

A CORRELAÇÃO ENTRE O FATO GEOLÓGICO E O DADO GEOFÍSICO

Geraldo Girão Nery¹ & Sérgio B. Ribeiro de Barros²

RESUMO - A idéia que muitos têm da geologia como sendo apenas a motivação dos problemas da geofísica aplicada que podem ser resolvidos as custas do tripé matemática, física e grandes programas computacionais, é parcialmente válida. Na realidade, há uma substancial diferença entre ser um *geofísico* e ser um *usuário* da geofísica. Todavia, essa diferença tende a desaparecer tão logo o usuário consiga enxergar a perfeita correlação que existe entre um *fato geológico* (rocha) e um *dado geofísico* (perfil geofísico de poço, por exemplo), principalmente quando ele o adquire através de ferramental adequado, em condições de uso também adequadas, e o analisa auxiliado por um razoável conhecimento da geologia da área de trabalho e um substancial suporte laboratorial.

Na indústria do petróleo esta correlação torna-se bastante complicada devido aos poros da rocha reservatório serem preenchidos por uma complexa mistura de fluidos (gás, óleo e água). Na indústria da água a correlação é mais simplificada pois sendo o fluido interporoso monofásico, mais fácil fica a compreensão da interação rocha-fluido com os dados dos perfis.

ABSTRACT - The idea that geology is the primary motivation to the resolution of any applied geophysical situation is erroneous partially. There is a large difference being a geophysicist and a layman that uses geophysics as a tool. However this can be overcome as soon as the layman notice there is a perfect correlation between a geological fact (rocks) and a geophysical data (well log curves) provided that they were registered under calibrated world standards and used under environmental conditions as theoretically established to each tool. Beside that a good knowledge of the regional geology would help the user to interpret the entangling of curves as shown in well logs.

In the oil business the correlation rock-log is complicated due to the complex fluid mixture present in rock pores. By the other hand in the water wells that correlation is easier understood, because the interporous fluid is pure water better known in those interaction with rock framework.

Palavras-chave: Perfis Geofísicos; Correlação

¹ Diretor da **HYDROLOG**, Salvador, hydrolog.ggn@uol.com.br, (71) 358 5540

² Geólogo da **HYDROLOG**, Bauru, hydrolog@uol.com.br, (14) 230 3559

INTRODUÇÃO

Uma das metas da **HYDROLOG** é a de tentar desmistificar os perfis geofísicos de poços, através de artigos, cursos e palestras, mostrando com que facilidade se pode tornar, e sem muito esforço, um bom usuário na indústria da água, desde que se tenha algum conhecimento básico.

Para ilustrar essa harmonia entre fatos e dados, foram escolhidos (6) seis jogos de perfis de poços tubulares da bacia do Paraná. Dois na formação Itararé (evento glacial), dois na formação Botucatu (evento eólico em ambiente desértico) e, finalmente, dois outros na formação Pirambóia (evento fluvial em ambiente oxidante). A localização exata dos poços foi omitida para a salvaguarda dos direitos de seus respectivos proprietários.

As descrições litológicas aqui usadas são aquelas definidas no texto explicativo do “Mapa Geológico do Estado de São Paulo”, 1981, escala 1:500.000, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, publicado pelo IPT, São Paulo, as quais apesar da data da publicação ainda são empregadas mui freqüentemente na indústria da água subterrânea.

A CORRELAÇÃO ENTRE FATOS (ROCHAS) E DADOS (PERFIS)

Figuras 1 e 2

No poço da figura 1a, os potenciais intervalos arenosos (70-87m, 101-115m, 125-185m, 202-220m, 233-300m), mostram um alto padrão dos Raios Gama (GR) em média 80 GAPI, dados estes que poderiam levar a se pensar em elevada argilosidade para essas areias. Nesses casos, a resistividade profunda 6FF40 (DIR) deveria ser relativamente baixa para corresponder à influência da condutividade das argilas. Tal fato não acontece, vez que os valores da DIR estão em torno de 30 a 80, eventualmente, acima de 100 Ohm.m. Vale a pena lembrar que a normal curta (SN) varia em função do tipo de água usada na confecção do fluido de perfuração, podendo conter maior ou menor concentração de sais dissolvidos do que as águas intersticiais.

A figura 1b, é um gráfico que mostra os eixos X e Y relacionando as resistividades (DIR) com os tempos de trânsito (DT). Perpendicularmente, isto é, no eixo Z, estão os valores de GR, identificados por um número ou letra. Os pontos assinalados por “X” têm $GR > 100$ GAPI, valores normais para folhelhos propriamente ditos (alto GR e baixa DIR), razão pela qual foram englobados dentro de uma elipse vertical. A maioria dos corpos potencialmente aquíferos tem GR entre 4 e 6 e foram isolados dentro de uma elipse horizontal de eixos 30-115 Ohm.m e 70 e 110 μ s/pé.

Todas as curvas do perfil da figura 1a têm igual comportamento ao da figura 2a. Nesta, os principais corpos argilosos situam-se entre 145-155m, 175-190m e 197-206m. Possivelmente, se enquadre neste tipo litológico o trecho final do poço, a partir dos 235m. Nota-se, na figura 2b, que as areias apresentam uma maior heterogeneidade que o poço da figura 1a, demonstrada pela

alternância no padrão dos valores um pouco mais elevados do DT (70-130 $\mu\text{s}/\text{pé}$), dentro da elipse horizontal.

Altas radioatividades, quando não associadas a sedimentos argilosos (as mineralizações estão assinaladas nos perfis), podem ser originadas pela presença de feldspatos potássicos, em sedimentos quimicamente imaturos.

Com estes dados em mãos (curvas dos perfis), admite-se os seguintes fatos (tipo das rochas): os corpos arenosos de ambos os poços devem ser imaturos, de relativa baixa porosidade e, possivelmente, duros de perfurar.

A descrição formal da formação Itararé (fato), menciona os termos: imaturidade química, sedimentos arcosianos e heterogeneidade dos sedimentos devido ao próprio ambiente glacial e seus diversos subambientes de baixa capacidade de seleção. Características estas nada animadoras para produção de água. Além disso, a própria experiência de campo dos perfuradores revela que os sedimentos Itararé são duros de perfurar e, em algumas regiões da bacia, exigem o uso de martelo e o aproveitamento dos poços sem revestimento. Mesmo assim, as vazões são baixas, e a maioria não ultrapassa os 30 metros cúbicos por hora.

O comportamento das curvas mostradas nas figuras 1a e 2a, pode ser considerado, indiscutivelmente, como o esperado para um perfil de um poço da formação Itararé.

Figuras 3 e 4

Os perfis das figuras 3a e 4a mostram baixo padrão de radioatividade ($\text{GR} < 15 \text{ GAPI}$), com pequenas elevações que correspondem a um aumento da argilosidade, quando o GR atinge valores entre 30 e 40 GAPI (exceto nas pequenas mineralizações aos 235 e 103m, respectivamente, figuras 3a e 4a).

Na figura 3a, entre 250 e 280m ocorre um corpo mais argiloso. Pode-se observar, também, um acentuado aumento gradacional na radioatividade, iniciando-se aos 335m, como consequência de um aumento da argilosidade, confirmada pela diminuição, também gradual da DIR.

Na figura 4a, a maior argilosidade pode ser vista entre 103 e 124 m. Aos 190m, sem contudo ser tão acentuada como na figura 3a, percebe-se uma discreta gradação do GR associada a uma bem mais acentuada na DIR.

O fato de as curvas DIR e SN estarem separadas nas zonas gradacionais de ambos os poços, comportamento atípico para folhelhos, admite, a presença não necessariamente de uma camada de folhelho, em si, mas sim uma maior dispersão de argilominerais dentro delas (evento subaquoso).

Nota-se, nos demais intervalos, a ausência da heterogeneidade nas camadas atravessadas pelos poços das figuras 1a e 2a. Pelo contrário, há uma relativa monotonia de grandes intervalos com características similares, como no espesso pacote arenoso da figura 3a, entre 135 e 250m.

Nestes dois poços não se pode falar em aquíferos quimicamente imaturos, pois quando o GR atinge valores da ordem de 30 GAPI a curva da DIR cai brusca e rapidamente para 20 Ohm.m (na figura 3a, nos intervalos 250 a 280m e 372 a 380 m e na figura 4a, no intervalo 103 a 124 m).

Conclusão, GR alto e DIR e SN baixas e aproximadas ou coincidentes, é comportamento típico de intervalos argilosos. Apesar de um tanto alto, a DIR, ainda assim, é compatível com argilosidade e não com folhelhos propriamente ditos.

A figura 3b, mostra os tempos (DT) das areias entre 100 e 140 $\mu\text{s}/\text{pé}$, indicativo de altas porosidades, enquanto as DIRs atingem valores da ordem de 1.000 Ohm.m. Devido às baixas radioatividades em todo o intervalo perfurado, a letra “X” do eixo Z representa valores acima de 30 GAPI, demonstrando a argilosidade admitida, muito embora suas resistividades alcancem valores médios de 50 Ohm.m.

Por outro lado, a figura 4b, apresenta-se um tanto quanto similar a 3b, em termos de valores registrados, exceto nos DTs, onde se observa uma maior heterogeneidade (110-190 $\mu\text{s}/\text{pé}$), indicando ocorrência de um maior grau de não consolidação. Os pontos a NNE da elipse horizontal correspondem às profundidades entre 50 e 100m (areias limpas, porosas e resistivas), enquanto que aqueles a SW, são os corpos arenoargilosos gradacionais, posicionados abaixo dos 150m. Igual comportamento pode ser observado na figura 3b, respectivamente, a Leste e a Oeste.

Assim, as características representadas nas figuras 3a e 4a (dados dos perfis), indicam que o intervalo perfurado deve estar predominantemente constituído por quartzo (baixa radioatividade, portanto, baixa argilosidade), bastante homogêneo, de boa porosidade (elevados valores de DT) e permeabilidade (separação constante das curvas DIR e SN), podendo pertencer a evento eólico e seus eventuais subambientes aquosos.

Na publicação supracitada, a Formação Botucatu é definida (fato) como sendo constituída de grãos bem selecionados (homogeneidade dos pacotes), de alta esfericidade (boa permeabilidade e porosidade), pertencente a um ambiente eólico (portanto, pobre em argila) possuindo localmente intercalações de sedimentos de deposição aquosa (argilosidade localizada).

Dessa forma, fica claro que os poços das figuras 1a e 2a não podem ter sido depositados em um mesmo tipo de ambiente daqueles poços das figuras 3a e 4a. Estas, por sua vez, podem ser consideradas como figuras de perfis da formação Botucatu.

Figuras 5 e 6

As figuras 5a e 6a mostram, respectivamente, que entre 310-408 e 109-158m, ocorre uma alta similaridade com as figuras 3a e 4a (isto é, corpos arenosos, limpos, homogêneos, de alta porosidade). Os pacotes arenosos observados, enquadram-se perfeitamente bem na definição do Botucatu, pelos mesmos motivos das figuras 3a e 4a.

A partir dos 408m (figura 5a) e dos 158m (figura 6a), ocorre um aumento relativamente brusco no GR que de, aproximadamente, 15 atinge 30 ou mais GAPI. Enquanto o comportamento das camadas arenosas superiores é relativamente homogêneo, o comportamento das camadas abaixo daquelas profundidades mostra uma maior argilosidade, conforme indica a queda nas curvas DIR e SN. As camadas abaixo de 408m (figura 5a) e 158m (figura 6a) mostram uma alternância rítmica de finos pacotes, uns mais outros menos argilosos, evidenciados sobretudo pela oscilação da DIR (acima de 10 Ohm.m nos menos argilosos e cerca de 7 Ohm.m nos mais argilosos). Este tipo de comportamento, é incompatível com uma deposição eólica podendo, porém, ter uma origem subaquosa, onde a passagem para o eólico se processaria de modo gradacional, conforme se pode observar entre 409 e 428m, na figura 5a.

A formação Pirambóia é definida (*fato*) como sendo composta de sedimentos depositados em ambiente continental úmido, fluvial, com seus meandros e planícies de inundação, o que implicaria, sob o ponto de vista dos perfis geofísicos (*dado*), em valores de GR mais altos e DIR mais baixos, proporcionando uma conseqüente alternância, rítmica, em ambas as curvas, conforme mostrou a figura 5a. Sendo assim, por tudo que se observa no perfil da fig 5a, acredita-se que a parte abaixo dos 409m corresponda a formação Pirambóia.

O intervalo 110-159m (figura 6a) pode ser atribuído a um evento eólico (Botucatu). Lamentavelmente, a transição de um evento para outro não pode ser observada, devido à presença de um corpo de diabásio entre 159 e 182m (ver a curva do DT), não se descartando, todavia, a hipótese dessa transição gradacional sequer existir pois é, também citada na literatura citada, que em alguns locais ocorre uma passagem brusca do Pirambóia para o Botucatu.

CONCLUSÃO

Os perfis geofísicos de poços, quando realizados por ferramentas compatíveis com os diâmetros dos poços, tipos do fluido de perfuração e calibradas segundo padrões mundialmente estabelecidos, registram propriedades petrofísicas qualitativamente correspondentes aos fatos geológicos. Ao se identificar um *fato* (ambiente) através de um *dado* (perfil), o usuário começa a ter uma idéia qualitativa dos resultados que advirão de seu poço.

Neste trabalho discutiu-se apenas, qualitativamente, perfis pertencentes a eventos geológicos distintos que condicionam a capacidade produtiva de cada poço perfurado. Fica evidente que a relação entre os dados dos perfis e os fatos geológicos, tais como eventos glaciais, fluviais e eólicos, pode ser mais bem avaliada com o auxílio do conhecimento prévio regional e da localização do poço. Não se defende o desprezo da informação litológica, adequadamente coletada, em favor do dado geofísico. Fica porém claramente demonstrado que características litológicas e ambientais criam expectativas bem definidas na perfilagem geofísica e que estas expectativas se

confirmam na medida em que se usam ferramentas com capacidade para vencer ruídos, grandes volumes de fluido de perfuração e perceber pequenos contrastes litológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a SABESP e a JUNDSONDAS pelo apoio dado na execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Girão Nery, G., 1997 - Perfilagem Geofísica aplicada à Água Subterrânea” - Capítulo 10 do Livro “HIDROGEOLOGIA, Conceitos e Aplicações”, publicado pela CPRM, LABHID – UFPE.

Girão Nery, G., e Barros, S.B.R., 2000 - Uso dos Perfis Geofísicos na definição de Ambientes Depositionais, VI Congresso Internacional Integrado da ABAS / ALSUD e IAH – Fortaleza, Ceará.

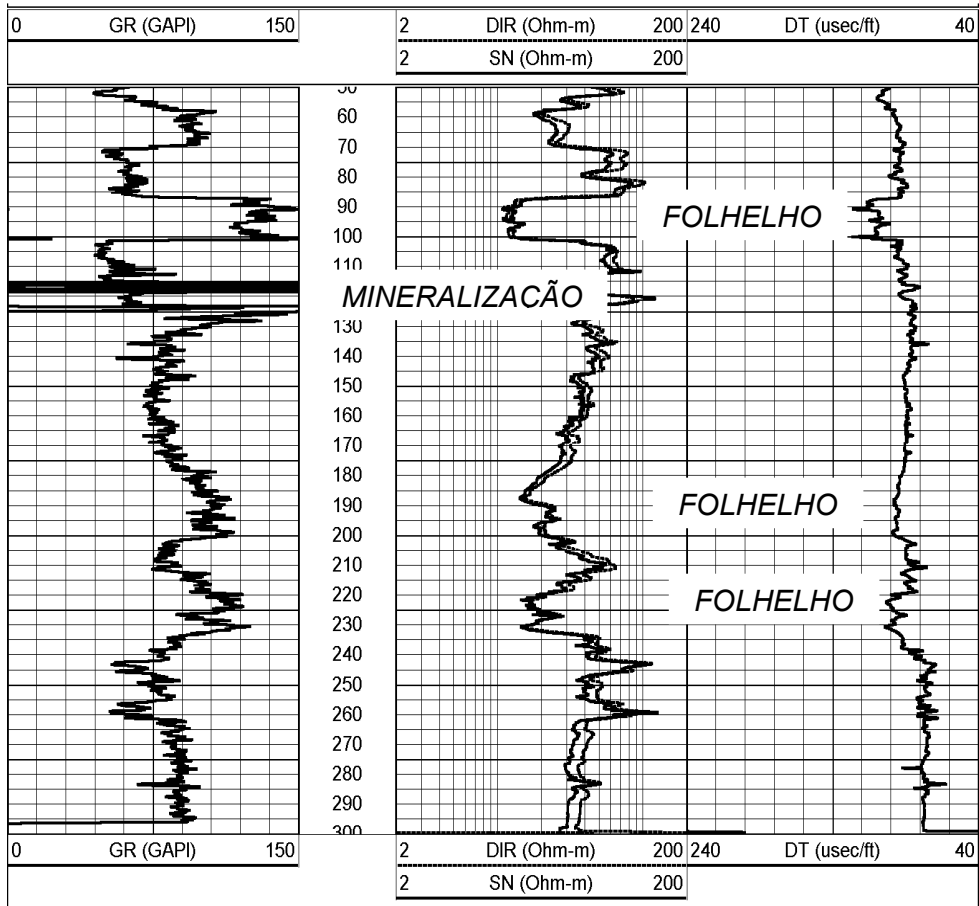


Figura 1a - Poço perfurado na formação Itararé. Intervalos típicos de folhelho assinalados aos 87-101m, 185-202m e 220-233m.

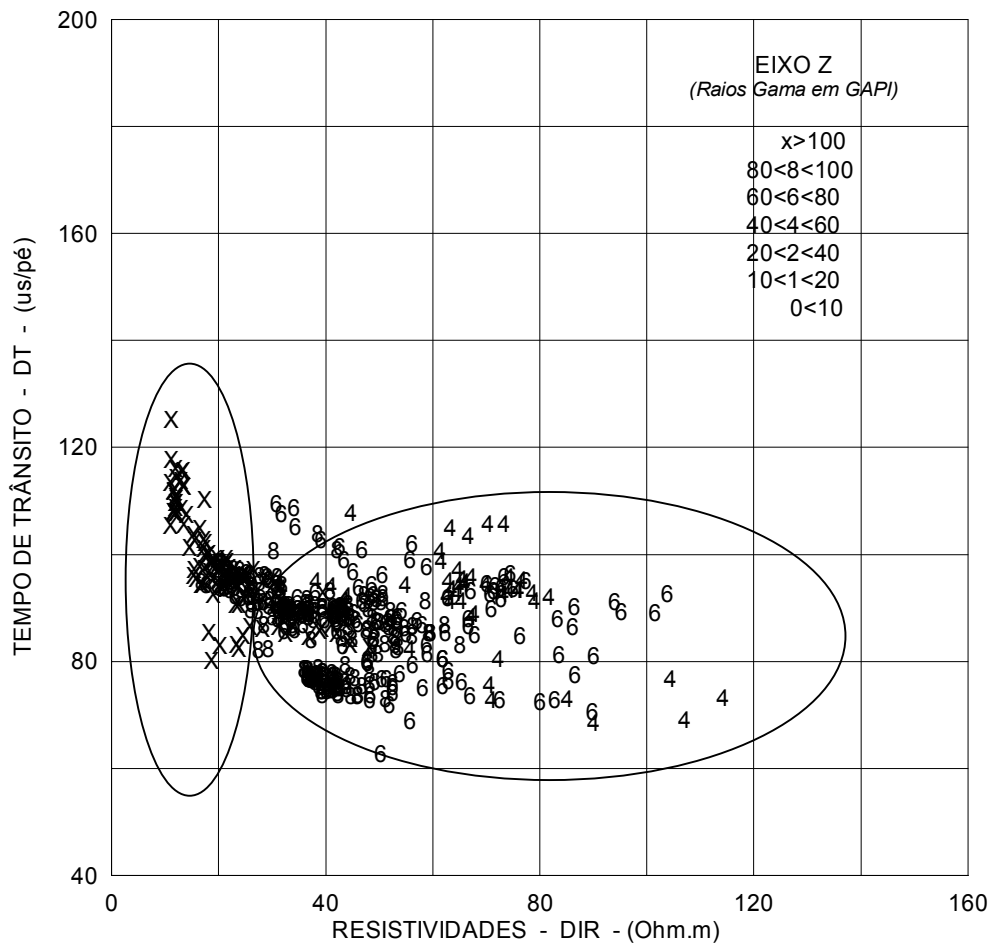


Figura 1b – Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 1a. A elipse vertical assinala os intervalos de alta radioatividade e baixa resistividade, indicando os possíveis folhelhos. A elipse horizontal indica os potenciais aquíferos com menor radioatividade e maior resistividade, porém com baixas porosidades, segundo o DT.

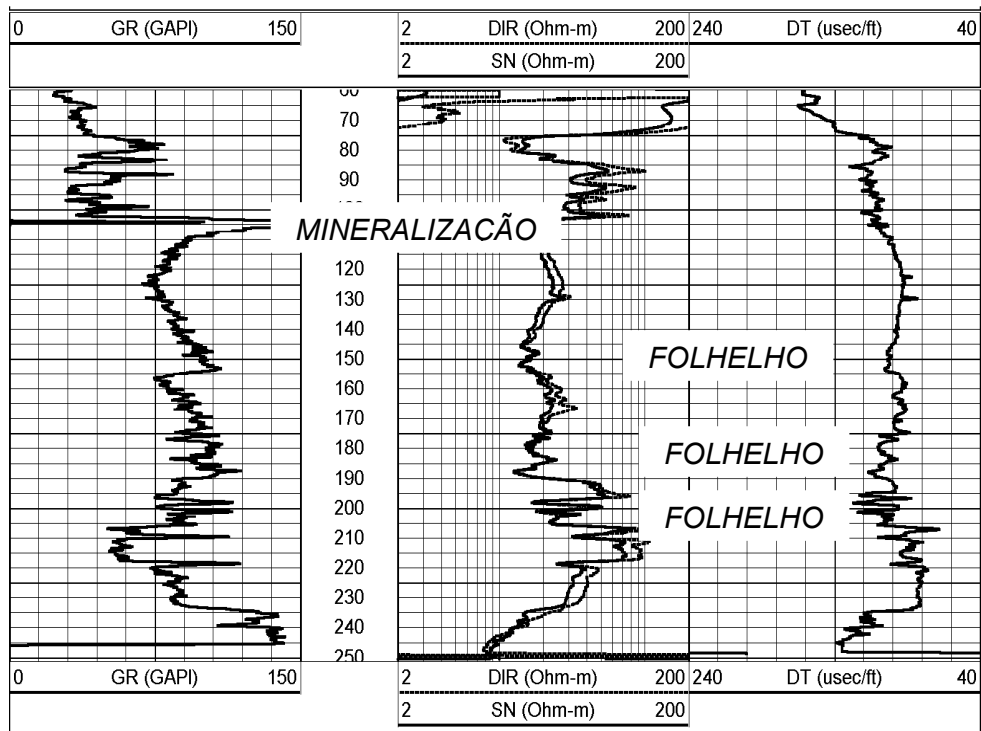


Figura 2a - Poço perfurado na formação Itararé. Intervalos típicos de folhelho assinalados aos 145-155m, 175-190m e 197-206m e, possivelmente, entre 235m e a profundidade final do poço.

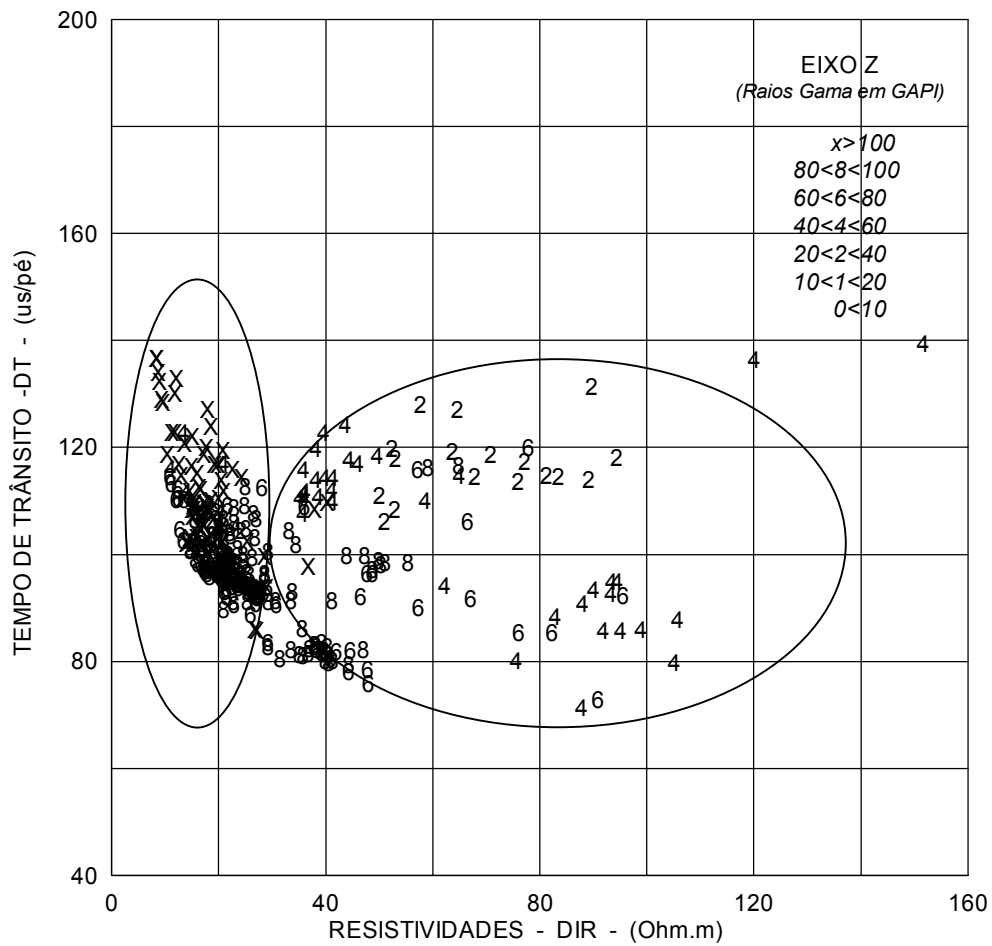


Figura 2b – Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 2a. A elipse vertical assinala os intervalos de alta radioatividade e baixa resistividade, indicando os possíveis folhelhos. A elipse horizontal indica os potenciais aquíferos, com menor radioatividade e maior resistividade. Observar a heterogeneidade no DT em relação à figura 1b.

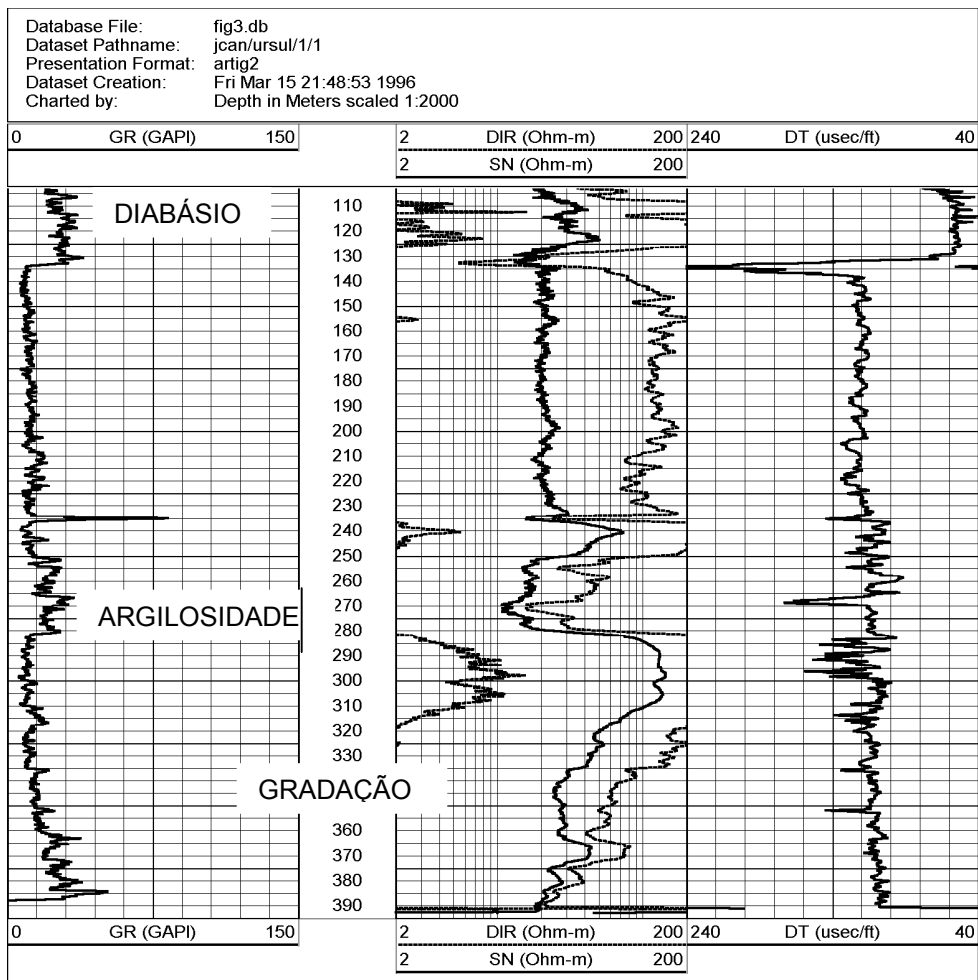


Figura 3a – Poço perfurado na formação Botucatu. Observar a gradação nas curvas das resistividades e GR a partir dos 335m até a profundidade final. As curvas DIR e SN, mesmo com o aumento da argilosidade, estão separadas conferindo uma certa permeabilidade ao intervalo. Observar a relativa constância nos tempos de trânsito.

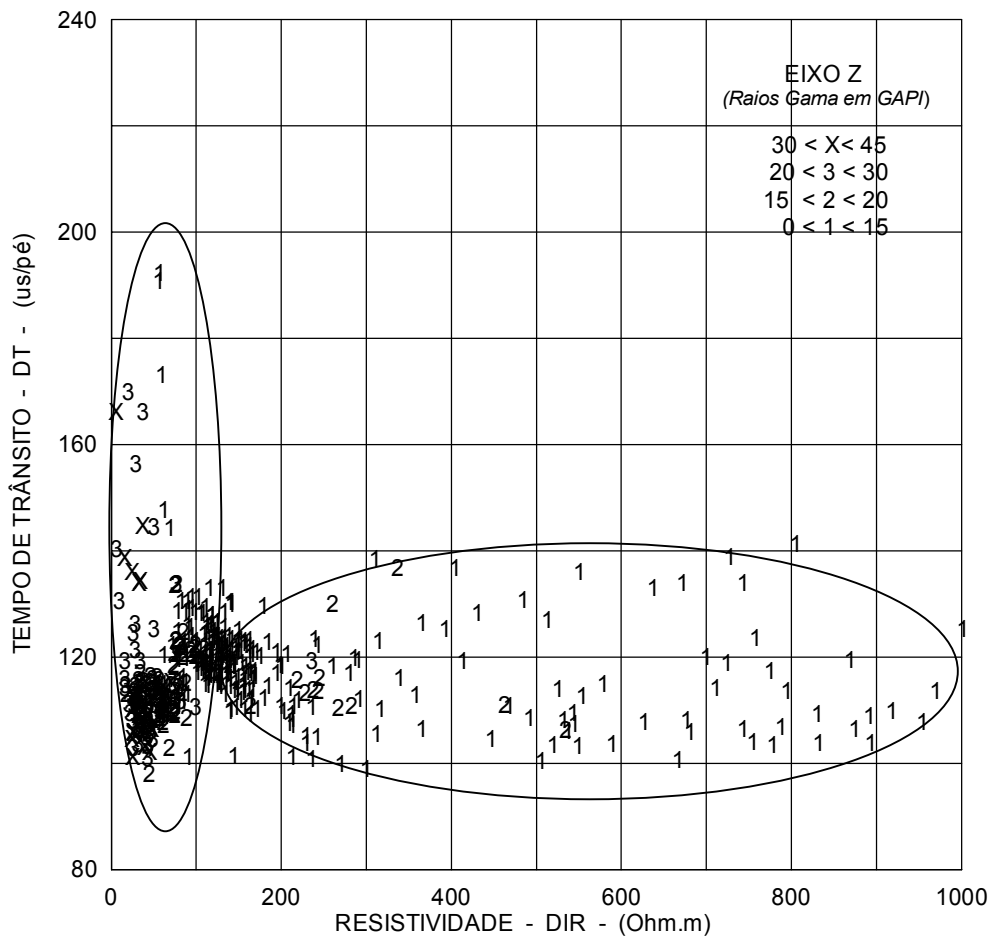


Figura 3b - Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 3a. A elipse vertical assinala os intervalos de mais alta radioatividade e baixa resistividade, indicando os possíveis corpos argilosos. A elipse horizontal indica os potenciais aquíferos. Observar que os valores de radioatividade, mesmo os assinalados como “X”, correspondem a GR maiores que 30 e menores que 45 GAPI.

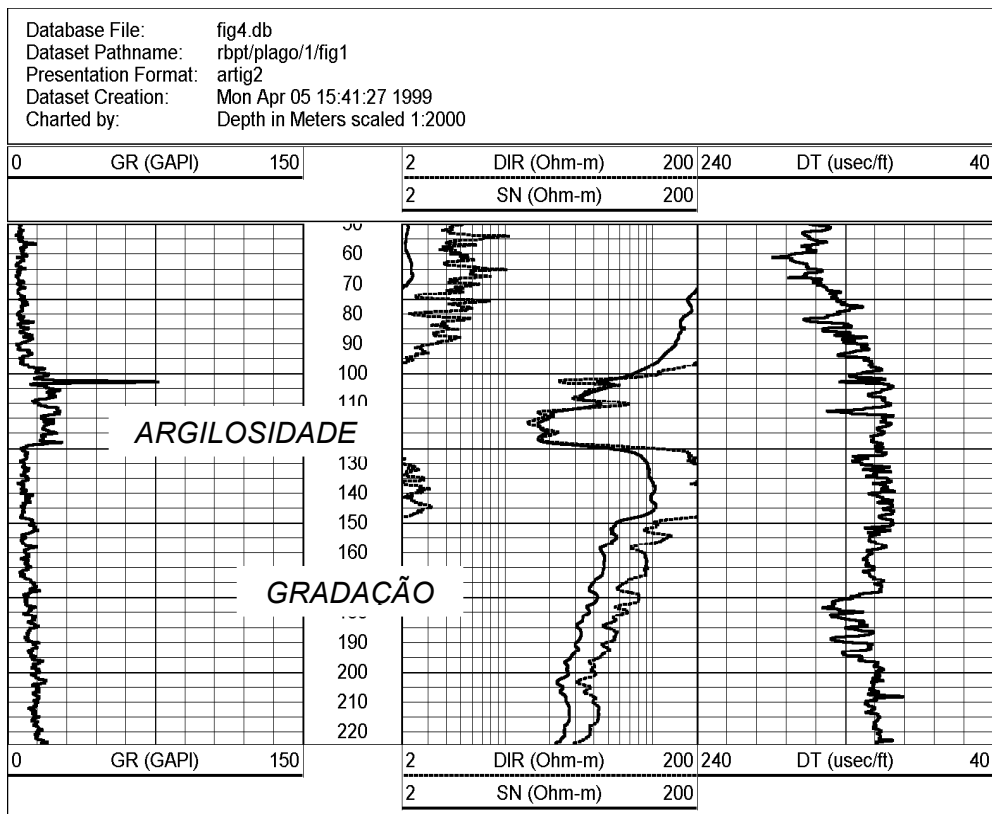


Figura 4a – Poço perfurado na formação Botucatu. Observar a gradação acentuada nas curvas DIR e SN e uma outra bastante suave no GR, a partir dos 190m até a profundidade final. As curvas DIR e SN, mesmo com o aumento da argilosidade, estão separadas conferindo uma certa permeabilidade ao intervalo.

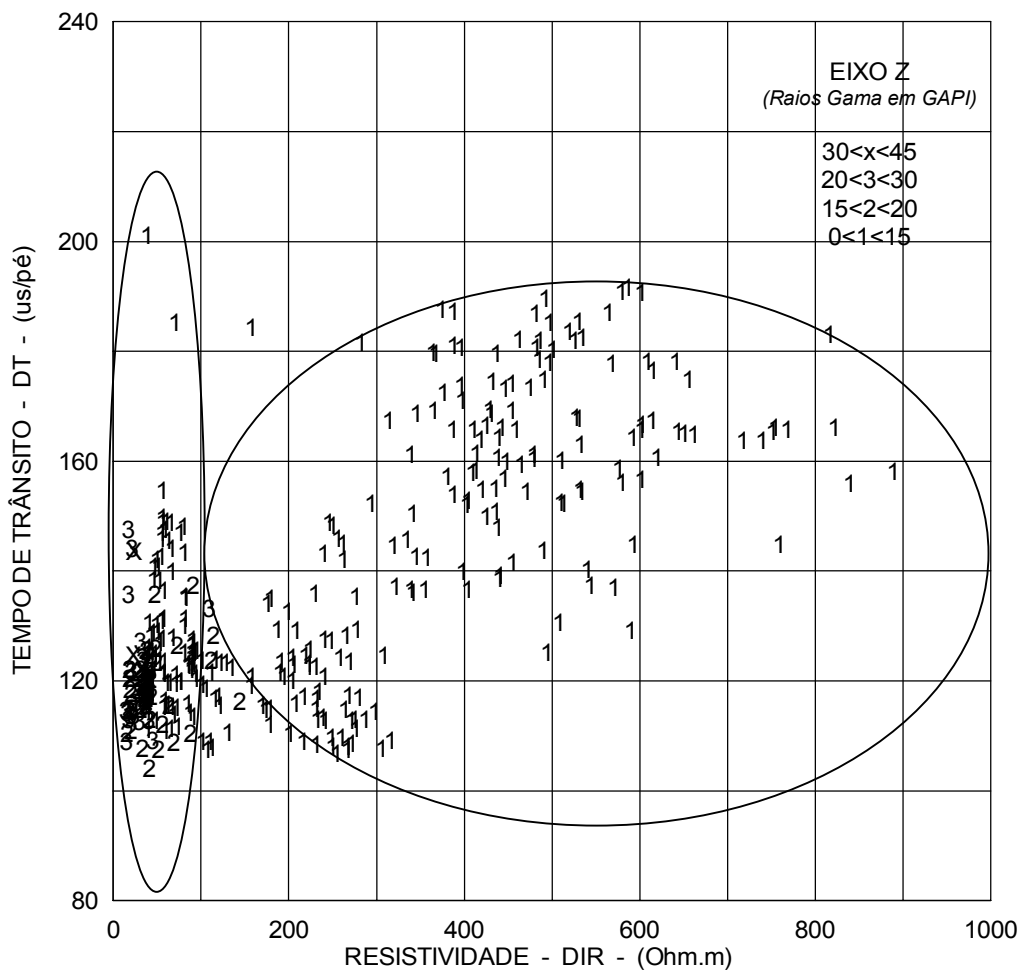


Figura 4b – Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 4a. A elipse vertical assinala os intervalos de alta radioatividade e baixa resistividade, indicando os possíveis corpos argilosos. A elipse horizontal indica as areias a NNE, os arenoargilosos E e os gradacionais a SW. Observar maior variação nos tempos de trânsito, em relação à figura 3a e que os valores de radioatividade, mesmo os assinalados como “X”, correspondem a GR maiores que 30 e menores que 45 GAPI.

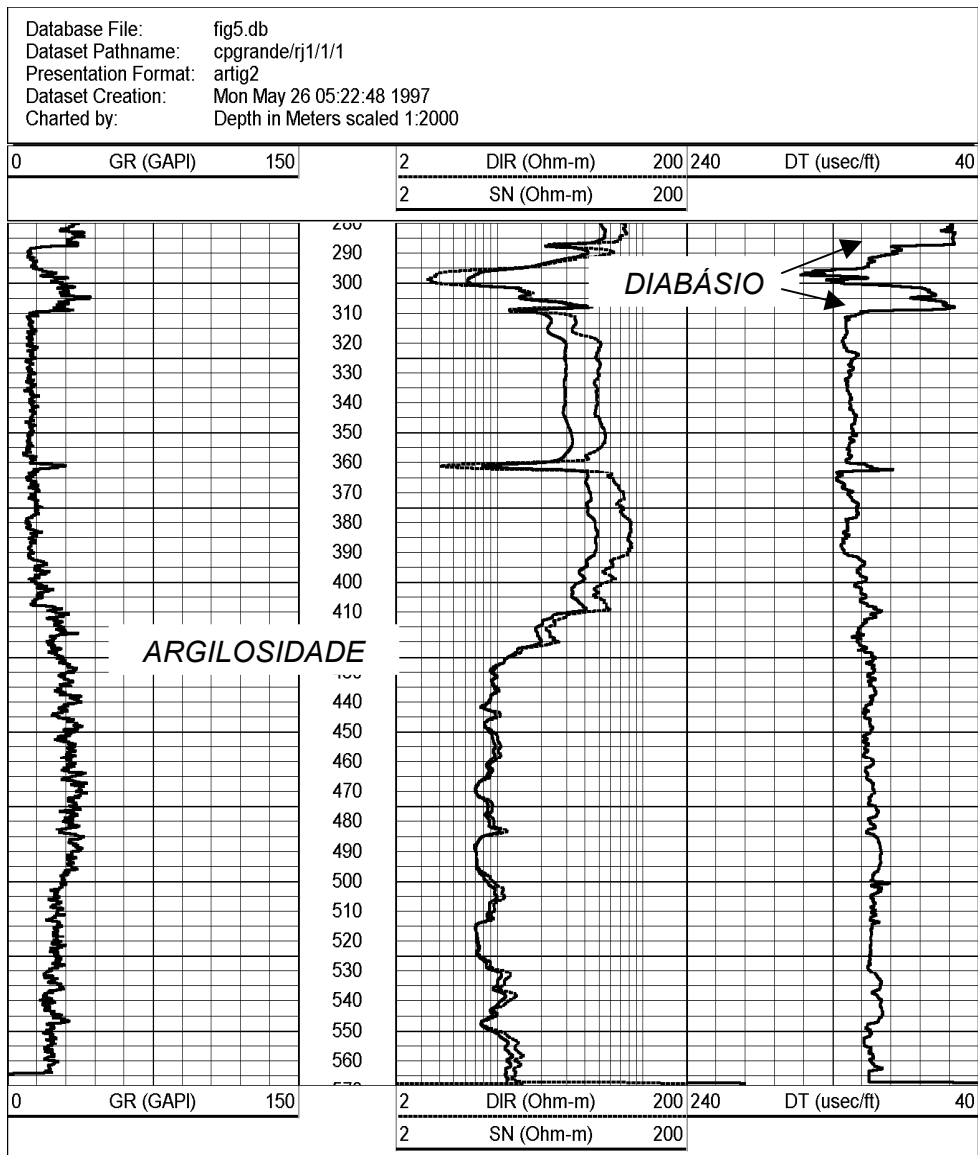


Figura 5a – Poço perfurado no Botucatu e Pirambóia. Observar o aumento do GR, a partir dos 408m, enquanto as curvas DIR e SN quase coincidem, indicando uma certa ausência de permeabilidade ao intervalo, que pode ser classificado como arenito fino a muito fino, argiloso.

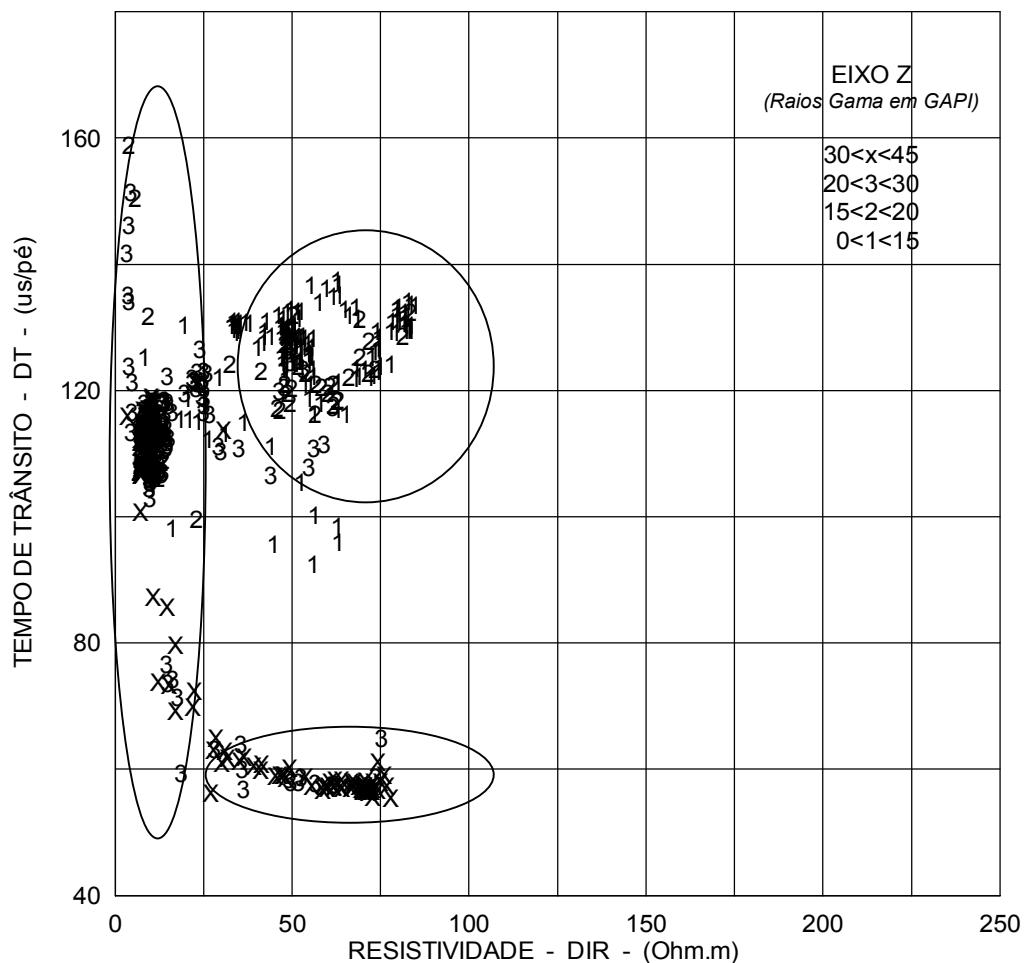


Figura 5b – Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 5a. A elipse vertical assinala os intervalos de radioatividade maiores que 30 e menores que 45 GAPI, sinalizando possíveis corpos argilosos. O círculo contém as areias limpas do Botucatu e o espaço entre este e a elipse vertical, o Pirambóia. A elipse horizontal corresponde ao diabásio. Observar que os valores de radioatividade, mesmo os assinalados como “X”, correspondem a GR maiores que 30 e menores que 45 GAPI.

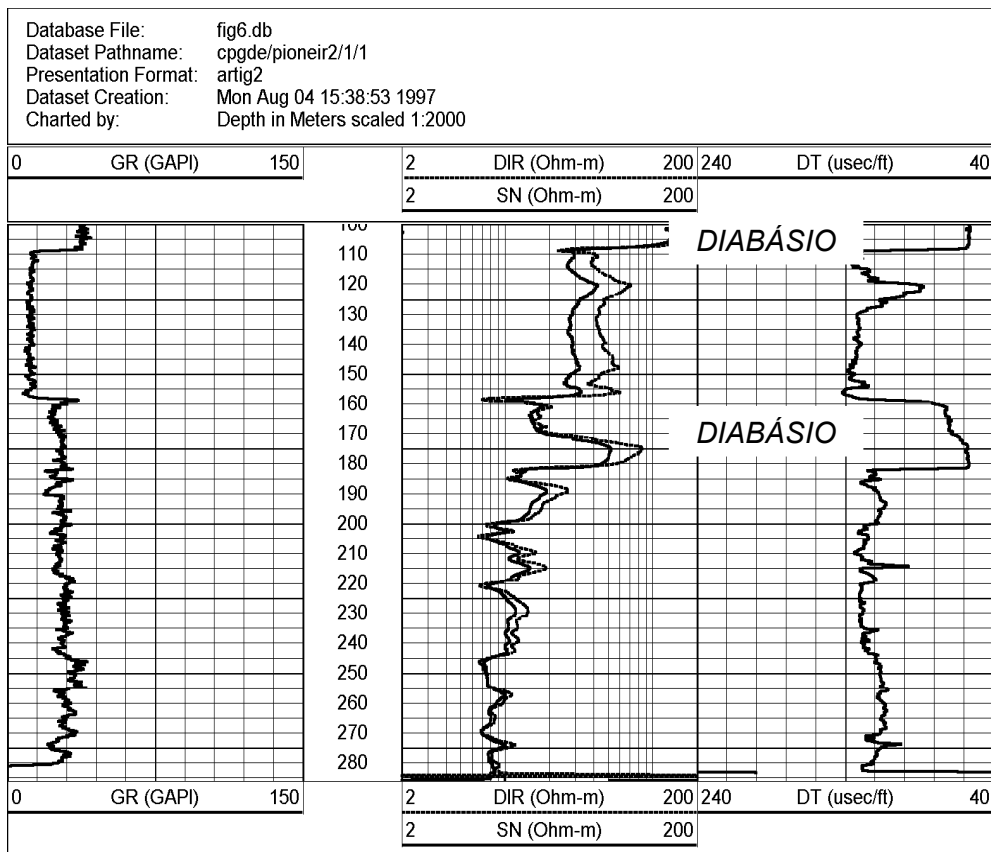


Figura 6a – Poço perfurado no Botucatu e Pirambóia. O intervalo de arenito limpo está localizado entre 109 e 159m. Observar que logo abaixo do arenito ocorre uma intrusão (159-182m) de diabásio (topo alterado), de tal sorte que surgem dúvidas quanto à passagem do Botucatu para o Pirambóia seja brusca ou gradacional. A pequena separação entre as curvas DIR e SN indicam uma certa permeabilidade ao intervalo abaixo dos 182m até os 245m.

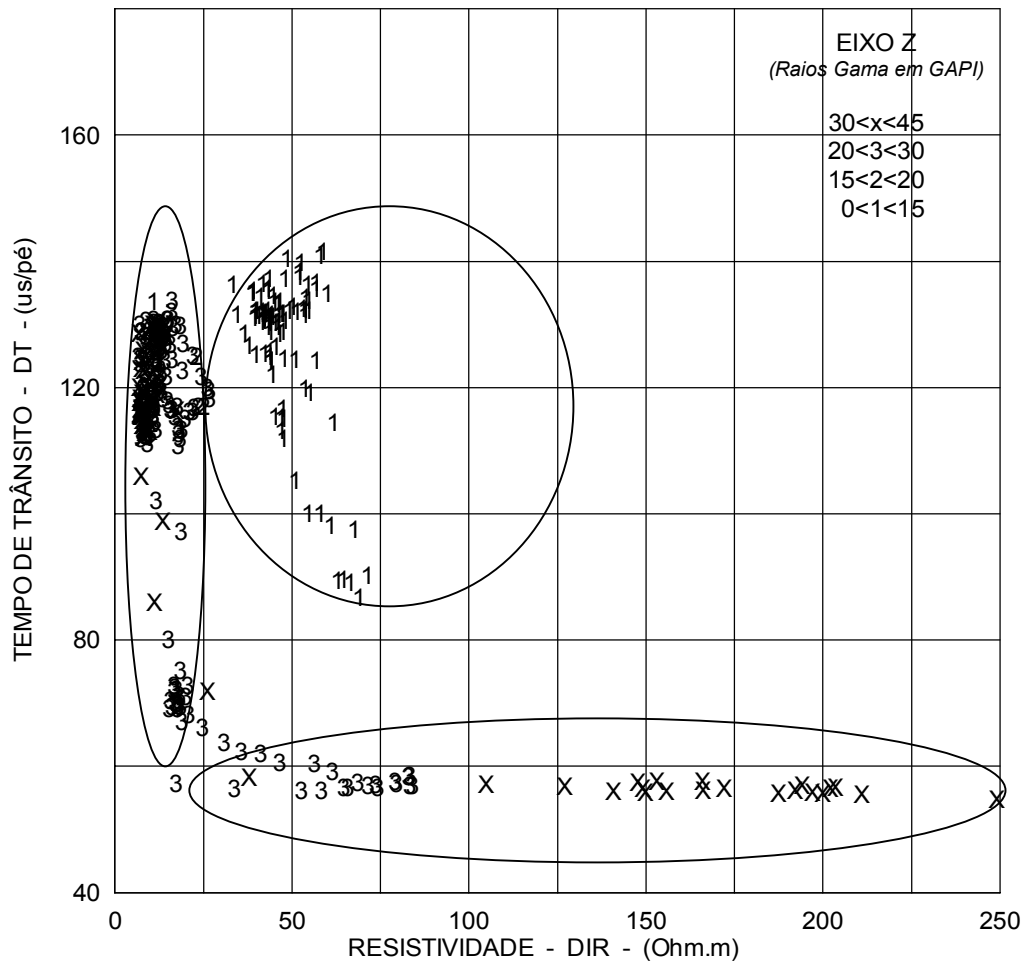


Figura 6b – Diagrama mostrando no eixo Z os valores de GR do poço da figura 6a. A elipse vertical assinala os intervalos de radioatividade maiores que 30 e menores que 45 GAPI, sinalizando possíveis corpos argilosos. O círculo contém o Botucatu e o espaço entre este e a elipse vertical, o Pirambóia. A elipse horizontal corresponde ao diabásio. Observar que os valores de radioatividade, mesmo os assinalados como “X”, correspondem a GR maiores que 30 e menores que 45 GAPI.