

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA PERFILAGEM ÓTICA E GEOFÍSICA NA FORMAÇÃO SERRA GERAL

Geraldo Girão Nery⁽¹⁾ & Renato Macari⁽²⁾

Resumo - A perfilagem geofísica de poços tubulares foi introduzida originalmente na indústria do petróleo razão pela quais seus melhores resultados estão diretamente relacionados às rochas sedimentares, sendo poucos os artigos visando descrever as respostas em rochas cristalinas.

Este trabalho mostra uma correlação entre os resultados das perfilagens geofísica e ótica (filmagem) de um poço que penetrou cerca de 270 metros nos basaltos da Formação Serra Geral, no município de Catanduva – SP. A perfilagem ótica foi realizada após um ano da geofísica, com o poço já em produção.

Foram feitos os perfis de Raios Gama, Potencial Espontâneo, Sônico Compensado, Indução Profunda, Normal Curta e Cáliper XY.

Abstract - The geophysicals well logging was first introduced into the oil industry and its best results are directly related to sedimentary rocks with a few papers on the behavior of crystalline rocks.

This work shows the correlation between geophysical and optical logging in a well drilled in the basalts of Serra Geral Formation, Catanduva – SP, after one year of producing well.

The used logging suite was the Gamma Ray, Spontaneous Potential, Compensated Sonic, Deep Induction Resistivity, Short Normal Resistivity and X-Y Caliper.

Palavras-Chave - Perfilagem Geofísica; Perfilagem Ótica; Formação Serra Geral

⁽¹⁾ Diretor de Marketing da **HYDROLOG** Serviços de Perfilagens Ltda – marketing@uol.com.br - Rua Edith da Gama e Abreu, 91/701- Itaigara – 41.815-010 – Salvador - BA, Fone/fax (71) 3358-5540

⁽²⁾ Geólogo da **HYDROLOG** Serviços de Perfilagens Ltda - hydrolog@uol.com.br - Rua Antônio Gobette, 5-37 – Bauru – São Paulo – 17.028-000 – Fone/fax 14-3203-3559

1 – INTRODUÇÃO

A perfilagem geofísica de poços é sistematizada principalmente visando às propriedades das rochas sedimentares e são poucos os trabalhos, principalmente na indústria da água, que analisem as respostas em rochas ígneas.

Martins (1991) e Scutta et al (1991), estudaram os diferentes comportamentos das curvas geofísicas, principalmente Raios Gama e Sônico, conseguindo identificar soleiras, diques e derrames em função de constatações geológicas, testemunhos e amostras de calha.

No presente trabalho, correlaciona-se uma perfilagem ótica (filmagem) com a perfilagem geofísica (feita um ano antes, durante a perfuração do poço), na Formação Serra Geral, no município de Catanduva – SP. Os perfis corridos foram: Raios Gama, Potencial Espontâneo, Sônico Compensado, Indução Profunda – 6FF40, Normal Curta e Cáliper XY. Quando a perfilagem geofísica foi realizada ainda não havia o revestimento da parte inferior.

O poço em questão capta água no Aquífero Guarani, presente sob uma cobertura de 480 metros de basalto. Foram colocados 93 metros de revestimento na parte superior do poço (Grupo Bauru e rocha alterada) bem como a partir dos 363 metros até o fundo do poço. A porção do basalto não alterado (93 aos 363 metros) não foi revestida, razão pela qual se discute aqui cerca de 270 metros filmados de rocha e suas respectivas curvas de perfis a poço aberto.

Os tubos superiores têm 24” e a perfuração na rocha foi feita com broca de 17½” (figura 1).

2 – OBJETIVOS

Elaborou-se na primeira etapa deste trabalho um perfil descritivo das diferenças estruturais e texturais, mostrado na figura 2, observadas nas perfilagens ótica e geofísica.

Identificou-se cada zona do basalto, de acordo com os picos no tempo de trânsito do sônico, num total de 14 (ver figura 2), sendo descritas as características litológicas observadas na filmagem em relação aos perfis geofísicos. Martins (1991) e Scutta et al, (1991), admitem que cada pico (aumento abrupto do tempo de trânsito) do perfil sônico defina um derrame basáltico.

Os fotogramas, cujas descrições são discutidas, estão indicados nos perfis das figuras 3 a 12 com suas letras correspondentes.

As legendas das figuras 3 a 12 são as mesmas indicadas na figura 2.

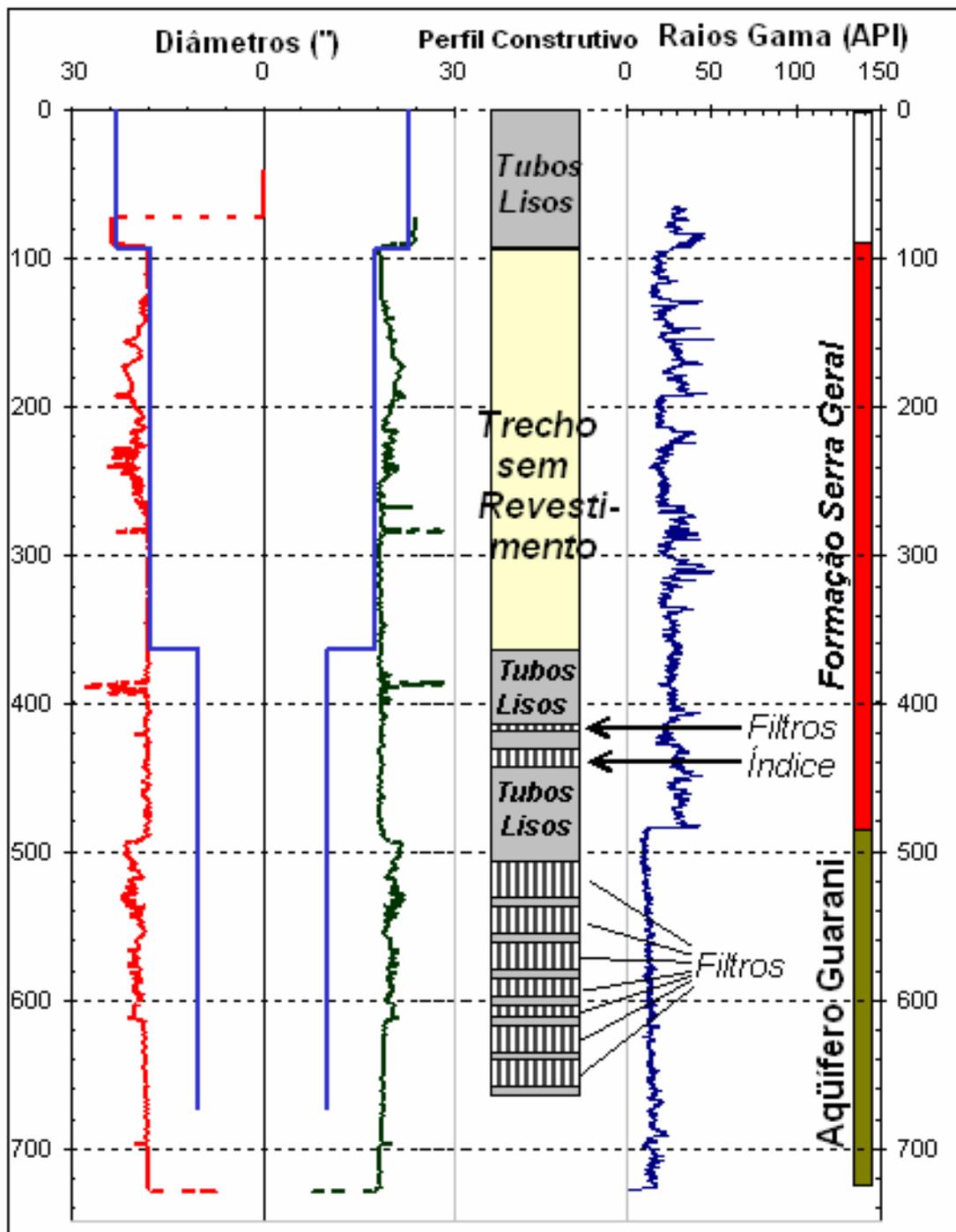


FIGURA 1 – Perfil Construtivo e de Raios Gama do Poço Estudado.

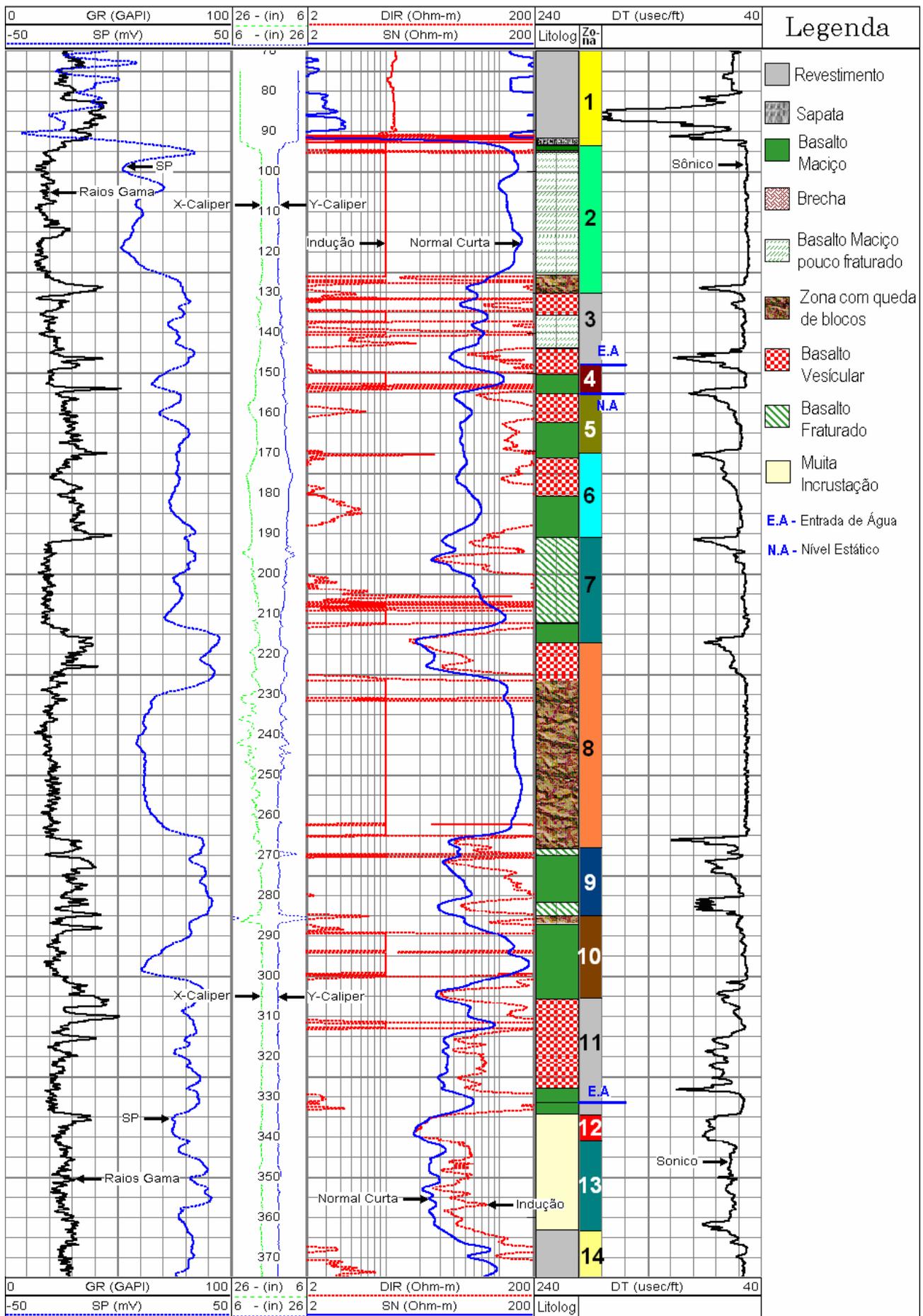


FIGURA 2 – Perfil Geofísico sobreposto ao Geológico obtido a partir da filmagem.

3 - CORRELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DAS PERFILAGENS

3.1 - Zona 1 – (Figura 3) – Superfície a Sapata (0,0 - 93,47 m).

1A: Tubos - Os tubos superiores foram observados na filmagem até os 91,81 metros (fotograma A).

1B: Sapata - Após o tubulão, existe no poço uma sapata de cimento até os 93,47 metros. A sapata caracteriza-se por um acentuado aumento no DT e leve no GR, além da concordância nos valores da indução na sapata, conforme descrito por Schlumberger (1989) e Girão Nery (2000).

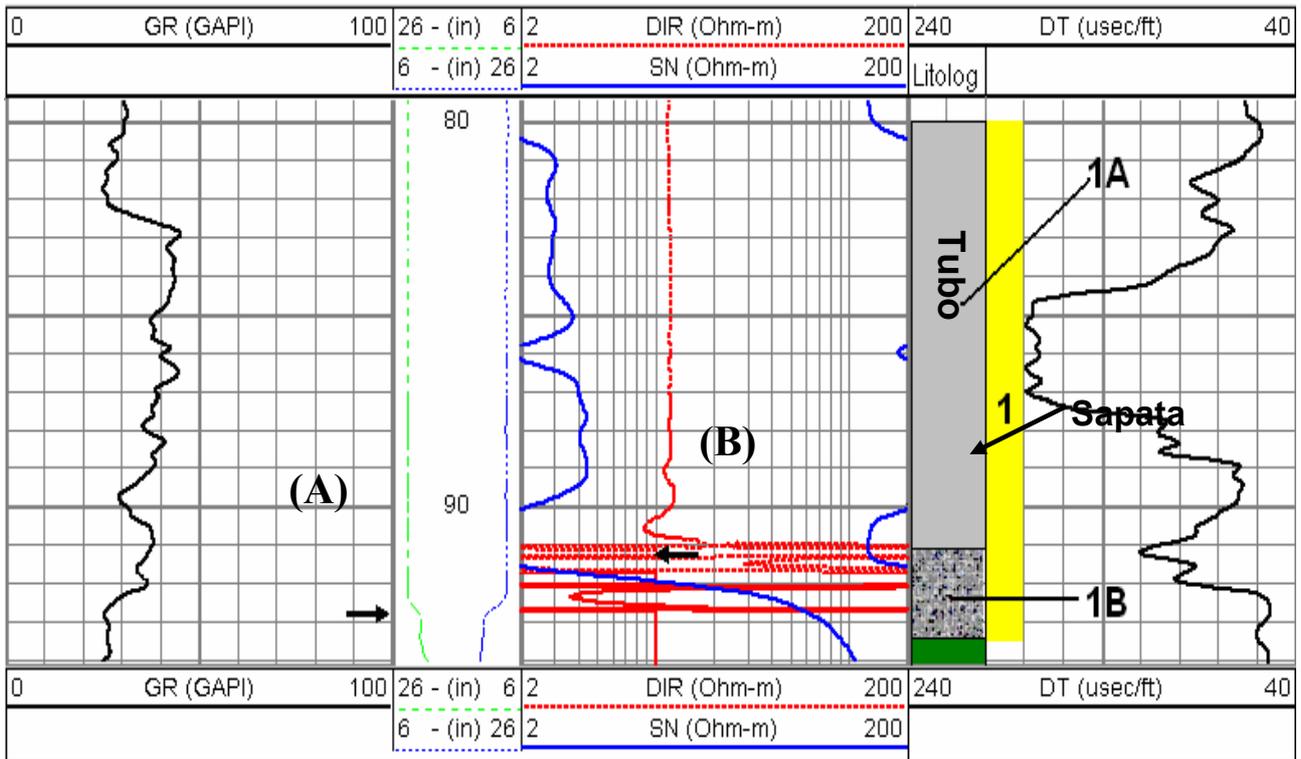
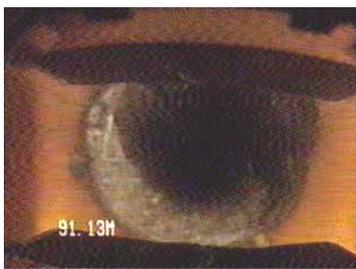


Figura 3 – Perfil detalhado da zona **01**, com a localização dos fotogramas.



FOTOGRAMA A – Visada de fundo do final do Revestimento.



FOTOGRAMA B - Visada lateral do final da sapata de contato entre o tubo e a rocha aos 91,93 metros.

3.2 - Zona 2 – (Figura 4) – Do final da sapata até os 130,00 metros (93,47 a 130,0 m).

O tempo de trânsito mostra-se relativamente uniforme, com valores máximo, mínimo e médio, respectivamente iguais a 55,1; 50,9 e 52,6 μ s/pé, enquanto o GR aumenta de valor na porção central da camada, sem correspondência nas demais curvas. Observam-se na base e no topo da camada picos de DT indicativos de fim e início de derrame, respectivamente, com correspondência no GR.

2A: Basalto maciço (93,47 – 94,70 m) – Ao final do revestimento ocorre basalto maciço, caracterizado pelos valores constantes do tempo de trânsito do sônico (57 μ s/pé) e resistividade acima de 1.000 Ohm.m, indicativos de rocha maciça.

2B: Basalto brechado (94,8 aos 95,5 metros) - Presença de fraturas preenchidas, indicadas pela queda da resistividade e leve diminuição dos Raios Gama e Sônico.

2C: Basalto maciço pouco fraturado (95,5 – 125,5 metros) - Caracterizado pelos valores relativamente constantes de DT. Os Raios Gama variam, de acordo com o preenchimento das fraturas. O Indução registra valores acima dos 1.000 Ohm.m em praticamente toda zona. Entre 114 e 116m, o aumento dos Raios Gama pode sinalizar esta zona como uma provável soleira de basalto, onde a percolação ascendente dos voláteis internos pode ter depositado minerais radioativos (Zalán et al, 1986). Dado à proximidade da sapata o SP sinaliza uma leve correlação inversa com a SN nas profundidades de 104 e 119 metros.

2D: Basalto vesicular - Entre 125 e 130m o aumento dos Raios Gama e do Tempo de Trânsito e diminuição das resistividades confirmam aumento na mineralização volátil. Trata-se de uma região fraturada e com queda de blocos. O Cáliper também mostra a irregularidade das paredes.

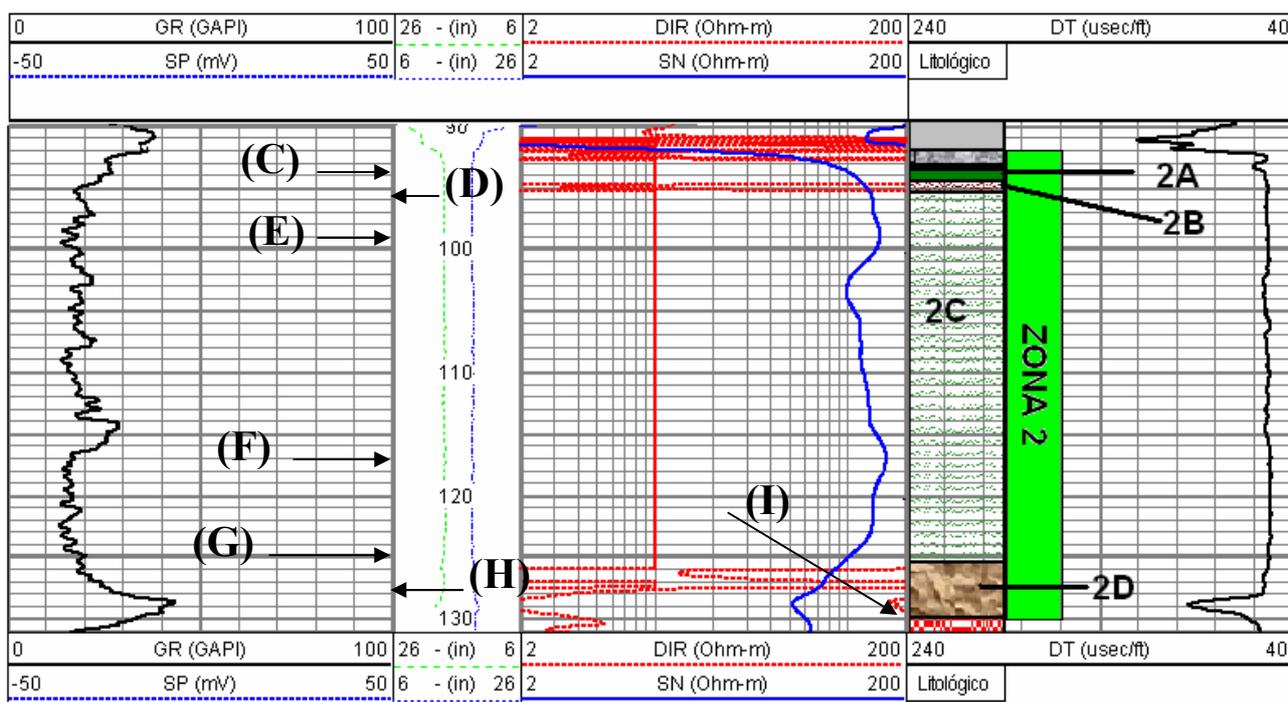
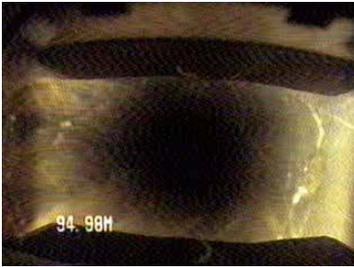


Figura 4 – Perfil detalhado da zona 02, com a localização dos fotografamas.



FOTOGRAMA C - Visada lateral do basalto maciço aos 94,74 metros.



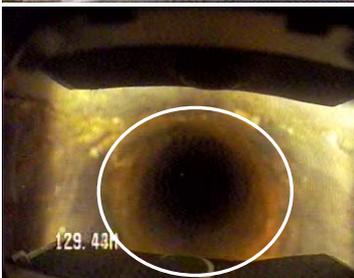
FOTOGRAMA D - Visada de fundo do basalto mais poroso, fraturado e preenchido aos 94,98 metros.



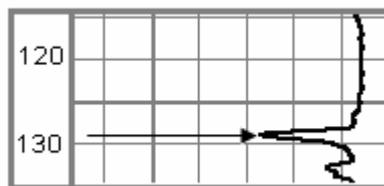
FOTOGRAMAS E a G – Visadas laterais do basalto pouco fraturado da Zona 2.



FOTOGRAMA H - Visada de fundo do basalto fraturado aos 127,18 metros.



FOTOGRAMA I - Visada de fundo do contato entre o basalto fraturado e o vesicular aos 130,00 metros (final da zona 2).



3.3 - Zonas 3 e 4 – (Figura 5) - De 130,00 a 148,08 metros e de 148,08 aos 155,31 metros.

Estas zonas apresentam vesículas no topo e texturas maciças na poção inferior. Cada zona foi dividida em duas camadas refletindo tais características texturais. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 3, foram respectivamente, 57,1; 53,3 e 55,1 $\mu\text{s}/\text{pé}$. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 4, foram respectivamente, 55,1; 53,0 e 53,8 $\mu\text{s}/\text{pé}$.

3A: Basalto vesicular (130,0 aos 135,0 metros) – Camada bem definida por resistividades menores, Raios Gama mais altos, tempo de trânsito aumentado em relação ao total da zona (fotogramas J a L).

3B: Basalto maciço pouco fraturado (135,0 - 144,0 metros) – Caracterizada por tempos de trânsito praticamente constantes. Os Raios Gama apresentam cerca de 30 API e a resistividade diminui um pouco em relação ao igual intervalo observado no topo do perfil. O aumento nos valores de SP também marca os contornos da camada.

3C: Basalto Vesicular em transição com o Basalto maciço da Zona 4. Aos 148,08 metros ocorre uma entrada de água, identificada pela filmagem, mas que não deixou marcas nos perfis geofísicos.

Zona 4: Basalto maciço, dos 150,35 metros aos 155,71 metros.

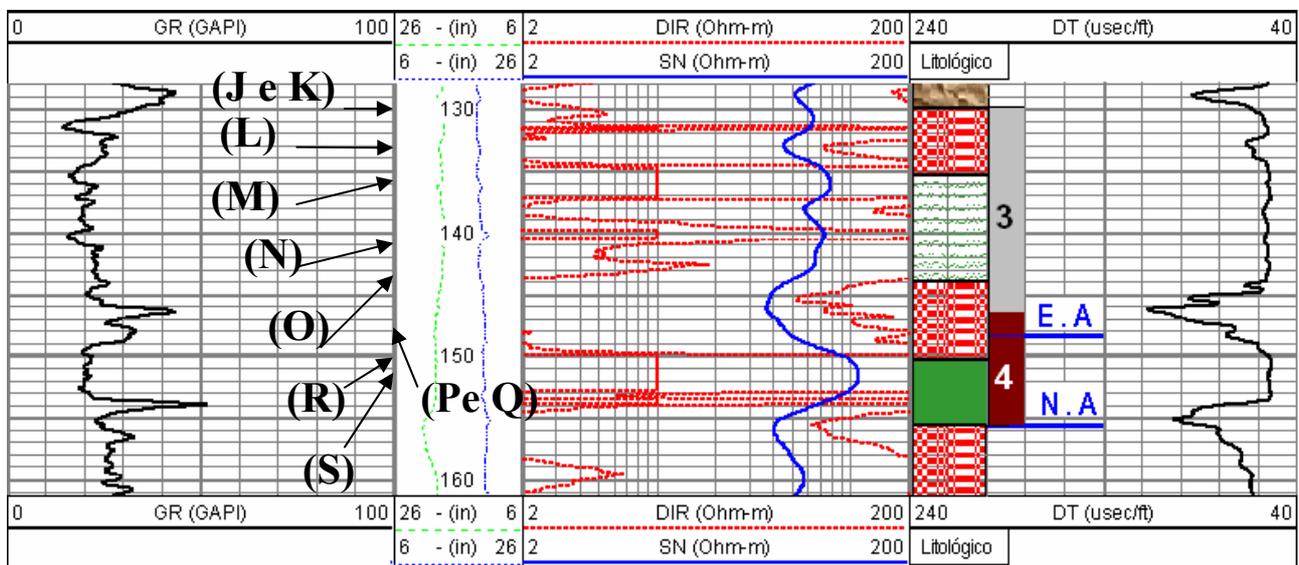
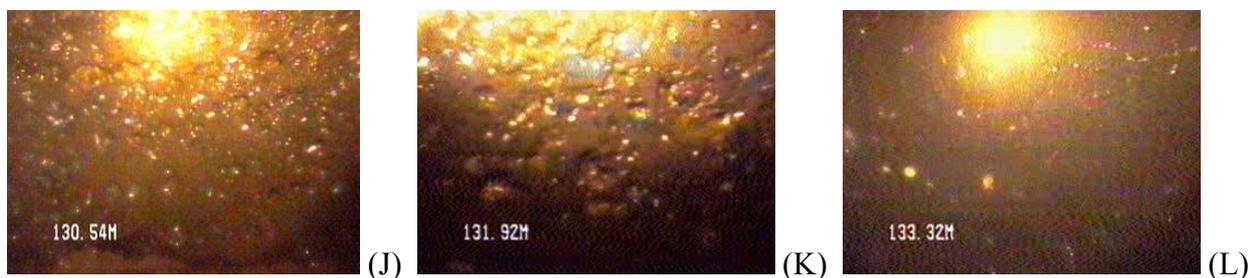
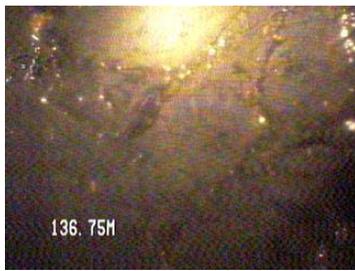


Figura 5 – Perfil detalhado da Zona 03 e 04, com a localização dos fotogramas.



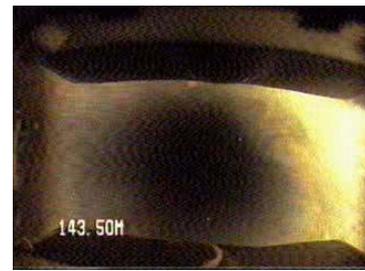
FOTOGRAMAS J a L – Basalto vesicular em três profundidades diferentes. Notar a diminuição das vesículas em direção à base da camada.



(M)

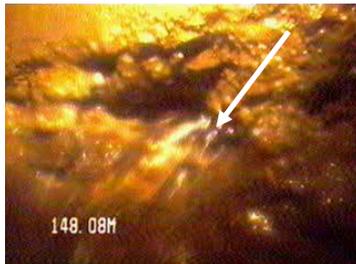


(N)

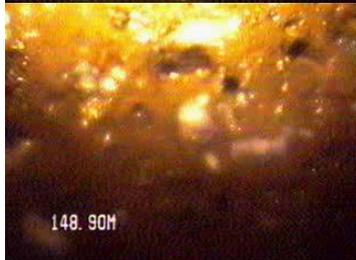


(O)

FOTOGRAMAS M a O – Basalto maciço pouco fraturado. Na parte superior ainda aparecem algumas vesículas preenchidas.



FOTOGRAMA P - Visada lateral da primeira entrada de água observada aos 148,08 metros.



FOTOGRAMA Q – Visada lateral de Basalto Vesicular (Camada 3C: 144,0 - 150,0 m). Os Raios Gama aumentam, a resistividade diminui e o tempo trânsito diminui.



FOTOGRAMA R – Visada lateral do contato entre o basalto vesicular e o basalto maciço aos 150,35 metros. Neste local existe uma queda do Raios Gama com o Sônico em 57 μ s/pé.



FOTOGRAMA S – Visada lateral do basalto maciço aos 151,17 metros (Zona 4: 150,35 - 155,71 metros). Esta zona está bem definida com 30 graus API nos Raios Gama , altíssimas resistividades e o sônico em 57 μ s/pé.

3.4 - Zonas 5 e 6 – (Figura 6) – Assim como as duas camadas anteriores apresentam seqüências de Basalto vesicular no topo (Camada 5A de 155,71 a 163,00 e 6A de 172,0 a 181,1 metros) e Basalto maciço na base (camada 5B, de 163,0 a 172,0 m e 6B, de 181,1 a 191,5 m).

As quebras no tempo de trânsito do sônico aparecem nos contatos entre as duas texturas. Nas camadas vesiculares o valor dos Raios Gama aumenta e a resistividade diminui. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 5, foram respectivamente, 58,1; 56,8 e 57,5 μ s/pé. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 6, foram respectivamente, 59,3; 56,3 e 57,6 μ s/pé. Tais valores acima daqueles intervalos maciços sinalizam a vesicularidade destas zonas.

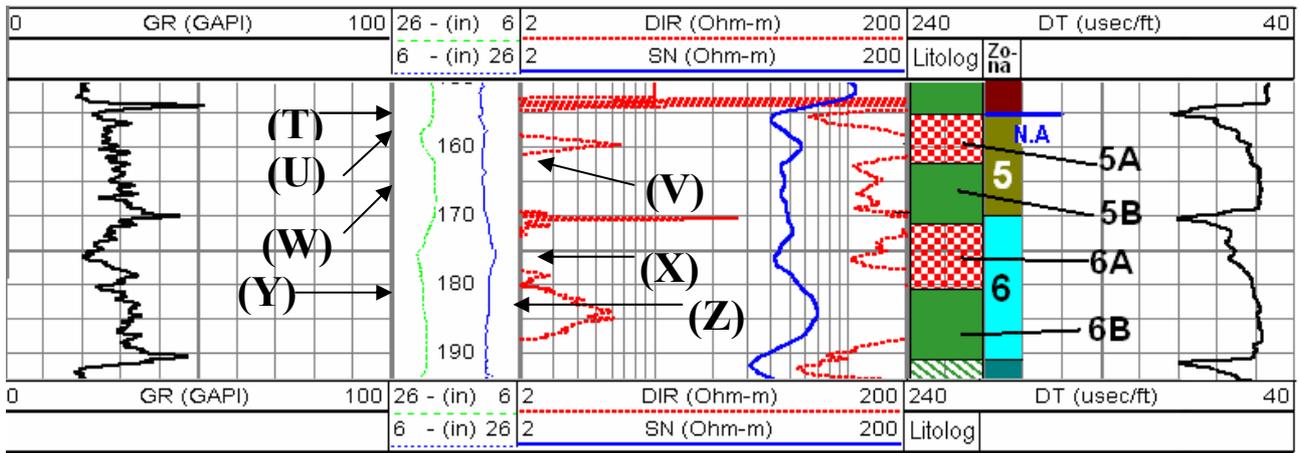
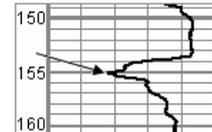


Figura 6 – Perfil detalhado das Zonas 05 e 06, com a localização dos fotografamas.



FOTOGRAMA T – Visada de fundo aos 155,31 metros, que mostra o nível d'água aos 155,71 metros. Neste local existe outro contato entre basalto maciço e vesicular. Observa-se neste local a quebra no tempo de trânsito (ao lado).



FOTOGRAMA U – Visada lateral de Basalto Vesicular (Camada 5A: 155,71 - 163,0 m).



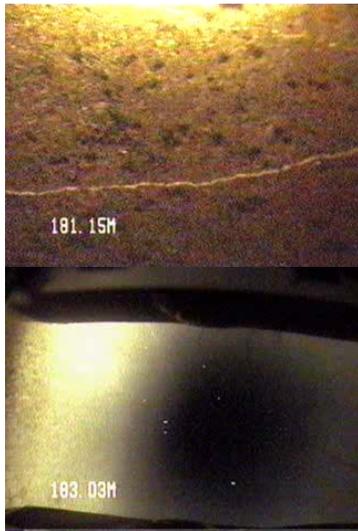
FOTOGRAMA V – Visada lateral de Basalto Vesicular (Camada 5A) aos 161,59 m. Neste local as vesículas já estão bem pequenas e aspecto maciço aparente. Nota-se a diminuição do tempo de trânsito. O comportamento dos perfis é parecido ao do basalto maciço.



FOTOGRAMA W – Visada de fundo do Basalto Maciço (Camada 5B: 163,0 - 172,0 m). Nesta camada o tempo de trânsito é de 57 μ s/pé e os Raios Gama não mudam muito em relação à base da camada superior vesicular.



FOTOGRAMA X – Visada lateral de Basalto Vesicular (Camada 6A – 172,0 a 181,5 m). A resistividade e o tempo de trânsito diminuem. Notam-se irregularidades no cáliper.



FOTOGRAMA Y – Visada lateral do contato entre o basalto vesicular e o maciço aos 181,15 metros (Camadas 6A e 6B). No local existe um pequeno veio preenchido. Os Raios Gama têm uma pequena quebra e o tempo de trânsito se estabiliza.

FOTOGRAMA Z – Visada de fundo do Basalto Maciço (Camada 6B: 181,15 - 191,0 m). Nesta camada, como na camada 5B, o tempo de trânsito é de 57 μ s/pé e os Raios Gama permanecem em 45 API.

3.5 - Zona 7 – (Figura 7) - O máximo, o mínimo e a média dos tempos de trânsito na zona 7, foram respectivamente, 57,1; 50,3 e 54,2 μ s/pé.

7A: Basalto maciço, pouco fraturado (191,0 – 212,3 metros)– Esta camada está muito bem definida no perfil geofísico, com Raios Gama estáveis em 30 API, valores altos de resistividade e tempo de trânsito em 57 μ s/pé. A linearidade dos Raios Gama sinaliza um provável dique, conforme Martins (1991).

7B: Basalto maciço, (212,3 - 217,0 metros) – Nesta camada existe um aumento dos valores de Raios Gama em direção ao contato inferior, enquanto os valores de tempo de trânsito diminuem, tendo uma quebra exatamente no contato com a Zona 8.

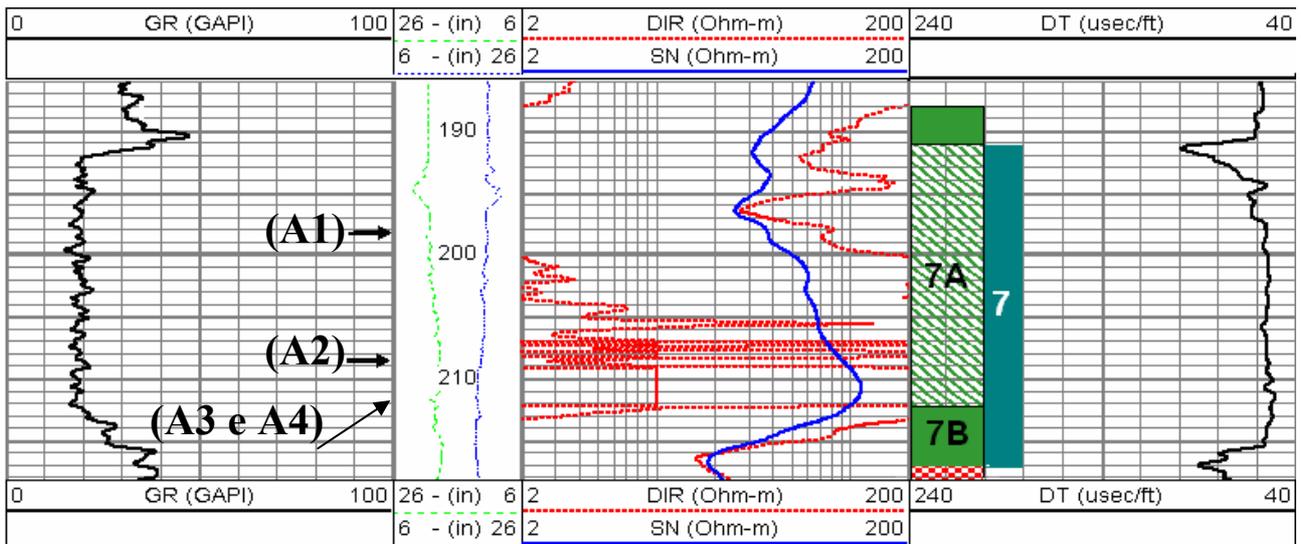
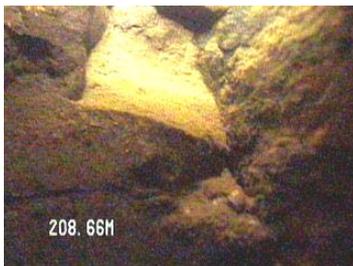


Figura 7 – Perfil detalhado da Zona 07, com a localização dos fotografamas.



FOTOGRAMA A1 – Montagem panorâmica mostrando fraturas preenchidas aos 198,34 metros.



FOTOGRAMA A2 – Visada lateral de uma fratura (queda de bloco) no Basalto maciço da Zona 7. Notar aspecto compacto da rocha.



(A3)



(A4)

FOTOGRAMAS A3 e A4 – Visada de fundo e lateral do basalto maciço da Camada 7B. Notar aspecto compacto da rocha.

3.6 - Zona 8 – Figura 8 - . O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 8, foram respectivamente, 57,5; 50,8 e 53,1 $\mu\text{s}/\text{pé}$.

8A: Basalto Vesicular –Basalto Vesicular, (217,0 - 227,0 metros) – Esta camada está bem definida com a diminuição dos valores do tempo de trânsito, aumento dos Raios Gama e diminuição da resistividade. O perfil calíper mostra pequenas irregularidades no topo e na base. A filmagem revelou que as vesículas não estão preenchidas.

8B: Basalto Maciço com queda de blocos. Esta camada está definida por valores constantes de tempo de trânsito, dos Raios Gama e Resistividade. O perfil calíper mostra pequenas irregularidades devido às quedas dos blocos. Apesar das irregularidades a rocha mostra texturas maciças.

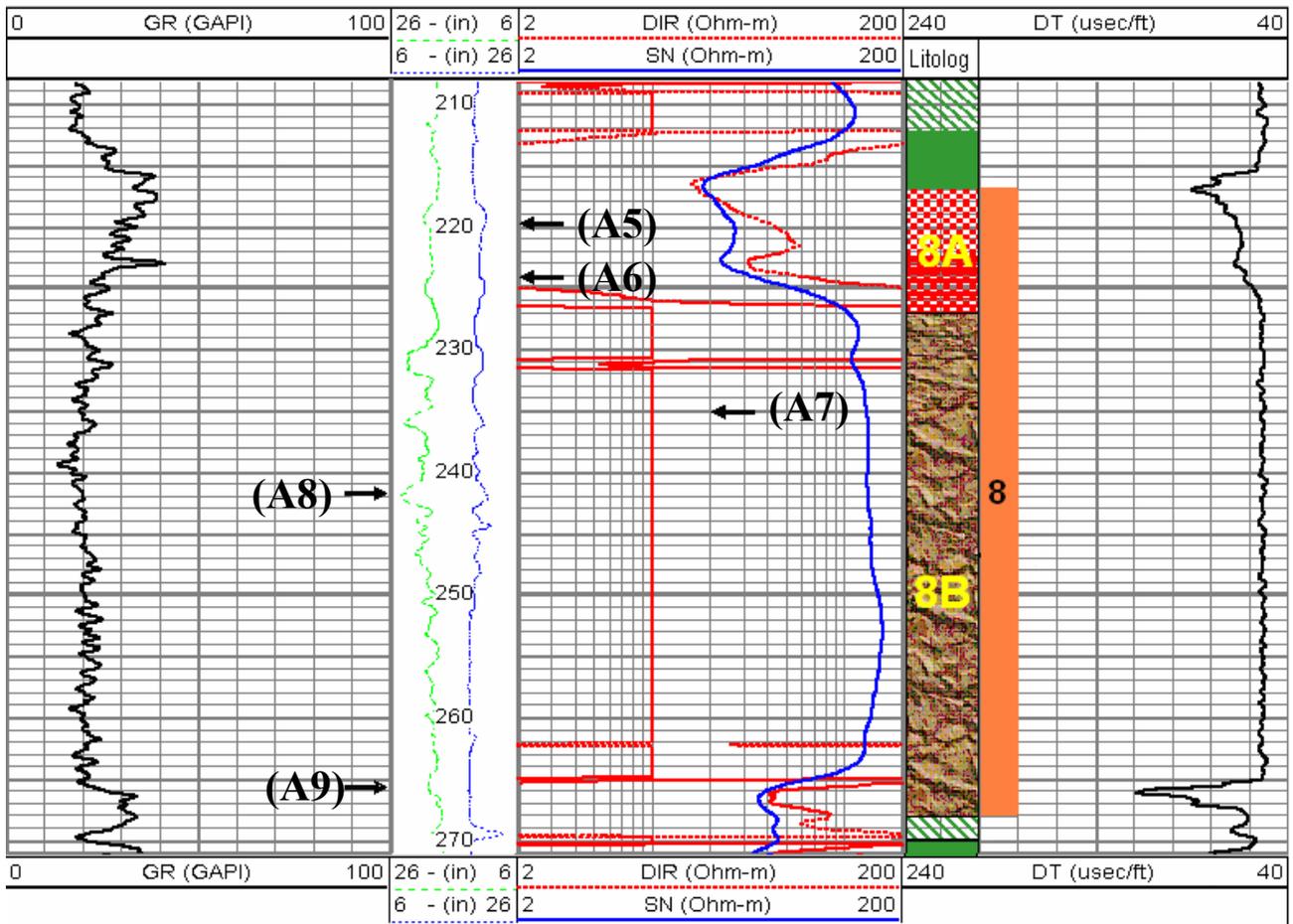
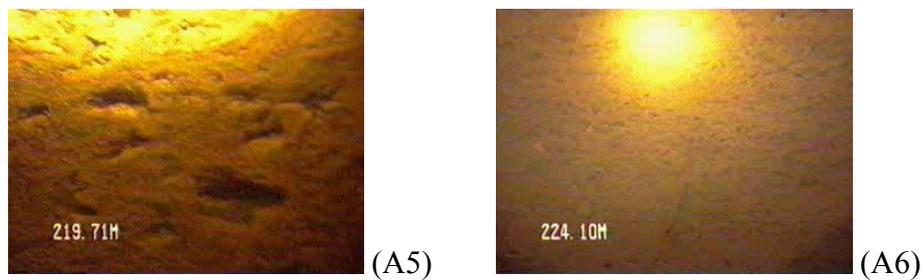


Figura 8 – Perfil detalhado da Zona 08, com a localização dos fotogramas.



FOTOGRAMAS A5 e A6 – Visada de lateral do Basalto Vesicular da Camada 8A. Notar as vesículas pequenas e não preenchidas.



FOTOGRAMAS A7 a A9 – Visadas laterais do Basalto Maciço com queda de blocos da Zona 8.

3.7 - Zona 9 – (Figura 9) - . O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 9, foram respectivamente, 118,3; 55,5 e 73,5 $\mu\text{s}/\text{pé}$. Em virtude de suas características anômalas, tanto no GR como no DT, esta zona foi dividida em 3 camadas, de acordo com suas características texturais:

9A: Zona de fraturas (268,8 a 269,4). Camada bem definida por todos os perfis.

9B: Basalto Maciço (269,4 a 281,5 m). Nesta camada o sônico define bem apenas a parte inferior.

9C: Zona de Fraturas (281,5 a 285 m): Aqui os valores de sônico variam devido a saltos de ciclo. O perfil cáliper marca bem as fraturas. A resistividade cai.

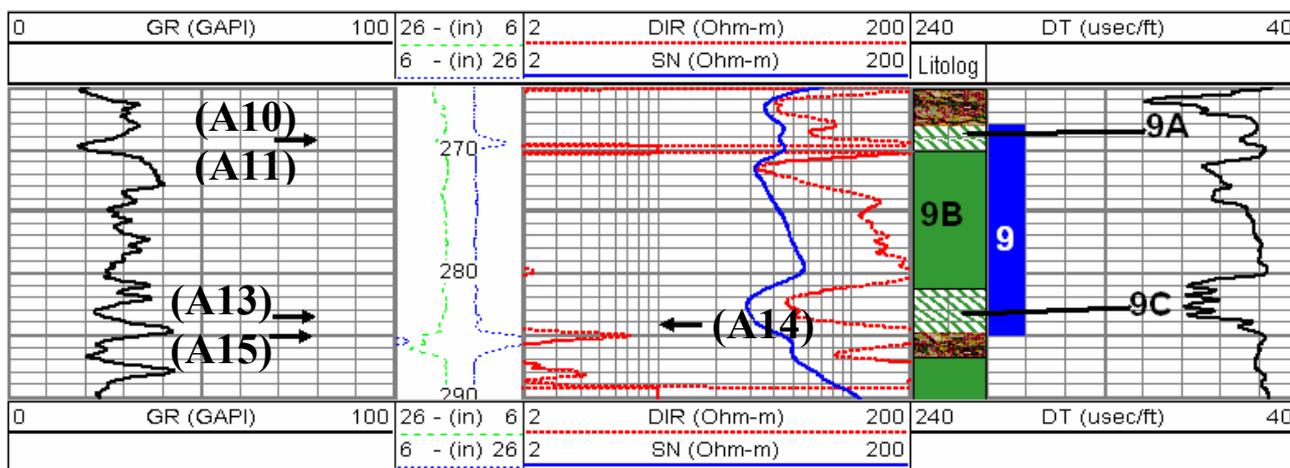


Figura 9 – Perfil detalhado da Zona 09, com a localização dos fotogramas.



(A10)

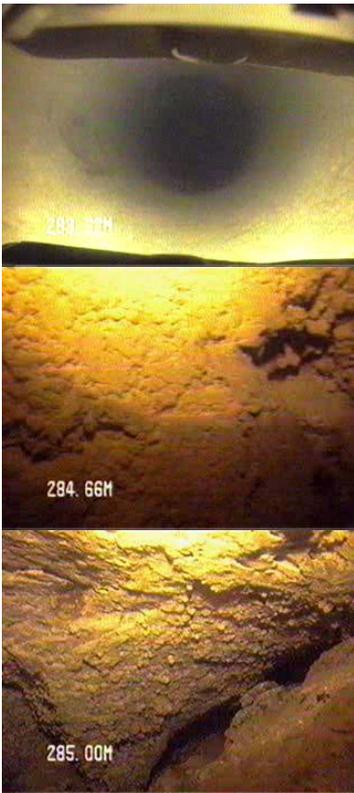


(A11)

FOTOGRAMAS A10 e A11 – Visadas laterais da Zona de Fraturas da Zona 8.



FOTOGRAMA A12 – Visada lateral do início do basalto maciço aos 269,44 metros.



FOTOGRAMA A13 – Visada de fundo basalto maciço (Camada A: 269,43 - 281,5 metros). A resistividade é relativamente alta. Os valores de tempo de trânsito diminuem em direção a base.

FOTOGRAMA A14 – Visada Lateral da Zona de Fraturas (Camada B: 281,5 - 285,0 metros).

FOTOGRAMA A15 – Visada Lateral da Zona de Fraturas - contato Camada B e Camada C aos 285,0 metros.

3.8 - Zona 10 – (Figura 10) – O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 10, foram respectivamente, 58,6; 51,9 e 54,6 $\mu\text{s}/\text{pé}$.

10A: Basalto maciço com queda de blocos (285,0 a 287,0m) - Corresponde à zona mais alterada da zona 10.

10B: Basalto maciço (287,0 – 306,0 metros) – Nesta zona observa-se uma queda nos valores de Raios Gama. Os valores do Sônico são constantes enquanto a Resistividade aumenta.

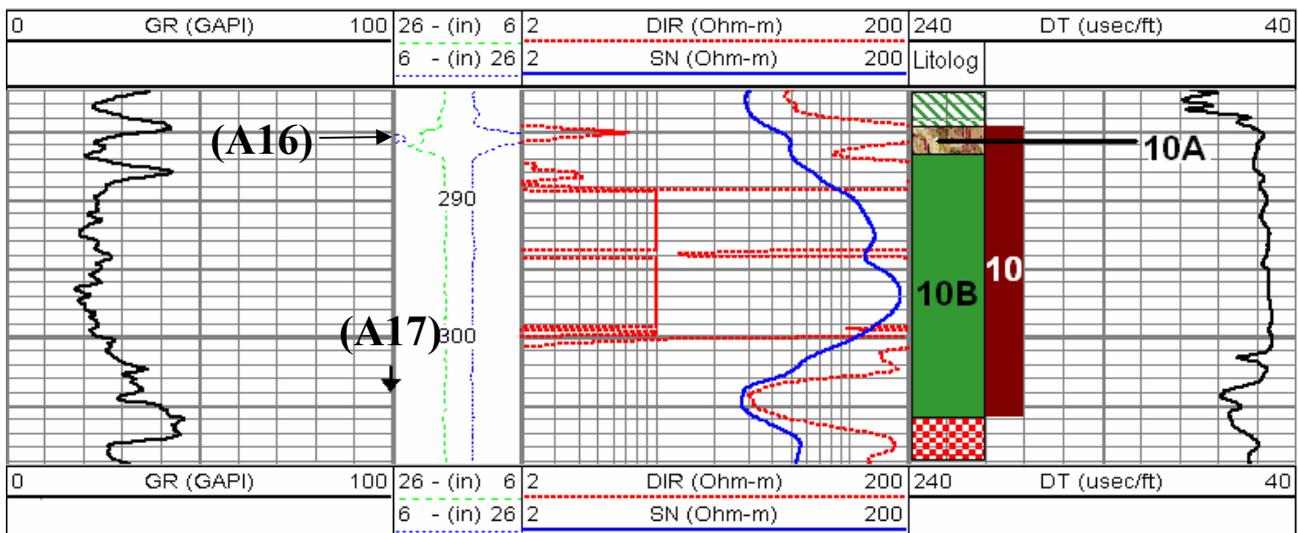
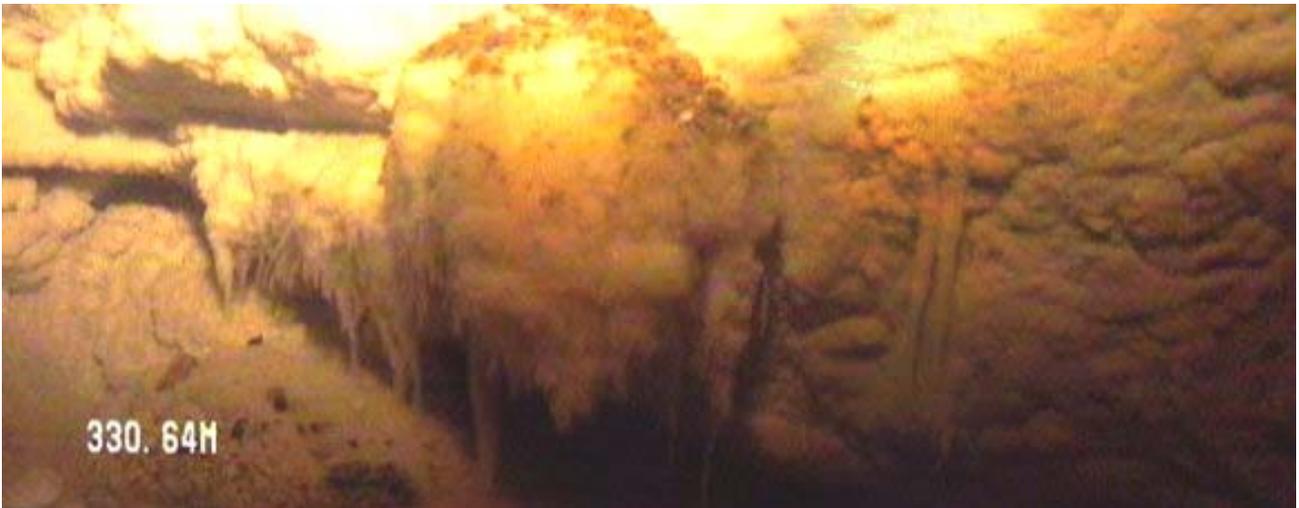


Figura 10 – Perfil detalhado da Zona 10, com a localização do fotograma.



FOTOGRAMA A18 – Visada lateral do basalto vesicular. Iniciada uma incrustação carbonática.



FOTOGRAMA A19 - Visada lateral de montagem panorâmica de incrustações carbonáticas no basalto maciço aos 330,64 metros. Provavelmente estas incrustações não estavam presentes na época da perfilagem.



FOTOGRAMA A20 – Visada lateral de dois dutos, dentro do basalto maciço, por onde se observa intensa produção de água aos 331,91 metros. Na filmagem nota-se turbidez na água que sai pelo mesmo indicando diferentes densidades entre a água do poço e a do duto.

3.10 - Zona 12 a 14 – (Figura 12) – O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 12, foram respectivamente, 88,0; 55,4 e 64,7 $\mu\text{s}/\text{pé}$. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 13, foram respectivamente, 77,0; 61,8 e 66,8 $\mu\text{s}/\text{pé}$. O máximo, o mínimo e a média dos tempos na zona 14, foram respectivamente, 67,9; 52,7 e 60,1 $\mu\text{s}/\text{pé}$. O aumento do DT na zona 12 pode ter origem na cristalização carbonática observada nos fotogramas.

Zonas 12 e 13: Região atualmente totalmente cristalizada com carbonato (335,0 - 363,21 metros)

Zona 14: Revestimento atual (Camada C: 363,31 ao fundo) – Quando foi feita a perfilagem este revestimento ainda não existia.

No poço estudado, na profundidade de ocorrência de um aumento relativamente brusco do DT, como aquele mostrado ao lado do fotograma I, vem geralmente acompanhado de um acréscimo nos valores de Raios Gama, reforçando a presença de basalto vesicular, onde possivelmente ocorrem incrustações de elementos voláteis e/ou radioativos durante a cristalização. Tais eventos evidenciam quebra de mudanças texturais e desta forma possíveis seqüências de soleiras ou diques.

Observa-se que dentro das zonas 2 a 8 e 10 os valores mínimos, máximos e médios de tempo de trânsito permanecem relativamente constantes, demonstrando uma maior compactação das rochas mais recentes.

Nas rochas próximas ao contato com o Aquífero Guarani, existe um aumento nos tempos máximos nas zonas 9; 11 a 14. Este aumento não indica necessariamente uma maior porosidade, mas sim sítios onde possivelmente ocorreram maiores percolações de água proveniente do aquífero.

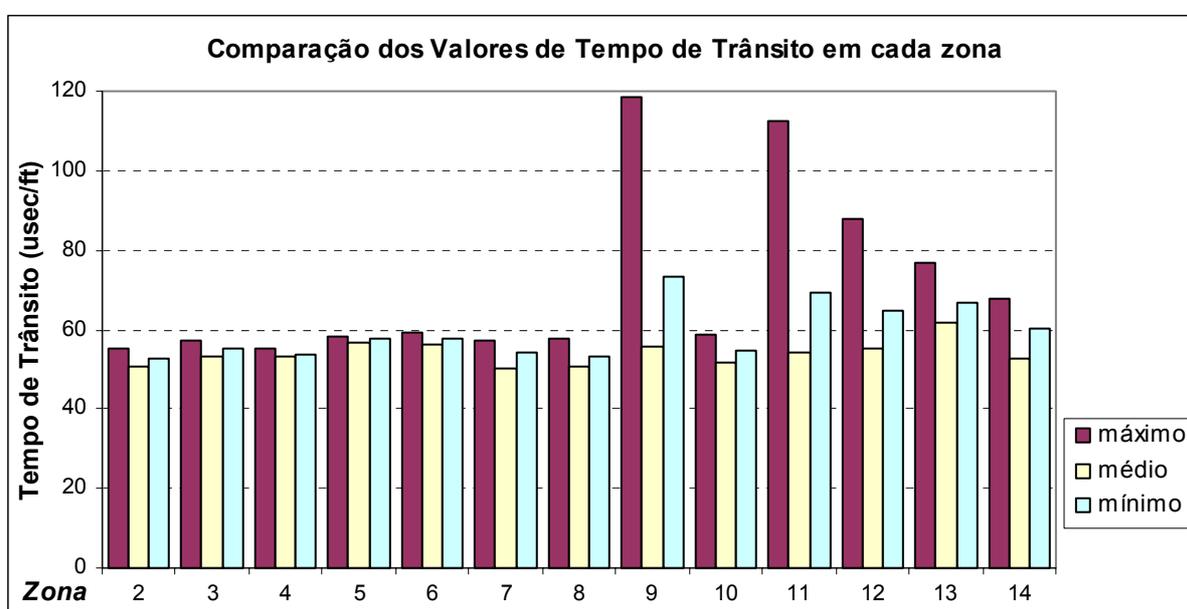


Figura 13 – Comparação dos valores de tempo de trânsito do Sônico para cada zona.

Pequenas entradas de água, como as detectadas nas Zonas 5 e 11, não são registradas, necessariamente, em nenhum dos perfis apresentados.

Resta criar uma sistematização usando filmagens e dados de mais poços, visando uma melhor interpretação do significado da resposta de cada curva. Estes estudos poderão gerar uma nova aplicação para as ferramentas de perfilagem, permitindo identificar zonas potenciais de produção dentro de rochas ígneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Girão Nery, G., 2000 - Perfilagem Geofísica Aplicada à Água Subterrânea, Capítulo 10, Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações, CPRM.

Martins. Mariela, 1991 - Respostas em Perfil a Ocorrências Magmáticas Básicas em Rochas Sedimentares - Um Estudo Auxiliar; PETROBRAS/DEPEX - Seminário de Exploração, Cabo Frio, RJ.

Schlumberger, 1989 - Schlumberger Educational Services, Log Interpretation Charts and Principles / Applications.

Scutta, M.S; Mizusake, A. N.P.; Mohriak, W. U. – 1991 - Interpretação dos Perfis das Seqüências Vulcano-Sedimentares na Área da Plataforma Continental de Cabo Frio (RJ); PETROBRAS/DEPEX-Seminário de Exploração, Cabo Frio, RJ.

Zalán, P.V.; Conceição, J.C.J.; Wolf, S.; Astolfi, M.A.M.N.; Vieira, I.S.; Appi, V.T.; Neto, E.V.S.; Cerqueira, J.R.; Zanotto, A.O.; Paumer, M.L.; Marques, A.; 1986 – Análise da Bacia do Paraná, PETROBRAS/DEPEX/CENPES.