 20–40% de carbonato pelágico (Paull et al., 1995; Dillon and Max, 2000b apud Dover et al., 2003) cobrem um diápiro. Esses sedimentos, que foram depositados por fortes correntes de fluxo para o sul perto do fundo, foram acumulados rapidamente (até 48 cm ka⁻¹) durante o final do intervalo do Pleistoceno (Paull et al., 1996).

A planície costeira do Atlântico consiste em depósitos sedimentares que variam em idade do Triássico ao Holoceno, com exceção do Jurássico. Essas unidades estão inconformadas no complexo de rocha ígnea e metamórfica que forma a província do Piemonte da era pré-cambriana e paleozóica. Em geral, a massa de rocha sedimentar fica mais espessa de zero ao longo da Linha de Queda em direção ao mar até aproximadamente 4.000 pés (1.212 m) na zona costeira (Siple, 1958 apud Olson, 1977).

3. METODOLOGIA

3.1 BOTTOM SIMULATING REFLECTOR (BSR)

O estudo do *Bottom Simulating Reflector* é um dos principais meios de investigação nos dados sísmicos de reservatórios de hidratos de metano. O BSR é uma feição sísmica que coincide com a base do campo de estabilidade do hidrato de gás (figura 7) e é comumente usado como indicador de hidratos de gás natural submarino (Andreassen et al., 1997). Alguns autores conceituam o BSR como:

“O Bottom Simulating Reflector é um refletor sísmico que simula o fundo marinho, possui amplitude elevada e polaridade invertida. Corresponde ao contraste de impedância acústica entre a camada de estabilidade dos hidratos (zona mais densa, com velocidade mais alta) e a camada inferior à esta curva de estabilidade (zona com bolhas de gás livre, menos densa), onde a velocidade é mais baixa, o que gera um refletor com polaridade negativa em relação àquele referente ao fundo do mar.” (Singh et al., 1993 apud Freire, 2013; McConnell and Kendall, 2002; apud Aguiar, 2017).

Os hidratos de gás de Blake Ridge são conhecidos por ocorrerem em locais sem BSR (Paull et al., 1996), entretanto, a presença de um BSR abaixo de uma grande parte de Blake Ridge implica a ocorrência generalizada de hidratos de gás (Dover et al., 2003). E, várias gerações de

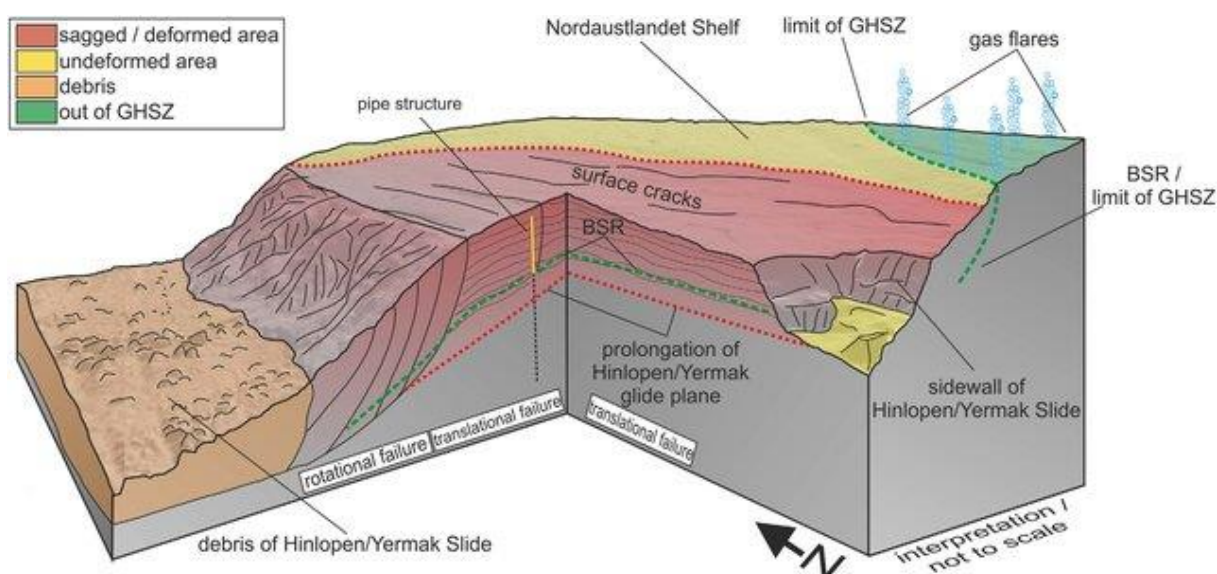


Figura 7. Bloco diagrama com exemplo de ambiente com hidratos de metano. Fonte: (Geissler et al., 2016).

pesquisas sísmicas (por exemplo, Tucholke et al., 1977; Rowe and Gettrust, 1993; Taylor et al., 1999; Holbrook, 2000) mapeiam esse refletor de simulação de fundo (BSR) extenso (Dover et al., 2003). Para auxiliar a interpretação dessa feição sísmica utiliza-se as seções de atributos sísmicos para o realce dessa região.

3.2 RESERVATÓRIOS NÃO-CONVENCIONAIS

Ribeiro (2015) destaca que a principal diferença entre um reservatório convencional e um reservatório não convencional é que para um reservatório convencional há um sistema petrolífero que engloba rochas geradoras, reservatórios e selantes aliados a presença de trapas. E no reservatório não convencional, a própria rocha geradora é também a rocha reservatório e devido à baixa permeabilidade, terá também a função de rocha selante. Os reservatórios não convencionais são abundantes e em relação aos reservatórios convencionais suas reservas são muito superiores. As características desse tipo de reservatório são distintas, podendo ser profundos ou não, ser homogêneos ou naturalmente fraturados, possuir altas ou baixas temperaturas, conter uma única zona ou múltiplas e ser tabular ou lenticular (Baptista, 2011 apud Ribeiro, 2015). Os reservatórios não-convencionais são divididos em: Gás/Óleo em areias compactas, Gás/Óleo em folhelhos, petróleo pesado, hidratos de metano e metano em leitos de carvão.

Os reservatórios de gás não convencional, segundo Oliveira (2017) são reservatórios incapazes de produzir volumes comerciais de hidrocarbonetos gasoso sem assistência de estimulações ou métodos de recuperação especiais. Nessas acumulações o gás é produzido a partir de arenitos/carbonatos não permeáveis (“tight gas sand”/“carbonates”), de folhelhos que são rochas finas de baixíssima permeabilidade (“shale gas”), de carvão mineral (“coalbed methane”) e de depósitos de hidrato de gás (“gas hydrate deposits”).

Os reservatórios não convencionais têm a sua produção com sucesso principalmente nos Estados Unidos da América e baseado no sucesso norte americano, o incentivo a pesquisas relacionadas a esse tipo de reservatório vêm se tornando cada vez mais crescente em outros países (Ribeiro, 2015). Rechden (2019) elenca além dos Estados Unidos, a Rússia, a Argentina e a China como países em destaque na produção a partir de reservatórios não convencionais.

3.3 HIDRATOS DE METANO

Hidratos (ou clatratos) de gás são estruturas cristalinas formadas por moléculas de água e estabilizadas por moléculas gasosas em seu interior, que ocorrem na natureza aprisionados em sedimentos ou não, sob condições específicas de temperatura e pressão compreendidas em uma faixa chamada zona de estabilidade de hidratos (figura 8). Geralmente, o gás contido na estrutura cristalina dos hidratos de gás é o metano (CH_4), porém também é possível a ocorrência de hidratos contendo dióxido de carbono (CO_2) ou hidrocarbonetos mais pesados, como o etano (C_2H_6) (MME and EPE, 2016).

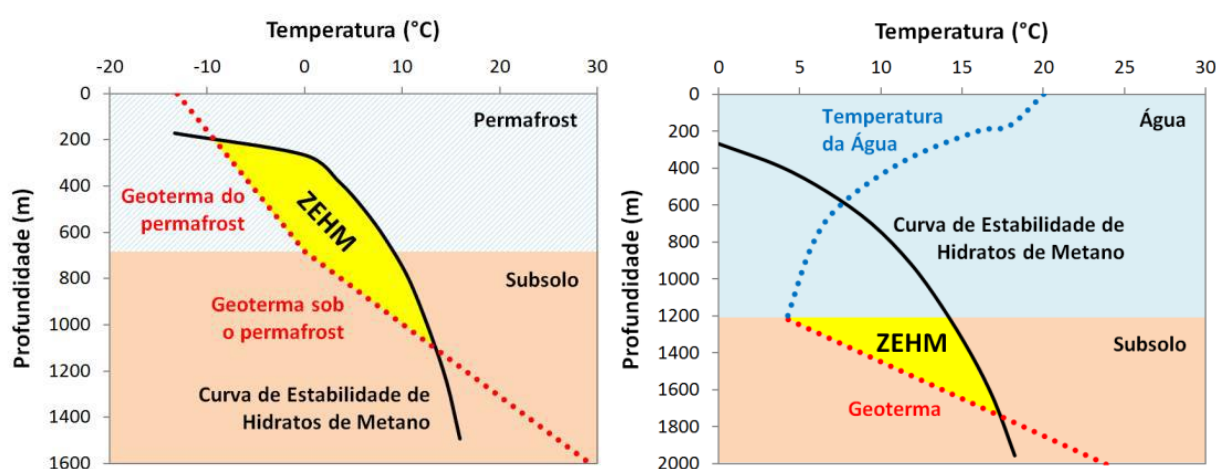


Figura 8. ZEHM em permafrost (esquerda) e em ambiente marinho (direita). Fonte: Adaptado por MME and EPE (2016) de Chong et al. (2016)



Figura 9. Hidratos de Metano. Fonte: Pinkston and Stern, 2016)

Os hidratos de metano (figura 9) possuem uma fórmula molecular média representada por $(\text{CH}_4)_4(\text{H}_2\text{O})_{23}$, correspondendo a 13,4% em massa de metano, sendo que cada m^3 de hidrato de metano pode conter aproximadamente 160 m^3 de metano nas CNTP após sua dissociação (CHONG et al., 2016 apud MME and EPE, 2016). Existem cerca de cinco tipos de depósitos de hidrato de gás natural encontrados no campo que são mostrados na figura 10. As formações de hidratos de metano podem estar associadas às regiões de contato dos grãos de sedimentos, ou

revestindo os mesmos, e ainda fazendo parte da matriz granular ou preenchendo os poros da

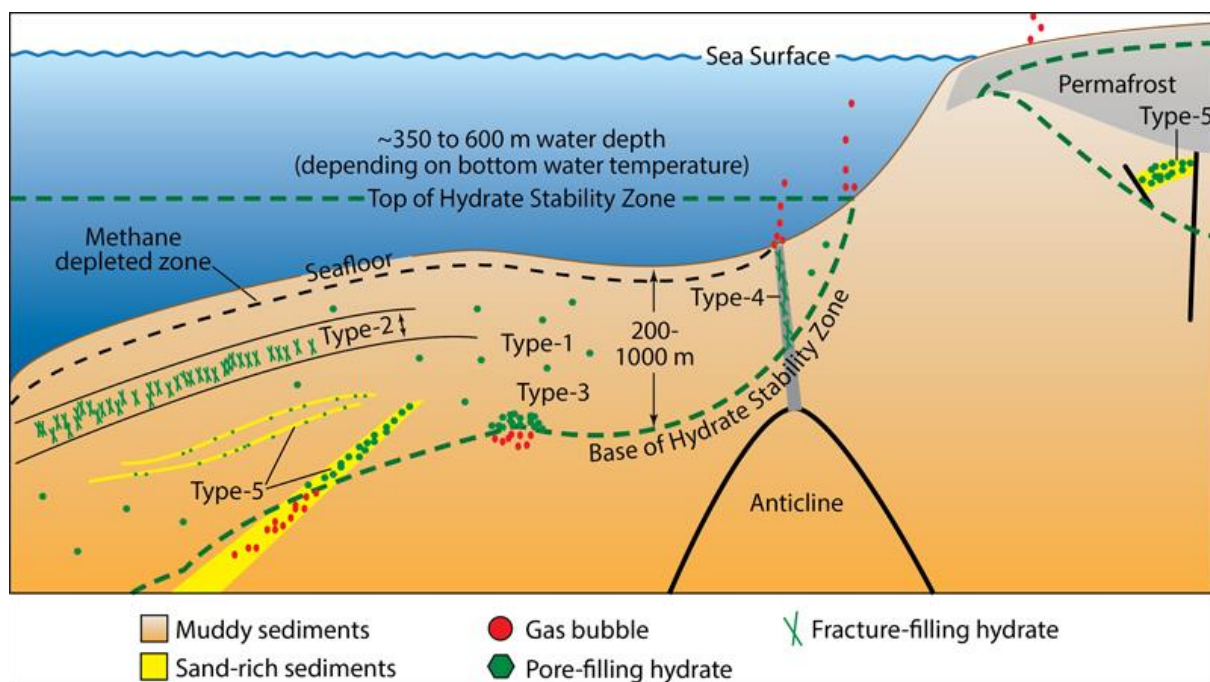


Figura 10. Tipos de hidratos de metano. Fonte: You et al. (2019) apud You et al. (2020).

mesma. Também podem ser formados em uma matriz de hidratos contendo grãos de sedimento, ou uma matriz rochosa contendo fraturas e falhas preenchidas por hidratos.

As ZEHM são geralmente definidas em termos de pressão e temperatura, entretanto outros fatores são essenciais para que haja a ocorrência de hidratos de metano nestas regiões, como a disponibilidade de quantidades suficientes de gás natural, a composição, salinidade adequada da água, condições adequadas de porosidade e permeabilidade do solo, além das variações sazonais das geotermas e da temperatura da água (MME and EPE, 2016), algumas das formas de ocorrência dos hidratos de metano na natureza tem sua morfologia identificada na figura 11.

As rochas que favorecem a formação de hidratos de metano tem como características formações geológicas com permeabilidade e porosidade adequadas ao fluxo de água e de gás necessários para sua composição. A produção de gás metano a partir de reservatórios de hidratos é mais viável em rochas com elevada porosidade, o que permite a ocorrência de uma alta saturação de hidratos de metano, e de permeabilidade, favorecendo o fluxo do gás até os poços de produção (EME and EPE, 2016). As melhores condições de produção de hidratos de metano ocorrem nos arenitos e sedimentos com granulometria alta existentes no Ártico e na plataforma continental de diversos países, a exemplo da área de estudo dessa pesquisa.

Oliveira (2017) exemplifica os diversos métodos para exploração desses tipos de

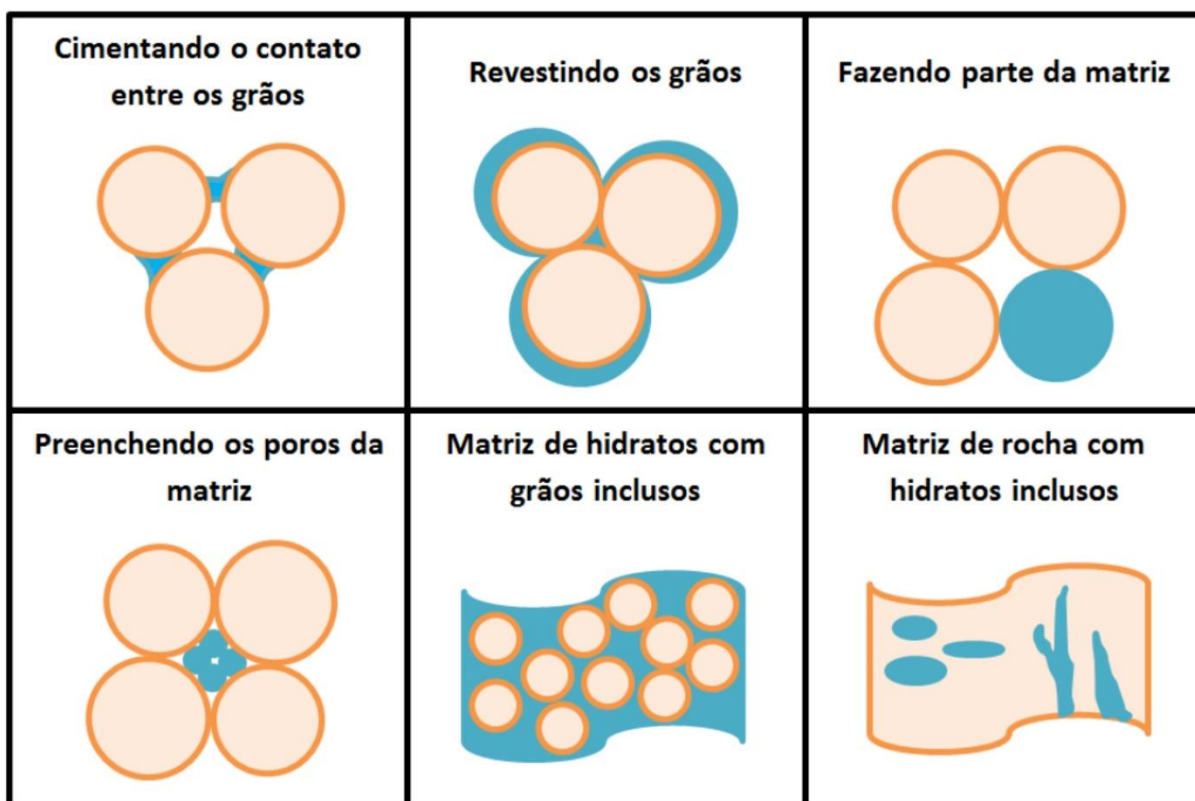


Figura 11. Morfologia de ocorrência dos hidratos de metano na natureza.

reservatórios, os mais comumente utilizados são, elevar a temperatura dos reservatórios acima da temperatura de dissociação de hidratos utilizando água quente ou injeção de vapor, injetar inibidor como metanol ou glicol para redução da estabilidade dos hidratos ou reduzir a pressão do reservatório abaixo da pressão de equilíbrio dos hidratos tirando a estabilidade do mesmo.

Além do perigo de catástrofe ambiental pela dissociação em cadeia de hidratos, Oliveira (2017) mostra outros desafios na exploração desse tipo de formação não convencional, como a baixa permeabilidade dos sedimentos de hidratos, que podem gerar uma instabilidade do leito

marinho e também podem levar a uma recristalização dentro das tubulações de produção ocasionando o bloqueio das linhas, resultando em uma especulação de produção de gás em reservatórios de hidratos mais onerosas se comparado com reservatórios de gás convencional.

3.4 SÍSMICA DE REFLEXÃO

As atividades presentes na indústria do petróleo podem ser divididas em dois grupos (figura 12): upstream e downstream. O primeiro grupo contempla as atividades ligadas à exploração e produção de hidrocarbonetos, já o segundo grupo contempla as atividades ligadas ao refino e a distribuição dos produtos derivados (Ancelme, 2015). A exploração é a fase em que são realizados estudos geológicos e geofísicos, com a finalidade de delimitar a região mais propícia a reservatórios de hidrocarbonetos. Os estudos geofísicos contém um conjunto de métodos de investigação indireta da subsuperfície, os métodos sísmicos são as principais ferramentas para essa investigação, principalmente para mapeamento de estruturas em subsuperfície.

A sísmica de reflexão é um subgrupo dos métodos sísmicos, e é baseada no contraste da propriedade física entre as rochas. Quando uma onda sísmica atinge a fronteira (interface) entre dois meios com propriedades físicas distintas (velocidade e/ou densidade), a onda é espalhada e então parte da energia é refletida de volta para o meio no qual a onda estava se propagando e parte é refratada (transmitida).

A geometria de espalhamento da onda obedece a lei de Snell. Considerando dois meios distintos, onde uma onda sísmica se propaga com velocidade v_1 e v_2 respectivamente a lei de Snell é dada por:

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{v_1} = \frac{\text{sen}\theta_r}{v_2} = \frac{\text{sen}\theta_t}{v_2}$$

Em que,

i: ângulo da onda incidente

r: ângulo da onda refletida

t: ângulo da onda transmitida

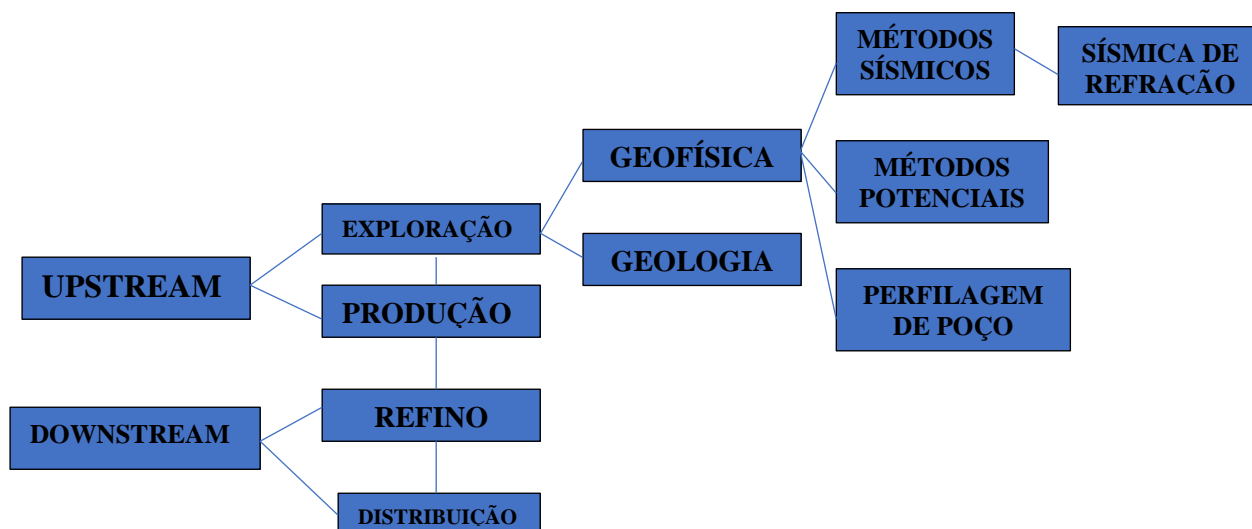


Figura 12. Etapas da indústria do petróleo. De Upstream à sísmica de reflexão.

A aquisição sísmica pelo método de reflexão sísmica (figura 13) oferece vantagens, como por exemplo os descritos por Ancelme (2015): offsets (distância da fonte ao receptor) relativamente pequenos, não necessita que a velocidade vá aumentando com o aumento da profundidade, fornece melhor interpretação para geologias complexas e propicia um imageamento direto da subsuperfície, sua capacidade de produzir como resultado final imagens sísmicas que forneçam alta definição das feições geológicas, além de permitir a cobertura de grandes áreas de aquisição quando comparado com um método de aquisição direto, como a perfuração de poços. Mas também possui desvantagens segundo o autor: a necessidade do uso do aparato fonte - receptor por diversas vezes para um mesmo objetivo tornam o método relativamente caro, o processamento dos dados obtidos tem um alto custo computacional e a subsuperfície imageada não é tão simples de ser interpretada.

Um pressuposto é feito sobre a fonte sísmica: de que uma fonte pontual é responsável pela onda sísmica. No caso de uma fonte explosiva é assumido que uma força compressional com direção radial é criada em um ponto. De maneira similar, um martelo batendo em uma placa de metal na superfície, é considerado uma fonte pontual de força compressiva vertical.

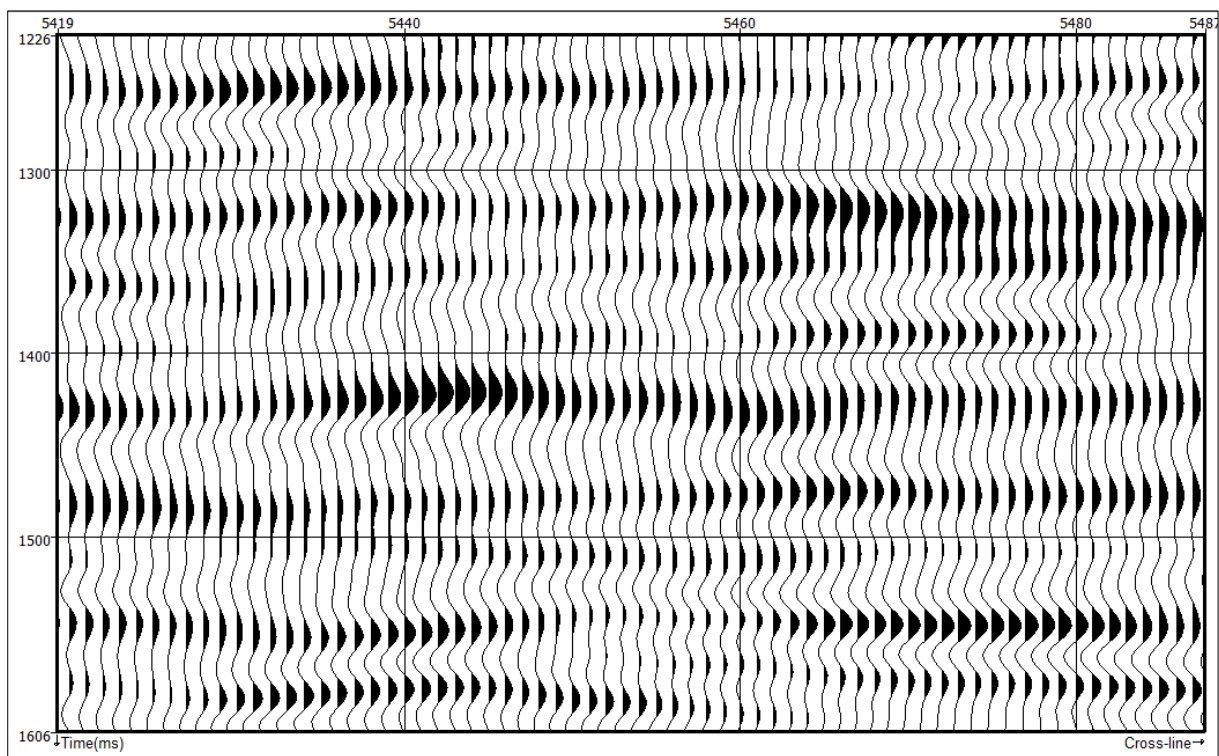
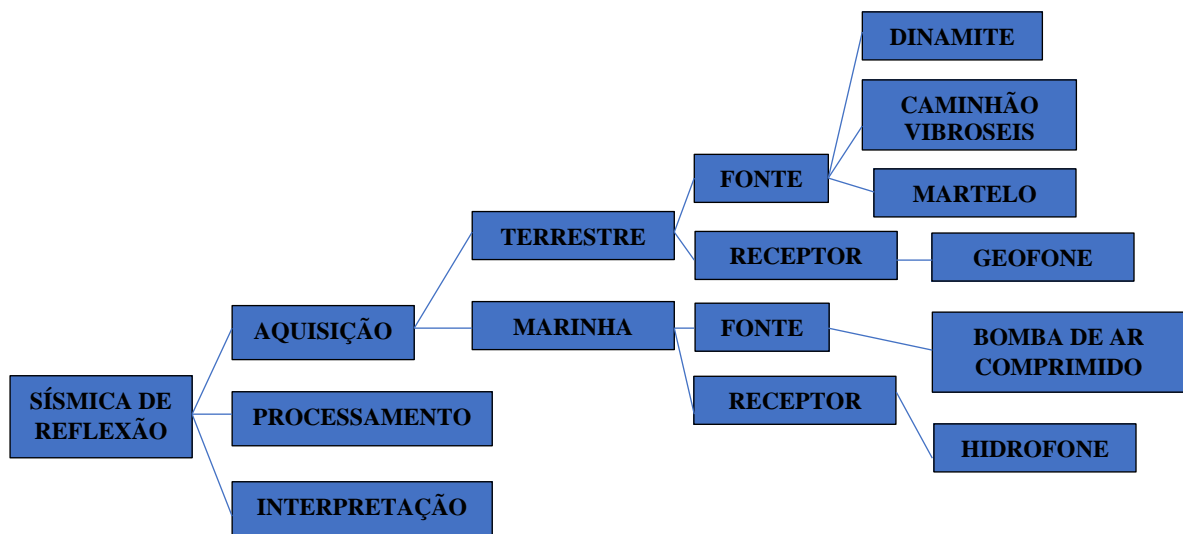


Figura 14. Exemplo de uma seção sísmica tempo vs. Offset, ampliada para a visualização dos traços sísmicos com suas amplitudes e polarização.

Estes conceitos simples esbarram em limitações práticas (o chão entorno do explosivo é heterogêneo, ao fato que na placa de metal existem também tensões cisalhantes, etc). Os receptores (geofones) que captam a porção refletida das ondas ficam situados em pontos específicos na superfície. O registro sísmico em um dado receptor é chamado de traço sísmico. Ao traço sísmico, estão associados: o tempo de chegada (tempo de trânsito) a amplitude do sinal

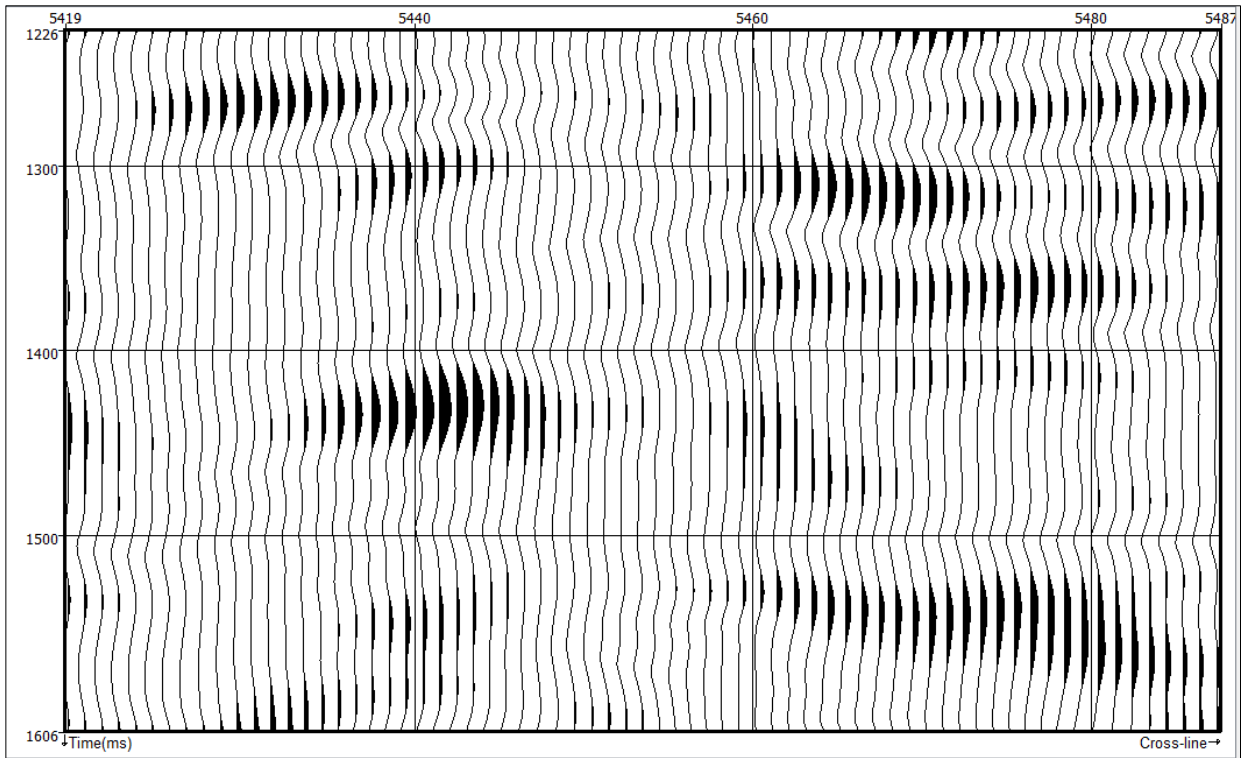


Figura 15. Exemplo de uma seção sísmica com atributo de tempo vs. Offset, ampliada para a visualização dos traços sísmicos com suas amplitudes e polarização.

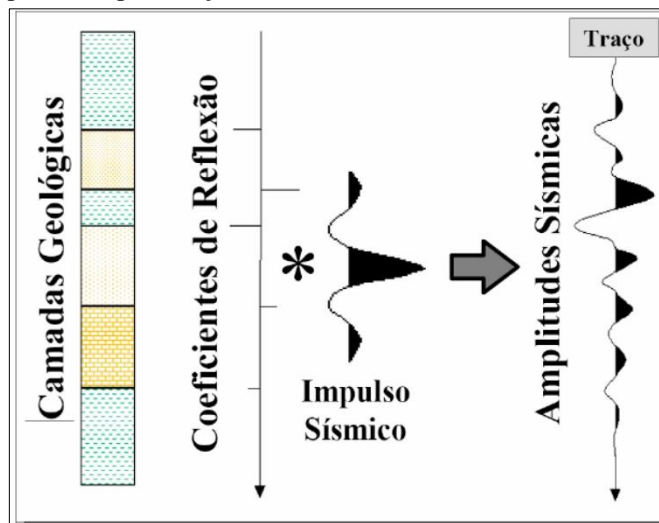


Figura 16. Obtenção das amplitudes sísmicas a partir da reflexão nas camadas geológicas.

e a polarização (figura 14). Uma vez captadas pelos sensores, as informações são gravadas em sismógrafos. O sismógrafo armazena as amplitudes das ondas em intervalos de tempo regulares (tipicamente e a 4 milissegundos) tanto o instante de tempo da chegada da informação quanto a intensidade da onda medida nesse momento (Ancelme, 2015). As amplitudes do traço sísmico registrado são os principais parâmetros para os atributos sísmicos desta pesquisa. Pois, por meio destas informações de amplitude é possível por meio de operações matemáticas, extrair informações importantes do dado e fazer o realce de outras (figura 15). Na figura 16, é possível ver um esquema de geração de um traço sísmico a partir da reflexão em interfaces geológicas.

3.5 ATRIBUTOS SÍSMICOS

Em 1971 (figura 17), A. H. Balch desenvolveu um sistema computacional-gráfico-fotográfico, denominado sonograma colorido, para exibir os espectros de frequência de eventos sísmicos simultaneamente com suas formas de onda que variam no tempo (Balch, 1971 apud Chopra, 2007). Em tal exibição, as formas de onda são apresentadas usando um esquema convencional de área variável, mas com o lóbulo positivo colorido para representar os componentes de frequência dos dados. As mudanças laterais na atenuação da rocha, ou a perda de altas frequências devido a leves mudanças laterais na velocidade de deslocamento e semelhantes, podem aparecer como mudanças de cor em tais telas. O artigo de Balch de 1971 foi considerado a primeira publicação em Geofísica a exibir dados sísmicos em cores. Seu trabalho marcou o início de uma era em que a cor, com a gama dinâmica aprimorada que ela oferece, é usada para análises significativas de dados sísmicos (Chopra, 2007).

Na mesma época (1968-69) (figura 17), Nigel Anstey da Seiscom Limited U.K. estava trabalhando em exibições sísmicas inovadoras e desempenhou um papel fundamental na introdução de cor em seções sísmicas (N. Anstey, 2005 apud Chopra (2007), e comunicação pessoal a Chopra (2007), 2005). Anstey e sua equipe (Ron O'Doherty, Peter Ferrer, Judy Farrell e, posteriormente, Lloyd Chapman) instalaram a primeira plotadora a laser em escala de cinza em seu escritório em Lodon (a plotadora foi desenvolvida pela Southwestern Industrial Eletronics, ou SIE). Ao fazer experiências com esse plotter, a equipe desenvolveu técnicas de separação de cores para exibir duas variáveis no sectino sísmico: o traço sísmico normal para dar a imagem estrutural e uma modulação auxiliar em cores para mostrar a velocidade do intervalo, intensidade de reflexão, conteúdo de frequência ou tudo o mais que possa ser útil (Chopra, 2007).

A sobreposição dos atributos de cor nas seções sísmicas em preto e branco resultou em exibições que forneceram mais informações - com a exibição sísmica em preto e branco convencional fornecendo informações estruturais e o atributo sísmico fornecendo informações estratigráficas mais sutis. Por ter ocorrido durante o período da revolução dos pontos brilhantes,

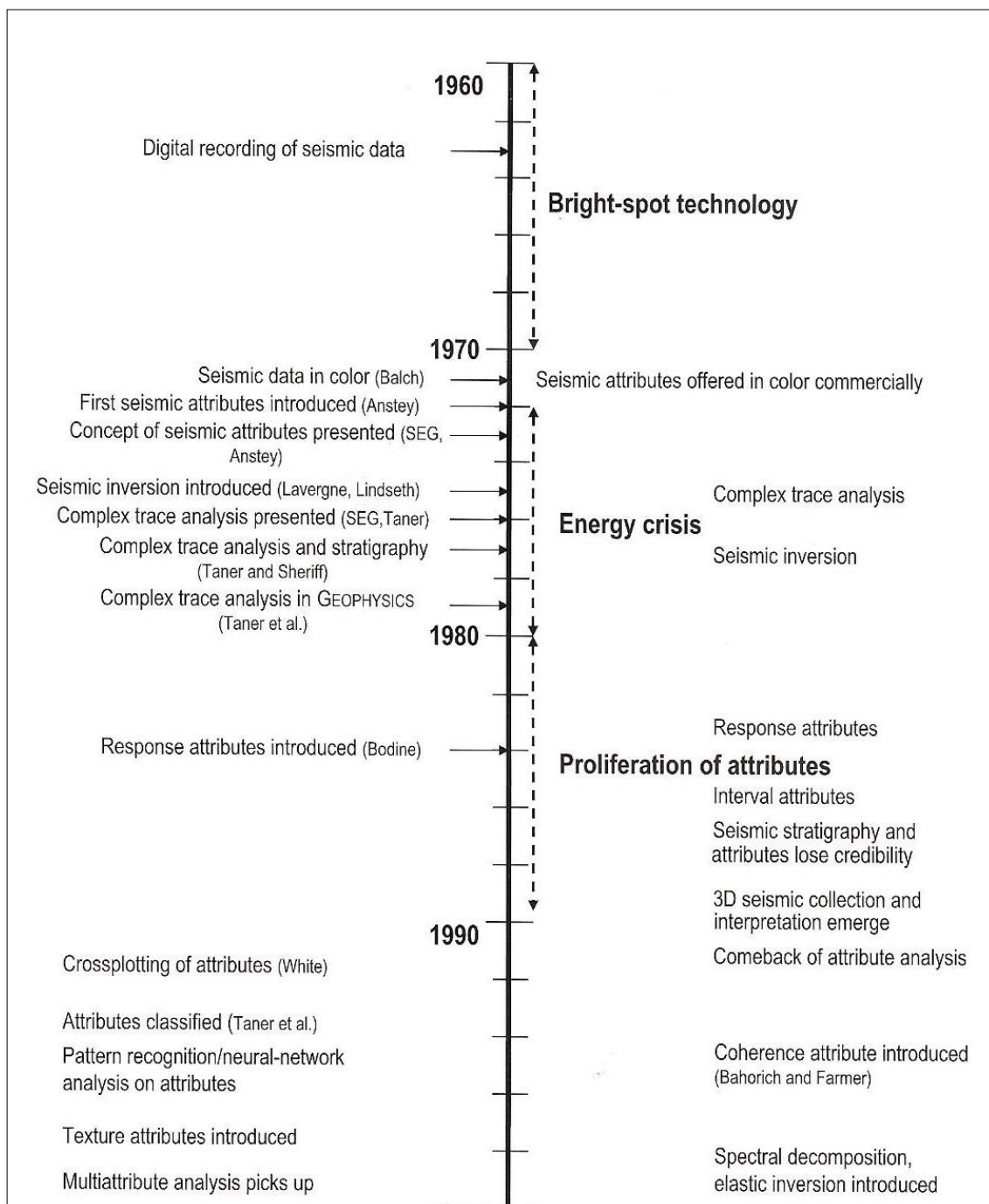


Figura 17. Linha do tempo da criação dos atributos sísmicos. Fonte: (Chopra, 2007).

as exibições mais populares eram aquelas de intensidade de reflexão (a amplitude do envelope) (Chopra, 2007).

Após a saída de Anstey da Seiscom Ltd. (Houston) em 1975 (figura 17), seus colegas Turhan Taner e Fulton Koehler continuaram seu trabalho e desenvolveram uma estrutura matemática sólida para computação de atributos (Taner and Sheriff, 1977; Taner et al., 1979 apud Chopra, 2007). Em sua abordagem, a amplitude do traço sísmico é tratada como a parte real do sinal analítico (complexo), enquanto a parte imaginária do sinal é calculada pela transformação de Hilbert. O envelope é calculado tomando a raiz quadrada da soma dos quadrados das componentes real e imaginária, e a fase é calculada tomando o argumento duplo tangente inversa das componentes imaginária e real. Finalmente, a frequência é calculada como a taxa de mudança da fase. Esses cálculos foram realizados em cada amostra do traço sísmico e, desde então, foram apelidados de atributos instantâneos. Em 1975, três atributos principais - envelope instantâneo, fase e frequência - foram estabelecidos (Chopra, 2007).

Para Chopra (2007), um atributo sísmico é qualquer medida de dados sísmicos que possibilita uma melhor visualização ou quantificação de recursos ou interesse de interpretação. Ainda explica, que um bom atributo sísmico é diretamente sensível à característica geológica desejada ou propriedade do reservatório de interesse, ou nos permite definir o ambiente estrutural ou deposicional e, assim, nos permite inferir algumas características ou propriedades de interesse.

Para Brown (1999), um atributo é necessariamente um derivado de uma medição sísmica básica. Essas informações básicas são tempo, amplitude, frequência e atenuação e estas formam a base de nossa classificação de atributos. E destaca que em situações em que a fase dos dados for desconhecida e não puder ser avaliada, a amplitude instantânea (também conhecida como amplitude de envelope ou força de reflexão; Taner and Sheriff, 1977 apud Brown, 1999) fornece uma tela na qual a amplitude pode ser estudada independentemente da fase. Brown (1999) conceitua a amplitude derivada do traço complexo como a força de reflexão ou amplitude do envelope.

3.6 ENVELOPE

O atributo sísmico Envelope, também é conhecido como *Instantaneous amplitude*. Essa nomenclatura ocorre, devido em qualquer coordenada no eixo do tempo, existir a possibilidade de um vetor $a(t)$ ser calculado estendendo-se perpendicularmente para longe do eixo do tempo,

para interceptar o traço complexo helicoidal $z(t)$ como mostrado na figura 18. Assim, o comprimento deste vetor é a amplitude do traço complexo naquele instante particular no tempo.

O valor do Envelope é calculado usando a equação para $a(t)$:

$$a(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} \quad (1)$$

Em que:

$x(t) \rightarrow$ traço sísmico real

$y(t) \rightarrow$ traço sísmico imaginário

Na equação 1, utiliza-se da metodologia de análise de sinais denominada Transformada de

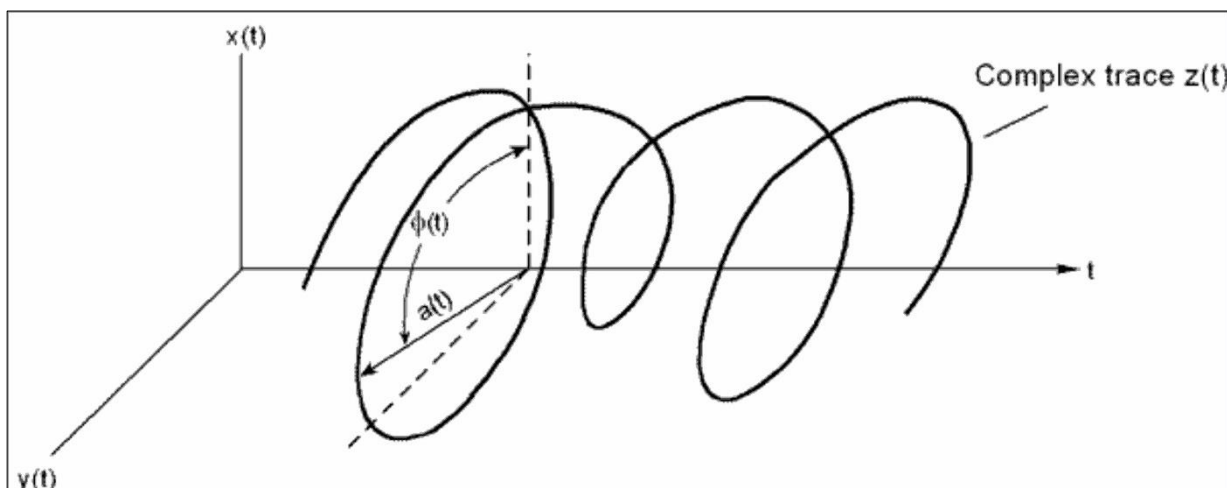


Figura 18. Comportamento do traço sísmico complexo ao longo do eixo tempo. Fonte: Hardage (2010).

Hilbert. Hardage (2010) mostra que a ação da transformada de Hilbert ocorre na conversão de um traço sísmico $x(t)$ em um traço sísmico complexo $z(t)$, como mostrado na figura 19. Neste contexto, o termo "complexo" é usado em seu sentido matemático, o que significa que se refere a um número que possui traço sísmico real $x(t)$ e um traço sísmico imaginário $y(t)$ que é a transformada de Hilbert de $x(t)$. Na figura 19, o traço sísmico real está confinado ao plano de dados reais; o traço de transformada de Hilbert é restrito ao plano de dados imaginários. Esses dois traços se combinam para formar um traço complexo $z(t)$, que aparece como uma hélice em espiral em torno do eixo do tempo. A projeção do traço complexo $z(t)$ no plano real é o traço sísmico real $x(t)$; a projeção de $z(t)$ no plano imaginário é o traço de transformada de Hilbert $y(t)$. Na figura 20, pode-se visualizar a transformação do Envelope na forma da amplitude.

3.6 SIMILARITY

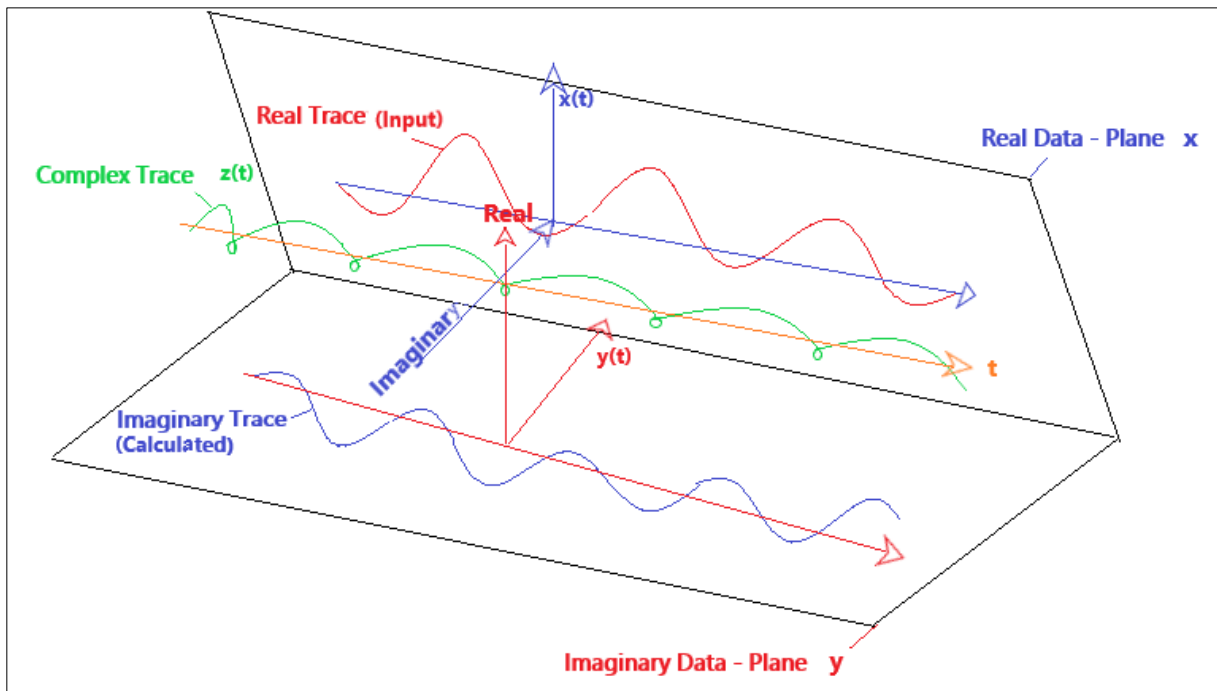


Figura 19. Espaço de dados tridimensional (x , y , t), onde t é o tempo sísmico, x é o plano de dados reais e y é o plano de dados imaginários. Fonte: Adaptado de Hardage (2010).

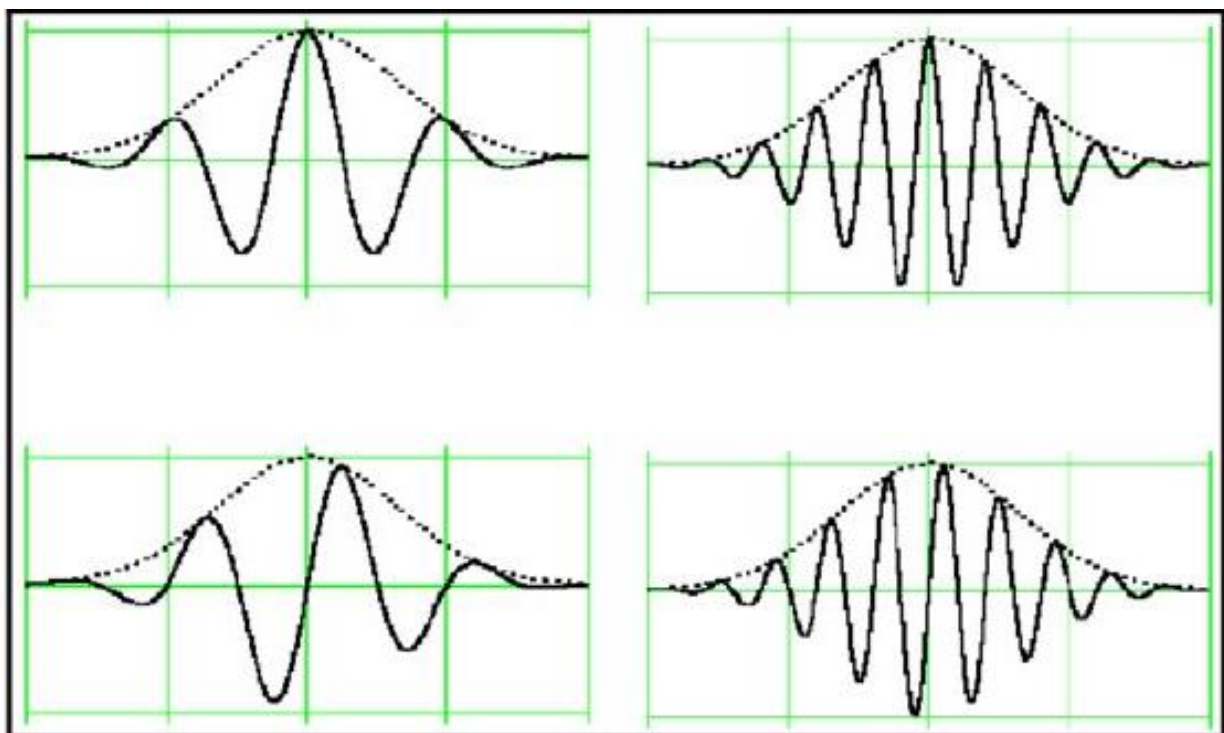


Figura 20. Atributo envelope e sua aplicação visual no traço sísmico. Fonte: (Helal et al., 2015).

Tingdahl et al. (2001) define o atributo *Similarity* como o mensuramento de quão semelhantes dois segmentos de traços sísmicos $u(t, x, y)$ são. A similaridade entre dois segmentos de traço em $(x + x_a, y + y_a)$ e $(x + x_b, y + y_b)$, centrado no tempo t , é definida como a distância no hiperespaço entre os vetores dos segmentos (figura 21), normalizada para a soma ou o comprimento dos vetores.

A medida de similaridade fornece resultados que variam de 0 a 1, onde valores próximos de 0 devem ser interpretados como semelhanças baixas e valores próximos de um devem ser interpretados como segmentos de traço quase idênticos. Uma vez que as chaminés sísmicas são distúrbios verticais da resposta sísmica, a semelhança é menor dentro das chaminés em comparação com os arredores.

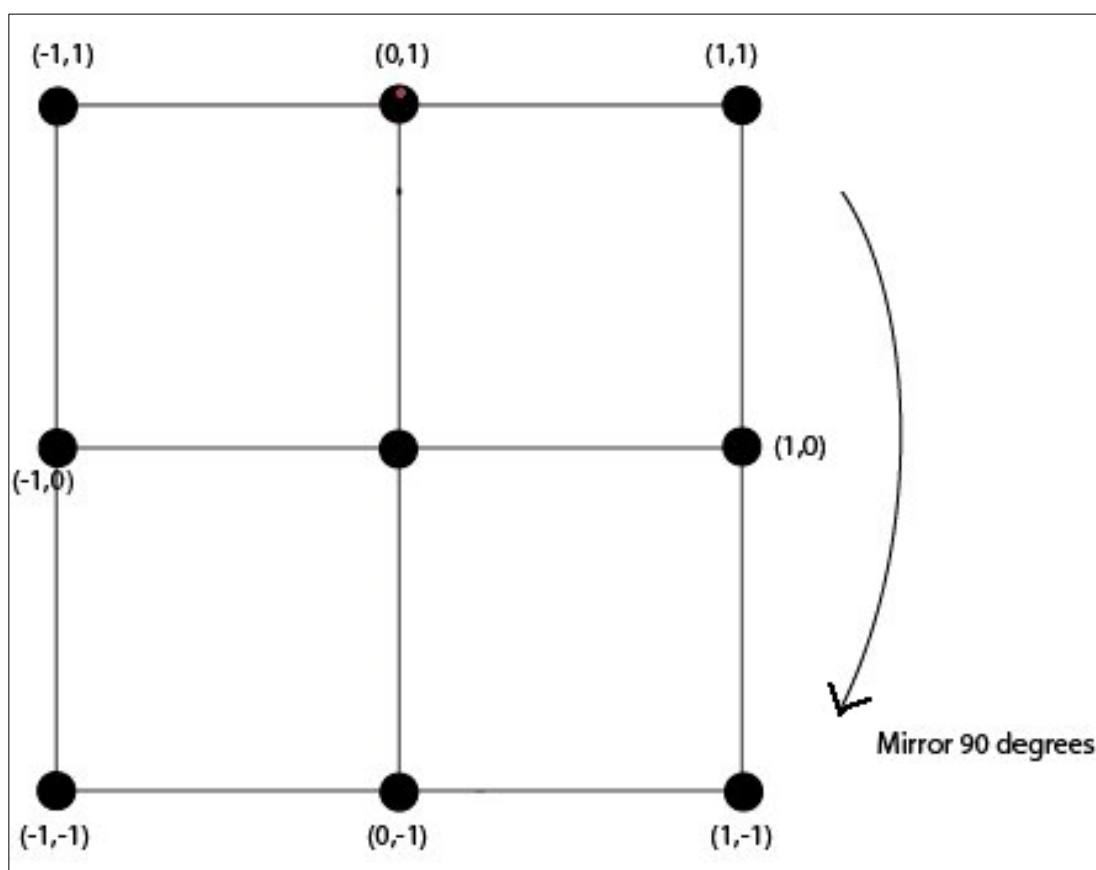


Figura 21. Definição das posições do traço em relação ao ponto de referência em (0,0). Fonte: dGB Earth Sciences (2019).

A similaridade também pode ser vista matematicamente como 1 menos a distância euclidiana entre os vetores dividida pela soma do comprimento de cada vetor (dGB, 2019). O comprimento de um vetor é sua norma, também chamada de valor RMS:

$$sim = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i)^2}} \quad [0 < sim < 1] \quad (2)$$

$$sim = 1 - \frac{\sqrt{\sum X}}{\sqrt{y}} \quad (3)$$

Sendo X e Y dois vetores, e N o comprimento destes.

4. RESULTADOS

O dado sísmico foi limitado a um intervalo de 3400 ms à aproximadamente 5000 ms, região que se obteve as feições estudadas. Do ponto de vista sedimentar, os resultados da perfuração revelam siltitos e argilitos de grão fino quase uniformes, 700 metros abaixo do fundo do mar, e os resultados de sondagem sísmica indicam que essas condições sedimentares existem em toda área de estudo (Paul et al., 1996).

A aquisição sísmica marinha detém parâmetros que de forma recorrente são abordados nesta pesquisa, e para fins de compreensão de nomenclaturas e visualização espacial da aplicação de metodologias desse estudo, torna-se pertinente a introdução dos conceitos de: *In-line*, *Crossline* e *Z-Slice*. Os dados sísmicos 3D (volume sísmico), são compostos por várias linhas sísmicas, e com duas direções espaciais, que são chamadas de *in-line* (direção das linhas sísmicas, ou direção dos cabos) e *crossline* (direção perpendicular às linhas sísmicas), além de uma direção temporal (Ancelme, 2015) que, frequentemente, para fins de interpretação é convertida em direção de profundidade (*z-slice*) (figura 22).

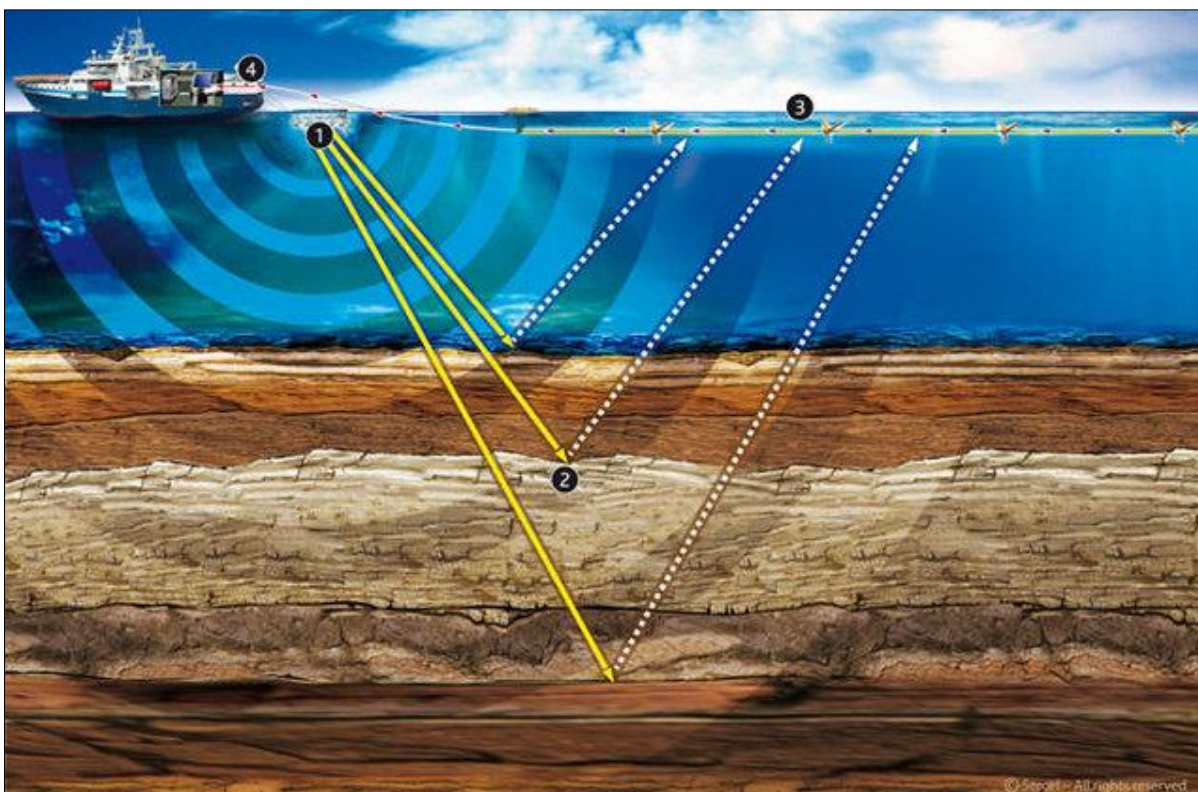


Figura 22. Elementos da aquisição sísmica. 1. Bomba de ar comprimido (fonte). 2. Interface de reflexão. 3. Cabos com hidrofones (receptores) conectados. 4. Navio (estação de comandos). Fonte: Silva (2014).

Para a definição de quais atributos seriam utilizados nesta pesquisa, fez-se testes com alguns dos vários atributos disponíveis no mercado. Observando os alvos à serem discriminados, identificados e mensurados, chegou-se a três atributos para testes. O atributo *Energy*, *Envelope* e *Similarity*. Ao começarem os testes, percebeu-se o desempenho superior do atributo *Envelope* em relação ao atributo *Energy*. Visto que ambos são utilizados para identificação de *Bright Spots*, fazia-se necessária a escolha do atributo que apresentasse melhor demonstração das características na seção sísmica, para que fossem atingidos os objetivos da pesquisa. Segundo Pereira (2019), o atributo *Energy* costuma ter um desempenho inferior quando comparado ao atributo *Envelope* na investigação de hidrocarbonetos, e utiliza como metodologia o fornecimento de energia de um segmento do traço através do cálculo da soma quadrada dos valores de amplitude em um intervalo de tempo especificado dividido pelo número de amostras nessa janela temporal. Esse tipo de operação com o traço sísmico levou à uma perda de informações das principais feições do dado sísmico em questão, devido à uma alta de amplitude em todo a seção, levando à perda de pequenas características de grande importância.

O *Similarity* foi escolhido por ter como característica o aprimoramento de falhas, e realizou-se o teste do mesmo para avaliar a viabilidade da pesquisa e a possível necessidade de seleção de outros atributos de mesmas características. O primeiro teste começou com a aplicação do atributo na direção *In-line*, e percebeu-se distorção e falta de resolução. O segundo teste foi realizado na direção *crossline*, e obteve-se clara indicação das características esperadas entre outras características. Fez-se então, a definição da utilização dos atributos *Envelope* e *Similarity* nesta pesquisa, utilizado cada um na direção *in-line* e *crossline*, respectivamente.

4.1 ANÁLISE DO ATRIBUTO ENVELOPE

Sobre as feições encontradas, utilizando de ferramenta do *software* OpendTect, traçou-se um limite de fase de hidrato de metano em lilás para o primeiro trecho, e roxo para o segundo trecho. Em verde escuro, traçou-se a onda de sedimentos de flanco oriental (OSFO), os Flancos são superfícies onduladas que se encontram entre o eixo de uma anticlinal e de uma sinclinal, e podem ser melhor visualizados na figura 23, com representação na seção sísmica com rotação na figura 24. Identifica-se também a presença de lentes, em verde claro, que pode ser associado a um corpo de minério, rocha ou um depósito com afinamento nas bordas e espessamento no

meio, se assemelhando a uma lente convexa de seção transversal. O BSR traçado faz parte de estudos anteriores que mostraram sua extensão por 76% do volume do dado, e aproximadamente 50% da área da província de hidratos.

O atributo Envelope mostrou no primeiro trecho (figura 25), poucas áreas com reflexões sísmicas contínuas de alta amplitude associadas ao hidratos e ao gás livre em relação ao trecho dois e as lentes. O segundo trecho, mostrou-se com extensão bem maior do que estudos anteriores sugerem, e com o atributo Envelope teve comportamento expressivo, com zonas elevadas do *in-line* 1 ao 11, e zonas rebaixadas do *in-line* 12 ao 14, o que gerou um efeito de fendas na figura 25.C mas que pode ser visto com clareza por um outro ângulo na figura 24. Esse rebaixamento do BSR no trecho dois pode estar ligado a processos de erosão e sedimentação com taxas suficientemente altas a ponto de impactar a temperatura subsuperficial, levando ao desequilíbrio do BSR. E, ainda pode ser um indicativo de que a alteração no gradiente térmico faz com que o sistema de hidrato de gás seja dinâmico como proposto por Hornbach et al. (2008).

Sabendo que a ocorrência do gás requer condições propícias de temperatura e pressão, isso poderia levar à liberação de metano, que explicaria a ausência de gás na região onde se formaram fendas (figura 25.C), e presença de gás abaixo do BSR que sofreu deslocamento. Além disso, analisando o comportamento da BSR além do intervalo de estudo, percebe-se que a descontinuidade do trecho um para o trecho dois tende a diminuir no volume, aparecendo no intervalo de 1 a 14 como dois trechos e a partir do *in-line* 58 como um trecho apenas. Mostrando novamente uma possível movimentação das linhas do BSR.

A OSFO acontece em todas as 96 linhas do volume, e mostra uma brusca interrupção do segundo trecho do BSR. Uma explicação proposta por Hornbach et al. (2008) é que os sedimentos com gás apresentam maior porosidade/permeabilidade do que os estratos circundantes, sugerindo uma advecção ascendente do BSR e o fluxo contínuo de fluido ao longo do limite de ondas de sedimentos.

Na região em que se traçou as lentes (refletor que cruza estratos), notou-se a presença de anomalias de alta amplitude que indicam a presença de sedimentos contendo quantidades significativas de hidratos. As lentes se estendem de norte ao sul, com uma área de 30 km². Pode-

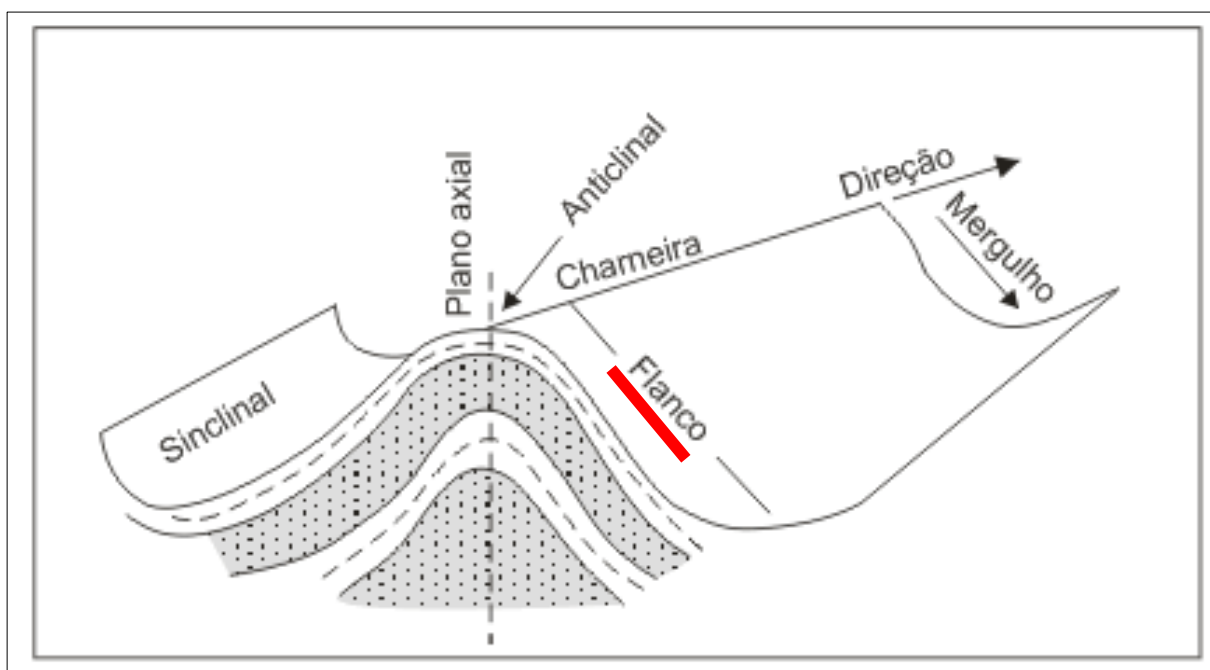


Figura 23. Elementos de uma dobra com identificação da posição de um Flanco. Fonte: Autor da imagem desconhecido.

se notar que a morfologia das lentes se dispõe como uma trapa que concentra de forma eficaz os hidratos de metano.

Além das lentes, encontrou-se um veio estreito (Anton et al., 1999) no conjunto de dados 3D ao serem mapeados. Entretanto, com o Envelope aplicado ao dado, houve uma imprecisão para traçar os pontos do veio no intervalo de estudo. Em algumas linhas o veio parecia bem marcado, e em outras aparecia de forma sutil e se confundia com o primeiro trecho do BSR. Isso pode ter acontecido devido ao veio intersectar o BSR ao longo de sua borda oeste (Hornbach et al., 2008) e ser muito mais marcante para visualização no intervalo a partir *do inline* 58, fora do intervalo aqui estudado. Ainda assim, mesmo sem a visualização clara do veio, ele está presente e de acordo com a análise de inversão de forma de onda de anomalias de amplitude similares (característica dos veios), há a possibilidade de concentração de até 42% de hidratos (Gorman et al., 2002; Korenaga et al., 1997).

Além do que já foi dito, o Envelope ainda pôde realçar as regiões “blindadas”, entre 4300 ms e 5000 ms, a parte mais clara ao oeste da seção (Figura 25.C), característica sísmica que indica presença de hidratos de gás. Os hidratos de gás em suas zonas de estabilidade muitas vezes causam a cimentação dos sedimentos aonde se situam, essa cimentação reduz os

contrastes de impedância acústica entre as camadas com texturas diferentes. A cimentação juntamente com os hidratos de gás imprime assim um aspecto “blindado” (Barros, 2009).

4.2 ANÁLISE DO ATRIBUTO SEMELHANÇA

Para a análise do atributo Semelhança no dado, aplicou-se às duas direções, *in-line* e *crossline* o atributo. Entretanto, observou-se uma melhor visualização das feições sísmicas na direção *crossline* do que na direção *in-line*. A direção *crossline* (figura 26) contém 1306 linhas ao todo, e observou-se o comportamento nas linhas que se localizam próximas às feições traçadas neste trabalho. Nas regiões em que a linha do *crossline* cruzava as feições, o atributo Semelhança mostra alta concentração de características indicativas de gases. Essa concentração aparecia em grande volume principalmente nas lentes e no primeiro trecho do BSR. As porções mais superficiais da seção mostram características similares às das regiões de hidratos de metano devido predominância de lâmina d’água, que tem mesma forma de onda e amplitude, aparecendo na seção como similaridade próxima ou igual à 1.

Observa-se também, que ao utilizar a seção sem cortes abaixo de 5000 ms, obteve-se com o atributo Semelhança distinções com valores maiores que a metade de uma similaridade. Isso mostra que o atributo Semelhança, tem comportamento superior ao do atributo Envelope, podendo ser visto com clareza na Figura 26.C,F,I, também realçando as regiões blindadas causadas possivelmente pela cimentação advindas de hidratos de metano, e marca

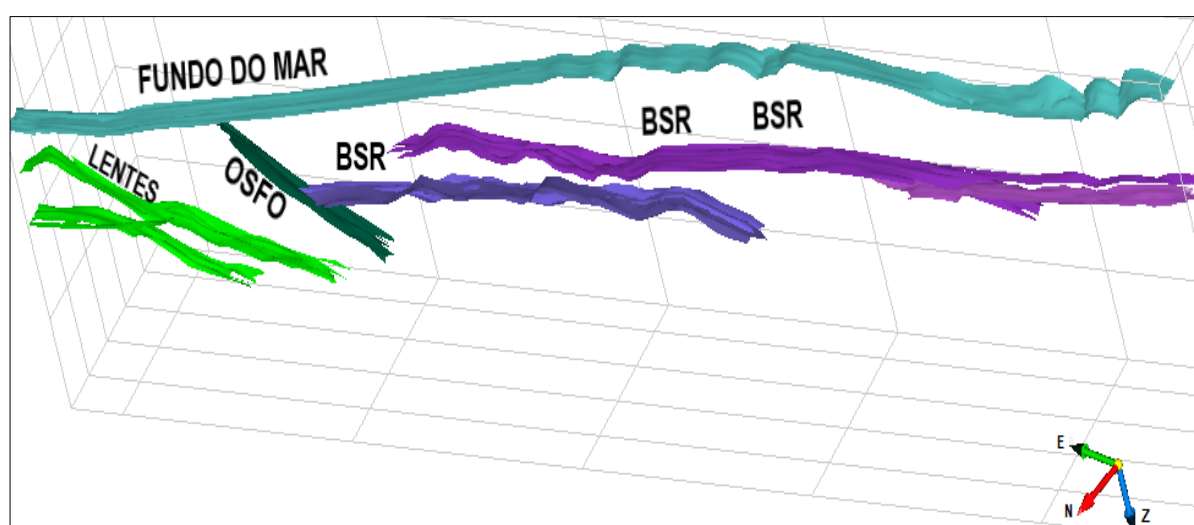


Figura 24. Feições sísmicas com rotação para melhor visualização. Em azul, o Fundo do Mar, em roxo e lilás os dois trechos de Bottom Simulating Reflector (BSR), em verde escuro a Onda de sedimentos de Flanco Oriental (OSFO), e em verde claro as lentes.

descontinuidades presente no dado. Faz então, separações claras das similaridades na seção, que são realçadas com a barra de cores Contour Gradients, que mostra variações em visualização e número mais exatas que na Figura 26.B,E,H. É possível observar o mesmo comportamento nas seções de direção *crossline* de número 554 e 454 (figuras 27 e 28).

Na figura 26, A região de A,D,G) abaixo de aproximadamente 5000 ms mostra-se com raros registros de reflexões, que são melhor visualizados progressivamente nas Figuras 26.B,E,H e 26.C,F,I. Nas regiões em que havia limite de fase de hidratos de metano, no intervalo de 4300 – 4800 ms, o atributo mostra uma cor de verde à vermelho, indicando uma Semelhança muito próxima a 1 (segmento de rastreo com mesma forma de onda e amplitude). Onde a Semelhança era muito próxima ou igual a 0 (forma de onda e amplitude diferente) a visualização é mais próxima da cor azul.

A Figura 27 ajuda a enfatizar a similaridade que ocorre abaixo das feições BSR e sua disposição ao longo das linhas na direção *crossline*, por meio da visualização dos padrões em amarelo, vermelho e marrom dentro do intervalo de 4300 a 4800 ms. As seções estão todas sem cortes, para mostrar o contraste das cores mesmo fora das regiões de interesse. Na figura 29, utiliza-se a seção de atributo sísmico Envelope, cruzando a seção de atributo sísmico *Similarity* com a barra de cores *Chimney*.

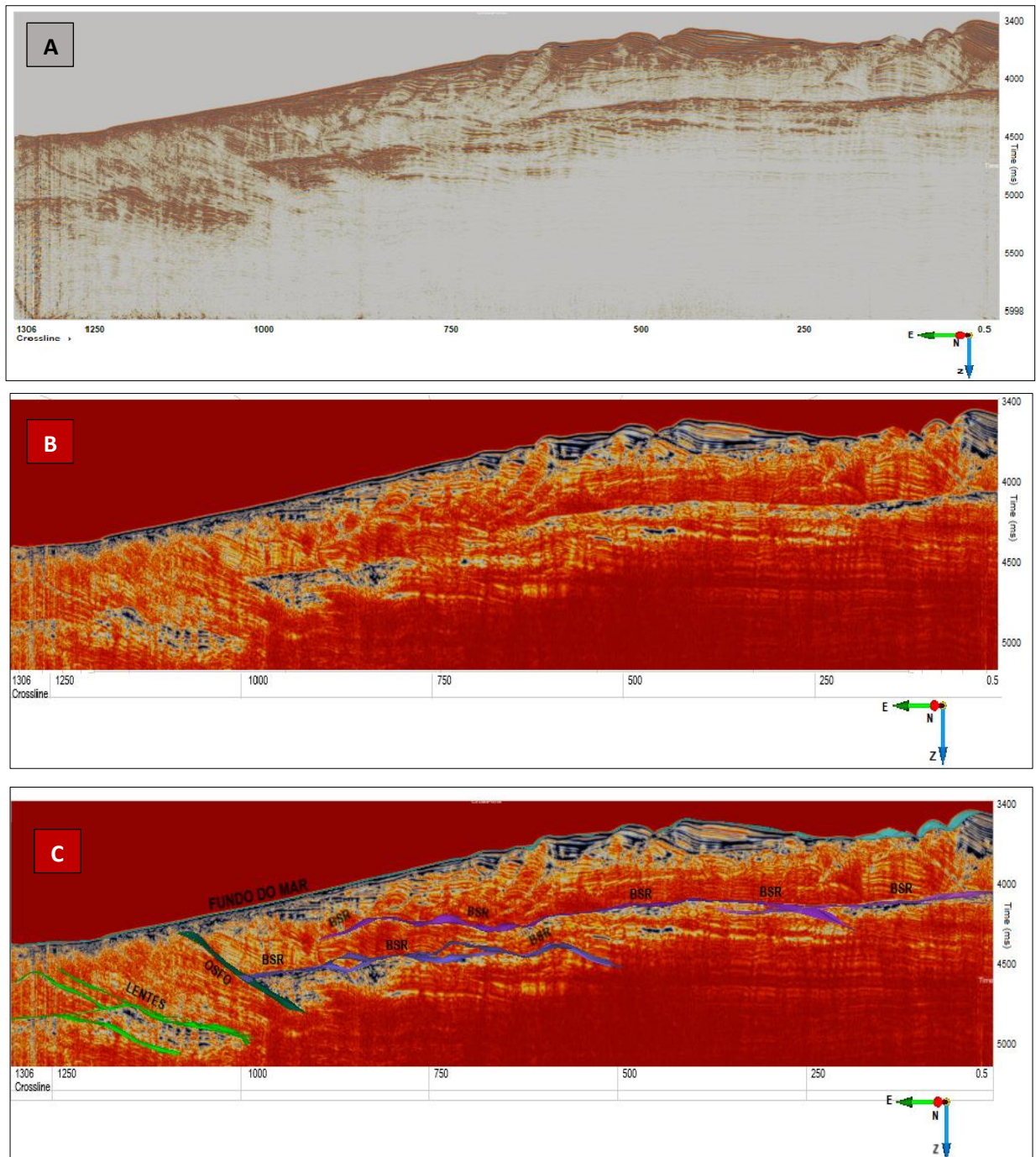


Figura 25. (A) Seção sísmica, sem contribuição dos atributos, sem cortes e sem as estruturas traçadas, na localização do *in-line* 11. (B) Seção sísmica na localização da linha sísmica 11 na direção *in-line* com atributo Envelope, e limitação até 5000 ms. Apesar de 3.A não estar interpretada, a linha do *Bottom Simulate Reflectors* (BSR) e da Onda de Sedimentos de Flanco Oriental (OSFO) é de fácil identificação. (C) Seção sísmica interpretada com as estruturas encontradas destacadas. Em azul o fundo do mar, em roxo e lilás a feição BSR, em verde uma OSFO, e em verde claro as lentes. A Barra de cores escolhida para a visualização do atributo Envelope foi a *Seismic*. As colorações vermelhas, alaranjadas, amarelas e pretas variam respectivamente da menor para a maior anomalia, pois, o atributo Envelope realça as altas amplitudes que estão relacionadas aos hidratos de gás.

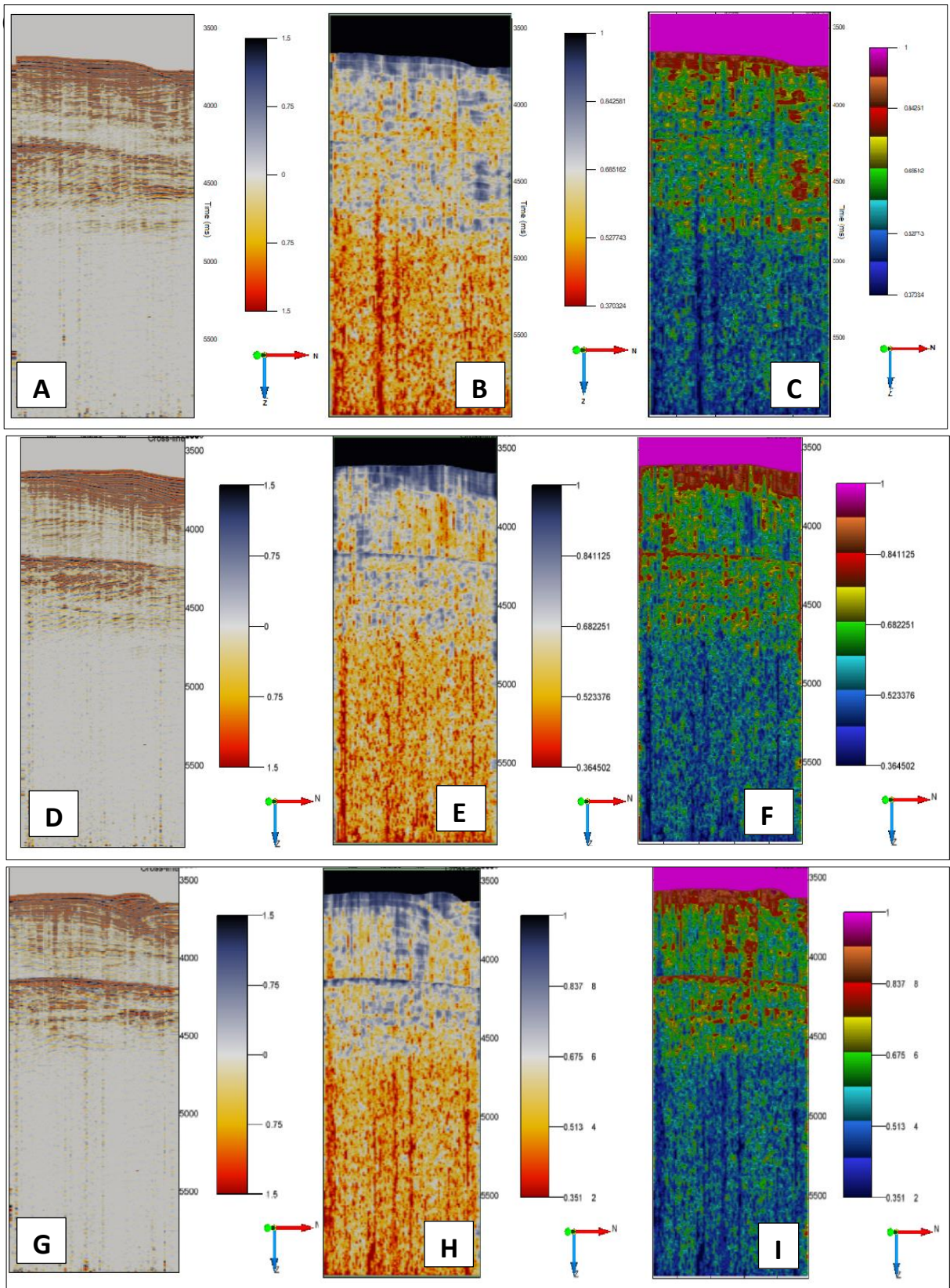


Figura 26. Esquema de seções na direção *Crossline* nas linhas 654, 554, 454. A) Seção sísmica (A,D e G). B) Seção com o atributo Semelhança com barra de cores *Seismics* (B, E e H). C) Seção com atributo Semelhança com barra de cores *Contour Gradients* (C, F e I).

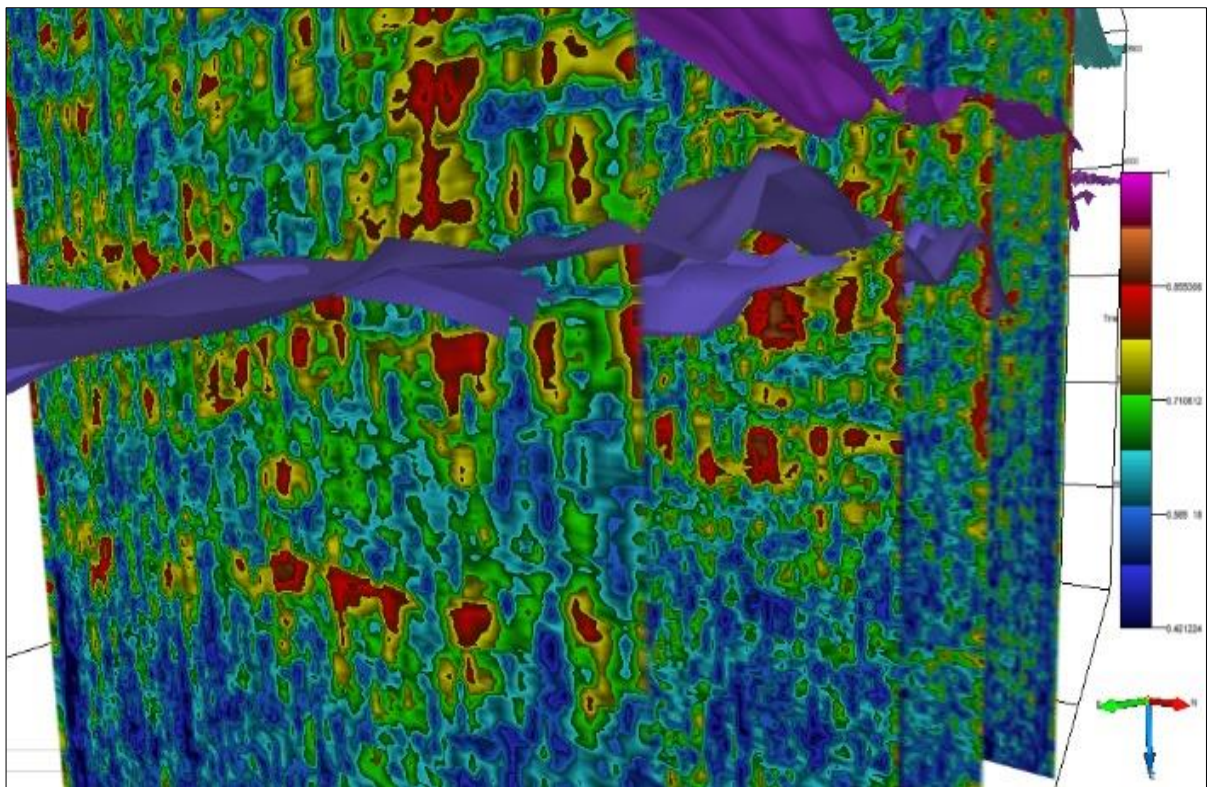


Figura 27. Esquema de seções com o atributo Semelhança na direção *Crossline*, com linhas de posição 354, 454, 554 e 654. Com feições BSR no trecho 1 e 2 cruzando a seção.

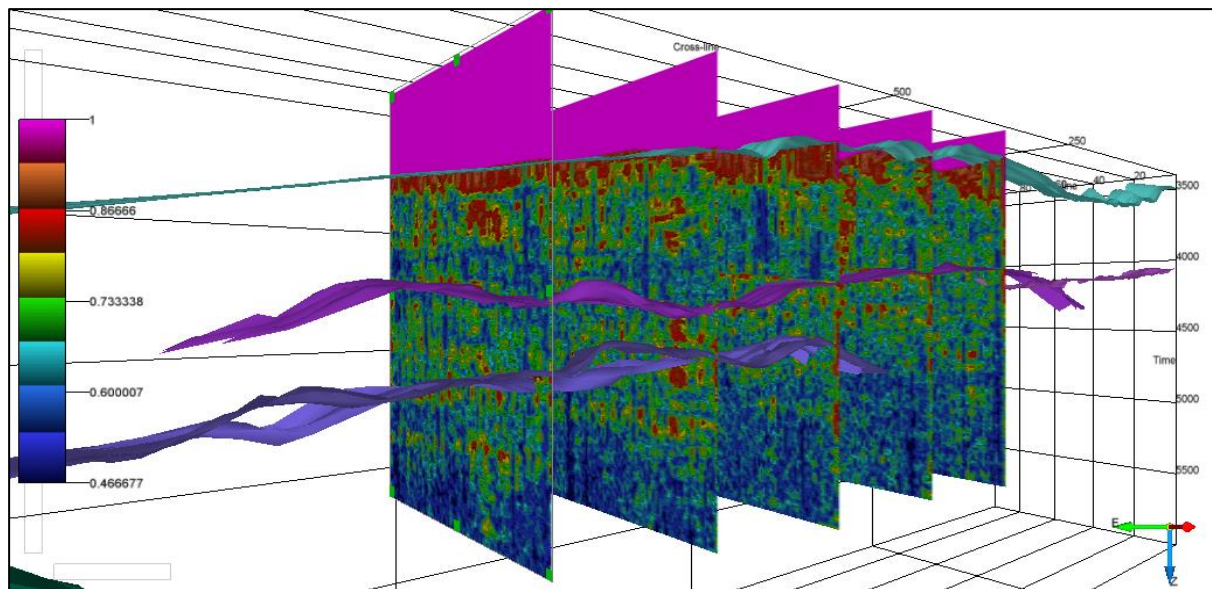


Figura 28. Seções na direção *Crossline*, nas posições 354, 454, 554, 654, 754 com visualização das feições sísmicas. Fonte: (Farias, 2018).

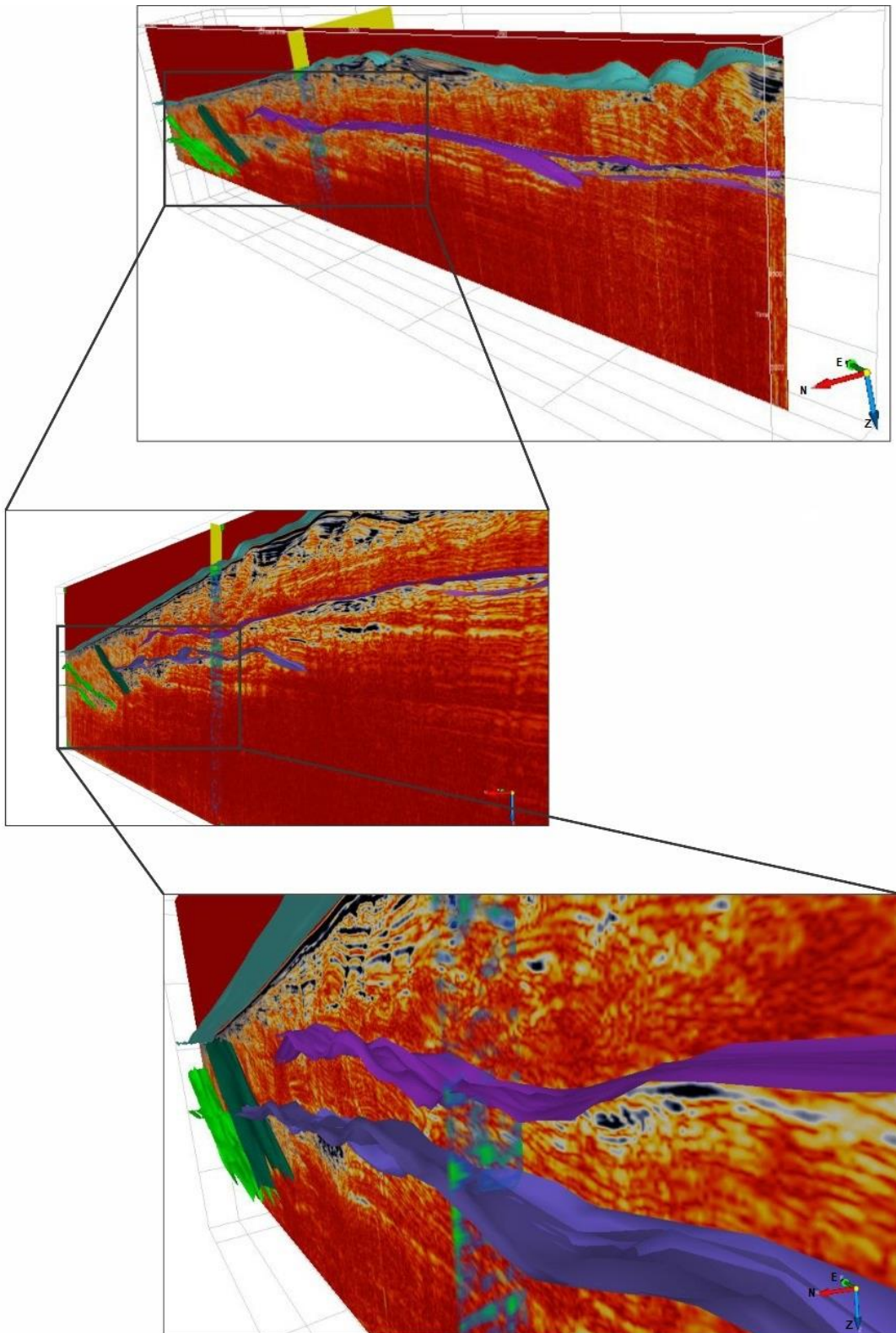


Figura 29. Seções de atributos, *in-line* com o atributo sísmico Envelope, *Crossline* com o atributo sísmico Chimney.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Aplicou-se o atributo sísmico Envelope, importante marcador de *bright spots*, na direção *in-line* e o atributo sísmico *Similarity*, um bom discriminante de falhas, na direção *crossline* do dado sísmico 3D visando observar as continuidades, e indicando as feições sísmicas encontradas: dois trechos de *Bottom Simulating Reflector*, onda de sedimento de flanco oriental, e lentes. Ainda, descreveu-se o contexto deposicional em que estão inseridas e fez-se descrições do comportamentos das seções com atributos principalmente na região do reservatório de hidratos de metano. O atributo Envelope mostrou-se um bom discriminante de características geológicas, e de acumulações de gás. Pode-se perceber que provavelmente o sistema de hidratos de metano de Blake Ridge é dinâmico como proposto por Hornbach et al. (2008) devido ao rebaixamento traçado no trecho dois do BSR após a aplicação do atributo Envelope, e pelo deslocamento ao longo do volume estudado, que indica que em alguma região da província o BSR pode ser apenas um trecho contínuo. E ainda, mostrou-se que o trecho dois é maior do que se conseguia visualizar. Logo, conseguiu-se boas informações do reservatório de hidratos de metano com os atributos escolhidos para uma breve interpretação do dado sísmico 3D.

A análise do atributo Semelhança no deslocamento da linha na direção *crossline* atrelado ao Envelope na linha 11 da direção *in-line* mostrou a possível disposição da concentração dos hidratos. Um estudo mais detalhado pode ser realizado usando o atributo Semelhança com o objetivo de investigar a localização de ocorrência de escape de hidratos de gás, pois, com esse atributo é possível identificar a existência de condutos de fluido, que se ligados às concentrações podem gerar uma fuga em larga escala, acarretando em possíveis problemas ambientais. Um estudo da manipulação dos parâmetros de entrada do atributo *Similarity* seria necessário para a seleção do mergulho adequado ao dado sísmico, principalmente na direção *in-line*, onde obteve-se grandes distorções e falta de resolução quando em teste. Com a máxima fidelidade que o *software* conseguir atingir na aplicação do atributo, seria interessante o estudo de ambos atributos nas duas direções espaciais, *in-line* e *crossline*, simultaneamente. Esse estudo multi atributos é comumente feito utilizando o atributo Envelope como principal e o *Similarity* como secundário. Dessa forma, usando transparência no atributo *Similarity*, e mantendo o contraste do atributo Envelope, existe a possibilidade de realizar uma interpretação por *overlays* de atributos, e fazer a análise de ambos atributos nas direções individualmente. Apesar do atributo Envelope realizar um bom contraste de impedância acústica independente

de fase, estudos recentes mostram que a o uso do atributo Envelope associado ao *phase modulate* pode trazer importantes informações de variações de continuidades laterais. O envelope é freqüentemente usado para litologias porque é relativamente insensível a mudanças laterais na fase de reflexão. Para um ambiente litológico consistente, a fase é constante, de forma que a posição entre o pico do envelope e os picos e vales da amplitude sísmica permanece constante. Em contraste, mudanças na litologia ou espessura modificam a fase da forma de onda, causando mudanças na posição do pico do envelope em relação aos picos e vales dos dados de amplitude. Essas técnicas são capazes de ressaltar ainda mais as falhas já encontradas, importante informação para determinação da extensão, e evidenciar características que ainda não eram conhecidas.

A região mais profunda do dado sísmico, abaixo de 5000 ms, foi limitada por apresentar raras informações e por necessitar de um estudo mais aprofundado para a captura de informações. Abaixo de 5000 ms pode ocorrer a presença de clatratos, logo, esta região é tão importante quanto o restante, e frequentemente essa presença pode mostrar-se na seção como redução nas amplitudes dos refletores sísmicos, e recebe o nome de *Blanking*, como é citado nesta pesquisa. Um estudo mais específico destas regiões que a princípio podem parecer sem informações pode ser realizado utilizando como métodos o reprocessamento desses dados com a inclusão das tecnologias de processamento sísmico que são usadas especificamente para dados de reservatórios de hidratos de metano como, por exemplo, o *Full Waveform Inversion* (FWI), e em seguida a análise de *Amplitude versus Offset* (AVO).

As pesquisas mais recentes a cerca da exploração de reservatórios de hidratos de metano utilizam como fonte principal de informação a associação de dados sísmicos à dados de poços. Acesso aos dados de poço na área do levantamento sísmico são importantes para uma boa interpretação. Ainda, visto que o intérprete precisa do máximo de dados possíveis para sua análise, a obtenção de fontes de informação de outros métodos geofísicos podem ajudar em um novo estudo de investigação deste tipo de reservatório.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, L. F., 2017, Análise de atributos na identificação de feições sísmicas associadas à presença de hidratos de gás na bacia da Foz do Amazonas. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, xiii, 48p.
- Ancelme, R. L., 2015, Introdução ao método sísmico. Laboratório Nacional de Computação Científica.
- Andreassen, K., P. E. Hart, M. Mary, 1997, Amplitude versus offset modeling of the bottom simulating reflection associated with submarine gas hydrates: *International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics*, **137** (1-2), [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00076-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00076-X).
- Anton, C., W. Dillon, M. Lee, 1999, Anomalous, near horizontal, seismic reflection at the Blake Ridge: Evidence for a gas trap crosses the base of gas hydrate stability. *Eos Trans. AGU, Spring Meet.*, **80**(17), Suppl., S342.
- Barros, C. S., 2009, Análise de atributos sísmicos para caracterização de hidratos de gás no Cone do Rio Grande. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal Fluminense. Niterói, Brasil. 41p.
- Brown, A. R., 1999, Interpretation of three-dimensional seismic data. *The American Association of Petroleum Geologists and the Society of Exploration Geophysicists*. 5ª ed. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. p.147 – 186.
- Chopra, S. and K. J., Marfurt, 2007, *Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization: Geophysical Developments*, No. 11.
- dGB Earth Sciences B.V, 2016. *Introduction to OpendTect & OpendTect Pro. Manual de Treinamento*. p.78 – 123.
- Dovera, C. L. V. et al., 2003, Blake Ridge methane seeps: characterization of a soft-sediment, chemosynthetically based ecosystem.
- Geissler, W. H. et al., 2016, Arctic megaslide at presumed rest. *Nature: Scientific Reports*. DOI: 10.1038/srep38529.
- Gorman, A. R., W. S. Holbrook, M. J. Hornbach, K. L. Hackwith, D. Lizarralde, I. Pecher (2002), Migration of methane gas through the hydrate stability zone in a low-flux hydrate province, *Geology*, **30**(4), 327– 330.
- Hardage, B., 2010, GC Instantaneous Seismic Attributes Calculated by the Hilbert Transform. *Search and Discovery Article #40564*.

Helal, A., et. al., 2015, Unconventional seismic interpretation workflow to enhance seismic attributes results and extract geobodies at Gulf of Mexico case study. Available from: https://www.researchgate.net/publication/316343080_UNCONVENTIONAL_SEISMIC_INTERPRETATION_WORKFLOW_TO_ENHANCE_SEISMIC_ATTRIBUTES_RESULTS_AND_EXTRACT_GEOBODIES_AT_GULF_OF_MEXICO_CASE_STUDY [accessed Nov 28 2020].

Holbrook et al., 2002, Escape of methane gas through sediment waves in a large methane hydrate province. *Geology*, **30** (5), 467 – 470.

Hornbach et al., 2008, Three-dimensional seismic imaging of the Blake Ridge methane hydrate province: Evidence for large, concentrated zones of gas hydrate and morphologically driven advection. *Journal Of Geophysical Research*, **113**, 1 – 13.

Korenaga, J., W. S. Holbrook, S. C. Singh, T. A. Minshull, 1997, Natural gas hydrates on the southeast U.S. margin: Constraints from full waveform and travel time inversions of wide-angle seismic data, *J. Geophys. Res.*, **102**, 15,345– 15,365.

Le, X. T., 2019, Experimental study on the mechanical properties and the microstructure of methane hydrate-bearing sandy sediment. Thesis for: Doctorat, xviii, 185p.

Martins, L. R., 2003, Hidratos de metano: um interesse crescente. *Revista Eletrônica: Gravel*, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (1), 131-135.

Ministério de Minas e Energia (MME) and Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. Hidratos de metano: aspectos técnicos, econômicos e ambientais. 63p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-305/Nota%20T%C3%A9cnica%20Hidratos%20de%20Metano\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-305/Nota%20T%C3%A9cnica%20Hidratos%20de%20Metano[1].pdf). Acesso em: ?????.

Montalvão, L. C. and J. F. Eiras, 2003, Estudo comparativo das possibilidades de aproveitamento de gás de hidratos no Brasil. in: 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás e Universidade Federal do Rio de Janeiro. Anais [...].

Neves, E., F., Freire, L. A. Santos, 2018, Processamento e interpretação de dados sísmicos monocanal no anticlinal Joetsu, bacia de Joetsu - Mar do Japão: *Geology, Geophysics and Geochemistry of Gas Hydrates*, qdo não tem v, n e paginação tem que colocar o DOI

Oliveira, G. G., 2017, Novas tecnologias para reservatórios não convencionais de hidrocarboneto. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia de Petróleo, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense Escola de Engenharia, 66p.

Olson, N. K. and M. E. Glowacz, 1977. Petroleum geology and oil and gas potential of South Carolina. *The American Association of Petroleum Geologists*, **61** (3), 331-343.

Pereira, R. C. S., K. C. C. Farias, J. C. R. Cruz, 2019. Identificação de Bright Spots usando os atributos sísmicos envelope e energia na área do Viking Graben, Mar do Norte. in: 16th

International Congress of the Brazil Geophysical Society & EXPOGEF, 2019, Rio de Janeiro. Proceedings.

Paull, C.K., R., Matsumoto, P.J. Wallace, 1996, Proceedings of the ODP, Initial Reports: College Station, TX, p. 623 .

Pinkston, J. and L. Stern, 2016, Gas hydrates burning. United States Geological Survey (USGS).

Rechden, R. 2019, O shale gas à espreita no Brasil. Universidade de Santa Catarina.

Ribeiro, T. J. S., 2015, Estudo de reservatórios não convencionais de shale gas no Brasil. Trabalho de Graduação, Curso de Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte,

Sautter, L. R., 2012, A Profile of the Southeast U.S. Continental Margin. NOAA Ocean explorer. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Retrieved 7 February.

Silva, B. S., 2014, Evaluation of convolutional operators in solution of acoustic wave equation. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, xvi, 91p.

Tingdahl, K. M., et al., 2001, Improving seismic chimney detection using directional attributes: Journal of Petroleum Science and Engineering, **29**(3-4), 205-211.

Thomas, D. J., J. C. Zachos, T. J. Bralower, E. Thomas, S. Bohaty, 2002, Warming the fuel for the fire: Evidence for the thermal dissociation of methane hydrate during the Paleocene-Eocene thermal maximum: Geology, **30** (12), 1067–1070.

Wiratama, R., et al., 2019, Application of Pre-Stack Time Migration (PSTM) Using Kirchoff Method on Marine Seismic Data 2D in Sulawesi Sea Waters: Journal of Physics: Conf. Series 1175.

You, K. and P. Flemings 2020, Where do natural gas hydrates come from and why should we care?, Eos, 101, <https://doi.org/10.1029/2020EO139852>. Published on 11 February 2020.

Zhang, W., et al., 2020, Geological and geophysical features of and controls on occurrence and accumulation of gas hydrates in the first offshore gashydrate production test region in the Shenhu area, Northern South China Sea: Marine and Petroleum Geology, **114**, 104191.

ANEXO A

I. CARREGAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

II CARREGAMENTO DE DADOS E CONFIGURAÇÕES DE LEVANTAMENTO

O primeiro passo é carregar o dado no formato SEG-Y. Na janela *Extract Survey Setup From SEG-Y* são carregados parâmetros interessantes para configuração de levantamento e importação. É possível identificar nessa janela que o dado adere ao padrão (SEG-Y Revision 1), contendo no header informações de Inline, Cross-line, coordenadas X e Y, número de amostras, número total de traços e intervalo de discretização no tempo.

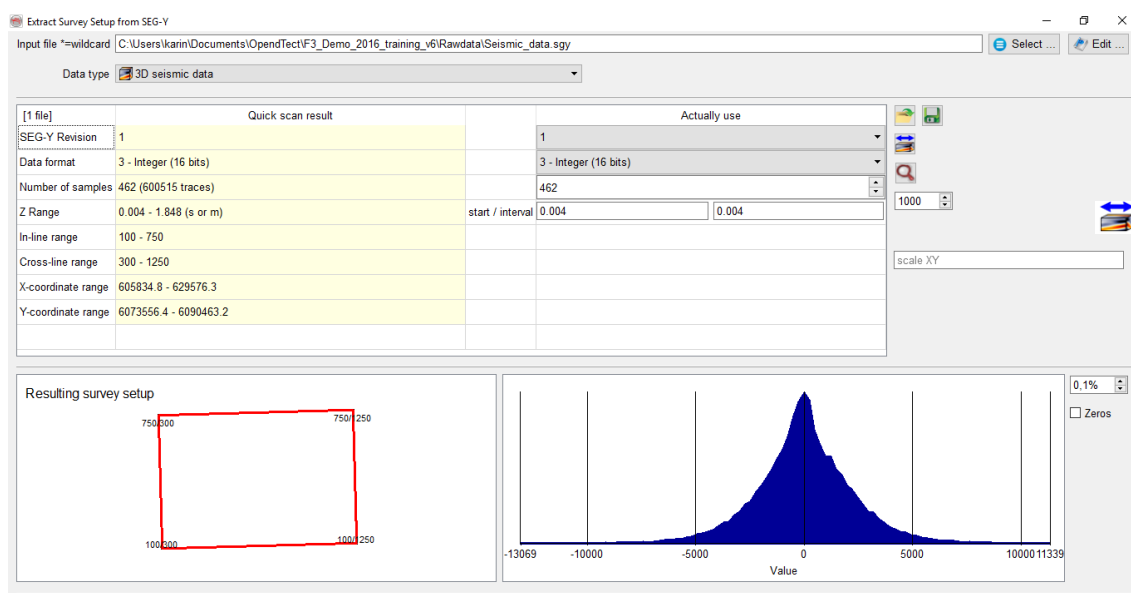


Figura 1. Extract Survey Setup From SEG-Y

A coluna *Actually Use* pode ser mudada manualmente. Em *Resulting Survey Setup* é possível ver a geometria extraída do levantamento e, ao lado, o histograma das amplitudes sísmicas da varredura rápida do volume do input SEG-Y. Se o arquivo SEG-Y precisar ser mudado, pode-se usar a opção *Edit* e atualizar header binários e header do traço usando fórmulas matemáticas e informações de outros cabeçalhos. No ícone é possível escanear todo o arquivo SEG-Y caso a geometria extraída não seja convincente. Na janela *Edit Survey Parameters* é possível alterar o nome do levantamento, visualização em 2D, 3D ou em 2D e 3D, a unidade da exibição da profundidade, entre outros.

II. VISUALIZAÇÃO 3D, INLINE, CROSSLINE E SLICE

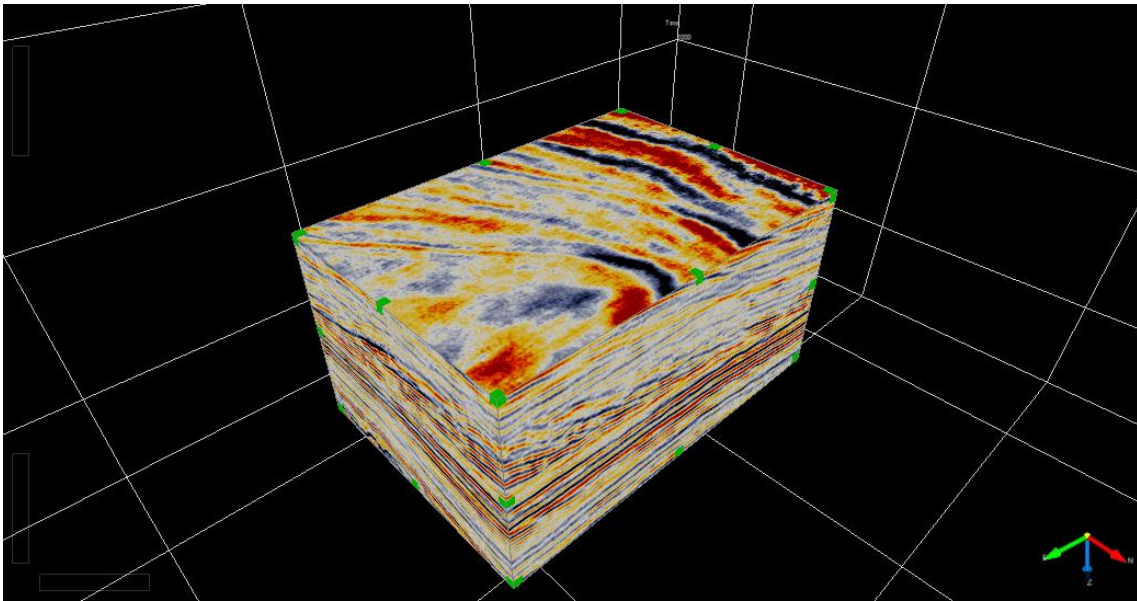


Figura 2. View 3D

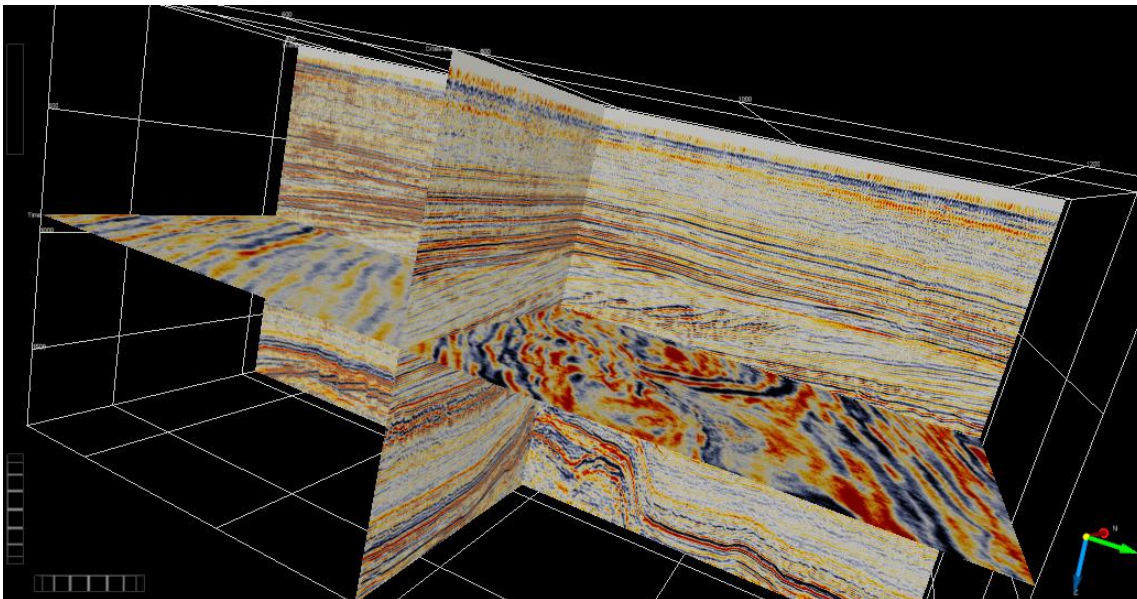



Figura 3. View Inline, Cross-line e Slice

III. CRIAÇÃO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

Para criar um atributo é preciso ir no ícone  >> 3D e abrirá a tela Attribute Set 3D. Para visualizar o Bright Spot seleciona-se o atributo **Energy** (Figura 34).

O atributo Energy calcula o quadrado da soma dos valores de amostra no intervalo time-gate especificado dividido pelo número de amostras no gate. A Energia é uma medida de refletividade no time-gate especificado. Quanto maior a energia, maior a amplitude. Este atributo melhora, entre outras, variações laterais dentro de eventos

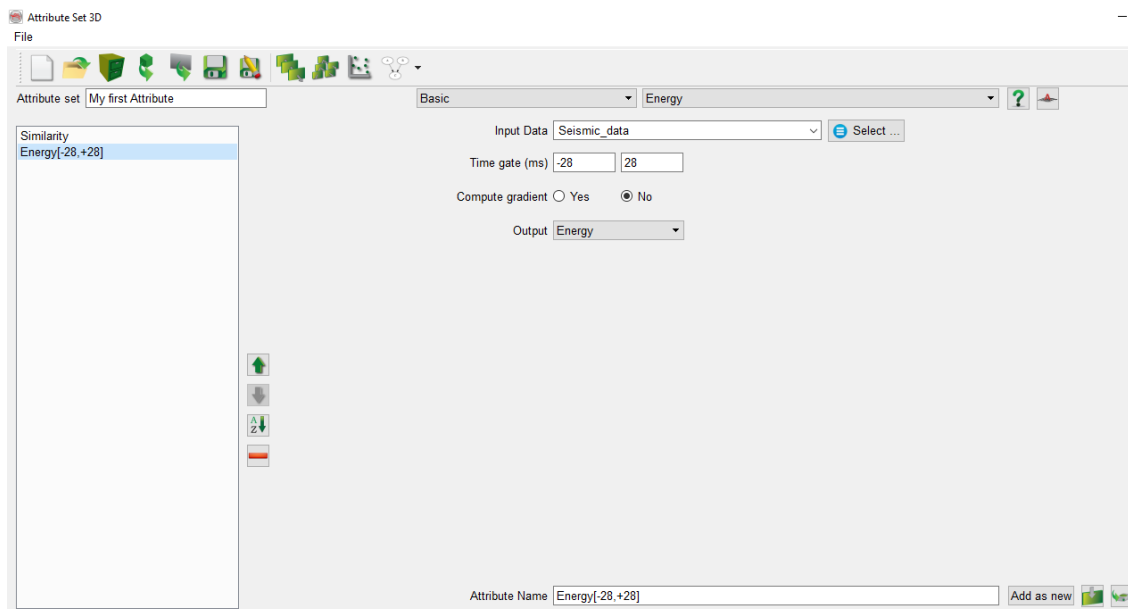


Figura 3. Configuração do atributo

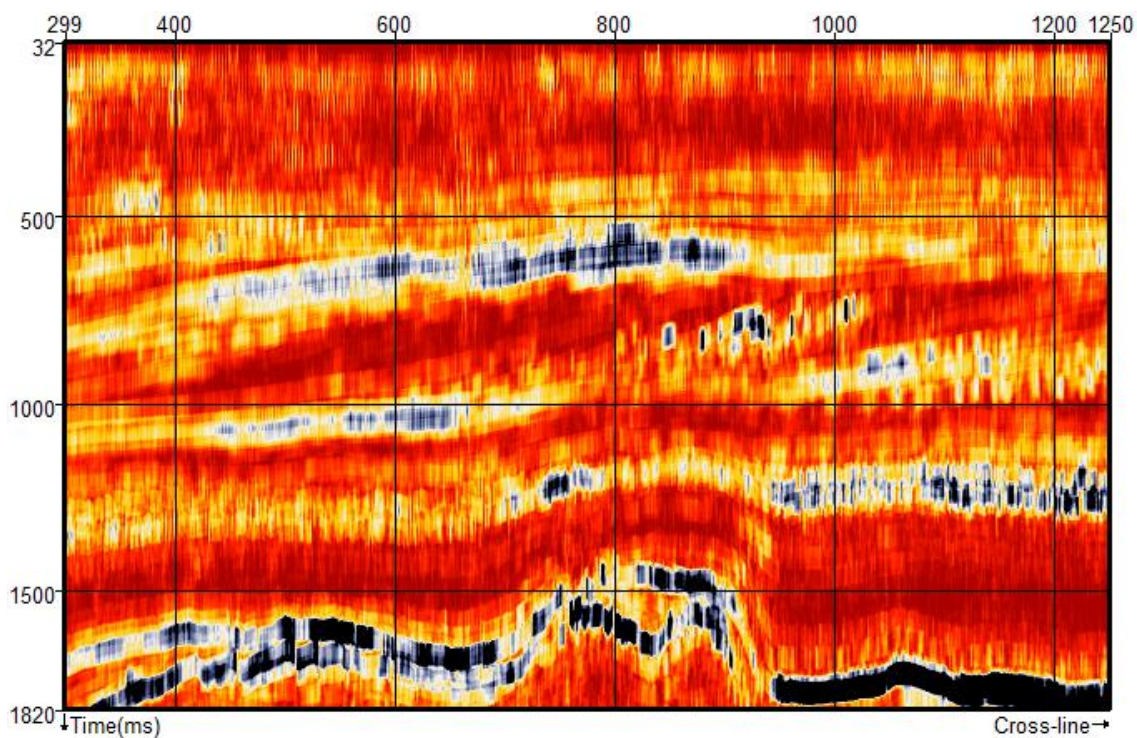


Figura 4. Bright Spots na barra de cores Seismics

sísmicos e, portanto, é útil para a detecção de objetos sísmicos (por exemplo, detecção de

chaminé). A energia de resposta também caracteriza as propriedades da rocha acústica e a espessura de leito.

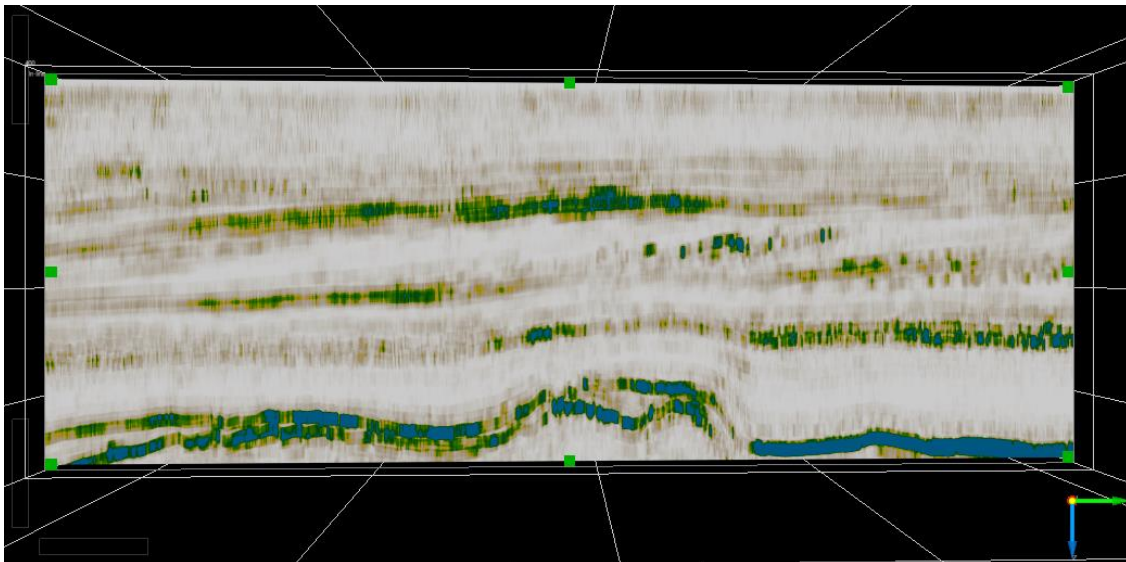


Figura 5. Faults

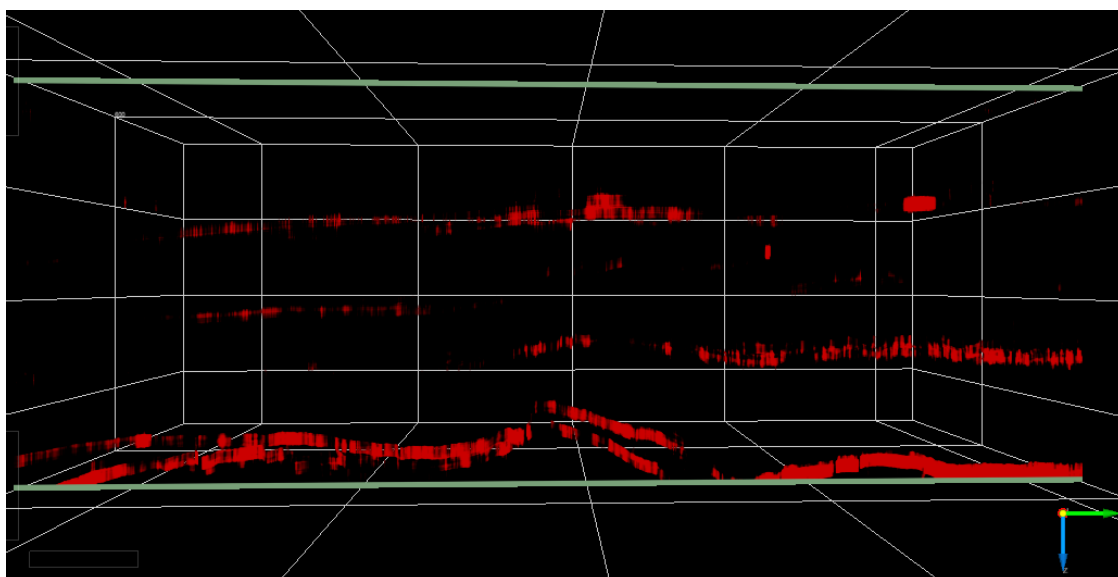


Figura 6. Energy

Utilizou-se um time-gate de -28 a +28, e nomeou-se o atributo. Em Inline adicionou-se um padrão de dados na posição 250 e o atributo criado (Figura 3). Visualizar os resultados é quase tão importante quanto os próprios resultados. Cada atributo tem sua própria barra de cores. Assim, tentou-se diferentes barras de cores, como Seismics (Figura 4), Faults (Figura 5), Energy (Figura 6), Chimney (Figura 7).

É possível ver que o atributo Energy aumenta os valores anômalos altos. Em *Manage Color-Tables* (Figura 36) a barra de cores pode ser Segmentada ou Contínua. Ao trocar a Segmentação de None para fixo, você define o número de segmentos. As barras de cores segregadas são especialmente usadas ao exibir um atributo discreto, por exemplo, um resultado da Neural Network: uma cor correspondente a uma classe.

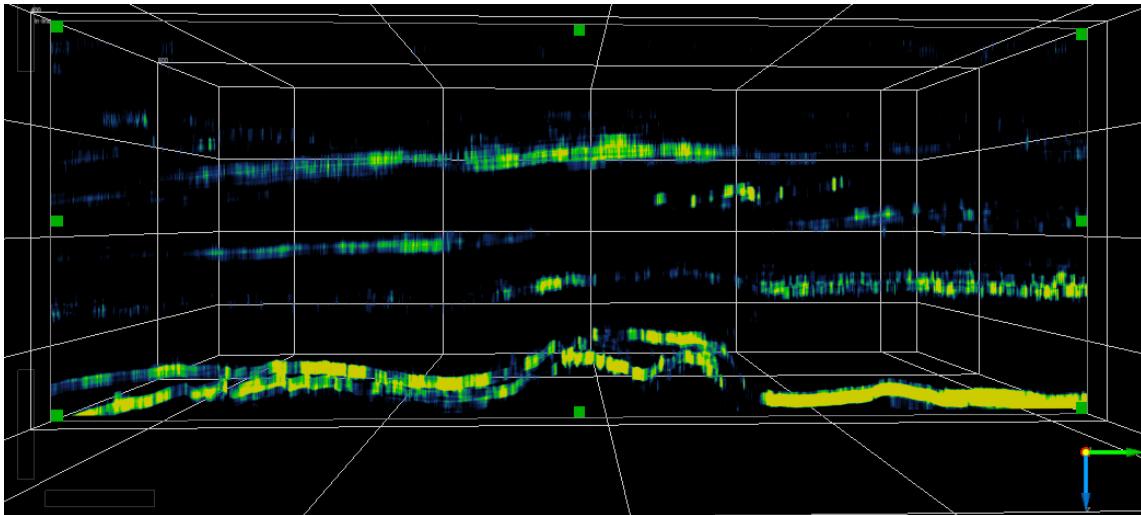


Figura 7. Chimney

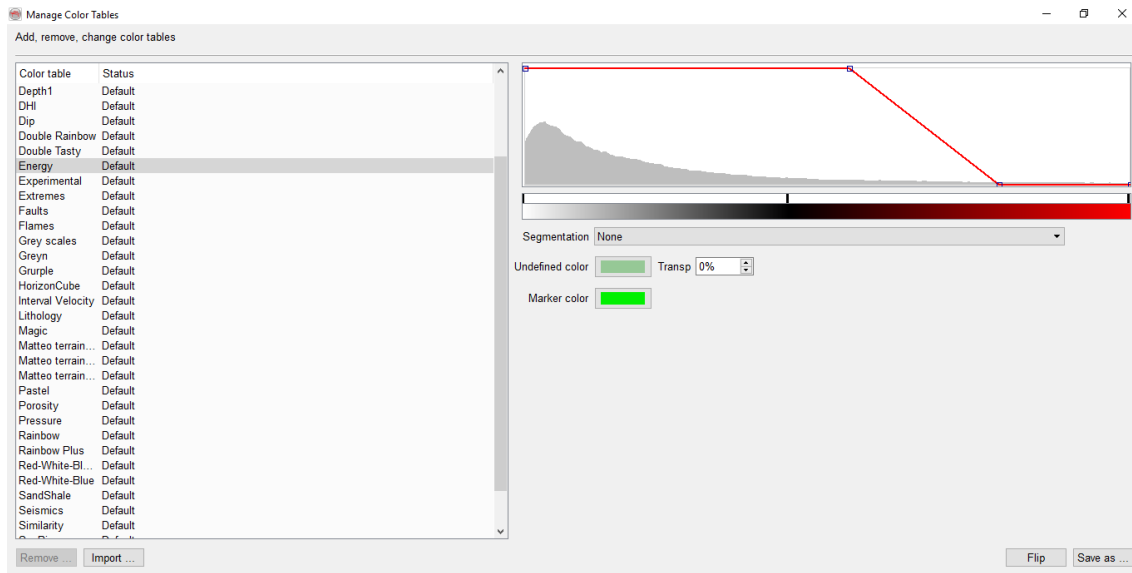


Figura 8. Manage Color Tables