



Edição e filtragem de dados sísmicos de alta resolução - estudo de caso da dutovia da região noroeste da Baía de Guanabara - RJ

Danilo Silva Lisboa (UFBA) e Marco A. Botelho (CPGG/UFBA)

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th 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

High-resolution seismic reflection data is widely employed in various segments of industry and research. The data is usually interpreted in its raw form. However, this research tests one processing sequence on high-resolution seismic data from a CHIRP system to ease the interpretation of sections acquired from the internal region of the Guanabara Bay, Rio de Janeiro. A more specially data system Chirp, originally raised for locating artificial ducts underwent a basic workflow processing. The peculiarities of high-resolution data were taken into consideration for the purposes of processing flow, aiming to improve the definition of the reflectors and the visual aspect of the section. In general, the flow focused on edit the geometry and quality of traces, and attenuating noise that is present in the frequency domain and range, seeking to better identify events (hyperbole diffraction) indicators of the pipeline investigated. The efficiency of operations was performed from the comparison with the raw data and analysis of the spectra and histograms of frequency and amplitude after application of each step. The processed profiles locate the pipes and reveal if they are buried inside unconsolidated sediment or outcrop at the seafloor, thus representing an environmental potential risk to Bahia da Guanabara. The proposed workflow processing showed a considerable improvement in the quality of data and the definition of the reflectors of interest, thus enhancing its visualization and interpretability of these outcropping ducts in the processed Chirp section.

Introdução

Em geral, nas pesquisas geofísicas de prospecção após a etapa de aquisição dos dados ocorre o processamento, basicamente dividido em pré-processamento, processamento e imageamento. Apenas após tais etapas é que normalmente ocorre a interpretação dos dados. Para dados de alta resolução, ou sísmica rasa devido ao seu baixo poder de penetração, entretanto, é comum a interpretação dos dados em sua forma bruta, sem

qualquer tipo de tratamento pós-aquisição (Quinn et al., 1998). Ou seja, o bom imageamento de camadas e estruturas da subsuperfície proporcionado pela aplicação dos métodos sísmicos de alta resolução quase sempre permite boas análises, dispensando, portanto, qualquer tipo de processamento. Entretanto, devido a grande quantidade de ruídos apresentada em algumas seções, ou a perda elevada das amplitudes das reflexões com a profundidade torna-se justificável a aplicação de um fluxo de processamento contendo algumas das etapas básicas do processamento sísmico convencional, buscando, desta forma, melhor definição dos refletores e em consequência a melhoria da interpretabilidade da seção final. Apesar da ampla utilização dos dados em sua forma bruta, as poucas referências na literatura ao processamento sísmico dos dados de alta resolução mostraram um considerável progresso em relação à razão sinal/ruído, a continuidade lateral dos refletores e à atenuação das reflexões com a profundidade (e.g. Quinn et al., 1998; Gomes et al., 2010; Marino et al., 2012).

Pesquisas que busquem a otimização de dados oriundos das margens continentais brasileiras tornam-se justificáveis diante da importância destes ambientes como fonte de recursos minerais e energéticos (Kearey et al., 2002). Além disso, cerca de 70% da população mundial está concentrada em grandes cidades situadas na região costeira, o que demonstra a necessidade da utilização de tais áreas para a implantação de diversas estruturas ligadas à engenharia costeira. Entre tais estruturas destacam-se as pontes, portos, atracadouros, marinas, diversos tipos de dutos como gasodutos, oleodutos, emissários submarinos, etc. Diante do crescente interesse e da evidente importância dos bens e serviços prestados pelas áreas marinhas rasas situadas nas adjacências das grandes cidades, a presente pesquisa tem como objetivo principal a organização de um fluxo de processamento básico para os dados de sísmica de reflexão de alta resolução obtidos originalmente para a caracterização de uma dutovia disposta na porção NW da Baía de Guanabara-RJ. Este fluxo busca a obtenção de perfis sísmicos com qualidade superior ao dado bruto, partindo do pressuposto de que apesar do dado de sísmica rasa apresentar bons resultados já em sua forma bruta, pode ter sua interpretabilidade aprimorada através da aplicação de algumas etapas do processamento sísmico convencional.

Diante do exposto, ressalta-se que o foco deste trabalho é utilizar as seções processadas para identificar tais tubulações e verificar se as mesmas estão enterradas nos sedimentos inconsolidados, ou se estão expostas ao nível do assoalho marinho. O processamento permite a observação mais nítida das hipérbolas de difração, que por sua vez ocorrem quando o perfil sísmico corta um

duto. Os dutos aflorantes constituem um potencial risco socioambiental por extravasamentos causados por possíveis rompimentos, sendo, portanto de essencial importância caracterizar espacialmente tais estruturas.

Para tanto foram instituídos os seguintes objetivos específicos:

- * Testar diversas técnicas comumente aplicadas no processamento sísmico convencional aos dados de sísmica (e.g. edição de traços; silenciamento da coluna d'água; análise espectral e correção das amplitudes; filtragem de frequências; migração; deconvolução);

- * Verificar a eficiência das técnicas aplicadas em termos de melhorias no aspecto visual da seção, na razão sinal ruído, e na definição dos refletores de interesse;

- * Empregar as técnicas para a elaboração de um fluxo de processamento básico único;

- * Demonstrar a aplicabilidade do processamento sísmico aos dados de alta resolução a partir de comparações com os dados brutos;

- * Utilizar os perfis sísmicos processados da região de estudo para identificação dos diversos dutos que caracterizam a dutovia investigada.

Área de estudo

A Baía de Guanabara – RJ (figura 1) representa uma das mais proeminentes baías do litoral brasileiro (Quaresma, 1997), com cerca de 131 km de perímetro, e extensões máximas de 30 km (N-S) e 28 km (E-W), totalizando mais de 381 km² de área superficial e um volume médio de água estimado em $1,87 \times 10^9$ m³ (Amador, 1992). Grande parte da batimetria da Baía revela profundidades inferiores a 10 metros, sendo a média de profundidade calculada em torno de 5,7 metros (Quaresma, 1997). A feição mais proeminente da baía é o canal central com maiores profundidades de até 50 metros que se estendem desde a entrada da baía até a ponte Rio-Niterói por mais de 400 metros na direção aproximada Norte-Sul (Quaresma, 1997).

A região onde foi desenvolvida a aquisição dos dados, região interna da Baía compreendida entre a Ilha do Governador e o estuário do rio Sarapuí (figura 1), é caracterizada por uma baixa energia hidrodinâmica de correntes de marés e de ondas, pouca profundidade, sedimentos finos (silte fino a argila), pouco selecionados e com altos teores de matéria orgânica (Kjerfve et al., 1997).

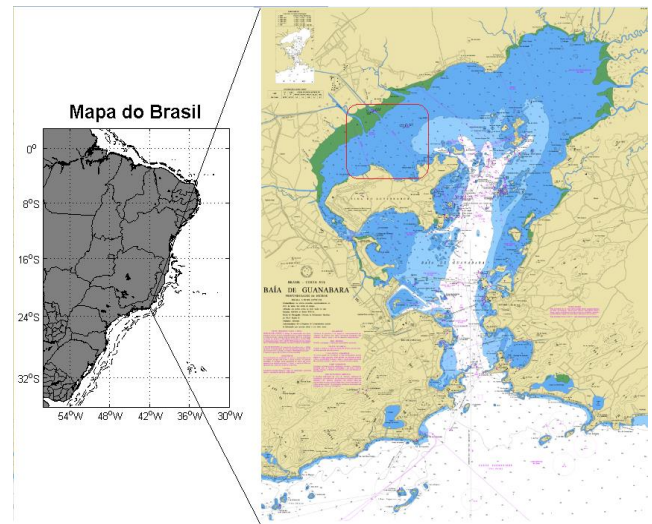


Figure 1 - Mapa do Brasil à esquerda. Carta náutica 1501 da Baía de Guanabara – RJ à direita. Em vermelho destaca-se a região onde foi desenvolvido o levantamento dos dados sísmicos sobre a dutovia.

Metodologia

Na presente pesquisa foram utilizados dados de sísmica de alta resolução adquiridos a partir de um sistema de perfilador de subfundo do tipo *Chirp*. Este equipamento é monoestático, ou seja, composto pelas unidades de transmissão e recepção em um único corpo, o que caracteriza um *offset* mínimo com registro sísmico do tempo duplo de incidência aproximadamente normal, além de facilitar a logística da aquisição, permitindo o levantamento de dados em áreas rasas. A fonte do tipo ressonante é capaz de operar no espectro de frequência de 0,5 a 20 kHz, com baixa potência, penetração inferior a 50 metros e resolução espacial na ordem dos centímetros. O sistema de sonar emite pulsos cuja forma da onda é controlada de maneira bastante precisa, gerando sinais compensados em fase e amplitude, altamente repetitivos (Quinn et al, 1998). Durante o levantamento foram desenvolvidas perfilagens sísmicas contínuas ao longo de 32 linhas com direção perpendicular às estruturas artificiais de interesse, com intervalo de amostragem de 92 μ s. A localização, sentido e comprimento das seções sísmicas (10 a 18) podem ser visualizados na imagem aérea da figura 8.

O método utilizado para a apresentação dos resultados consiste, basicamente, na exposição do perfil sísmico selecionado (linha sísmica 10) em diferentes estágios que compõe a sequência de processamento, evidenciando as alterações sofridas pela seção em cada um destes estágios através de análises complementares. O *software* utilizado para o processamento foi o *ReflexW* 6.0 (de autoria de K. J. Sandmeier), mais especificamente o módulo *2D-Data Analysis*. É importante mencionar que a proposta de um fluxo de processamento básico com o mínimo de interferência no dado original caracteriza um dos objetivos deste trabalho. A seguir expõe-se o esquema do fluxograma de processamento proposto.

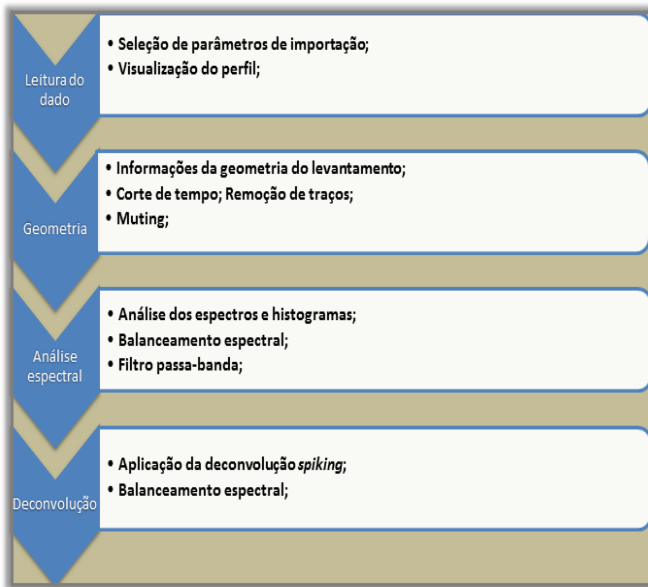


Figure 2 - Fluxograma de processamento, evidenciando as principais operações desenvolvidas em cada etapa.

Leitura e geometria do dado

Os dados obtidos pelo sistema de aquisição sísmica marinha rasa (tipo *Chirp*) foram gravados no formato SEG-Y. Na janela de importação devem ser determinadas algumas entradas referentes às características dos dados, tais como: formato do dado de entrada (SEG-Y), tipo do dado (*offset* constante), dimensões de tempo (μ s) e de espaço (metro), direção do perfil, etc. A seleção correta destes atributos é de essencial importância para o fluxo, pois um equívoco nesta etapa comprometeria todas as etapas subsequentes do processamento. Ao importar o dado em formato SEG-Y, o *software* gera automaticamente um arquivo em formato interno do módulo *2D-Data Analysis*, que pode ser facilmente plotado na janela do programa em qualquer etapa do processamento.

O próximo passo consiste na verificação e correção das informações contidas no *header* dos dados referentes à geometria do levantamento. É importante lembrar que a geometria é intrínseca ao tipo de levantamento sísmico e à configuração fonte-receptor, que no caso de dados de *Chirp*, estão dispostas no mesmo equipamento monoestático. As informações da geometria do levantamento são inseridas no cabeçalho dos traços no início do processamento, permitindo a realização das etapas subsequentes do fluxo. Segundo Bruneta (2005), pequenos equívocos na geometria do dado podem comprometer o processamento, devido ao acúmulo de imprecisões nas informações. Dados referentes às coordenadas geográficas do sistema fonte-receptor, identificação sequencial do traço, número da linha, número de traços e de amostras, distância entre traços, e elevações são algumas das informações contidas *header* que podem ser inseridas nesta etapa.

Para o perfil 10 o intervalo de amostragem foi de 92 μ s, a distância entre os traços foi estimada em torno de 0,16 metros, sendo 1446 o número de amostras e 644 o número de traços, distribuídos ao longo de 103 metros de linha sísmica. É importante mencionar que no cálculo do incremento do traço, desenvolvido automaticamente pelo *software ReflexW*, assume-se que a velocidade do barco é constante, quando na realidade ocorrem variações ao longo do tempo. Isto introduz um erro no cálculo que pode acarretar em variações de distância entre os traços ao longo do perfil (Gomes et al., 2010).

Algumas operações complementares podem ser desenvolvidas ainda nesta etapa do processamento, tais como:

- Remoção de parte da seção pode ser realizada através da função *Time cut*, disposta no *Menu Processing>StaticCorretion*. Esta operação diminui o tempo de processamento, e o custo operacional de todas as etapas subsequentes;
- Controle de qualidade dos traços, realizado a partir da identificação visual de traços ruidosos para a posterior remoção através da operação *remove* disposta em *Menu>Processing>Edit Trace/traceranges*;
- Silenciamento da lâmina d'água, efetuado a partir da função *Muting* no *Menu Processing>StaticCorretion*. Esta operação remove a influência da coluna d'água, de partículas e sedimentos em suspensão ou até mesmo cardumes de peixes, e também pode ser útil na otimização do tempo e precisão do processamento.

Análise espectral

A análise espectral do conteúdo de frequência do dado marca o início dos processos que afetam a amplitude do registro sísmico. Diversos são os fatores que levam a alteração da amplitude, sendo a divergência esférica e a absorção as duas formas que mais afetam o sinal. Outros fenômenos como perdas por transmissão, acoplamento fonte-receptor, curvatura do refletor e reflexões múltiplas também interferem na amplitude do sinal, entretanto de maneira menos destrutiva (Souza, 2006).

A figura 3 apresenta a soma dos espectros de frequência correlacionados com o tempo e a profundidade para o perfil pós-operações de leitura e geometria do dado. Este gráfico pode ser obtido a partir da ferramenta *Moving Window Spectrum*, disposta no *Menu - Complex Trace Analysis/Spectral Analysis*. Esta ferramenta facilita a identificação da distribuição e origem das frequências e amplitudes dos dados sísmicos. Ou seja, através dela é possível vincular profundidade a faixa de frequência que concentram as maiores amplitudes, podendo-se, portanto, inferir a respeito das faixas de frequência indesejadas. Observa-se no gráfico que o sinal de interesse concentra-se entre 3 e 8 ms nas faixas de frequência 0,1 - 3 kHz. Em toda a janela do tempo, e

entre as frequências mais baixas, ocorre uma faixa de amplitude anômala relacionada ao ruído de fundo, aleatórios ou instrumentais.

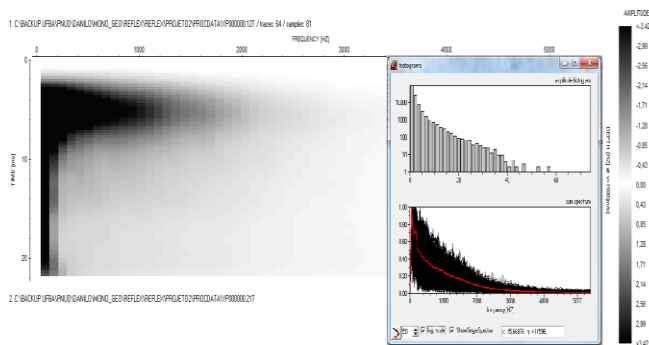


Figure 3 – Antes das operações de filtragem: à esquerda soma dos espectros de frequência de todos os traços sísmicos correlacionados com o tempo; à direita histogramas de amplitude e frequência.

Ainda na figura 3 se encontram os histogramas de amplitude e frequência que confirmam a distribuição de ruídos simultâneos ao sinal, o que dificulta o processamento e enfatiza a importância da aplicação de filtros, ou balanceamento espectral. É importante destacar que a análise do conteúdo de frequência e do histograma de amplitude foi efetuada antes e depois de todas as operações do fluxo. Desta forma pretendeu-se tornar mais claras as alterações provocadas por cada uma das operações.

O balanceamento espectral pode ser efetuado no *Menu Processing/ Complex traceanalysis/ Spectral analysis*. Segundo Yilmaz (1987), este tipo de ferramenta de filtragem altera apenas o espectro de amplitude, nivelando o espectro de uma determinada faixa de frequências, sem interferir na fase do sinal, sendo, portanto, admitido como um tipo de deconvolução de fase zero.

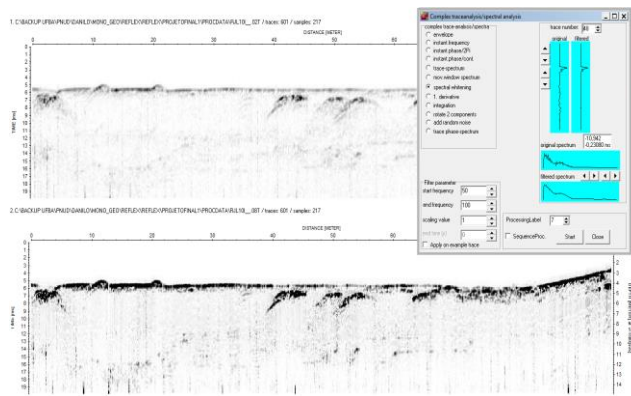


Figure 4 - Perfil sísmico antes (acima) e depois da aplicação do balanceamento espectral. À direita encontra-se a janela onde pode ser visualizado o resultado da aplicação do filtro sobre traços individuais e sobre o espectro de frequência.

A partir da análise espectral do dado foi possível a aplicação de um filtro de frequência do tipo passa-banda, através da função *Band pass frequency* disposta no *Menu / Processing/1D-Filter*. Nesse tipo de filtro seleciona-se uma banda de frequência a ser preservada, Para a aplicação do filtro foram selecionadas as frequências de 50, 250, 3000 e 3200 Hz como frequências de *lower cutoff*, *lower plateau*, *upper plateau* e *upper cutoff* respectivamente. Este filtro trapezoidal é muito utilizado em diversos tipos de processamento sísmico, devido a sua capacidade de remover as frequências indesejadas e permitir a passagem das frequências referentes aos refletores de interesse.

Deconvolução

De maneira geral, o traço sísmico pode ser entendido como o resultado da convolução do pulso básico com o coeficiente de reflexão, mais os ruídos. A deconvolução representa, portanto, a estimativa de um filtro inverso que quando convolvido com o pulso emitido pela fonte o converta na resposta impulsiva da terra. Esta operação de filtragem é amplamente utilizada para a supressão de reflexões múltiplas e reverberações, ou para aumentar a resolução temporal ou vertical dos traços sísmicos (Souza, 2006).

Nesta pesquisa, entretanto, foi selecionada a deconvolução do tipo *Spiking* que utiliza o algoritmo de *Levinson* para calcular a solução da equação da onda através da matriz de *Toeplitz* de forma recursiva. Segundo Yilmaz (1987), ao aplicar esta operação à forma de onda associada com refletores significativos é comprimida, e as reverberações que se misturam com as reflexões são suprimidas. O aumento na resolução temporal permite melhor identificação de pequenos alvos, como o topo e base de pacotes delgados, ou pequenas estruturas artificiais, como é o caso da presente pesquisa. Entretanto, esta operação acrescenta um ganho a altas e baixas frequências, tornando imperativa a aplicação de um novo balanceamento espectral dos traços pós-deconvolução

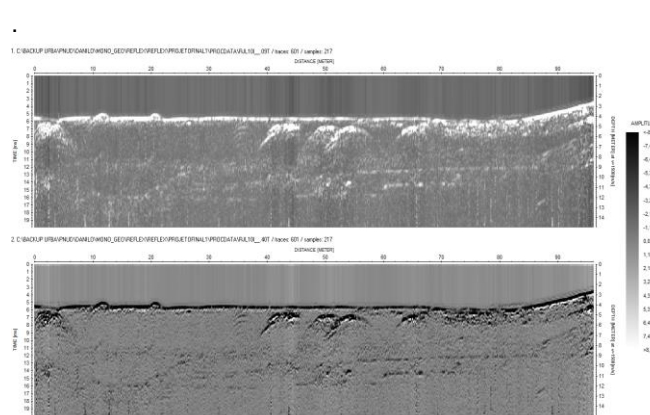


Figure 5 - Perfil sísmico antes (acima) e depois da aplicação da deconvolução Spiking.

A figura 6 representa a soma dos espectros de frequência correlacionados com o tempo (ou profundidade) do perfil submetido ao fluxo de processamento. A análise deste gráfico permite a percepção das alterações provocadas no domínio da frequência do dado. As frequências consideradas fora da faixa do sinal de interesse foram atenuadas, gerando um espectro com frequência central em torno de 1500 Hz. A análise dos histogramas de amplitudes dos perfis antes e depois do processamento (figuras 3 e 6) evidenciam como as operações do fluxo modificaram a distribuição de amplitudes do sinal. Somado a isso, notou-se um aumento na resolução vertical dos traços, tornando as estruturas de interesse do processamento mais bem definidas.

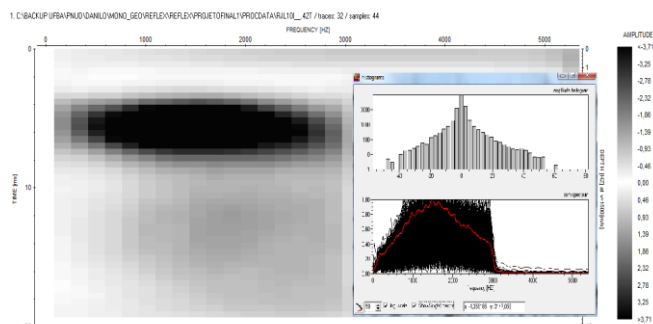


Figure 6 - Sobreposto à direita histogramas de frequência e amplitude. À esquerda soma dos espectros de frequência correlacionados com o tempo do perfil processado.

Na figura 7 as seções antes e depois do fluxo de processamento podem ser comparadas. Nota-se uma considerável melhoria na visualização da seção e na definição dos refletores de interesse (dutos), sendo estes representados por hipérbolas de difração. Tais hipérbolas podem ser facilmente identificadas no perfil processado justamente graças ao aprimoramento na definição dos refletores e na resolução vertical dos traços, somados a melhoria na saturação visual da seção submetida ao fluxo.

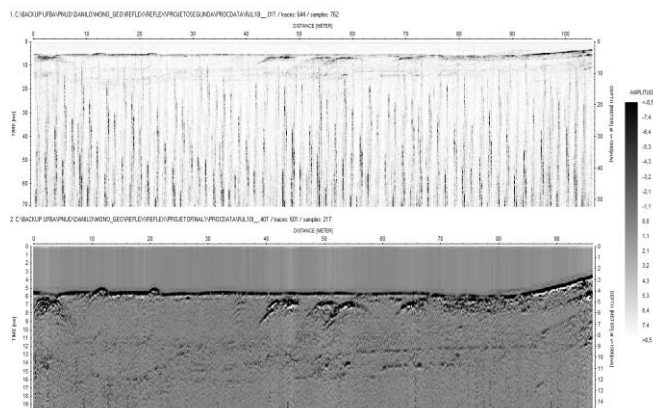


Figure 7 – Perfil bruto (acima) e processado demonstrando uma considerável melhoria no aspecto visual da seção, na resolução vertical dos traços e na definição das estruturas de interesse.

As seções processadas foram utilizadas para a identificação em mapa das exatas localizações dos dutos aflorantes no assoalho marinho, assim como destacado em vermelho na imagem de satélite da figura 8.

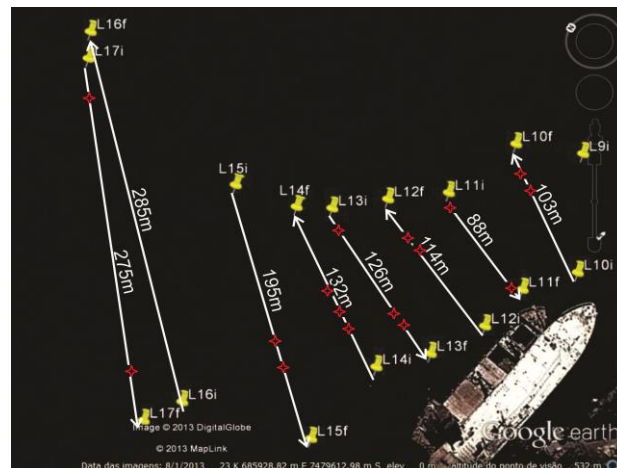


Figure 8 - Imagem de satélite mostrando a localização, sentido de aquisição e comprimento das linhas sísmicas 10 a 18. Em vermelho destacam-se as posições dos dutos aflorantes ao nível do assoalho oceânico.

As informações acerca da disposição especial da dutovia investigada estão reunidas na tabela A.

Tabela A – Número de dutos aflorantes e soterrados encontrados nas seções processadas

Tabela A			
PERFIL	Dutos aflorantes	Dutos soterrados	Total de dutos identificados
Linha sísmica 2	2	5	7
Linha sísmica 4	2	3	5
Linha sísmica 7	2	7	9
Linha sísmica 8	2	4	6
Linha sísmica 9	4	5	9
Linha sísmica 10	2	5	7
Linha sísmica 11	2	4	6
Linha sísmica 12	2	3	5
Linha sísmica 13	3	4	7
Linha sísmica 14	3	4	7
Linha sísmica 15	2	3	5
Linha sísmica 17	3	3	6
Linha sísmica 19	7	3	10
Linha sísmica 20	6	3	9
Linha sísmica 24	4	3	7
Linha sísmica 26	2	4	6
Linha sísmica 29	0	7	7
Linha sísmica 31	0	5	5
Linha sísmica 32	0	5	5
Total de dutos	48	80	128

Considerações finais

Os resultados obtidos a partir da aplicação do fluxo básico de processamento proposto nesta pesquisa permitiram as seguintes conclusões:

* As operações desenvolvidas na etapa da geometria do dado, tais como: corte de tempo, remoção de traços ruidosos e silenciamento da coluna d'água, mostraram-se eficazes na melhoria do aspecto e da saturação visual da seção. Além disso, tais operações diminuíram o custo computacional e aumentaram a precisão das operações

subsequentes, justificando, portanto, a inclusão no presente fluxo de processamento;

* A análise dos espectros e histogramas em diferentes etapas do processamento mostrou-se eficaz para a seleção de parâmetros dos filtros aplicados durante o fluxo. Além disso, estas análises foram bastante úteis, otimizando a visualização das alterações provocadas por cada operação de filtragem;

* Em relação às alterações nas amplitudes do sinal, observa-se que as amplitudes negativas, inicialmente ausentes, foram evidenciadas ao longo das etapas do processamento. No perfil processado fica clara a presença de amplitudes com sinais opostos nos refletores marcantes, o que desencadeia no destaque das estruturas de interesse;

* O aprimoramento na visualização associado ao aumento da resolução vertical dos traços permitiu uma melhor identificação dos eventos correspondentes às hipérbolas, proporcionando análises mais pertinentes à respeito da configuração da dutovia investigada.

* A aplicabilidade do fluxograma foi confirmada para os outros perfis através de resultados similares aos encontrados para a linha sísmica 10, permitindo, desta forma, rastrear o comportamento espacial da dutovia.

* As seções processadas foram utilizadas para a identificação, localização e classificação, se soterrados ou aflorantes, dos diversos dutos que compõe a dutovia investigada.

É importante destacar que o fluxo de processamento proposto nesta pesquisa é aberto, podendo ser alterado pelo incremento ou remoção de etapas. Além disso, uma alteração na ordem de aplicação das operações selecionadas também desencadeia em resultados distintos, sendo, portanto, justificável ao buscar uma adequação à dados com características específicas.

Acknowledgments

The authors thank the Cooperation Term number 4600302960, signed by PETROBRAS (CENPES) – UFBA – FAPEX, which gave the necessary geophysical equipment and the financial support of this research.

References

AMADOR, E. S., 1992. Sedimentos de fundo da Baía de Guanabara - uma síntese. In anais do iii congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário - ABEQUA, pp. 199- 224. Belo horizonte, MG, Brasil.

GOMES, M. P., VITAL, H. & MACEDO, J. W. P., 2010. Fluxo de processamento aplicado a dados de sísmica de alta resolução em ambiente de plataforma continental.

Exemplo: Macau-RN. Revista Brasileira de Geofísica 29 (1): 173-186.

KEAREY, P., BROOKS, M. & HILL, I. 2002 *An introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Scientific. Oxford (UK). 438pp.

KJERFVE, B., RIBEIRO, C. H. A., DIAS, G. T. M, FILIPPO, A. M. & QUARESMA, V. S., 1997. *Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil*. *Continental shelf research*, 17(13):1609-1643.

MARINO, I. K.; SANTOS, M. A. C.; SILVA, C. G.. 2012. Processamento Aplicado à Sísmica de Alta Resolução. Estudo de Caso: Baía de Guanabara – RJ. Texto submetido para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador (2012).

QUARESMA, V.S., 1997. Caracterização da dinâmica sedimentar da baía de Guanabara, RJ. Tese de mestrado. Departamento de Geologia - Universidade Federal Fluminense. Niterói (RJ). 97pp.

QUINN R.; BULL, J. M.; DIX, J. K. 1998. *Optimal Processing of Marine High-Resolution Seismic Reflection (Chirp) Data*. *Marine Geophysical Researches* **20**: 13–20.

SOUZA LAP. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 311p.

Yilmaz, O.,1987, *Seismic Data Processing*. Society of ExplorationGeophysicists, Tulsa, OK.