

## AVALIAÇÃO GEOHIDROLÓGICA DO LOCAL PARA ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS DE BAIXO NÍVEL DE RADIOATIVIDADE DO IPEN

Sérgio Marcelino  
Umesh Chandra

Centro de Aplicação de Radioisótopos e Radiação  
na Engenharia e na Indústria — CARREI — Diretoria Executiva I  
do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares — IPEN

### ABSTRACT

The present paper deals with geohydrological evaluation of a site within Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares which has been proposed for storage of low level solid radioactive wastes.

Two wells were constructed at the site to serve as monitoring wells. Ground water velocity in these wells was determined using point dilution technique with chromium-51 (EDTA) as radioactive tracer.

The geohydrological data obtained are discussed to evaluate the suitability of the site for storing solid wastes of low level radioactivity.

### INTRODUÇÃO

Como qualquer indústria, a nuclear também produz rejeitos que tem de ser tratados e dispostos no meio ambiente, de tal maneira que a população não receba qualquer radiação prejudicial. As normas e limites para as liberações de poluentes radioativos no ar e água são muito mais rigorosas (estritas) que as aplicadas aos poluentes convencionais. Estes limites têm sido fixados pelo ICRP e adotados por diversos países.

Devido às limitações muito mais estritas aplicadas às liberações de poluentes nucleares, o fator de segurança e o grau de confiança exigido nos casos de disposição de rejeitos radioativos é muitas vezes maior que em qualquer outro rejeito industrial.

Nós temos conhecimento de acidentes que ocorreram, mesmo nas operações muito bem planejadas tecnicamente, mas, a estatística e os relatórios de análise de segurança baseados em muitos anos de realizações operacionais, mostram, sem dúvida, que o número de casos fatais em indústrias nucleares é bem menor que em usinas geradoras convencionais.

Para que se mantenha um bom relacionamento entre a indústria nuclear e a população em geral, devemos informá-los sobre as práticas de manutenção do rejeito radioativo, a proteção do meio ambiente e os trabalhos de monitoração para tanto.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), antigo Instituto de Energia Atômica (IEA), é um dos Institutos que lidera o campo de pesquisas nucleares no país. O Instituto localiza-se dentro do campus da Universidade de São Paulo (USP) no bairro do Butantã, na margem esquerda do Rio Pinheiros (Fig. 1).

O reator nuclear IEAR-1 do Instituto tem operado com sucesso nos últimos 25 anos. Além disso, o Instituto tem vários Centros: o de produção de radioisótopos, o Centro de engenharia química, o Centro de metalurgia nuclear, os Centros de aplicação de radioisótopos na biologia, medicina e indústria; os quais, durante suas operações produzem uma quantidade pequena de rejeitos radioativos.

A maioria dos rejeitos radioativos produzidos no Instituto é de baixo nível de atividade e constituída de radionuclídeos de meias-vidas relativamente curtas.

Desta maneira a sua filosofia de estocagem em tanques de decaimento ou tratamento químico antes da sua diluição e dispersão, parecem ser adequados para a maioria dos rejeitos líquidos produzidos no Instituto. Para o caso dos rejeitos radioativos de nível de intermediária atividade, a filosofia de concentração (por precipitação e troca iônica) e a estocagem após o condicionamento (cimentação, betuminização, etc) está sendo adotada como prática de segurança mais segura.

Os resíduos radioativos líquidos produzidos no IPEN são submetidos a um tratamento físico-químico e, posteriormente, descarregados no rio Pinheiros, através da estação de tratamento primário da SABESP - Pinheiros.

Todos os rejeitos radioativos sólidos foram destinados à estocagem em tanques sobre o solo. Nenhum rejeito radioativo foi destinado à estocagem direta no solo. Planejou-se a armazenagem dos resíduos radioativos sólidos por um período de alguns anos, até que o método de disposição apropriado seja decidido, como um local centralizado para depósito dos rejeitos radioativos do país. A CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), supervisiona todas estas operações e provê normas de segurança e os procedimentos a serem adotados.

#### LOCAL DE ARMAZENAMENTO E DADOS EXPERIMENTAIS

O Instituto tem um novo local para o armazenamento de rejeitos radioativos sólidos. O sítio tem uma área de 1.500 m<sup>2</sup> e está localizado no centro do complexo do IPEN a um nível altimétrico adequado de 780m (Fig. 2).

Como o movimento de radioisótopos no solo é quase que totalmente através da água subterrânea, é importante estudarmos a geohidrologia da área que circunda o sítio de armazenagem.

Para tanto, foram construídos dentro do local dois poços de 20m de profundidade cada. Os poços têm 4" de diâmetro interno e são revestidos com um tubo de PVC rígido de 6mm de espessura. Na altura da camada permeável foram colocados filtros e ao redor dos tubos foi colocado um pré-filtro de areia graduada. Além de servir para o estudo dos parâmetros hidrogeológicos do local, estes poços servirão como poços de monitoração pós-operacional no futuro. O primeiro poço (1B) está localizado à jusante do sítio a uma distância de 10 metros. O segundo (2C) está dentro do local. A diferença de nível entre estes dois poços é de 5 metros. Os detalhes de construção dos poços e a sua geologia subterrânea até os 20 metros são mostrados nas figuras 3 e 4.

A camada superficial próxima ao poço 1B é predominantemente argilosa. Encontramos uma camada mais permeável de areia misturada com argila somente a uma profundidade de 18 a 20m. A camada superficial ao redor do poço 2C é também argilosa, mas há camadas definidas de areia que são muito mais permeáveis. A camada localizada a 18 metros, isto é, logo acima da rocha sã, é muito arenosa e permeável.

Para determinar o fluxo da água subterrânea foi usado um traçador radioisotópico. A velocidade da água subterrânea foi medida usando-se a técnica da diluição puntual em um único poço. Nesta técnica injetamos um radiotraçador no poço a uma profundidade e medimos a diluição da radioatividade "in-situ" usando uma sonda cintiladora gama. Aplicamos esta técnica rotineira em muitas investigações de água subterrânea. Os detalhes e aplicações desta técnica podem ser encontrados em (1,2).

Em nossos experimentos usamos o cromo-51 na forma do complexo EDTA, como traçador radioativo. Na forma complexante o Cr-51 não sofre adsorção e comporta-se como um bom traçador na água.

As curvas de diluição da radioatividade nos dois poços são mostrados nas fig. 5 e 6. A velocidade da água subterrânea tem sido calculada usando a seguinte expressão:

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

$v_f$  = velocidade de filtração, isto é, velocidade de Darcy da água subterrânea;

$r_1$  = raio interno do poço;

$C, C_0$  = contagens radioativas por minuto no detector num tempo  $t = t$  e  $t = 0$ , respectivamente;

$\alpha$  = fator de correção para a distorção das linhas de fluxo da água subterrânea devido à presença do poço. Para o nosso caso,  $\alpha$  foi determinado e valeu 3,5.

Os resultados da velocidade de filtração e da velocidade real, em acordo com a porosidade da formação tomada como sendo 30%, são mostrados na tabela 1.

Tabela - 1: Velocidade da Água Subterrânea no Local de Armazenamento de Rejeitos Radioativos do IPEN

Poços	Poço de Monitoração 1B	Poço de Monitoração 2C
Velocidade de Filtração (cm/dia)		
Velocidade de Filtração (Darcy)	20.8	46.1
Velocidade Real	69.2	153.8

As medidas da direção do fluxo das águas subterrâneas nestes poços usando radioisótopos estão em fase de execução. Espera-se que a direção das águas subterrâneas siga o desnível da topografia, na direção ao Rio Pinheiros.

#### AVALIAÇÃO DOS DADOS GEOHIDROLÓGICOS E DO LOCAL

O novo local está no nível mais alto da topografia e provido com uma drenagem adequada. Então, não é provável que haja erosão do solo mesmo em caso de tempestades.

A média de chuva anual na região é por volta dos 1.300mm e a média de evaporação anual, por volta dos 850mm. A chuva não é significativa e a taxa de evaporação é relativamente alta no sentido da contaminação alcançar o lençol freático.

Topograficamente o sítio está localizado em um local privilegiado. A drenagem sub-superficial irá, finalmente fluir na direção do canal do Rio Pinheiros.

A geologia sub-superficial revelada durante a construção dos dois poços, mostra que o sítio tem uma boa cobertura de argila. O manto de argila é mais espesso nas proximidades do poço LB. A presença da argila é vantajosa de duas maneiras: ela reduz a infiltração vertical da chuva e, em segundo lugar, age como um bom meio absorvedor de radionuclídeos, no caso de haver uma liberação acidental ou, de outro modo, no caso de armazenamento de lixo diretamente no solo.

Nós encontramos rocha intemperizada a quase 20m de profundidade. A drenagem sub-superficial seguirá, então, a topografia da rocha sã. Ela entrará nas rochas quando houver fraturas e aparecerá na superfície onde houver um desnível repentino na topografia superficial. O sítio não é adequado para o armazenamento direto de rejeitos sólidos no solo porque a espessura da camada permeável é pequena, isto é, por volta dos 20m. Contudo, os rejeitos sólidos de meias-vidas curtas podem ser enterrados em valas e deixados para decair para economizar a capacidade de armazenagem acima do solo. Rejeitos sólidos, tal como "cakes", com meias vidas longas, e, particularmente, os emissores  $\alpha$  deveriam ser enlatados em tambores depositados acima do solo até que fosse escolhido um depósito final em um local mais apropriado.

O nível da água no poço 2C está a 10m da superfície do solo local enquanto que o nível do poço LB está a aproximadamente 16m da superfície do solo local. A água do poço LB não parece escapar rapidamente. Isto deve-se à presença de argila, que é mais porosa mas menos permeável. O poço 2C está interceptando mais camadas permeáveis e a sua água renova-se com maior rapidez que a do poço LB.

Os dados de velocidade da água subterrânea mostraram que a velocidade de filtração no poço 2C é muito maior que aquela próxima ao poço LB. Isto está de acordo com a geologia do local. A permeabilidade da formação geológica do poço 2C é muito maior que a do LB.

O lençol subterrâneo na região de investigação é mais transitório do que aquele encontrado próximo ao complexo do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) ou mesmo da USP. Isto deve-se à topografia dos locais onde estão instalados os poços LB e 2C. O lençol subterrâneo medido em um poço no IPT está a aproximadamente 3,5m abaixo da superfície. A diferença de nível entre os poços do IPT e os do IPEN é aproximadamente 60m e estão distanciados de 1,0km, aproximadamente. À medida que descemos, o gradiente topográfico bem como o hidráulico diminuem rapidamente. Desta maneira, a velocidade de filtração que é maior no poço 2C decairá rapidamente. Medidas recentemente feitas por nós, do IPEN, usando o mesmo método produziu um valor de 3,6cm/d<sup>(1)</sup> que é muito baixo devido ao baixo gradiente hidráulico na área que cobre o IPT. O gradiente topográfico entre o IPT e o canal do Rio Pinheiros é muito pequeno. A água subterrânea nas proximidades do IPT flui na direção do canal do Rio Pinheiros com uma velocidade de filtração tão pequena quanto 3,6cm/d.

O lençol freático transitório dos poços do IPEN podem não estar diretamente ligados com o lençol freático permanente encontrados no IPT.

A direção local da drenagem sub-superficial pode variar dependendo da topografia superficial, da topografia da rocha base mas, finalmente a direção regional da drenagem sub-superficial irá dirigir-se para o canal do Rio Pinheiros. É difícil de imaginar que a drenagem sub-superficial local, do sítio, dirija-se para a Avenida Corifeu na direção sul, ou em direção ao Instituto Oceanográfico na direção nordeste.

O canal do Rio Pinheiros está a aproximadamente 2km de distância do sítio. A população que mora dentro de um círculo de 2km é de aproximadamente 40.000 habitantes. Não há uso doméstico da água subterrânea dentro desta distância e nem uso deste solo para fins de agricultura. Não há, também, vegetais ou produtos fluviais que se originem desta área para consumo da população.

Então, se o sítio for usado para armazenagem temporária de rejeitos radioativos sobre o solo, ou mesmo se forem enterrados lixos radioativos sólidos de meia vida curta, não há nenhum risco de que a contaminação alcance o público em geral. As operações do IPEN em termos de geração de lixos radioativos é pequena e qualquer acidente que possa proporcionar contaminação ao público através da água subterrânea é praticamente impossível. Os rejeitos radioativos de meia vida curta irão decair naturalmente e serão absorvidos no solo meio argiloso, antes de alcançarem o lençol freático permanente do aquífero, à jusante, nas proximidades do Rio Pinheiros.

#### CONCLUSÃO

Das discussões anteriores pode-se concluir que:

- 1) O sítio selecionado pelo IPEN para o armazenamento de rejeitos radioativos está bem localizado e é seguro;
- 2) Os rejeitos sólidos contendo radionuclídeos de meias vidas curtas podem ser enterrados em valas sem qualquer risco de contaminação do público em geral;
- 3) Rejeitos sólidos contendo radionuclídeos de meias vidas longas e lixos contendo emissores alfa devem ser armazenados em latões de boa qualidade, sobre o solo.

#### REFERÊNCIAS

- 1) 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.
- 2) HALEY, E., MOSER, H., ZELHOFER, O., ZUBER, A., Borehole Dilution Techniques: A Critical Review in Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna, 1967, pp 531-564.

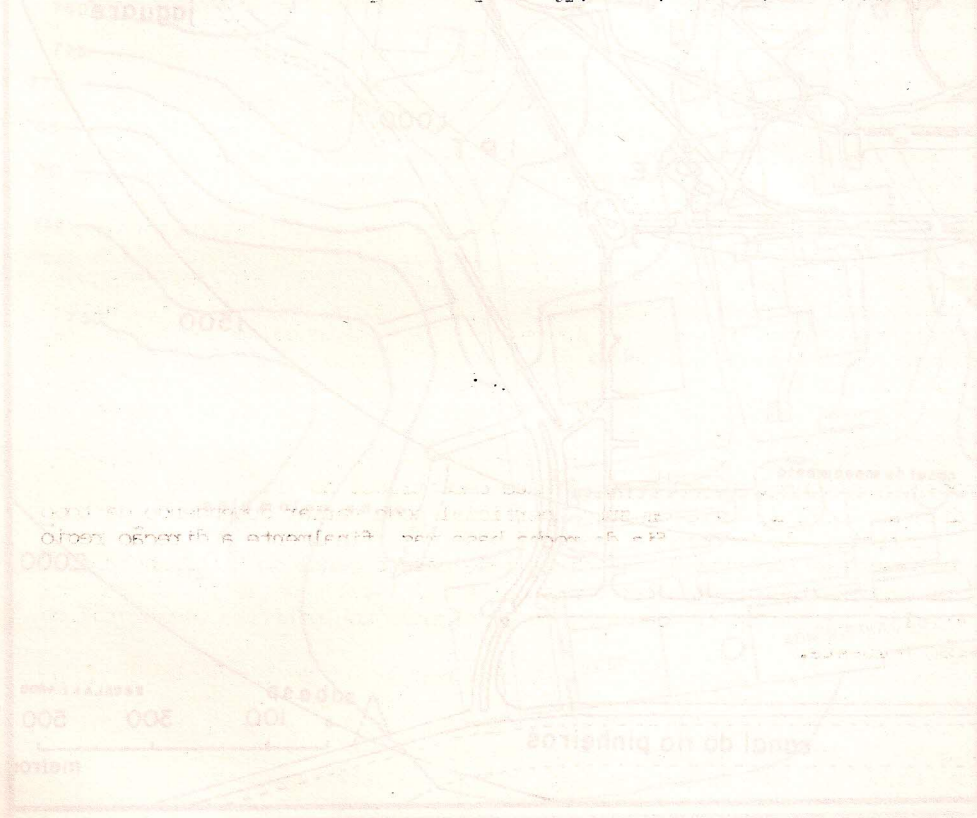


fig.-I. LOCAL DE ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

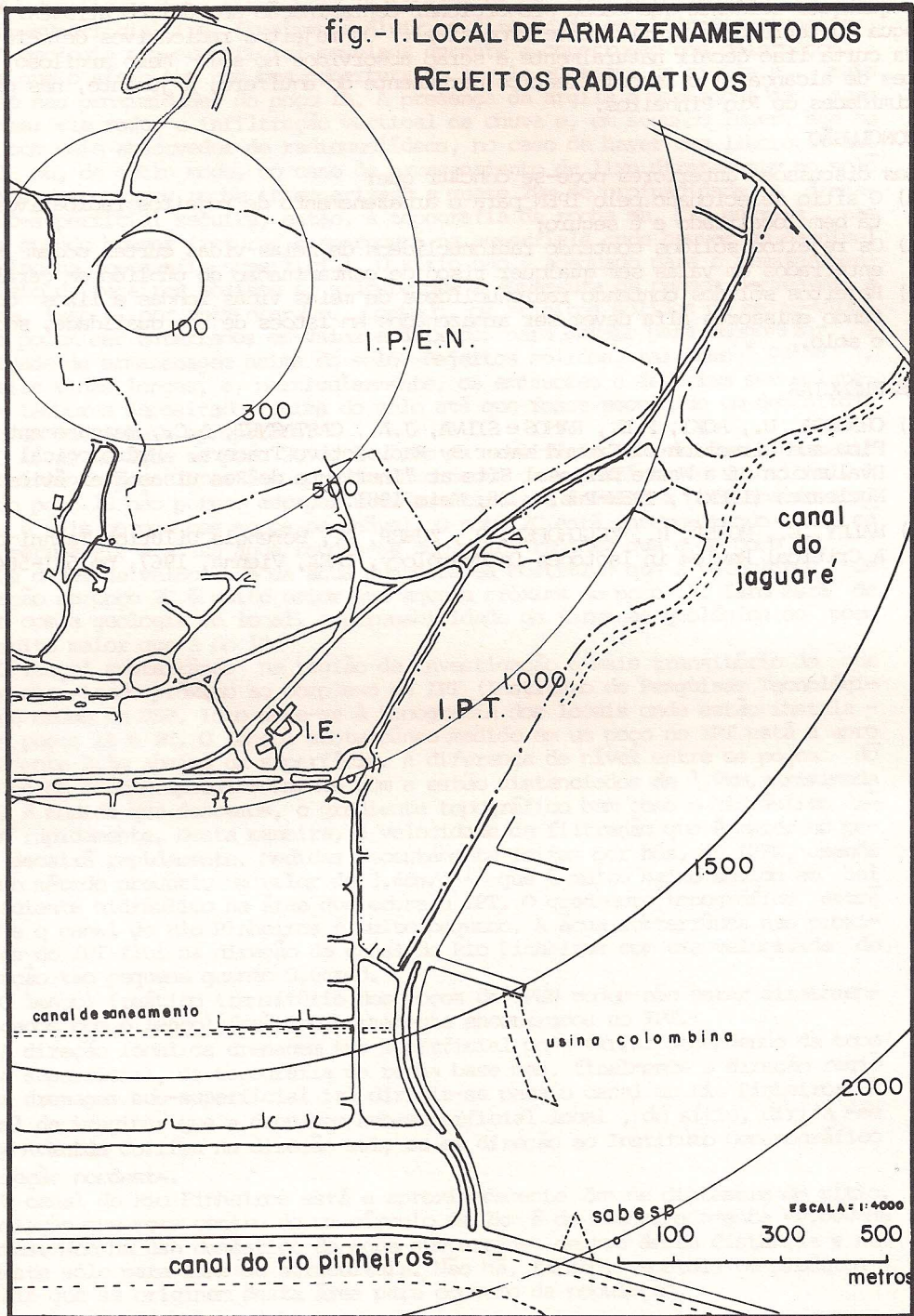
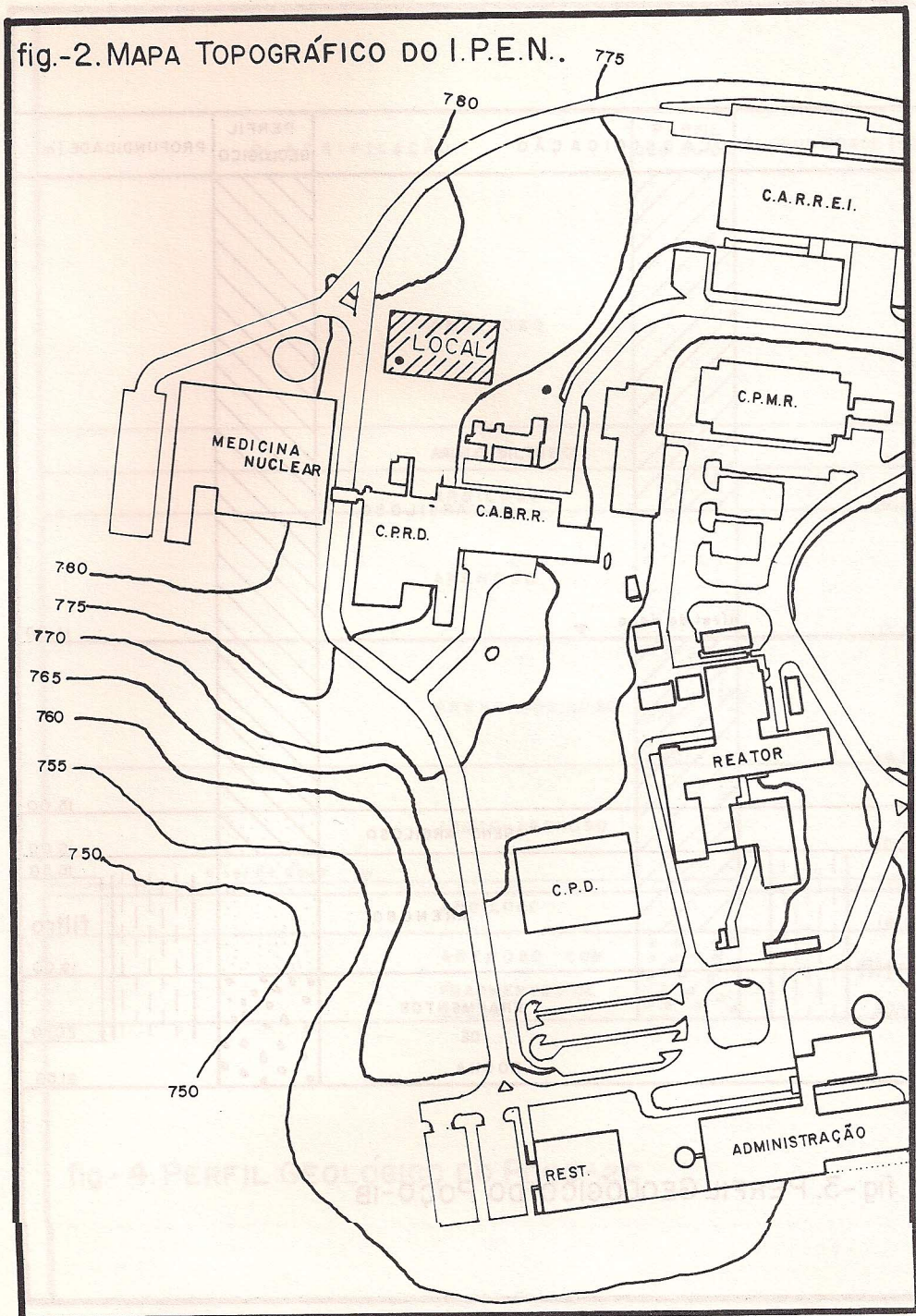
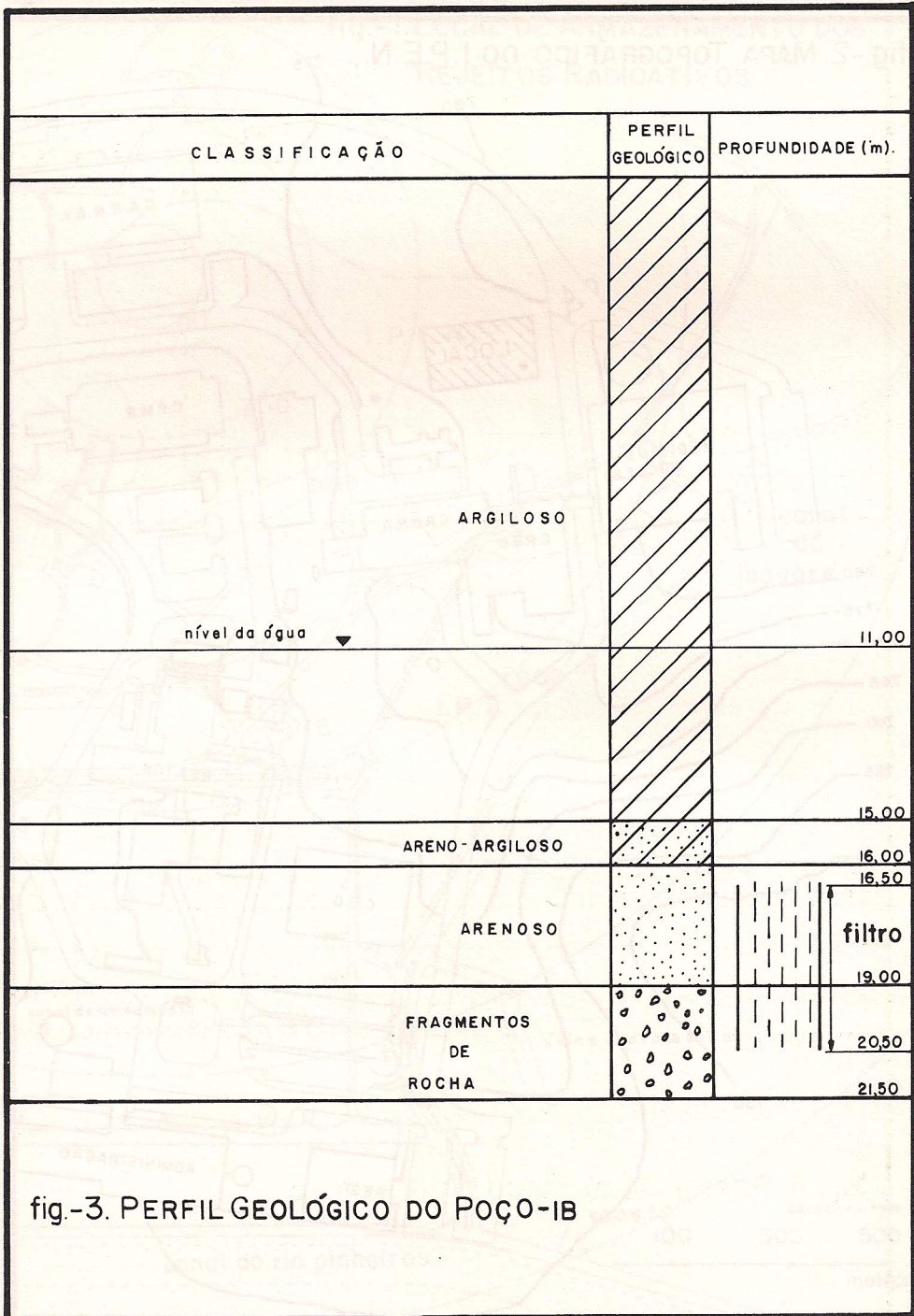


fig.-2. MAPA TOPOGRÁFICO DO I.P.E.N..







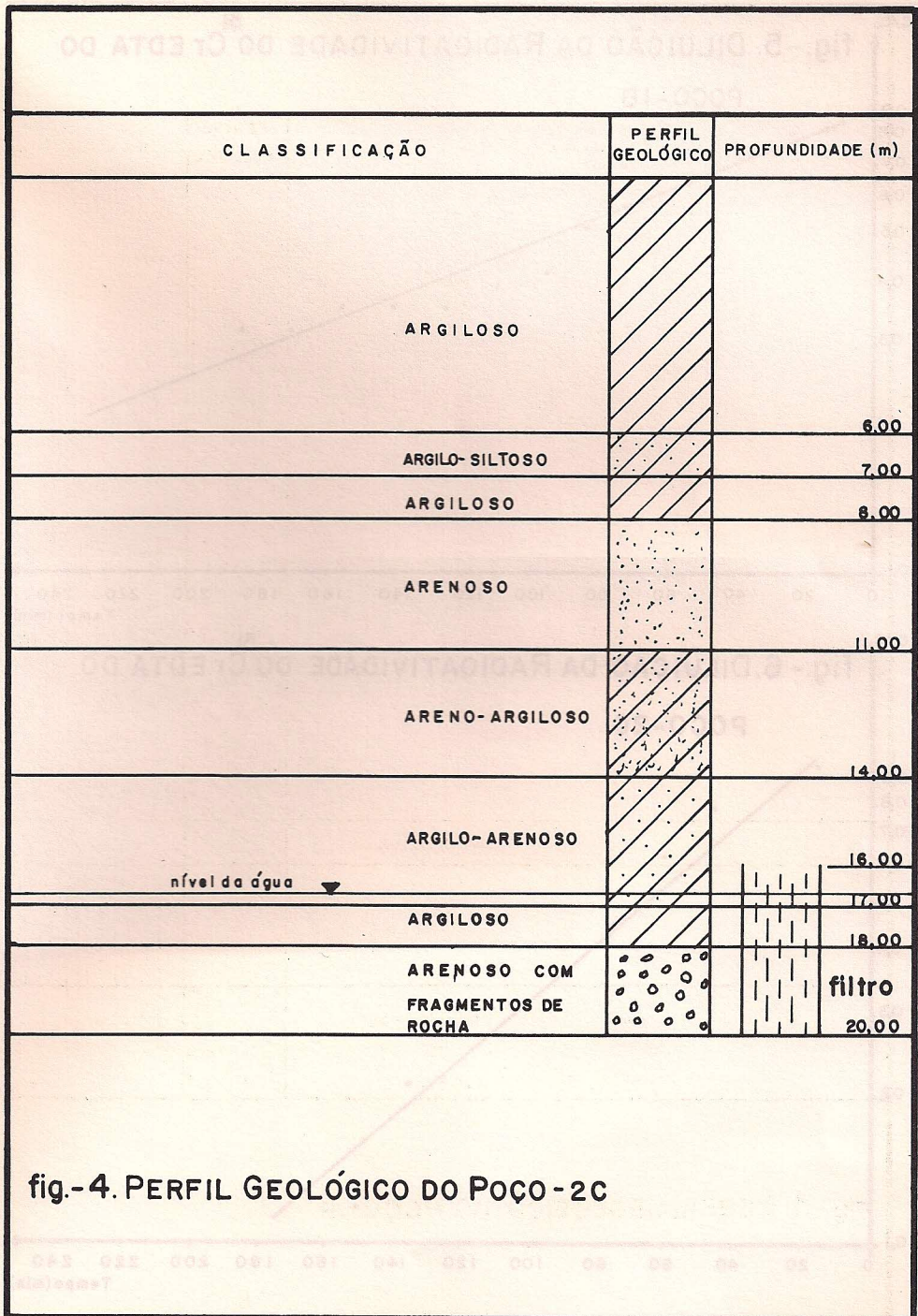


fig.-4. PERFIL GEOLÓGICO DO POÇO - 2C

