

## TÉCNICAS ISOTÓPICAS NA HIDROLOGIA: TESTE DE BOMBEAMENTO E TÉCNICAS DE DILUIÇÃO PUNTUAL — UMA COMPARAÇÃO

Umesh Chandra

Centro de Aplicação de Radioisótopos e Radiações  
na Engenharia e na Indústria (CARREI) — Diretoria  
Executiva I do Instituto de Pesquisas Energéticas  
e Nucleares (IPEN).

### ABSTRACT

A brief review of isotope nuclear techniques in hydrology is made. Some examples of application of these techniques in investigations of water resources, water pollution and civil engineering are given.

The infrastructure and instrumentation required for carrying out isotope hydrology work is emphasized. Various applications of determination of velocity and direction of ground water by isotope techniques are outlined.

A comparison between point dilution technique and pumping tests is made. The point dilution technique, in majority of the cases, can furnish substantially the same results as pumping tests.

### INTRODUÇÃO

Muitas das organizações brasileiras que trabalham com recursos hídricos, poluição de águas e projetos de engenharia civil não estão usando técnicas isotópicas/nucleares devido a uma falta de comunicação ou entendimento entre as organizações e os institutos onde existe tecnologia em técnicas isotópicas/nucleares (1,2,3,4).

Estas técnicas podem ser aplicadas na determinação da velocidade, direção e fluxo das águas subterrâneas; na determinação de fugas aquosas em estruturas hidráulicas; na medida das contribuições (carga e descarga) de um rio; na identificação do modo e quantidade de recarga da água subterrânea; na determinação da origem das águas subterrâneas e das interconexões entre aquíferos; determinação das zonas de recarga de uma bacia; datação das águas subterrâneas e muitas outras aplicações.

O potencial das técnicas isotópicas/nucleares como um suplemento e como uma alternativa aos métodos convencionais é o tema que o autor deseja enfatizar neste trabalho.

### TÉCNICAS COM ISÓTOPOS PRODUZIDOS EM REATORES NUCLEARES

Diversos radioisótopos têm sido usados em vários países em investigações das águas subterrâneas através de técnicas que utilizam um único<sup>(5)</sup> ou vários



poços (6), para a determinação da velocidade de filtração e da velocidade real da água subterrânea.

Além disto, as técnicas de pulsos em um único poço (7,8,9) foram desenvolvidas para a determinação das porosidades e transmissibilidades das camadas de um aquífero, injetando um traçador radioativo no aquífero e depois bombeando-o para fora.

A determinação da direção do fluxo das águas subterrâneas aplicando traçadores radioativos nas técnicas de diluição (10,11,12), tem provado ser um meio elegante para a determinação da área de um aquífero; zonas de proteção para o aproveitamento das águas subterrâneas (13); carga nas águas subterrâneas como uma consequência das fundações (14), dos trabalhos de engenharia hidráulica, drenagem, etc.

As técnicas de diluição, além disso, apresentam vantagens: precisamos somente de um poço de pequeno diâmetro ( $\approx 5$ cm) para a medida; o tempo de medida é bem pequeno; por volta de uma hora por metro por dia; o alcance destas medições pode variar de alguns mm por dia, até algumas centenas de m por dia.

#### DETERMINAÇÃO DO FLUXO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A detecção e estimativa do fluxo das águas subterrâneas em poços é uma informação vital. Para fluxos com velocidade variando de média a alta, os métodos mecânicos de corrente, usados em diversas investigações, têm sido eficientes e fáceis de usar, porém, a sua precisão deteriora em função do atrito. Portanto os métodos que se utilizam de traçadores radioativos (17) são confiáveis e mais eficientes. A medida do fluxo vertical em poços, fornece informações valiosas no que concerne ao aproveitamento da água (14); localização de fugas em barragens (14,18,19,20); localização de zonas permeáveis (14,18,19,21) e interconexões hidrológicas (22).

#### VAZÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

A medida da vazão de rios e canais é de importância considerável para hidrólogos e engenheiros, e para o desenvolvimento econômico de recursos hídricos. Os métodos radioativos aplicados (23,24) aos rios, embora não aplicados universalmente, são frequentemente utilizados como complemento a outros métodos convencionais e, com o tempo, devem tomar seus lugares como um sistema que pode prover medidas precisas da vazão de águas superficiais.

Os traçadores que têm sido usados e que produzem resultados adequados incluem o  $^{24}\text{Na}$  na forma de bicarbonato, o  $^{82}\text{Br}$  como brometo de potássio ou de amônia, o  $^{51}\text{Cr}$  EDTA, o  $^{131}\text{I}$  na presença de tiosulfato de sódio e o  $^3\text{H}$  na forma de água tritiada.

#### TÉCNICAS ISOTÓPICAS AMBIENTAIS

A combinação das técnicas de diluição em poços e das medidas isotópicas ambientais, com os métodos hidrológicos convencionais, fornece uma ferramenta excelente para informar sobre a localização, local ou regional, da água subterrânea. Os métodos hidrológicos isotópicos podem, às vezes, produzir resultados quantitativos mas, mesmo sob condições desfavoráveis, eles produzem informações qualitativas valiosas.

Os chamados isótopos ambientais incluem os isótopos pesados da água,  $\text{D} (^2\text{H})$  e  $^{18}\text{O}$  e os isótopos radioativos  $\text{T} (^3\text{H})$  e  $^{14}\text{C}$ . Os isótopos estáveis ocorrem em águas naturais em concentrações que variam de 160ppm no caso do D, a 2.000ppm no caso do  $^{18}\text{O}$ . Ocorrem variações pequenas, mas sistemáticas, no conteúdo dos isótopos estáveis em águas naturais, o que pode ser medido por espectrometria de



massa. As variações temporais e espaciais da concentração de quatro isótopos ambientais formam a base das investigações hidrológicas.

A análise do  $^{18}\text{O}$  e do D podem indicar coisas como: quando a água derivou de uma precipitação local; se ocorrem a uma alta altitude; estratificação da água subterrânea; a estação do ano em que houve recarga ou se a água esteve sujeita a uma evaporação significativa. Algumas informações dizem se a água subterrânea representa uma recarga local ou uma recarga de uma fonte superficial distante.

Estudos interessantes do balanço de lagos usando técnicas isotópicas, foram desenvolvidos por Dincer<sup>(25)</sup>, na Turquia, Pyane<sup>(26)</sup>, no Kênia, Fontes<sup>(27)</sup>, na África e Meybeek<sup>(28)</sup>, em Genebra.

Amostras de poços, fontes termais, nascentes e vertedouros de Viena, mostram após a análise da composição dos isótopos estáveis, uma uniformidade isotópica e, conseqüentemente, mesma origem<sup>(29)</sup>.

O trítio é um traçador ideal para as águas superficiais e subterrâneas. Ele foi usado extensivamente para o estudo de interconexões de aquíferos cársticos, na determinação da recarga da água subterrânea e no estudo do modo de mistura dos lagos e reservatórios.

O Carbono-14 é um isótopo radioativo do carbono, que oferece uma arma poderosa na maioria dos estudos das águas subterrâneas. Ele pode ser usado na datação de águas de até 40.000 anos. Utilizando-se do método de datação com carbono-14, é possível avaliar a vazão da água em aquíferos confinados. Nos casos em que o gradiente hidráulico é conhecido, o conteúdo de C-14 na água pode identificar as zonas onde está havendo recarga de uma bacia. Tal informação é difícil de ser obtida quando temos apenas um mapa piezométrico na bacia.

As diversas investigações hidrológicas em que são usadas técnicas nucleares/isotópicas, podem ser resumidas nestas citadas abaixo:

- medidas de vazão em canais;
- velocidade e direção do fluxo da água subterrânea;
- fluxo vertical em poços;
- umidade, densidade e litologia de solos;
- recarga de águas subterrâneas;
- avaliação geohidrológica de uma área;
- poluição das águas;
- hidrologia de minas;
- caracterização da origem da água subterrânea;
- interconexão de águas subterrâneas, lagos e reservatórios;
- balanço hídrico dos lagos e reservatórios;
- intrusão de água salgada em aquíferos;
- hidrologia de regiões cársticas;
- perdas da água por infiltração em barragens e canais;
- exploração de águas geotérmicas;
- datação das águas subterrâneas;
- estudos do declínio bacteriano em águas receptoras de esgotos;
- tempo de residência em lagos e reservatórios;
- seleção dos locais para usinas nucleares e disposição de rejeitos radioativos;
- exploração mineral e econômica de petróleo.

Para que executemos os trabalhos de laboratório e de campo utilizando-se das técnicas nucleares, necessitamos de uma equipe de cientistas nucleares, um hidrólogo de campo, um técnico e um instrumentista nuclear. Para o trabalho de campo, instrumentos a bateria e a prova de água como sondas cintiladores gama



com cabo, um medidor da taxa de contagens eletrônico e um mecanismo para injeção do traçador, compõem o material básico e necessário.

Para os trabalhos com a hidrologia isotópica ambiental, usamos laboratórios bem equipados com contador de detectores de cintilação líquida, sistema de síntese de benzeno, sistema para extração do hidrogênio e oxigênio das amostras de água, em conjunto com um espectrômetro de massa para percentagens isotópicas. Além disso, uma boa infra-estrutura para o trabalho de hidrologia isotópica e, o que é mais necessário, uma boa cooperação entre instituições que têm "know how" em técnicas isotópicas, e organizações que trabalham com recursos hídricos, poluição de águas e projetos de engenharia civil.

#### PRINCÍPIOS E VANTAGENS DA TÉCNICA DE DILUIÇÃO PUNTUAL

Um dos parâmetros importantes que precisa ser determinado na investigação das águas subterrâneas é a velocidade de filtração ( $v_f$ ), definida pela lei de Darcy:

$$v_f = K_3 I$$

onde  $K_3$  é a permeabilidade do aquífero e  $I$  é o gradiente hidráulico do fluxo da água subterrânea. A velocidade de filtração ( $v_f$ ) pode também ser medida da velocidade real ( $V$ ) entre dois poços e a porosidade ( $n$ ) do aquífero, i. é,

$$v_f = n.V$$

Um dos métodos diretos para determinação da velocidade de filtração é a técnica de diluição em um único poço. Neste método, a água do poço é marcada com uma solução traçadora, e mede-se a diluição desta água pelo fluxo da água subterrânea. A velocidade de diluição do traçador, que está distribuído homogeneamente em um volume  $V$ , em um poço, pode ser descrita por uma equação diferencial cuja solução fornece:

$$v_f = -\frac{\pi r_1}{2\alpha t} \ln C/C_0$$

onde,

$r_1$  = raio interno do poço

$t$  = intervalo de tempo entre as medições das contagens  $C_0$  e  $C$

$\alpha$  = fator de correção que leva em conta a distorção causada as linhas de fluxo devido à presença do poço.

O método da diluição em poços é melhor aplicado a formações homogêneas como o arenito de aluvião e as areias.

Na presença de correntes verticais significativas ou rochas fraturadas e cársticas, os resultados dos métodos de diluição são utilizados somente qualitativamente. Mesmo as medidas qualitativas são de imensa importância prática nas investigações das águas subterrâneas.

Os resultados do método de diluição em um poço, em princípio, pode ser extrapolado ao aquífero que o envolve. Esta extrapolação é válida em todos os casos onde há fluxo horizontal ao longo de todo o poço. Se o aquífero é composto de camadas quebradas ou deslocadas, os poços devem estar mais próximos para se obter dados confiáveis relativos a todo o domínio da água subterrânea.

Certas vantagens do método de diluição podem ser listadas como segue:

- a investigação pode ser feita em águas subterrâneas sem serem bombeadas e então fornecer a velocidade de fluxo do aquífero sem induzir tensões;



- se a construção do poço é bem feita, pode-se obter informações detalhadas sobre a estratificação do aquífero;
- as medidas podem ser feitas em poços de qualquer diâmetro  $\geq 1,5"$ ;
- é econômico determinar a velocidade da água subterrânea por este método.

#### COMPARAÇÃO DO MÉTODO DE DILUIÇÃO E DOS TESTES DE BOMBEAMENTO

Usando o método de diluição podemos determinar a velocidade de filtração (i.é., velocidade de Darcy) e, se o gradiente é conhecido, a permeabilidade  $K_3$  do aquífero. Os métodos tradicionais para determinação do valor de  $K_3$  são: o teste de bombeamento e o "packer test". É interessante, então, comparar o método de diluição e os métodos de bombeamento convencionais para verificar a extensão a qual estes métodos se confirmam e se completam um ao outro. Os pontos a seguir devem ser mencionados quando se procura uma comparação relativa dos métodos.

a) O cálculo de  $K_3$ , baseado na lei de Darcy, em todos os casos, requer que se conheça o gradiente (I) da água subterrânea no local. A determinação de (I) dos diferentes níveis da água subterrânea nos poços parece simples, no princípio, mas pode tornar-se problemático se: a rede de poços não estiver o suficientemente próximo; se a água subterrânea estiver sob tensões, se as sondas estiverem a diferentes pressões ou se as fundações das estruturas penetrarem na zona da água subterrânea (zona saturada).

b) A zona de influência do aquífero, da qual os valores de  $K_3$  são derivados, através do método de diluição e pelos métodos de bombeamento, difere consideravelmente. O método de diluição pode investigar cada camada verticalmente.

Os "packer" testes fornecem uma média dos valores de  $K_3$  em volta do fundo do poço, enquanto que os testes de bombeamento fornecem um valor de  $K_3$  que se relaciona com a espessura do aquífero penetrada pelo poço. Horizontalmente, a zona de influência dos diversos métodos em relação ao diâmetro do filtro,  $2r_1$ , pode ser expressa aproximadamente como:

$\alpha 2r_1$  para o método de diluição

$10r_1$  para o "packer" teste

$10 - 10^3 r_1$  para os testes de bombeamento (dependendo do tipo de medida).

No método de diluição, a densidade da linha de fluxo da água subterrânea é medida no plano horizontal, enquanto que, no teste de bombeamento, envolve tanto o plano vertical quanto o horizontal.

Pode-se dizer que os valores de  $K_3$  determinados pelos métodos da diluição e "packer" podem ser comparados mais facilmente. Na comparação entre o método da diluição e os testes de bombeamento em grandes áreas, só haverá concordância nos resultados, se os pontos medidos pelo método da diluição forem representativos de todo o aquífero. No geral contudo, os valores máximos de  $K_3$  obtidos pelo método de diluição podem ser esperados maiores que aqueles fornecidos pelo teste de bombeamento, pois as camadas finas, de permeabilidade menor, não afetam o método de diluição devido à presença da camada de pedregulho.

c) Os resultados dos dois métodos podem ser comparados se não houver variações muito grandes nos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, tais como, o nível da água, cargas e descargas e outras condições de campo que podem variar com o tempo.



As determinações sistemáticas do valor de  $K_3$ , primeiro pelo teste "packer", depois pelo método de diluição, foram feitas anteriormente na Alemanha. Os testes "packer" foram feitos instalando-se uma ponteira perfurada, a várias profundidades, durante a perfuração do poço. O valor  $K_3$  foi obtido através de um experimento de bombeamento de pequena escala, tanto em condições hidrostáticas quanto dinâmicas<sup>(30)</sup>. Ao todo, 38 unidades foram efetuadas no aluvião do rio. A concordância entre os pares de valores medidos foi até de 85%<sup>(31)</sup>. Em 15% dos casos, a diferença era menor do que 10%, em 30% dos casos estava entre 10 e 25% e, em 35% estava entre 25 e 50%.

Gaspar et. al. fez medidas em areias e pedregulhos, e os resultados do método de diluição estão de acordo com aqueles obtidos pelo método do bombeamento.

Medidas comparativas semelhantes foram reportadas por Milde<sup>(33)</sup>, Keratzschmar<sup>(34)</sup>, Duost et.al.<sup>(35)</sup> e IFR<sup>(36,37,38)</sup> e, em todos os casos os dados obtidos para leitos de cascalho forneceram resultados satisfatórios.

O nosso grupo e o grupo de hidrologia aplicada do IPT, chefiados pelo Dr. Porpeu, fizemos uma tentativa no sentido de comparar os testes de bombeamento e os de diluição puntual, em um poço de testes localizado no complexo do IPT.<sup>(39)</sup> A velocidade de filtração determinada pela diluição radioisotópica foi de  $3,7 \text{ cm/d}$ . O valor do gradiente hidráulico determinado pelo IPT foi de  $1,3 \times 10^{-2}$ <sup>(40)</sup>. A permeabilidade do aquífero calculada pela equação

$$v_f = K_3 I$$

foi de  $3,3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ . A permeabilidade calculada pelo teste convencional de bombeamento foi de  $8,5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ <sup>(41)</sup>. Então, há uma boa concordância entre os resultados obtidos pela técnica de diluição e o teste de bombeamento.

Em vista disto, pode-se dizer que o método de diluição pode prover, na maioria dos casos, os mesmos resultados que os métodos de bombeamento, em geral one rosos.

Usado como complemento à técnica de bombeamento, o método de diluição for nece os valores de  $K_f$  estratificados, em uma perfilagem vertical do poço.

#### CONCLUSÕES

- 1) As técnicas isotópicas, como alternativa ou suplemento das técnicas hidrológicas convencionais, fornecem informações essenciais nas diversas investigações de recursos hídricos, poluição de águas e geologia de engenharia;
- 2) Há necessidade de aumentar a cooperação entre as organizações que fazem uso das técnicas hidrológicas convencionais e as organizações que utilizam - se das técnicas nucleares/isotópicas, na hidrologia;
- 3) Em aluviões e formações arenosas, as técnicas de diluição de traçadores radioativos podem fornecer, na maioria dos casos, os mesmos resultados que os experimentos, em geral onerosos, do teste de bombeamento. Se a construção do poço for executada apropriadamente, podemos obter informações detalhadas da estratificação hidrológica do aquífero.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) I.A.E.A.: "Radio-isotopes in Hydrology." Vienna, 1963.
- 2) I.A.E.A.: "Isotopes in Hydrology." Vienna, 1967.
- 3) I.A.E.A.: "Isotope Hydrology." Vienna, 1970.
- 4) I.A.E.A.: "Symp. Isotope Techniques in Ground Water Hydrology-1074." Vienna.
- 5) HALEVY, E. et al: "Bore-hole Dilution Techniques: A Critical Review". Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1967, p.531.



- 6) BATSCHKE, H. et al: "Kombinierte Karstwasser Untersuchungen im Gebiet der Donauversickerung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1967-69." Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Vol.22, 1970, pp. 5-165.
- 7) MANDEL, S.: "Hydrogeological Field Work with Radioactive Tracers in Israel up to May 1960." Extract of Publication N° 52 of Commission of Subterranean Waters, Israel.
- 8) HALEY, E. and NIR, A.: "The Determination of Aquifer Parameters with the Aid of Radio-active Tracers." J.Geophys. Res., Vol.67, 1962, pp. 2403-9.
- 9) BOROWCZYK, M. et al: "Single-Well Pulse Technique." Isotopes in Hydrology, IAEA Vienna, 1967, p. 507.
- 10) BOROWCZYK, M. et al: "Radio-isotope Measurements of Ground Water Flow Direction by Single Well Method" Nukleonika, Vol. 10, 1965, p. 19.
- 11) MAIRHOFER, J.: "Die Bestimmung der Grundwasserströmung am Ostufer des Neusiedlersees." Report of BVFA Vienna to Neusiedlersees Planungs-gesellschaft, Vienna, 1966.
- 12) WURZEL, P. and WARD, P. R. B.: "A Simplified Method of Ground Water Direction Measurements in a Single Bore-hole." J. Hydrol., Vol. 3, 1965, p.97.
- 13) DROST, W.: "Die Anwendung Radioaktiver Isotope bei Grundwasser-messungen." Isotopenmethoden in Hydrologie, München, 1971.
- 14) DROST, W.: "Grundwasser messungen mit Radioactiven Isotopen," Geologica Bavarica, Vol. 64, 1971, pp. 167-96.
- 15) FIELDER, A.G.: "The Au Deepwell Current Meter and its use in the Roswell Artesian Basin, New Mexico." U.S. Geol. Survey Water Supply, Paper 596, 1928, p. 24.
- 16) MEINZER, D. E.: "Methods of Exploring and Repairing Leaky Artesian Wells." U. S. Geol. Survey Water Supply, Paper 596, 1928, p. 1.
- 17) DROST, W. : "Der Tracerlog, ein neues Bohrlochverfahren zur Grundwasser - messung mit Radioaktiven Isotopen." Strahlungs und Isotopenanwendung im Bauwesen, Brüssel, Report N° 23, 1970.
- 18) "Annual Reports": Institut für Radiohydrometrie, GSF, München, 1964, 1965 , 1967, 1968.
- 19) "Annual Reports" : Forschungsinstitut für Radiohydrometrie, Universität München, München, 1963.
- 20) MOSER, H. et al: "New Experiences with the Use of Radio-active Isotopes in Hydrology." Radio-isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1967, p. 93.
- 21) BOROWCZYK, M. et al: "A Single Well Pulse Technique: Outline of the Method, an Example of Application and Comparison with other Methods." IAEA Report , Contract N° 177/R2/RB, 1966.
- 22) MAIRHOFER, J.: "Ground Water Flow and Direction Measurement by Means of Radio-isotopes in a Single Well." Isotope Techniques in Hydrological Cycle, Geophysical Monograph Series 11, 1967, pp. 119-29.
- 23) HULL, D. E.: "The Total Count Technique: A New Principle in Flow Measurement" Int. J. Appl. Radiat. Isotopes, Vol. 4, 1958, p. 1.
- 24) DINCER, T.: "Application of Radio-tracer Methods In Streamflow Measurements" Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1967, pp. 93-110.
- 25) T. Dincer, Water Resources Res. 4, 1289 (1968).
- 26) B.R. Pyane, J. Hydrology, 11, 47 (1970).
- 27) J. C. Fontes, R. Gonfiantini, M.A. Roche, IAEA, Proc. Symp. "Isotope Hydrology", Vienna, 387 (1970).
- 28) M. Meybeck, et. al, IAEA, Proc. Symp. "Isotope Hydrology", Vienna, 523 (1970).
- 29) G. H. Davis, et. al, IAEA, Proc. Symp. "Isotope Hydrology", Vienna, 451 (1970).



- 30) LOHR, A. Beitrag zur Ermittlung des  $K_h$  - Metes durch hydraulische Feldversuche. Gas-und Wasserfach., 110: 369 - 76, 1969.
- 31) DROST, W. Grundwassermessungen mit radioaktiven Isotopen. Geologica bav., 64: 167 - 96, 1971.
- 32) GASPAR, E.; ONESCU, M.; BISIR, D. Field determination of soil permeability by the nuclear methods. Bukarest, IFA, 1967 (MR-29).
- 33) MILDE, G. Die Anwendung von radioaktiven Isotopen bei montanhydrogeologischen Untersuchungen. Isotopentechnik, 2: 328 - 35, 1962.
- 34) KRATZSCHMAR, H. Vergleichende Untersuchungen bekannter und neuerer geohydrologischer Verfahren. Wiss. Zeitschr., 13: 1057-9, 1964.
- 35) DROST, W.; KLOTZ, D.; KOCH, A. MOSER, H.; NEUMAIER, F.; RAUERT, W. The Bore hole dilution method of measuring groundwater filtration velocity. Munchen, Gesellschaft fur Strahlenforschung M.B.H., Mar, 1968 (GSF-Bericht R-16).
- 36) INSTITUT FUR RADIOHYDROMETRIE. Annual report. Munchen, GSF, 1964.
- 37) INSTITUT FUR RADIOHYDROMETRIE. Annual report. Munchen, GSF, 1965.
- 38) INSTITUT FUR RADIOHYDROMETRIE. Annual report. Munchen, GSF, 1969.
- 39) CHANDRA, U., AOKI, P.E., RAMOS e SILVA, J.A., CASTAGNET, A.C., Measurement of Flow and Direction of Ground Water By Radioactive Tracers. Hydrological Evaluation of a Waste Disposal Site at "Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)", IPEN-Pub. - 28, Maio 1981.
- 40) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Levantamento do lençol freático do IPT (projeto LELEFRIPT). São Paulo, SP, 17 set. 1975. (Relatório nº 8454)
- 41) Comunicação Pessoal, Dr. Pompeu, Grupo de hidrogeologia, IPT.