



## Correlações geofísicas e geológicas para a compreensão da distribuição de propriedades petrofísicas em reservatórios análogos

Kraft, R. P.<sup>1</sup>; Rostirolla, S. P.<sup>2</sup>; Rigoti, A.<sup>2</sup>; Appi, C. J.<sup>3</sup>; Bartoszeck, M. K.<sup>1</sup>; Campos, A. F. de<sup>1</sup>; Lonardelli, J. N.<sup>4</sup>. <sup>1</sup>Bolsista CAPES – Pós-Graduação em Geologia/UFPR; <sup>2</sup>Laboratório de Análise de Bacias e Petrofísica–Degeol/UFPR; <sup>3</sup>PETROBRAS/CENPES/PROFEX; <sup>4</sup> Pós-Graduação em Geologia/UFPR.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> 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 8<sup>th</sup> 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

The investigations have been performed on the outcropping rocks of the Campo Mourão Formation, Itararé Group, at Paraná Basin. The target of interest was restricted to a depth interval of approximately 70m from the surface, with layers arranged in a sequence composed predominantly with sandstones, intercalated with shales and diamictites. Different geophysical tests results such as seismic, electrical and logs on shallow holes have been correlated to geological properties such as porosity and facies distribution, allowing the extrapolation of quantitative and qualitative values for locations where are no such outcropping rocks. Such correlations have been established by cross sections over the various synthetic wells, where different parameters have been inserted into the same geo-referred databank. The topographic data had an important contribution to the success of this research, since, by considering a vertical correlation among wells, the accuracy in the altimetry had to be taken into consideration. Direct relations among some properties were established; for example, positive impedance values in the seismic trace have been interpreted as passage from sandstone to a shale layer. This work served as basis for the understanding of petrophysical properties distribution in analog reservoirs.

### Introdução

O desenvolvimento deste estudo é parte integrante de um projeto de pesquisa desenvolvido na Universidade Federal do Paraná (UFPR), intitulado Modelagem de Potenciais Fraturados em Superfície para Auxílio Exploratório em Subsuperfície (MODRES). Este trabalho procura apresentar os estudos realizados nas proximidades do Parque Estadual de Vila Velha – PR, em intervalos arenosos intercalados com níveis de folhelhos e diamictitos da Formação Campo Mourão, Grupo Itararé (Rostirolla et al. 2000). Foi analisado um intervalo de aproximadamente 70 metros de profundidade, cujas características petrofísicas são semelhantes a rochas que em profundidades maiores podem ser reservatórios de hidrocarbonetos. Grande parte das informações aqui presentes foram obtidas através do desenvolvimento de projetos específicos de outros pesquisadores, onde os atributos geológicos e geofísicos obtidos foram padronizados na forma de poços sintéticos e reunidos num mesmo banco de dados. Isto permitiu a confecção

de uma série de seções cruzadas onde diferentes parâmetros como porosidade, arquitetura de fácies, traço sísmico de alta resolução, perfis elétricos obtidos por caminhamento dipolo-dipolo e por sondagens elétricas verticais, além de testemunhos de sondagens, perfis granulométricos/ litológicos e perfilagens geofísicas de raios gama, indução, normal curta (*short normal*) e sônico puderam ser correlacionados. Estas correlações atuam como ferramentas auxiliares de extrema importância para a compreensão da distribuição das características petrofísicas em locais desprovidos de afloramentos.

### Método

Os trabalhos de correlações geofísicas e geológicas envolveram uma série de etapas prévias, nas quais foi reunida uma grande quantidade de parâmetros geológicos e geofísicos, muitos dos quais obtidos com a colaboração de trabalhos de outros pesquisadores.

#### Parâmetros geológicos

Entre os parâmetros geológicos observados, destacam-se a arquitetura de fácies e a distribuição da porosidade no intervalo em questão.

A arquitetura de fácies pôde ser observada através do estudo de escarpas, onde a continuidade lateral da rocha aflorante permitiu a confecção de foto-mosaicos. Estes foram gerados através da aquisição de fotos digitais com o uso de câmera digital dotada de resolução de 4 megapixel. As fotos foram adquiridas realizando-se um recobrimento de toda a escarpa aflorante, onde uma distância média de 25 metros entre o fotógrafo e o objeto fotografado foi mantida (figura 01 A). Aproximadamente 70 fotos foram necessárias para o recobrimento de 1000 metros de escarpa, e devido à alta resolução das fotos, foi necessário o uso de cartões de memória com alta capacidade de armazenamento.

Em estudos realizados por Rostirolla et al. (2000), foram individualizadas superfícies de descontinuidades sub-horizontais, inicialmente identificadas em campo e traçadas posteriormente sobre os mosaicos. Estas superfícies são correlatas aos limites de fácies existentes com propriedades petrofísicas distintas. A seleção de uma amostragem pontual foi feita na forma de um poço sintético, de modo que sua posição espacial permitiu a correlação direta com outros parâmetros estudados (figura 01 B). A representação das informações na forma de poços sintéticos é um artifício que foi utilizado para a inserção de dados em um ponto determinado. As coordenadas e cotas no terreno de cada poço sintético foram adquiridos através de levantamentos topográficos realizados com a cooperação do Departamento de Ciências Geodésicas da UFPR.

A aquisição de amostras foi realizada através da coleta direta referente a cada fácies individualizada nos painéis fotográficos acima mencionados, além da obtenção em testemunhos de sondagens com recuperação contínua de rocha.

Através de contagem de pontos em lâminas delgadas, Bocardi et al. (2003) quantificou o atributo porosidade desses arenitos, com valores oscilando entre 0,5 a 10%. Os valores obtidos foram carregados junto ao poço sintético (figura 01 C).

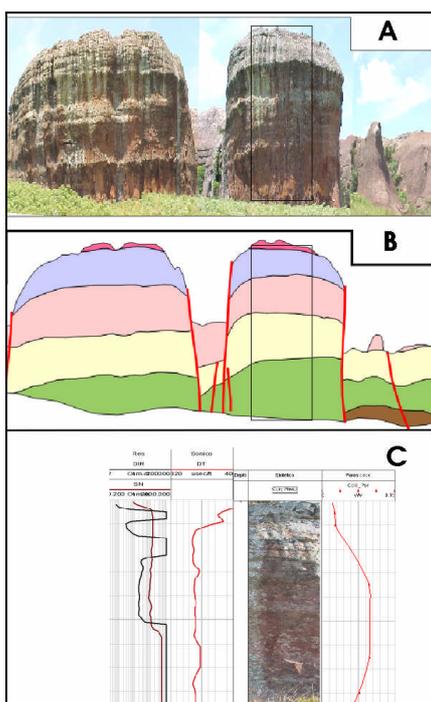


Figura 01 – (A) Confecção de foto mosaico; (B) Interpretação geológica; (C) Correlação entre perfilagem geofísica, poço sintético e curva de porosidade.

Os testemunhos de sondagens foram descritos, de forma que a variação granulométrica resultou em uma curva de granulometria, inserido num mesmo ambiente computacional sob a forma de um poço com coordenadas conhecidas.

#### Parâmetros geofísicos

As atividades geofísicas desenvolvidas neste trabalho consistiram em perfilagens de poços rasos, métodos elétricos (caminhamento dipolo-dipolo e sondagem elétrica vertical), e métodos sísmicos de alta resolução.

Em perfilagens de poços rasos foram lidos valores de raios gama, resistividade (indução), normal curta e sônico. Inicialmente a ferramenta para leitura de raios-gama foi calibrada com o background de raios-gama do local, para isso, a ferramenta foi deixada alguns minutos exposta em condições ambientais, com um sensor especial acoplado a ela, calibrada a 230 API (figura 02).



Figura 02 – Ferramenta usada na leitura de raios gama.

Na seqüência, outros perfis foram lidos, cada qual com uma ferramenta específica, como resistividade e normal curta (figura 03 A) e sônico (figura 03 B), porém, o sônico necessitou da presença de água para ser feito. Um problema enfrentado neste aspecto foi o fato de que em um dos poços, não foi possível manter água em seu interior, mesmo com o uso de caminhão pipa. As hipóteses levantadas para essa perda de água podem ser devido ao fato de que o furo ultrapassou um nível impermeável de folhelhos, ou por ter atravessado uma fratura aberta.



Figura 03 – (A) Ferramenta usada na leitura de perfil elétrico; (B) Ferramenta usada na leitura de perfil sônico.

Os métodos elétricos foram realizados por Campos et al. (2003), consistindo em caminhamento dipolo-dipolo, e sondagens elétricas verticais. Os dados obtidos foram transformados em poços sintéticos por Bartoszeck et al. (2003), podendo assim ser visualizados como uma informação pontual.

Com base nas aquisições sísmicas de alta resolução feitas por Lonardelli et al. (2003), foram selecionadas porções do registro sísmico que oferecessem credibilidade quanto ao significado geológico, onde essas porções foram transformadas em poços sintéticos (figura 04). Devido ao fato de que o registro sísmico é adquirido em função de unidade de tempo, e todos os demais parâmetros têm distribuição espacial em metros, adotou-se como aproximação que cada unidade de milissegundos equivale a 1 metro em profundidade. Este valor de aproximação foi obtido através de ensaios de refração na área estudada, onde se estimou uma velocidade média de 2000 m/s.

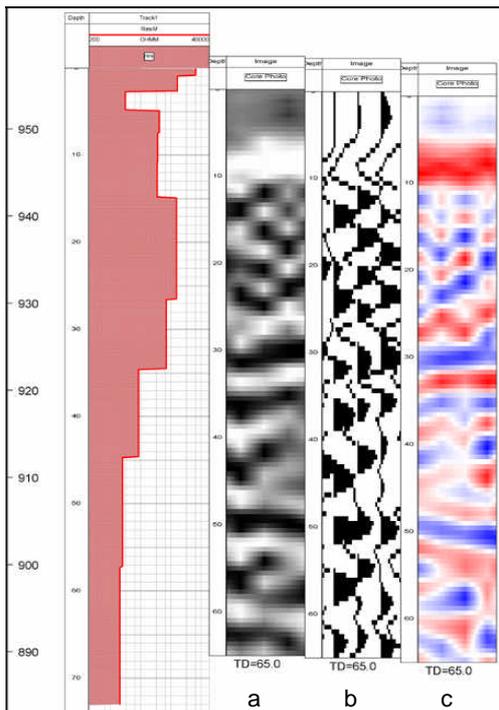


Figura 04 – Exemplo de perfil elétrico dipolo-dipolo e diferentes representações dos traços sísmicos adquirido: (a) gray scale; (b) wingle; (c) red-white-blue.

### Discussão

Após a aquisição de vários parâmetros geofísicos e geológicos, tanto nas formas quantitativas quanto qualitativas, passou-se a carregar as informações sob a forma de um banco de dados georreferenciados. Todas as informações analisadas foram materializadas na forma de poços sintéticos, de modo que as correlações foram feitas como seções cruzadas. A autonomia para a realização de seções cruzadas em direções diversas permitiu uma geração de diferentes combinações de correlações entre parâmetros distintos.

A figura 05 mostra a correlação através de horizontes do traço sísmico com perfil granulométrico/litológico, raios gama, indução e normal curta. É possível observar que variações na impedância acústica do registro sísmico têm dependência direta com a variação da granulometria e tipo de rocha. Por consequência, os padrões de raios gama e elétricos também são correlacionáveis. O denominado horizonte A refere-se a um aumento de velocidade das ondas sísmicas, representada por um valor de impedância positivo (traço azul). Associado a este horizonte, verifica-se um pico no valor de raios gama, onde através de testemunhos de sondagens verificou-se ser coincidente com a passagem de um nível de arenitos para um pacote de folhelhos. A diminuição no valor de resistividade é justificada pela alta condutividade elétrica conferida pela dupla camada catiônica existente nos minerais argilosos. As mesmas observações quanto ao traço sísmico e valor de raios gama podem ser aplicadas ao horizonte B, porém os valores referentes aos perfis elétricos não apresentaram grande confiabilidade na definição desse limite. Por se tratar do

topo de um intervalo constituído por diamictitos intercalados com arenitos, esse horizonte B apresenta um contraste de impedância atenuada, bem como uma variação suave nos valores de resistividade. A limitação do horizonte C refere-se a base da seqüência dos diamictitos acima descritos, limitada por uma estabilização em baixos valores de raios gama, combinado com aumento da resistividade elétrica. Entretanto, a impedância acústica não evidenciou nenhum grande contraste de valor, podendo ser justificável por ser transicional a passagem da seqüência de diamictitos para o intervalo arenoso.

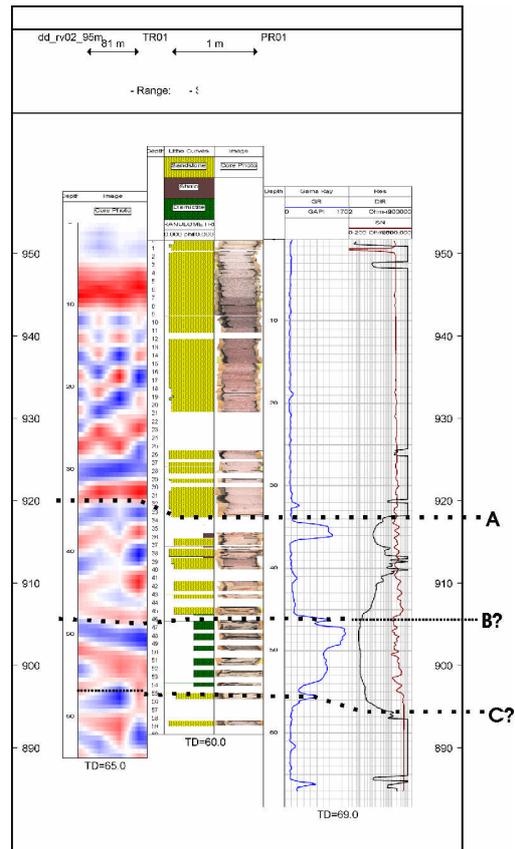


Figura 05 – Correlação entre traço sísmico, perfil granulométrico/ litológico, raios gama e perfis elétricos (indução e normal curta).

A correlação de um detalhe do traço sísmico com perfilagem elétrica, sônico e as fácies interpretadas por Rostirolla et al. (2002), é visualizada na figura 06. Os topos das fácies IV e II são correspondentes a refletores sísmicos bem evidentes, onde a impedância positiva é correlata aos níveis de arenitos finos a médios, e a impedância negativa refere-se aos níveis de arenitos mais grossos. Os outros limites de fácies interpretados por observação em campo podem ser associados aos perfis elétricos e sônicos, sendo bem evidente o limite entre as fácies V e VI, e as fácies III e IV. A ausência de um contraste significativo do registro sísmico nas passagens destas fácies pode ser devido ao fato de que suas espessuras são insuficientes de serem detectadas mesmo por levantamentos sísmicos de alta resolução.

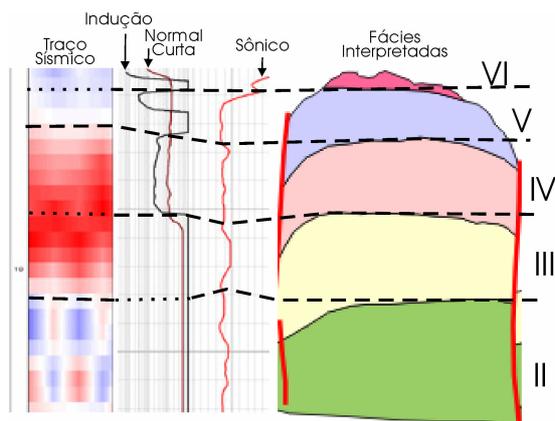


Figura 06 – Correlação entre traço sísmico, perfis elétricos, sônicos e interpretação geológica.

Na figura 07 pode ser observada a correlação do traço sísmico com os perfis de raios gama, elétricos, sônicos e de porosidade. Nesta, observa-se que a impedância acústica do traço sísmico pode ser diretamente relacionada ao valor de porosidade no intervalo estudado. Os valores de baixa porosidade condizem com a impedância positiva, ao passo que o aumento na porosidade reflete numa diminuição na velocidade das ondas sísmicas. Estas características são visualizadas também nos perfis sônicos, onde o aumento no valor registrado no perfil refere-se à diminuição de velocidade das ondas sônicas. Com respeito ao perfil de raios gama, não foi possível estabelecer nenhuma relação com a porosidade neste restrito intervalo arenoso.

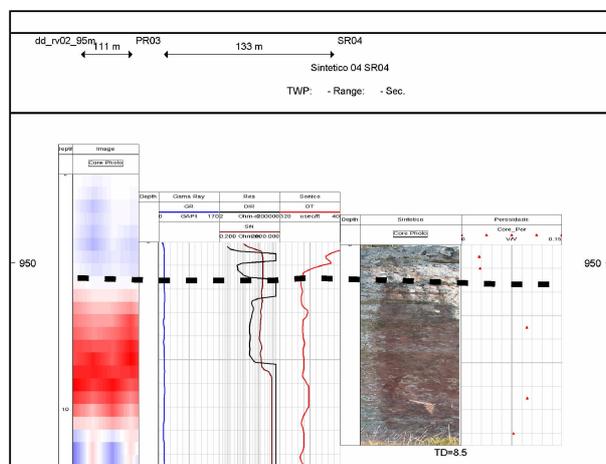


Figura 07 – Correlação entre traço sísmico, raio gama, perfis elétricos, sônico e distribuição da porosidade.

### Conclusões

As inúmeras informações como perfis granulométricos, porosidade, raios gama, indução, normal curta, sônico, caminhamento elétrico, sísmico e interpretação de fácies sobre foto-mosaicos, puderam ser reunidas num mesmo ambiente computacional através da geração de poços sintéticos, de forma que diferentes correlações foram efetuadas.

Os raios gama mostraram a melhor correlação com o tipo litológico, apresentando forma cilíndrica e baixos valores de índice API para os intervalos arenosos, e padrão em sino com aumento de valores nos intervalos com presença de materiais argilosos, como os folhelhos e diamictitos.

Os parâmetros elétricos puderam ser correlacionados com propriedades como porosidade, granulometria e tipo litológico, além de serem localmente correlatos a valores de impedância acústica no traço sísmico.

Os horizontes interpretados não foram visualizados em todos os métodos de investigação, devido a resoluções diferentes utilizadas.

Por fim, verificou-se que a correlação de diferentes atributos geológicos e geofísicos é de extrema importância no entendimento da distribuição das propriedades físicas de um meio rochoso em subsuperfície, onde apenas trabalhos isolados não fornecem a mesma aproximação que a interação de diferentes ferramentas podem oferecer.

### Agradecimentos

Os autores agradecem em especial a: CTPETRO/FINEP/PETROBRAS pelo financiamento; a UFPR pelo apoio institucional; ao CNPq pelas bolsas de pesquisa; a Landmark pelo programa computacional; e aos engenheiros cartógrafos Edson Aparecido Mitshita e Roosevelt de Lara Santos Jr. pelo apoio topográfico.

### Referências

- Bartoszeck, M. K.; Rostirolla, S. P.; Rigoti, A.; Appi, C. J. Kraft, R.P.; Campos, A.F. de; Lonardelli, J. N.** 2003. Integração de dados geofísicos e geológicos como ferramenta auxiliar na modelagem de reservatórios em superfície. Submetido neste congresso.
- Bocardi, L. B.; Fernandes L. A.; Vesely, F. F.; Rostirolla, S. P.; Appi, C. J.** 2003. Petrographic and diagenetic aspects of the Lapa and Vila Velha Sandstones, Itararé Group, Paraná Basin, Brasil. Inédito.
- Campos, A. F. de.; Rigoti, A.; Rostirolla, S. P.; Appi, C. J.; Kraft, R. P.; Bartoszeck, M. K.** 2003. Eletroresistividade como apoio à caracterização de arenitos fraturados. Submetido neste congresso.
- Lonardelli, J. N.; Rigoti, A.; Rostirolla, S. P.; Appi, C. J. e Brunetta, R.** 2003. Ensaio sísmico de reflexão rasa em rochas fraturadas do Grupo Itararé. 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, 31:349-356.