



Pesquisa e desenvolvimento em geofísica através do reprocessamento de dados sísmicos: A experiência do Laboratório de Geofísica Computacional da Unicamp

Fernando Gamboa*, Rodrigo da Silva Nunes, Lucas Freitas, Alcides Ribeiro Jr., Clebson Gonçalves de Sousa, Leandro do Carmo Thompson e Martin Tygel, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Brasil

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11 – 14 September 2005.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 9th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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.

Sumário

Desde a significativa mudança do cenário exploratório de petróleo e gás com a criação em 1997 da Agência Nacional de Petróleo (ANP), foram estabelecidas no Brasil especiais condições e oportunidades de pesquisa, desenvolvimento, formação de recursos humanos e prestação de serviços em variadas áreas do setor. Se adequadamente exploradas, estas oportunidades devem promover o estabelecimento de conteúdo local às diferentes atividades, conteúdo este imprescindível para a independência científica e tecnológica do País.

O importante acervo de dados sísmicos existente no Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP), também vinculado à ANP, oferece oportunidades importantes para as atividades de processamento sísmico, sobretudo no reprocessamento de dados mais antigos com a utilização de métodos e tecnologias mais atualizadas. É nesse pano de fundo que se insere o projeto “Aplicação de técnicas especiais em reprocessamento sísmico” celebrado entre a ANP e o Laboratório de Geofísica Computacional (LGC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e desenvolvido no período de janeiro de 2002 a julho de 2005. No período foram processadas e reprocessadas linhas sísmicas representativas de muitas das bacias sedimentares brasileiras, com resultados importantes de melhoria de imageamento.

Os resultados obtidos confirmam o valor do reprocessamento sísmico, mesmo adquiridos com tecnologias antigas e de baixa qualidade, no sentido de extração de conhecimento e informação em várias áreas e localidades, muitas vezes inacessíveis hoje a novos levantamentos.

Introdução

Em janeiro de 2002 foi estabelecido o projeto “Aplicação de técnicas especiais em reprocessamento sísmico” entre o Laboratório de Geofísica Computacional (LGC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e a Agência Nacional de Petróleo (ANP), com a finalidade de desenvolver pesquisa e produzir conhecimento das bacias brasileiras, através do processamento e reprocessamento de dados sísmicos de propriedade da Agência.

Dentre os mais importantes objetivos do projeto destacam-se (a) estabelecimento de proficiência em processamento sísmico em dados reais, com plena utilização de equipamentos (hardware) e pacotes (software) sísmicos do mais alto padrão na indústria de petróleo; (b) incorporação de pesquisa própria nos diferentes passos da seqüência de processamento e (c) produção de seções sísmicas de boa qualidade através do reprocessamento de dados fornecidos pela ANP para compor o BDEP. Para uma descrição geral e alguns considerações práticas do processamento sísmico veja-se Yilmaz (2000) (Veja-se também mais referências naquele lugar).

Durante a vigência do projeto, foram processados dados sísmicos 2D, terrestres e marítimos, com maior ênfase nas Bacias de Santos, do Recôncavo e Sergipe-Alagoas.

Nesse artigo, será descrito o parque computacional do LGC, dados estatísticos dos dados sísmicos já processados e discussão de alguns resultados obtidos com o reprocessamento.

O Laboratório de Geofísica Computacional (LGC)

O LGC está equipado para o processamento e reprocessamento de dados sísmicos 2D e 3D (pequenos) através de uma adequada instalação de equipamentos e pacotes sísmicos de padrão compatível com a indústria de petróleo. Uma descrição sumária dos equipamentos e pacotes é fornecida abaixo.

Parque computacional

O parque computacional do LGC é constituído por estações de trabalho, microcomputadores PC e um cluster, todos em rede. Há três estações de trabalho de tipo SUN Blade (1000, 2000 e 2500) com 8GB e 2 processadores cada uma, dispoendo de monitores SUN LCD de 24.1". Há 10 microcomputadores Pentium 4 HT (3.06 Ghz) com 1GB de memória cada. Finalmente, o LGC dispõe de um cluster AMD opteron (64 bits) de 16 nós biprocessados com 2GB de memória RAM por nó. Vale salientar que o referido cluster foi implantado mediante projeto de cooperação entre a empresa Gplus e o LGC.

A capacidade de armazenamento está principalmente representada por uma unidade SUN de 1.7 TeraBytes (fiber channel). Os PCs possuem discos locais com capacidade de 100GB cada um de eles, e as estações de trabalho têm um total de 750GB em disco.

A rede de computadores e as estações de trabalho estão administradas por um servidor Dual Xeon, com 2 GB memory, hotswap harddisk, sendo que a conexão entre eles é realizada por um Switch com cabo GigaEthernet (cat. 6). Um servidor SUN E-250 gerencia as licenças dos diferentes pacotes e aplicativos sísmicos instalados no LGC (veja-se a próxima sub-seção).

Para leitura e backup dos dados sísmicos utilizados, o LGC, possui 2 Drives DLT de 40-80 GB, um Drive de fita 8mm e um Drive de cartuchos IBM 3590.

Além do equipamento computacional descrito acima tem-se uma impressora *laser* duplex de 32ppm, três unidades de ar condicionado central. Um No-Break unificado de 18 KVA suporta todos os equipamentos do LGC.

Pacotes e aplicativos

Os pacotes de processamento sísmico e aplicativos de uso no LGC são provenientes de acordos educacionais e comerciais com as empresas, quanto de desenvolvimentos próprios através de projetos científicos, em particular, teses de pós-graduação. Vale destacar também que o LGC é um dos membros fundadores do consórcio Wave Inversion Technology (WIT), com sede em Karlsruhe, Alemanha. No âmbito do consórcio WIT, vários softwares têm sido desenvolvidos e disponibilizados no LGC. Dentre os principais softwares atualmente instalados no Laboratório podemos destacar:

software	desenvolvedor
ProMax 2D/3D	Landmark
GeoDepth 2D/3D	Paradigm
GeoFrame	Schlumberger
AVO, Strata	Hampson-Russel
Reflexw	Sandmeyer Inc.
InterSis	LGC/Unicamp
2D/3D CRS imaging	Consórcio WIT
2D/3D NIP tomography	Consórcio WIT
2D/3D PSTM/PSDM	Consórcio WIT

Recursos humanos

As atividades e projetos desenvolvidos pelo LGC contam, além da sistemática participação do Grupo de Geofísica Computacional do Departamento de Matemática Aplicada e do Instituto de Geociências da Unicamp, também com significativa contribuição de pesquisadores e profissionais de renomadas instituições acadêmicas e do setor produtivo. Dentre as instituições acadêmicas com as quais o LGC mantém ativa cooperação, destacam-se as Universidades de Karlsruhe, Hamburgo e Berlim (Alemanha), Trondheim (Noruega), Pau (França), Colorado School of Mines (EUA) Universidade, além da Universidade Federal do Pará (Belém). Dentre as empresas do setor petróleo com as quais o LGC colabora através de convênios ou serviços, podem-se destacar citar a Petrobras, a ANP, a Brain Tecnologia e a Gplus em nível nacional, bem como a Norsar (Noruega) e todas as empresas patrocinadoras do consórcio WIT em nível internacional.

No que se refere aos profissionais e técnicos encarregados da utilização, funcionamento e gerenciamento de hardware e software, o LGC conta com um analista de sistemas sênior e um auxiliar, um engenheiro de software e três processadores sísmicos (um senior e dois juniores). Participam, além disso, sempre que necessário, profissionais consultores, além de estudantes de graduação e pós-graduação.

O LGC tem também atividade de processamento de dados eletromagnéticos, em particular em *Ground Penetration Radar* (GPR). Interessantes trabalhos de pesquisa e serviços estão sendo desenvolvidos nesta área onde se procura transferir o vasto conhecimento e tecnologia de processamento sísmico para o correspondente processamento de dados eletromagnéticos, típicos de problemas ambientais.

Dados gerais do projeto ANP/LGC

Ao longo dos cerca de três anos de vigência do projeto ANP e Unicamp, foram desenvolvidos 11 sub-projetos de processamento e reprocessamento com características e objetivos distintos entre si.

Os primeiros dois projetos consistiram do processamento em tempo (Migração prestack) e em profundidade de linhas marítimas da Bacia Sergipe-Alagoas e linhas terrestres da Bacia Potiguar. Para esta última, o objetivo foi o de definir a Discordância Alagamar e a estruturação dos sedimentos pré-rift. Todas as linhas foram processadas com migração prestack em tempo, sendo que duas linhas foram migradas em profundidade.

O Projeto 03 constou do reprocessamento em tempo (Migração poststack) de uma linha da Bacia o Paraná, em área de conhecida dificuldade de processamento (baixa razão sinal/ruído devido à camada de basalto). Esse projeto foi o único no qual o LGC não logrou superar a qualidade dos dados fornecidos pela ANP como referência. É interesse do LGC reprocessar novamente essas linhas com novos métodos e tecnologias.

Nos Projetos 04, 06 e 07 foram reprocessadas 186 linhas da Bacia do Recôncavo, perfazendo cerca de 1850km. Nesses projetos, o enfoque foi gerar seções migradas visto que as mesmas não se encontravam disponíveis no BDEP para serem incorporadas ao pacote de dados de futuras rodadas de licitação de blocos exploratórios pela ANP. Todo o processamento aplicado nestas linhas foi em tempo, com migração poststack.

No Projeto 05 foram reprocessadas 9 linhas da Bacia de Santos, água rasa, totalizando 790km. As linhas foram processadas em tempo com migração poststack e em uma foi realizada uma migração prestack.

O Projeto 08 teve como objetivo embasar a parte técnica de uma licitação de reprocessamento da ANP de 21 linhas de dados de terra da Bacia Sergipe-Alagoas. Nesse projeto, foram processados 342km referentes a 21 linhas. A comparação finais com as do acervo do BDEP mostra o grande incremento de qualidade obtido no reprocessamento. Nas linhas foi aplicado processamento em tempo com migração poststack e prestack em 6 linhas. Também foram processadas em profundidade duas linhas.

Nos Projetos 09 e 10, novamente o objetivo foi gerar dados a serem incorporados ao acervo do BDEP para futuras licitações, entre os dois projetos foram reprocessadas 44 linhas. No projeto 09, foram reprocessadas 466km de linhas marítimas e 375km de linhas terrestres, enquanto no projeto 10, foram reprocessadas 750km de linhas marítimas. O processamento aplicado nestas linhas foi em tempo com migração poststack.

O Projeto 11 envolveu o reprocessamento de 71 li-

nhas com um total de 1074,5km, sendo que 85,6km são de dados marítimos e os restantes 988,9km são de dados terrestres. De forma similar aos projetos anteriores foi aplicado o processamento em tempo com migração poststack.

Resultados

Os resultados obtidos pelo projeto ANP e LGC da Unicamp podem ser brevemente descritos da seguinte forma: (a) melhoria da qualidade de seções sísmicas devido à utilização criteriosa de pacotes sísmicos; (b) obtenção de seções processadas de boa qualidade para suprir o BDEP de dados a serem disponibilizados para licitações; e (c) processamento de linhas com tecnologia própria. No tocante ao primeiro item, vale salientar que a atividade tem os ingredientes de pesquisa que justificam sua inserção em uma Universidade, uma vez que necessitam do adequado conhecimento científico dos fenômenos envolvidos no processamento. De especial destaque foi a determinação cuidadosa de parâmetros de processamento, os quais foram mais tarde utilizados para balizar contratos maiores da ANP com empresas de processamento. Em relação ao processamento de linhas com tecnologia própria, merecem destaque seções processadas pelo método CRS desenvolvido no âmbito do Consórcio WIT do qual o LGC parte integrante. Para uma descrição geral do método CRS veja-se Hubral (1999) (Veja-se também mais referências naquele lugar).

Apresentamos abaixo alguns casos ilustrativos de resultados obtidos, nos quais podemos bem observar o impacto do reprocessamento empreendido pelo projeto.

Para um dado terrestre, as Figuras 1 e 2 apresentam a comparação entre a seção reprocessada no LGC e a seção original do BDEP. A tarefa neste projeto foi o melhoramento da imagem sísmica. Apesar de que a parte rasa entre os CDP's 800 e 1500 está mais bem definida na seção enviada pela ANP, o reprocessamento feito pelo LGC alcançou grande melhoria de qualidade na porção mais profunda, com imageamento superior evidenciando reflexões com maiores mergulhos, com a reflexão provável do embasamento mais contínua e definição de pequenos falhamentos na porção central da seção (como poderá ser melhor visto na Figura 2). Outro exemplo de comparação de uma linha processada pelo LGC e a correspondente seção do acervo do BDEP é apresentado na Figura 5.

As Figuras 3 e 4 mostram os resultados do processamento de uma linha terrestre utilizando o método padrão NMO (Promax) e o método CRS,

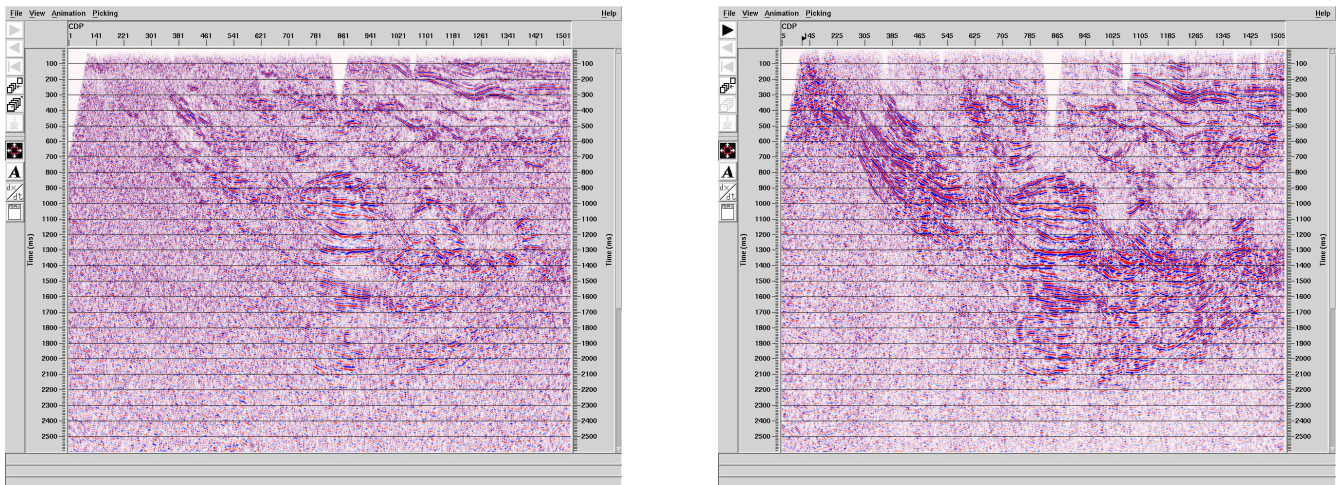


Figure 1: Linha sísmica de dado terrestre - Esquerda: Linha fornecida pela ANP como referência (Acervo do BDEP); Direita: Resultado do reprocessamento feito pelo LGC.

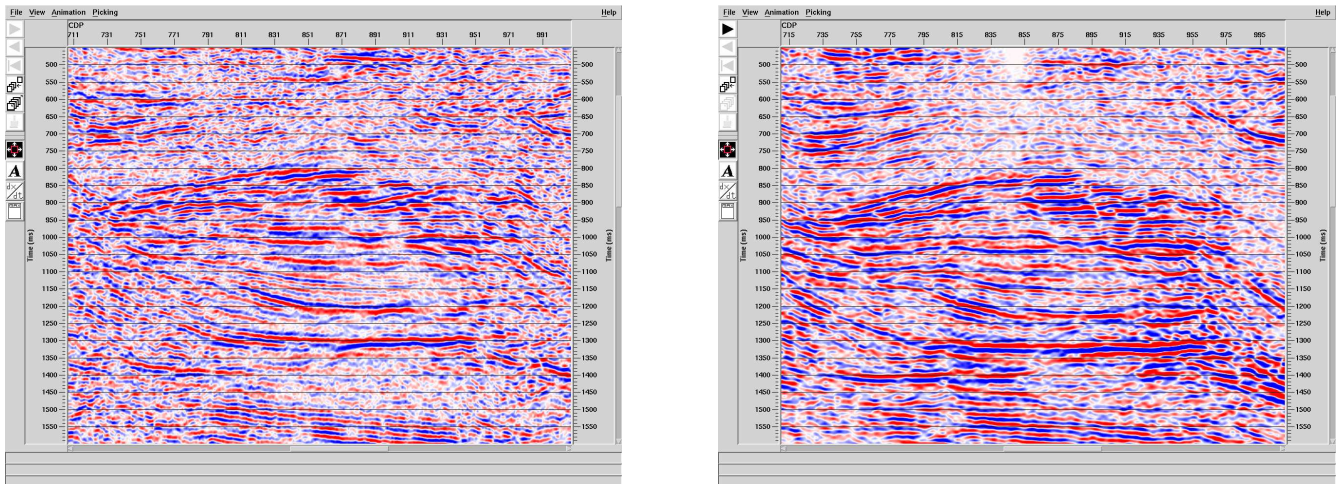


Figure 2: Zoom da Figura 1 - Esquerda: Detalhe da seção fornecida pela ANP; Direita: Detalhe da seção reprocessada pelo LGC.

respectivamente. Sem entrar em maiores detalhes de interpretação das seções, podemos observar que o método CRS fornece seções mais limpas e com maior relação Sinal/Ruído. Note-se a melhor definição e continuidade, dos eventos na seção CRS ao ser comparados com os obtidos na seção NMO/DMO. Devido ao fato de ser um método recente, não são disponíveis ainda na literatura comparações sistemáticas entre seções NMO/DMO e CRS. O crescente uso da tecnologia CRS deverá brevemente prover essa lacuna, indicando com mais precisão as vantagens e desvantagens interpretativas das seções obtidas pelo método convencional e CRS, bem como o melhor benefício que se pode

obter de ambas as tecnologias. Outro exemplo de comparação entre o padrão NMO e o método CRS é apresentado na Figura 6.

Conclusões

Durante a vigência do projeto LGC e ANP foram processadas um total de aproximadamente 400 linhas de dados terrestres e marítimos 2D, perfazendo aproximadamente 3000km. Os resultados do processamento ou reprocessamento convencional (Promax), quando comparados com os dados sísmicos armazenados no BDEP, atestam significativa melhoria de qualidade alcançada. Da mesma forma, o processamento ou reprocessamento realizado com

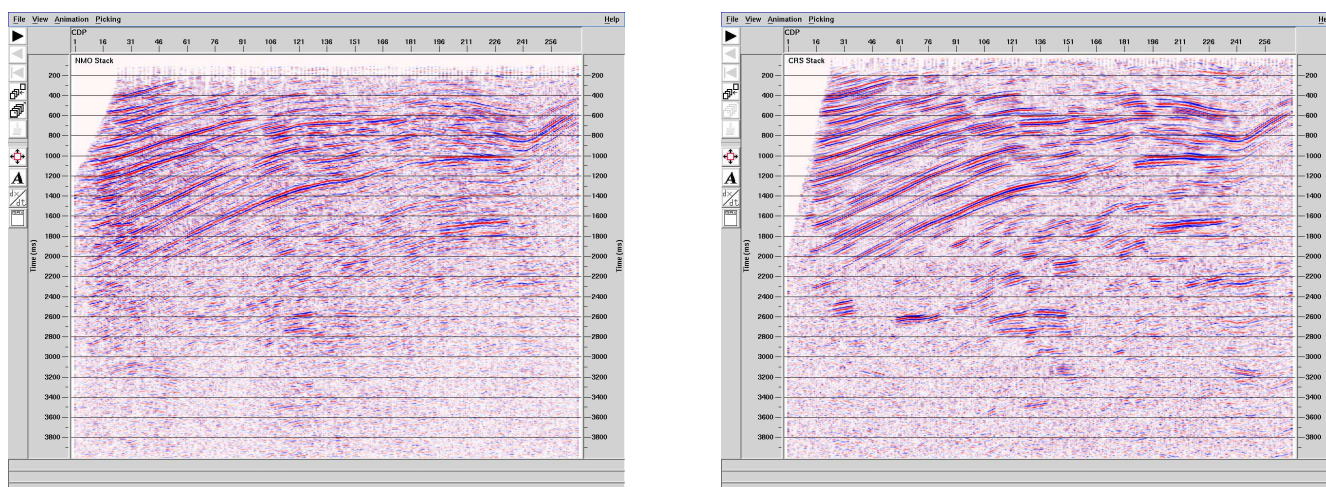


Figure 3: Esquerda: Seção de afastamento nulo simulada pelo método NMO/DMO; Direita: Seção de afastamento nulo simulada pelo método CRS.

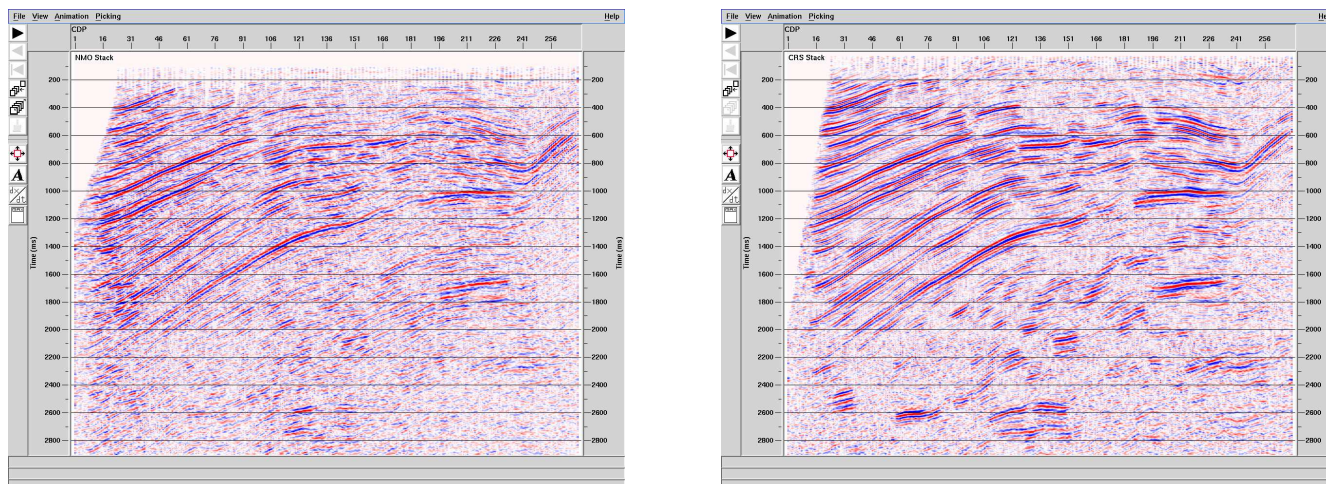


Figure 4: Zoom das Figuras acima para 2900ms. Esquerda: Seção de afastamento nulo simulada pelo método NMO/DMO; Direita: Seção de afastamento nulo simulada pelo método CRS.

o novo método CRS mostrou significativa melhoria de qualidade.

Podemos concluir que, através da utilização de metodologias de processamento atualizadas, dados sísmicos "antigos", podem ser reprocessados para a obtenção de seções de qualidade muito superior. Esta observação tem relevância especial quando se consideram áreas nas quais uma nova aquisição de dados não pode ser mais realizada.

trabalhos futuros

Tendo em vista a experiência adquirida no processamento e reprocessamento de dados 2D, os

próximos desafios do LGC incluem: (a) o processamento NMO/DMO e CRS de dados sísmicos 3D; (b) a utilização dos parâmetros CRS para outras aplicações, tais como, tomografia sísmica, estáticas residuais; (c) migração Kirchhoff em amplitude verdadeira poststack e prestack, desenvolvida pelo consórcio WIT e (d) aplicação a outros dados geofísicos como, por exemplo o GPR. Finalmente, outro trabalho importante do LGC consistirá da paralelização dos programas baseados no Método CRS com vistas à utilização de equipamentos de tipo "cluster".

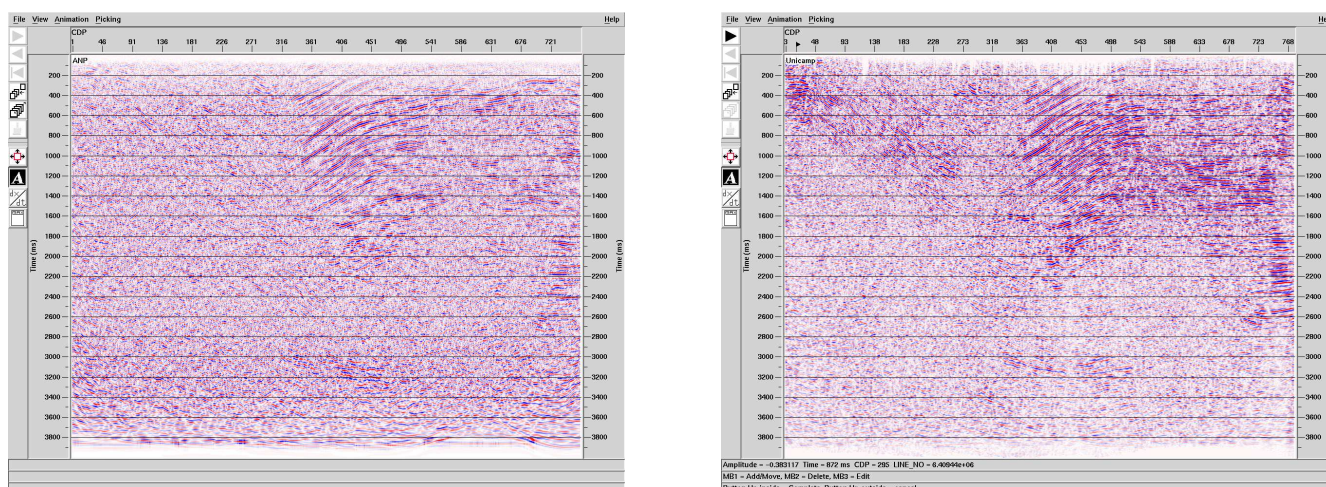


Figure 5: Esquerda: Linha fornecida pela ANP como referencia (Acervo do BDEP); Direita: Resultado do reprocessamento feito pelo LGC. A linha corresponde a dados terrestre

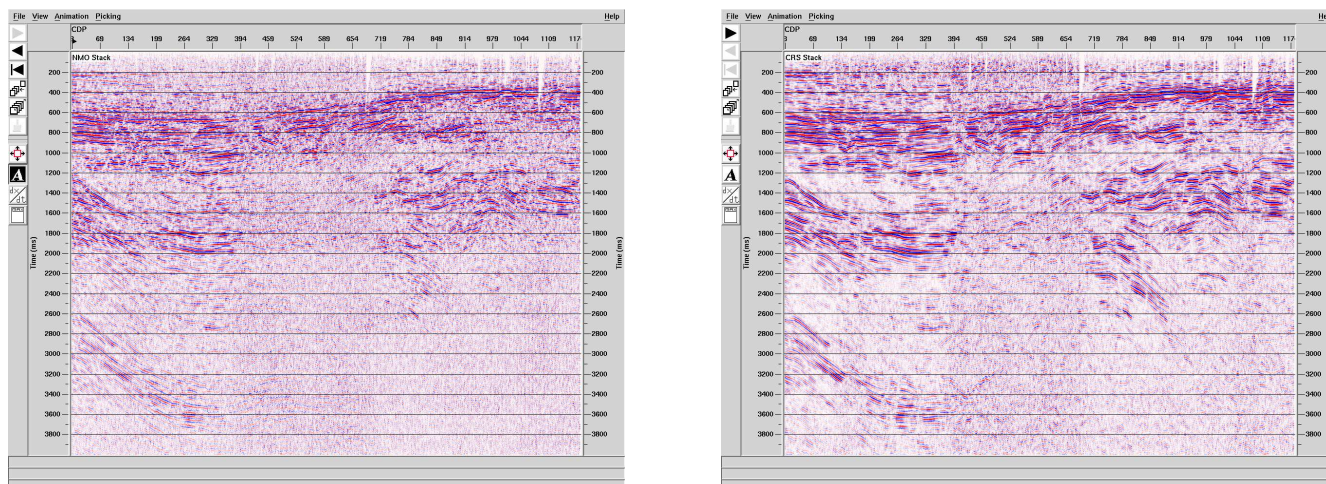


Figure 6: Esquerda: Seção de afastamento nulo simulada pelo método NMO/DMO; Direita: Seção de afastamento nulo simulada pelo método CRS.

Agradecimentos

É com prazer que agradecemos as seguintes organizações que tornaram possível o estabelecimento do LGC e o desenvolvimento de seus vários projetos: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (projeto Temático, proc. 01/01068-0); Conselho Nacional de pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Petrobras, patrocinadores do consórcio Wave Inversion Technology (WIT), empresas Brain Tecnologia e GPlus, Landmark Graphics Corporation - Strategic University Alliance, grant 2002-COM-014331, Paradigm, Schlumberger, Hampson-Russell.

References

- Hubral, P., 1999, Macro-model independent seismic reflection imaging: *J. Appl. Geophysics*, **42**, no. 3, 4.
- Yilmaz, O., 2000, Seismic data analysis, in cooper, m. r. and doherty, s. m., ed., seismic data analysis vol. 1, 01: Soc. of expl. geophys., 1000: Society of Exploration Geophysicists.