



Ensaio sísmico de reflexão rasa em rochas fraturadas do Grupo Itararé

*Josenilda do Nascimento Lonardelli¹; Augustinho Rigoti²; Sidnei Pires Rostirolla²; Ciro Jorge Appi³; Rodrigo Brunetta¹

¹ Pós-Graduando em Geologia/UFPR

² Departamento de Geologia/UFPR

³ PETROBRAS/CENPES/PROFEX

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th 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.

Abstract

Shallow reflection seismic is applied to image stratigraphic and structural features to help the study of fractured reservoir analog modeling. The outcropping geological unity is composed of sandstone of the Itararé Group, Paraná Basin. Fine-grained sedimentary rocks with silt and clay content occur as intercalation in the sandstone so that acoustic impedance variation is expected at the interfaces and consequently reflections be detected. Intense fracturing occurs, rendering the area very interesting for the study. As little has been done in this area, particularly in Brazil, results of tests conducted to determine the acquisition parameters and difficulties encountered are discussed in detail. Although results show apparent correlation between geology and seismic features, this has still to be confirmed by sonic logs and VSP tests, which will be carried on next, in the research project.

Introdução

A sísmica de reflexão rasa vem merecendo atenção crescente. Um dos motivos que levaram a estudos intensos foram as limitações da sísmica de refração e o barateamento dos instrumentos utilizados pelo método. Na prospecção de hidrocarbonetos a sísmica de reflexão dita convencional é amplamente empregada, mas seu desafio principal tem sido alcançar grandes profundidades, em detrimento da resolução. De forma que ela não resolve detalhes da geometria do reservatório. No presente estudo, o método está sendo utilizado para analisar situações geológicas não profundas, similares às de reservatórios que ocorrem a grandes profundidades. Constitui-se então em ferramenta para auxiliar o mapeamento geológico-estrutural na determinação da geometria da situação rasa análoga, para fornecer subsídios à exploração de alvos profundos.

O objetivo principal da aplicação da sísmica de reflexão rasa e de outros métodos geofísicos de alta resolução no estudo de modelos análogos é obter o melhor mapeamento possível de feições estruturais e estratigráficas que auxiliarão no estudo do modelo. A qualidade dos resultados obtidos com esta técnica é função, principalmente, da seleção adequada dos parâmetros de aquisição. O processamento adequado dos dados para salientar as feições sísmicas de interesse também é importante, mas a identificação de tais feições

tem que ser possível antes do processamento, para que não se incorra no erro de tomar resultados numéricos espúrios por reflexões reais.

Os ensaios sísmicos aqui reportados foram realizados no contexto do projeto MODRES (Modelagem de potenciais reservatórios fraturados em superfície para auxílio exploratório em subsuperfície), numa área de rochas reservatório arenosas, muito compactas e pouco porosas nos níveis silicificados próximos à superfície. Fazem parte do Grupo Itararé da Bacia do Paraná (e.g. Rostirolla, *et al.* 2000). Pela ocorrência descrita de níveis de sedimentos mais finos (argilito e diamictito) em meio aos arenosos, são esperadas variações de impedância acústica capazes de fornecer reflexões. Contudo, as possíveis reflexões revelaram-se discretas e vem requerendo grande esforço e cuidado na identificação. Dado que a técnica está ainda em desenvolvimento e pouco tem sido feito nesta área, particularmente no Brasil, entende-se que o objetivo principal deste artigo está em compartilhar com o meio técnico as dificuldades encontradas e procedimentos assumidos na tentativa de contorná-las.

Instrumentação

Para eleger a sísmica de reflexão rasa como técnica de investigação para um determinado problema, é necessário um bom conhecimento da área que se vai estudar, conhecer a aplicabilidade da técnica em situação geológica similar, ou serão necessários testes calibrados (condições controladas) para avaliar as respostas ao método. Neste sentido, como a área escolhida dispunha apenas de dados geológicos foi necessário realizar muitos testes preliminares.

Um primeiro requisito para a alta resolução envolve a instrumentação, que precisa ser adequada para análise de altas frequências. As fontes de alta frequência e receptores com sensibilidade para registrá-las são então aspectos críticos. Neste sentido o presente estudo contou com sismógrafo, geofones e fonte com as especificações mais indicadas.

O sismógrafo utilizado é um sistema modular, sendo composto por 3 unidades com 24 canais cada, controlado por um laptop robusto desenhado para trabalho de campo. Cobre ampla faixa de amostragem, desde 1.75Hz até 20kHz, com processador de 24 bits. O intervalo de amostragem pode ser selecionado dentro da faixa de 20 microssegundos até 16 milissegundos.

Os geofones com frequência natural de 14Hz são de última geração, apresentando resposta plana acima desta frequência.

A fonte consistiu principalmente de rifle sísmico calibre 12 e, em algumas situações, uma marreta de 8,5 Kg. A

utilização da marreta como fonte alternativa em meio a uma seqüência de tiros do rifle, levou em consideração a provável degradação do sinal no empilhamento CMP, uma vez que as assinaturas das duas fontes são diferentes, mas face às condições de freqüente afloramento de rocha dura e a não disponibilidade de uma perfuratriz para a rocha, esta foi a única alternativa encontrada no momento. Ambas as fontes são apontadas como adequadas para a alta resolução (e.g. Miller *et al.* 1986). A figura 1 mostra exemplo de sismograma com rifle e com marreta no mesmo local. Foram utilizados 72 geofones em testes de ruído (*walkaway*) e mantidos 48 ativos nos caminhamentos CMP tipo “end on” com remanejamento de 24 geofones para a frente do arranjo quando liberados.

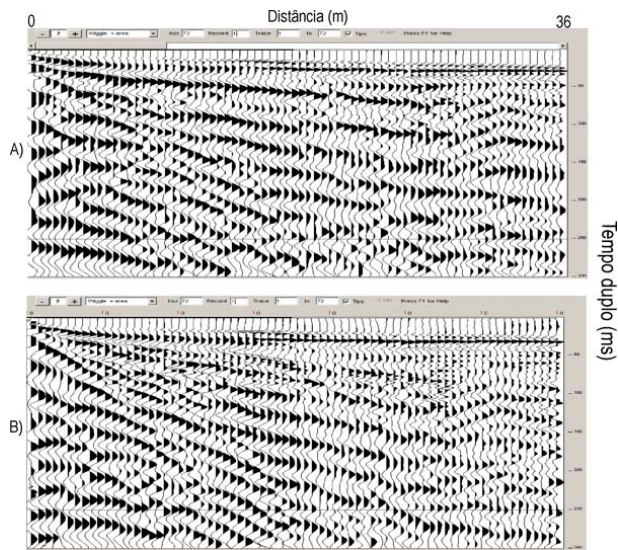


Figura 1 – Sismogramas fazem parte do levantamento sísmico de reflexão (*walkaway*), tendo 72 geofones com espaçamento de 50cm. Foram obtidos no mesmo local, mas com fontes diferentes. A) com rifle; B) com marreta.

Nenhum filtro foi aplicado na aquisição, pois não havia ruído cultural ou natural de freqüência controlada. Contudo, outras dificuldades ocorreram, como por exemplo vento forte, que por ser muito comum na área, nem sempre pode ser evitado. Soma-se a isto a falta de solo para detonar o rifle sísmico a uma profundidade adequada e até mesmo para acoplar o geofone. Em locais de afloramento usou-se a marreta como fonte de energia e, para acoplar os geofones à rocha, foi utilizada massa de modelar como sugerido por Prado (2000).

Aquisição e primeiro processamento

Os primeiros ensaios consistiram de sísmica de refração com 24 geofones espaçados de 2m. Os tiros nas extremidades da base a 1m dos geofones 1 e 24 mostraram que apenas duas camadas estavam presentes na profundidade investigada e que a distância crítica é de 8m. Então outros dois tiros externos foram posicionados a 8m dos geofones 1 e 24, gerando sismogramas com apenas a segunda camada. Um quinto tiro foi posicionado entre os geofones 12 e 13. Este ensaio serviu para dar uma idéia da resposta sísmica da área na sua porção superior, revelando apenas duas

camadas (figura 2). Uma primeira camada fina de solo com velocidade de $\sim 800\text{m/s}$ e espessura variando de 2m a 3m estando até mesmo ausente em alguns locais. A segunda camada tem velocidade de $\sim 2000\text{m/s}$ e sua espessura estende-se até no mínimo 16m de profundidade. Nota-se já com estes ensaios que não existe uma camada dissipativa de baixa velocidade, o que caracteriza condição propícia para a condução da energia sísmica. Observa-se ainda que com esta velocidade de $\sim 2000\text{m/s}$ para os arenitos, pode não ocorrer variação capaz de marcar sua passagem para os argilitos e diamictitos que também apresentam velocidades semelhantes.

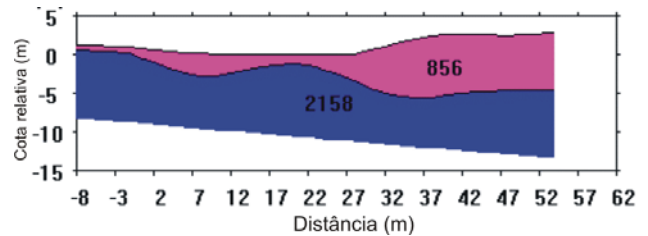


Figura 2: Modelo de 2 camadas ($V_1=856\text{m/s}$; $V_2=2158\text{m/s}$) obtido a partir dos ensaios de refração.

Testes de ruído foram os próximos ensaios realizados para auxiliar na escolha dos parâmetros de aquisição (Knapp e Steeples, 1986) para a técnica CMP (Common Mid Point) que seria utilizada na continuidade e prover também, juntamente com a refração, uma primeira idéia do comportamento sísmico da área de estudo. Neste ensaio o espaçamento utilizado entre os geofones foi de 1m (1/100 da profundidade de interesse). O arranjo é composto por 72 canais. Um primeiro tiro posicionado a 1m do extremo do arranjo e outro a 72m, com deslocamento do arranjo de geofones, o que se caracteriza em *walkaway*. Para um ensaio mais rápido, quando não se dispõe de tempo hábil, o *pseudo-walkaway* é mais empregado. Neste teste, o arranjo de geofones permanecem no mesmo local e o que vai mudar é a localização do tiro. A figura 3 mostra um exemplo de sismograma destes testes, processado com janela AGC de 50ms e filtro passabanda de 60-100-200-300Hz.

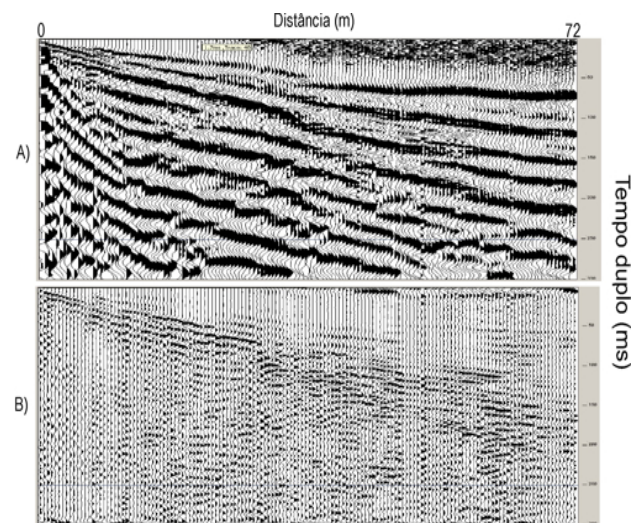


Figura 3 – A) Sismograma processado do *Walkaway* com janela AGC de 50ms; B) Sismograma processado do *Walkaway* com janela AGC de 50ms e filtros passabanda de 60-100-200-300Hz.

Os parâmetros de aquisição determinados para o levantamento com a técnica CMP (*end on*) utilizando 48 geofones ativos foram: menor espaçamento fonte-receptor (*near offset*) de 6m; espaçamento entre geofones de 2m; conseqüente extensão do arranjo (*far offset*) de 102m; comprimento do tempo de registro (250ms), intervalo de amostragem (0.250ms). A escolha da técnica CMP se deu em função do número de canais disponíveis, da estratigrafia aproximadamente plano-horizontal da área e das recomendações da literatura geofísica recente.

O software de processamento de dados na sísmica rasa, em geral vai para o campo no laptop que faz a aquisição. Por isto precisa ser “leve” e prático. A figura 4 mostra o fluxograma básico do processamento.

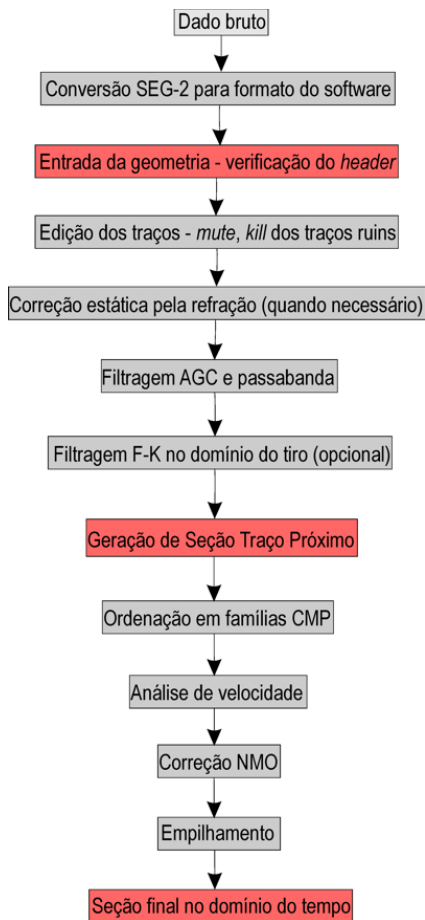


Figura 4 – Fluxograma básico usado no processamento.

Como a área em estudo apresenta topografia plana, praticamente não se fez necessária a correção estática. Na figura 5, um sismograma no domínio do tiro com apenas os 21 primeiros canais, tendo bem marcados os eventos de onda aérea e *ground roll*. Usando o mesmo sismograma, agora com os 48 canais, a figura 6 apresenta, na forma de densidade em cores, o dado

antes e após a filtragem F-K. Comparando estas figuras, verifica-se que o *ground-roll* foi muito bem eliminado, neste exemplo, mas a onda aérea continua no registro.

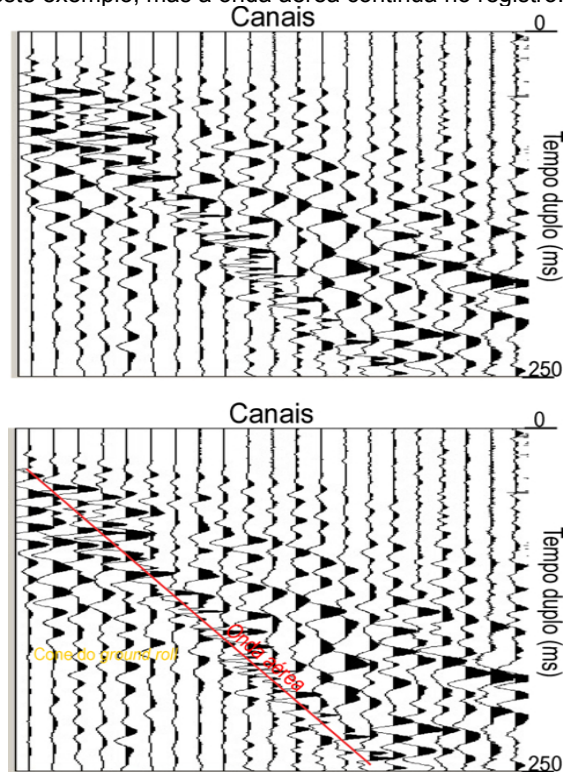


Figura 5 – Sismograma no domínio do tiro, tendo bem marcados os eventos de onda aérea e *ground roll*.

Na figura 6B, após a filtragem F-K, os níveis estão mais contínuos e melhor definidos, comprovando que o *ground roll* foi eliminado de fato e a eficiência desse tipo de filtragem.

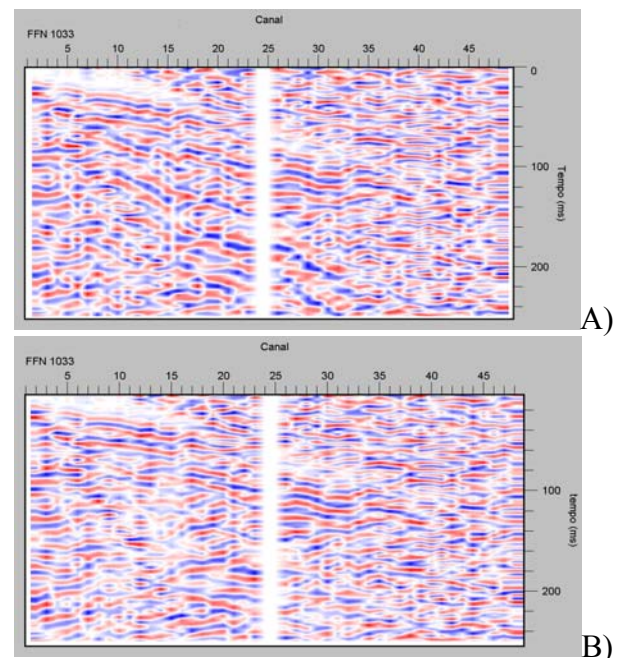


Figura 6 – Sismograma no domínio do tiro apresentados sob a forma de densidade em cores. A) Sismograma com 48 canais, antes de aplicar o filtro F-K; B) Mesmo sismograma após aplicar o filtro F-K.

Outro experimento realizado no processamento foi a Seção Traço Próximo, que consiste em justapor os traços de mesma distância do tiro. Esta representação serve como um guia de controle de qualidade na seqüência do processamento, dando uma idéia prévia do que se deve encontrar na seção final empilhada. A figura 7 expõe a Seção Traço Próximo e sua correspondente seção empilhada final para comparação.

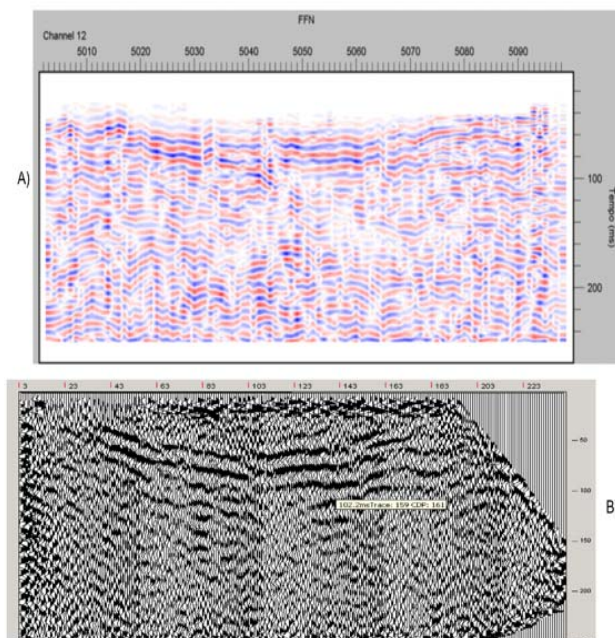


Figura 7 – A) Seção Traço Próximo gerada justapondo todos os canais 12 de cada tiro; B) Seção sísmica final empilhada (em tempo).

Observa-se nestas seções uma similaridade bem marcante na porção superior. Existem dois níveis muito bem salientados e até mesmo suas descontinuidades.

Na figura 8, são apresentadas seções que foram processadas usando filtros passabanda de diferentes limites. Num caso preservam-se pouco mais as baixas freqüências e no outro, estas são cortadas em um valor maior. Não se tem clareza ainda do significado dos aparentes refletores, mas nota-se que aspectos diferentes são salientados num e no outro processo. Para um julgamento melhor da performance de diferentes filtros é necessário ter conhecimento melhor da geologia da área. O projeto de pesquisa MODRES, em cujo contexto se desenvolve este estudo está conduzindo uma campanha de sondagens que serão seguidas de perfilação sônica e de ensaios de VSP (Vertical Seismic Profiling). Só então ter-se-á a calibragem necessária para um processamento seguro e conseqüente interpretação.

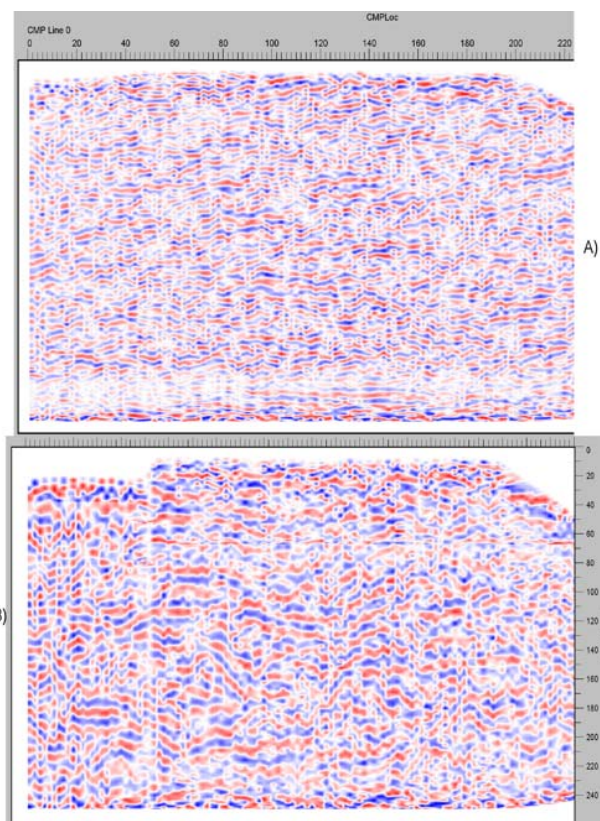


Figura 8 – Seções sísmicas processadas com diferentes filtros passabanda. A) Eliminando as baixas freqüências (80-150-250-300); B) Preservando um pouco as baixas freqüências (40-100-250-300).

Discussão e conclusões

Os ensaios indicam que o arranjo de 72 geofones (48 ativos) espaçados de 2m, movimentado ao longo das linhas de ensaio segundo a técnica CMP (*end on*) mostra-se apropriado para o estudo. Este espaçamento entre geofones condiciona a extensão do arranjo que para 48 geofones ativos fica em torno de 100m. Esta satizaz a profundidade de interesse e assegura o recebimento de um sinal de boa energia mesmo nos canais mais distantes. Além disto, o espaçamento de 2m provê uma resolução lateral de 1m (Fresnel zone). Nota-se assim que é muito importante distribuir os geofones disponíveis de forma a satisfazer da melhor forma possível a resolução lateral e a profundidade requerida. Claro que quanto maior o número de geofones menor pode ser o espaçamento entre eles, podendo-se chegar a uma situação de exagero na resolução lateral e ainda manter comprimento do arranjo necessário. Com 48 canais ativos e mesmo espaçamento nos tiros e nos geofones, o recobrimento máximo é de 24 vezes.

Dentre os desafios encontrados, os principais foram a freqüente exposição de rocha que dificulta tanto a perfuração para o tiro como a instalação do geofone com acoplamento adequado. Nestas situações, o tiro de rifle foi substituído pela batida de marreta sobre chapa metálica, que não é o ideal, uma vez que se tratam de fontes com diferentes assinaturas. Este problema será resolvido em breve com o uso de perfuratriz capaz de

perfurar a rocha. Foram observados casos em que feições visíveis no domínio do tiro eram degradadas após o empilhamento CMP. Como não havia erro nos cabeçalhos ou de geometria nos dados, supõe-se que o problema ocorresse por diferença das fontes que foram intercaladas na linha. O problema de acoplamento do geofone à rocha foi resolvido satisfatoriamente com o uso de massa de modelar entre a rocha e o corpo do geofone sem a ponteira.

O vento tinha uma direção transversal às linhas, impedindo que se atrasasse em sentido contrário a sua direção como indicado pela literatura. Seu efeito não foi individualizado nos sismogramas, apenas nota-se maior ruído na presença de vento. Note-se, contudo, que os exemplos aqui mostrados foram selecionados de dias em que não ventava. Apesar de não estar disponível ainda uma calibragem mais precisa, observam-se qualitativamente boas correlações entre feições sísmicas e feições geológicas (Bartoszeck *et al.* neste mesmo congresso). Pode-se por isto dizer que a sísmica de reflexão rasa deverá, através do imageamento de feições estratigráficas e estruturais, contribuir de forma expressiva no presente estudo de situação geológica rasa, similar a reservatório fraturado.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CTPETRO / FINEP / PETROBRÁS pelo financiamento e a Universidade Federal do Paraná pelo apoio institucional. Agradecem também aos vários colegas participantes do projeto de pesquisa que tem auxiliado em todos os sentidos.

Referências

BARTOSZECK, M. K.; KRAFT, R. P.; ROSTIROLLA, S. P.; CAMPOS, A. F.; APPI, C. J. 2003. Integração de dados geofísicos e geológicos com ferramenta auxiliar na modelagem de reservatórios em superfície. Submetido neste congresso.

ROSTIROLLA, S. P.; APPI, C. J.; MANCINI, F.; KRAFT, R. P.; BARTOSZECK, M. K. 2000. Fraturas controladoras da migração de fluidos nos Arenitos Vila Velha, Grupo Itararé, Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, 31: p. 349-356.

KNAPP, R.W.; STEEPLES, D.W. High-resolution common depth point seismic reflection profiling: field acquisition parameter design. **Geophysics**, v.51, n.2, p.283-294, 1986b.

MILLER, R.D.; PULLAN, S.E; WALDNER, J.S; HAENI, F.P. Field comparison of shallow seismic sources. **Geophysics**, v.51, n.11, p.2067-2092, 1986.

PRADO, R.L. **A sísmica de reflexão rasa e o radar de penetração no solo na investigação geológico-geotécnica em ambientes urbanos**: um estudo na cidade de São Paulo-SP, Brasil. Rio Claro, 2000. 177 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.