

Dispersão dos Resíduos Líquidos Radioativos, Efluentes da Produção de I^{131} pelo Instituto de Energia Atômica, em Águas da Bacia do Alto Tietê

ENG. JOSÉ MARIA COSTA RODRIGUES

INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos radioativos é um problema que vem preocupando a humanidade e especialmente os higienistas e sanitaristas.

É um ônus, um tributo, que deve ser pago em troca do progresso obtido graças ao desenvolvimento cada vez maior da tecnologia nuclear.

Os resíduos radioativos provenientes da irradiação do ácido telúrico para a produção do radioiodo, são, dentre os atualmente produzidos no IEA, os mais importantes do ponto de vista da proteção radiológica ou física sanitária.

A produção do I^{131} iniciou-se naquela Instituição em 1961 e desde então os efluentes do processo vêm sendo estocados.

No presente trabalho apresentamos uma análise preliminar do problema, principalmente tendo em vista a necessidade de uma solução imediata para a disposição do estoque existente.

Este estudo foi realizado em 1963 durante o período em que o autor trabalhou no Serviço de Proteção Radiológica do IEA, e é divulgado com autorização do Conselho Diretor do mesmo.

1. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

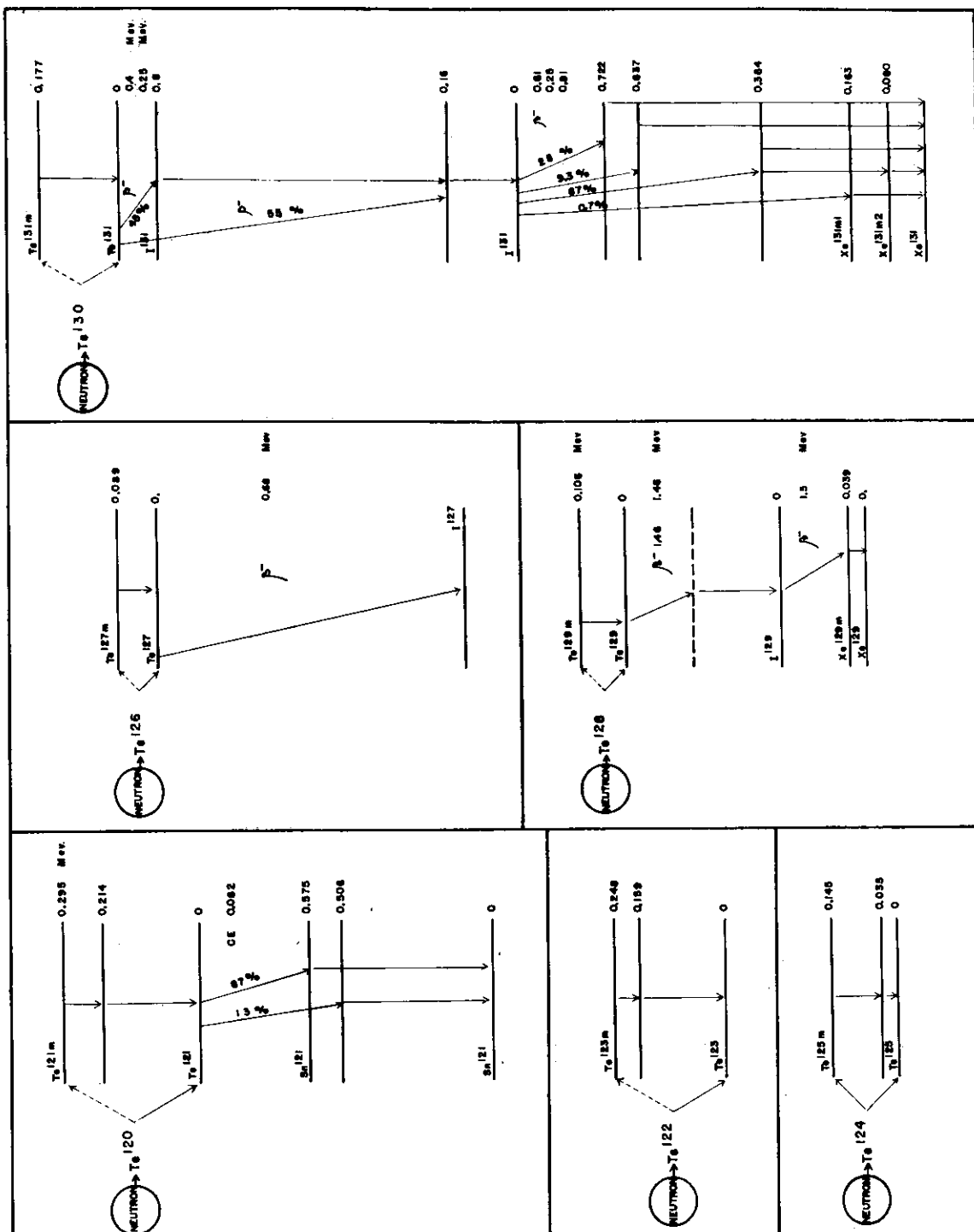
Características radioativas

O I^{131} vem sendo produzido no IEA há cerca de dois anos, pelo processo T_e^{131} (n, γ) I^{131} , sendo, para tal fim, empregado o ácido telúrico.

O Telúrio natural possui oito isótopos, dos quais os que interessam ao caso estão relacionados no Quadro n.º 1, bem como as respectivas abundâncias isotópicas, as secções de choque de ativação por neutrons térmicos, as meias vidas e as atividades específicas dos núclídeos gerados.

QUADRO N.º 1

| Alvo | Abundância isotópica % | Secção de choque (barns) | Núclídeo ativado | Meia vida | Atividade específica mc/gr |
|-------------|------------------------|--------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| T_e^{120} | 0,091 | | T_e^{121m} | 150 d | |
| | | | T_e^{121} | 17 d | |
| T_e^{122} | 2,5 | 1 | T_e^{123m} | 104 d | 0,3 |
| | | 2 | T_e^{123} | estável | |
| T_e^{124} | 4,6 | 0,09 | T_e^{125m} | 58 d | 4,5 |
| T_e^{126} | 18,7 | 0,09 | T_e^{127m} | 110 d | 0,2 |
| | | 9,8 | T_e^{127} | 9,3 h | 260 |
| T_e^{128} | 31,8 | 0,016 | T_e^{129m} | 33 d | 0,2 |
| | | 0,14 | T_e^{129} | 72 min | 113 |
| T_e^{130} | 34,4 | 0,01 | T_e^{131m} | 30 h | 2,2 |
| | | 0,2 | T_e^{131} | 25 min | 170 |
| | | | | | 550,4 |



Nota: Todos os níveis de energia são indicados em Mev.

Ilustração Nº 1
ESQUEMAS DAS REAÇÕES DE ATIVAÇÃO POR NEUTRONS DOS ISÓTOPOS DE TELÚRIO.

As atividades específicas indicadas acima são as originadas após 15 horas de irradiação de 1 gr de telúrio natural sob fluxo constante e uniforme de 2×10^{13} neutrons por cm^2 por segundo.

Os esquemas de decaimento radioativo dos diversos isótopos formados na irradiação do telúrio estão indicados na Ilustração n.º 1.

Formam-se três isótopos de iôdo, dois de xenon e um de antimônio, além dos telúrios.

O T_e^{130} produz o T_e^{131*} diretamente e através da forma metaestável T_e^{131m} . O T_e^{131*} é beta emissor decaindo para I^{129*} o qual também é beta emissor, originando finalmente o Xenônio¹³¹ que é estável.

O T_e^{128} origina o T_e^{129*} diretamente e através da forma metaestável T_e^{129m} . O T_e^{129*} é beta emissor decaindo para I^{129*} também beta emissor, que produz finalmente o Xenônio¹³¹ estável.

O T_e^{126} produz o T_e^{127*} diretamente e através da forma metaestável T_e^{127m} .

O T_e^{127*} é beta emissor e decai para o I^{127} que é estável.

Os T_e^{124} e T_e^{122} produzem respectivamente os T_e^{125} e T_e^{123} que são estáveis, diretamente e através das formas metaestáveis respectivas.

O T_e^{120} origina o T_e^{121} diretamente e através da forma metaestável T_e^{121m} .

Finalmente, o T_e^{121} , por meio de captura de electron na órbita K, dá origem ao antimônio¹²¹.

São estas, pois, as reações que têm lugar após o bombardeio com neutrons térmicos do Telúrio Natural.

Para cada uma destas reações, a variação temporal do número de átomos ativados durante a irradiação pode ser descrita pela equação diferencial

$$\frac{dN}{dt} = F - \lambda N \quad (1)$$

onde F é a razão de produção do nuclideo radioativo, sendo diretamente proporcional à densidade do fluxo de neutrons Φ (neutrons/seg., cm^2), à secção de choque microscópica σ ou probabilidade de choque com o átomo em questão (barns), ao número inicial N_0 de átomos existentes do elemento natural irradiado e à fração f (%) de ocorrência natural de cada isótopo respectivo.

$$F = \Phi \sigma N_0 f$$

λN é a razão de desaparecimento do nuclideo radioativo, sendo λ a constante de desintegração e N o número de átomos deste nuclideo no instante t.

A solução da equação (1) é dada por

$$N = \frac{F}{\lambda} \left(1 - e^{-\lambda t} \right) \quad (2)$$

ou em termos de atividade e meia vida

$$A = F \left(1 - e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}} \right) \quad (3)$$

Após um período de irradiação t, seguido de um período de resfriamento t' , o número de átomos e a atividade são dados por:

$$N_{(t+t')} = \frac{F}{\lambda} \left(1 - e^{-\lambda t} \right) e^{-\lambda t'} \quad (4)$$

$$A_{(t+t')} = F \left(1 - e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}} \right) e^{-0,693 \frac{t'}{T_{1/2}}} \quad (5)$$

A variação temporal do número de átomos radioativos formados numa segunda desintegração, como, por exemplo, o Iôdo¹³¹, pode ser descrita pela equação diferencial

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (6)$$

onde $N_1 = n.^o$ de átomos de T_e^{131} precursor
 $N_2 = n.^o$ de átomos de I^{131} descendente
 $\lambda_1 =$ constante de desintegração do T_e^{131}
 $\lambda_2 =$ constante de desintegração do I^{131}

Acoplando as equações (1) e (6), e impondo a condição inicial de inexistência de Telúrio¹³¹ ou Iôdo¹³¹, a solução do sistema é dada por

$$A_2 = F \left(1 + \frac{\lambda_1 e^{-\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \tag{7}$$

onde A_2 é a atividade do I^{131} produzido.

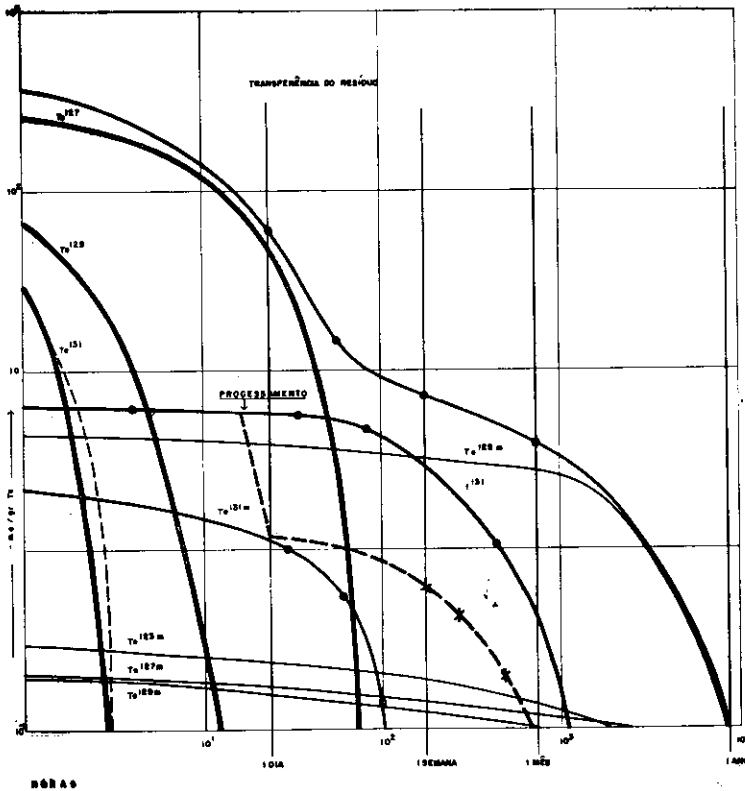
As equações (1) e (6) são válidas somente nos casos em que a única causa de desaparecimento de nuclídeos é a desintegração radioativa.

No quadro N.º 1 não foram calculadas as atividades dos T_e^{121m} e T_e^{121} , pois as secções de choque não são bem conhecidas. Existem, entretanto, fortes razões de ordem experimental, para que se suponha sejam as mesmas desprezíveis para os fins do presente estudo.

Após o término da irradiação, é o material transferido para a instalação de processamento, na qual são separados cerca de 80% do I^{131} . Para este fim, ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada são adicionados ao ácido Telúrico irradiado.

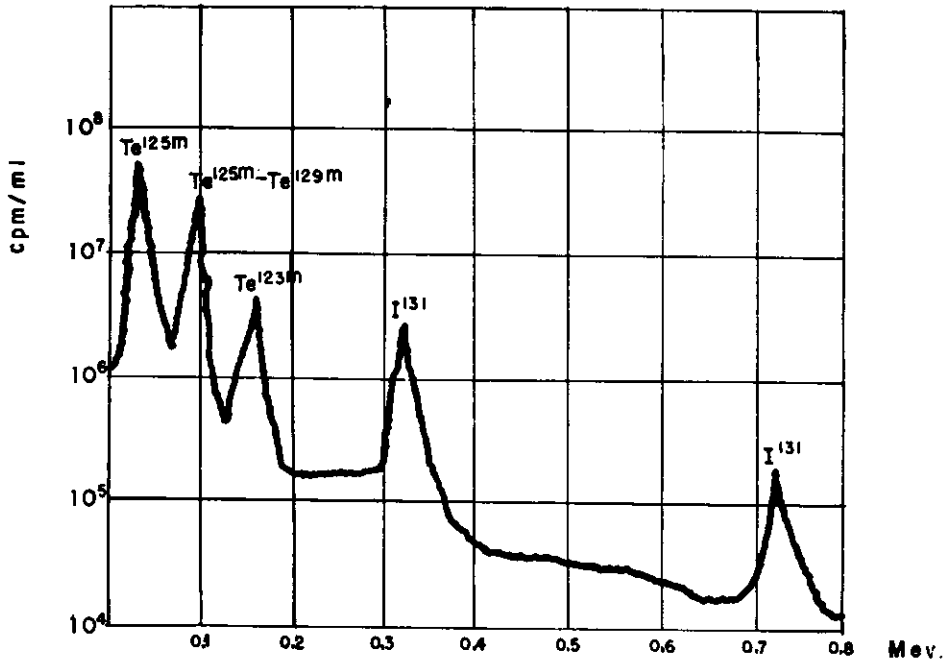
O volume do resíduo líquido efluente é da ordem de 0,5 litros por 100 gramas de ácido telúrico, ou aproximadamente 1 litro por 100 gramas de telúrio natural.

A ilustração N.º 2 indica o decaimento da atividade global desse resíduo e de seus componentes significantes para o presente estudo.

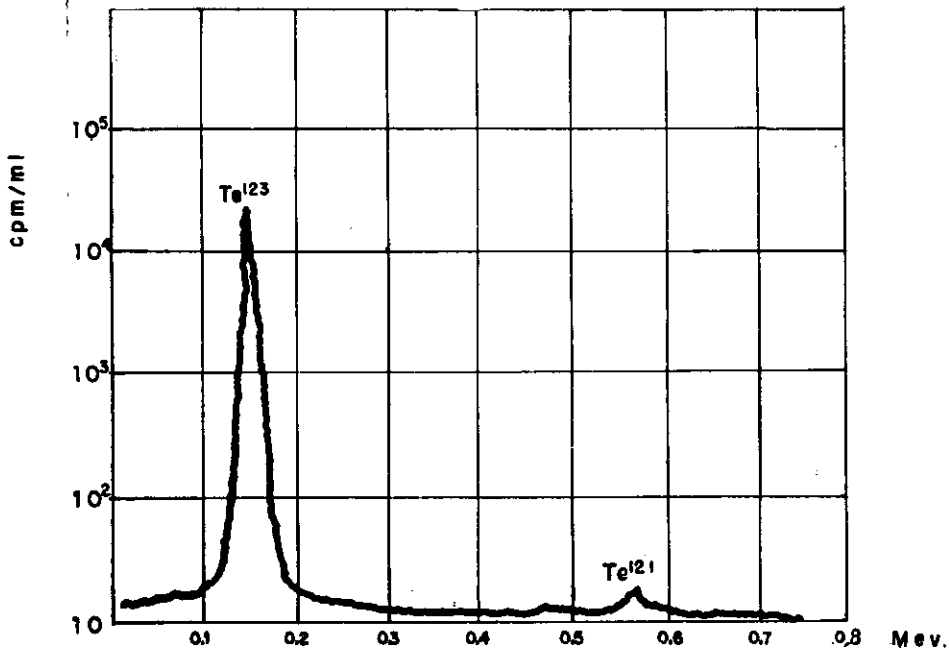


Atividade de resíduo de 1gr. de Telúrio sob fluxo de 2×10^5 n/cm²/seg durante 15 horas.

Obs. Com um resfriamento de uma semana a atividade é reduzida por um fator 10^3 sem considerar o T_e^{131} .



Espectrograma obtido com analisador multicanal de amostra de uma mistura de efluentes com ácido telúrico irradiado, com períodos de decaimento entre uma e seis semanas.



Espectrograma obtido com analisador multicanal de amostra de efluente com ácido telúrico irradiado, após um ano de decaimento.

Se adotarmos o critério da classificação de um resíduo radioativo, baseado na atividade por unidade de volume, este será classificado como de alta atividade (mais de 0,25 mc/l) até cerca de mil horas de resfriamento (decaimento), e de baixa atividade (menos que 0,25 mc/l) somente após 10.000 horas de resfriamento (decaimento).

Nota-se que a atividade global é reduzida por um fator 10 após cerca de cem horas de resfriamento, e que os isótopos mais significativos do ponto de vista da disposição final do resíduo são o Telúrio T_e^{125m} e o Iôdo I^{131} .

A ilustração N.º 3 representa espectrogramas obtidos com amostras desses resíduos.

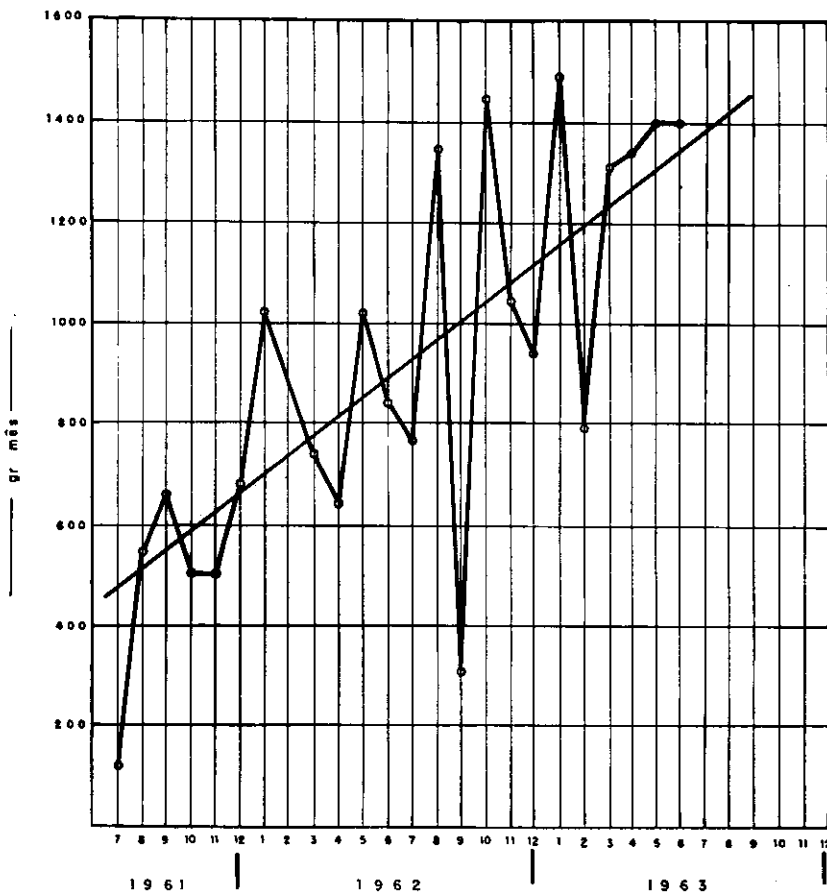
Características físicas e químicas

O resíduo do processamento químico do ácido Telúrico irradiado após a extração do radioiodo é transparente, incolor, com cheiro que revela presença de iôdo, pH inferior a 1, extremamente agressivo.

A produção média no IEA tem sido (Vide Ilustração n.º 4):

| | |
|------|------------------------------------|
| 1961 | 500 gr de $H_6T_eO_6$ irradi./mês |
| 1962 | 900 gr de $H_6T_eO_6$ irradi./mês |
| 1963 | 1100 gr de $H_6T_eO_6$ irradi./mês |

O máximo mensal verificou-se em janeiro 1963, com 1480 gr de ácido irradiadas.



QUANTIDADES DE ÁCIDO TELÚRICO IRRADIADO NO I. E. A. MENSALMENTE PARA PRODUÇÃO DE I^{131} —

Ilustração n.º 4

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO AMBIENTE RECEPTOR

Localização e dados hidrológicos

O IEA está localizado na Cidade Universitária, bairro Butantã, em São Paulo. Esta ocupa uma área de aproximadamente 3,8 km² à margem esquerda do Rio Pinheiros, limitada ao oeste pelo ribeirão Jaguaré e ao leste pelo Pirajussara, ambos afluentes do Pinheiros.

As cotas do terreno natural oscilam entre 720 e 800 m. A sub-bacia do Pinheiros faz parte da chamada Bacia do Alto Tietê, a qual é definida pela área de drenagem desde as cabeceiras até a barragem em Pirapora do Bom Jesus.

A vazão média dessa bacia foi admitida como 105 m³/s, com base em observação de 15 anos (1928-1942).

A contribuição da sub-bacia do Pinheiros representada principalmente pelos deflúvios do rio Grande e do Guarapiranga é da ordem de 30 m³/s em média.

A diferença, isto é, cerca de 70 m³/s em média, provém de outros afluentes do Tietê, sendo veiculada para a represa Billings por meio de três instalações de recalque indicadas no Quadro N.º 2.

QUADRO N.º 2

| | Capacidade atual | Capacidade futura |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Est. Bombas de Edgard Souza | 120 m ³ /s | 240 m ³ /s |
| Est. Bombas de Traição | 210 | 280 |
| Est. Bombas de Pedreira | 164 | 232 |

Da represa Billings, passando pela represa Rio das Pedras, são as águas conduzidas para as usinas hidroelétricas de Cubatão, atingindo a seguir o rio Cubatão e o Oceano pelo estuário de Santos.

Considerando que as máximas concentrações permitidas, de radioatividade nas águas, são calculadas em função do efeito acumulativo das doses máximas permitidas durante uma vida de 30 anos, é razoável basear os cálculos de diluição nas vazões médias anuais.

No presente estudo foram consideradas as seguintes vazões para efeito de cálculo das capacidades máximas de diluição:

| | |
|------------------|-------------------------|
| Ribeirão Jaguaré | 0,2 m ³ /s |
| Rio Pinheiros | 70,0 m ³ /s |
| R. Billings | 100,0 m ³ /s |
| Estuário | 120,0 m ³ /s |

A área da Cidade Universitária está situada na zona em que a precipitação média anual é da ordem de 1 300 mm.

A variação estacional enquadra-se na faixa que vai desde cerca de 230 mm/mês em fevereiro até 30 mm/mês em julho.

Na área periférica, não urbanizada da cidade, a água das chuvas pode ser aproximadamente considerada como dividindo-se na seguinte proporção:

| | |
|----------------------------|-----|
| 1 — escoamento superficial | 35% |
| 2 — infiltração | 25% |
| 3 — evaporação | 40% |

O solo na Cidade Universitária é típico das colinas da área da Capital e apresenta camadas de argila arenosa em alternância com camadas de areia grossa.

Um estudo do sub-solo, realizado em maio de 1946 em toda a gleba da Cidade Universitária, revelou, na encosta que drena para o ribeirão Jaguaré, a existência de lençol freático a pequena profundidade (2 a 3 metros), com gradientes hidráulicos da ordem de 0,02 m/m na direção Norte-Sul e 0,04 m/m na direção Leste-Oeste.

Na falta de dados sobre fluviograma da bacia do Jaguaré, adotamos para efeito do presente estudo os valores estimados de, 5 000 m³/ dia para valor médio do escoamento superficial da área da Cidade Universitária, e 500 m³/dia para a parcela daquele valor que transita via lençol freático. Este último valor foi propositalmente subestimado, a favor de segurança.

Sistemas sanitários de drenagem

A Cidade Universitária já é dotada de galeria de águas pluviais, sendo que as águas recolhidas na área do IEA são descarregadas no ribeirão Jaguaré após percurso de 2 300 m.

A rede de esgotos está projetada e em construção.

As águas servidas coletadas na Cidade Universitária serão recalçadas para o emissário da margem direita do rio Pinheiros, o qual descarregará na estação de tratamento de esgotos de Pinheiros. Esta estação encontra-se em início de construção, e irá possibilitar tratamento biológico pelo sistema de lodos ativados. O efluente líquido desta estação verterá para o rio Pinheiros. Os lodos digeridos serão recalçados para lagoas de secagem em Vila dos Remédios, de onde, possivelmente, sejam entregues a agricultores para adubação de culturas altas.

Os gases produzidos na digestão dos lodos serão possivelmente utilizados como combustível.

3. EXAME DE COMPATIBILIDADE

Aspectos Legais

O controle da poluição de cursos d'água em nosso país, é o objeto da seguinte legislação:

| | | | |
|----------|---|----------------|-------------------|
| Federal | — | Dec. n.º 24643 | de 10 julho 34 |
| | | 50877 | de 29 julho 61 |
| Estadual | — | Lei n.º 1561-A | de 29 dezembro 51 |
| | | 2182 | de 23 julho 53 |
| | | 3068 | de 14 julho 55 |
| | | Dec. n.º 24806 | de 27 julho 55 |

Nesta legislação, é proibido o lançamento de resíduos em cursos de água, a não ser quando se demonstre que as qualidades física, química e biológica da água não serão alteradas de forma inconveniente ao uso atual ou potencial da mesma.

O lançamento está sujeito a licenciamento por parte das autoridades sanitárias Estaduais.

A fiscalização é exercida por autoridades Estaduais (Sec. Saúde) e Federais (Min. Agric. — Div. Caça e Pesca).

Não há, na legislação, referência direta a poluição radioativa, a qual entretanto pode ser facilmente englobada no âmbito geral do conceito de poluição.

Por outro lado, o Dec. n.º 51726 de 19/2/63 que regulamentou a lei n.º 4118 de 27/8/62, estruturando a Comissão Nacional de Energia Nuclear, diz no Tít. II — Cap. I — Das Finalidades e Atribuições, ... em seu Art. 4.º:

“Compete à CNEN...

V — Estabelecer regulamentos e normas de segurança relativas ao uso das radiações e dos materiais nucleares e a instalação e a operação dos estabelecimentos destinados a produzir materiais nucleares ou a utilizar a energia nuclear e suas aplicações, e fiscalizar o cumprimento dos referidos regulamentos e normas, diretamente ou em colaboração com outros órgãos governamentais”.

Esse decreto é bem recente, nada havendo ainda de concreto, relativamente ao estabelecimento de regulamentos e normas, ou de organismos fiscalizadores, nem entendimentos com outras entidades governamentais para tal fim.

Aspectos Sanitários

O ICRP (International Committee of Radiation Protection) recomenda que, na análise dos riscos da radiação, seja a exposição prevista a radiações ionizantes classificada em 3 categorias:

Categoria A — Exposição ocupacional, isto é, relativa ao pessoal que trabalha com risco de radiação.

Categoria B — Exposição de grupos especiais, isto é, da população sujeita a eventual risco de radiação. População da vizinhança, ou que freqüenta, ocasionalmente, áreas controladas.

Categoria C — Exposição da população em geral.

A primeira categoria de exposição é a que deve ser levada em consideração nos problemas de proteção radiológica, enquanto que as categorias B e C são as que geralmente mais interessam no estudo de problemas de disposição final de resíduos radioativos. O grupo enquadrado na categoria B compreende a população circunvizinha a uma área onde se trabalha com energia nuclear, população esta não sujeita ao controle de proteção radiológica existente para o pessoal que trabalha efetivamente naquela área, fazendo jus, portanto, a um maior fator de segurança.

A categoria C deve ser considerada sempre que, no caso em estudo, existir a possibilidade da exposição sistemática de um grande grupo de pessoas, quando então a possibilidade de efeitos genéticos da radiação justifica a aplicação de um fator ainda maior de segurança.

O ICRP recomenda concentrações máximas permissíveis (CMP), na água e no ar, para radionuclídeos solúveis e insolúveis, relativos a exposições de indivíduos classificados na Categoria A, e recomenda que estes máximos sejam reduzidos por um fator 10 para a categoria B, e por um fator 100 para a categoria C.

As CMP dos radionuclídeos que interessam a este estudo são indicadas no Quadro n.º 3, bem como o órgão crítico correspondente, isto é, o órgão para o qual as condições de concentração, permanência e sensibilidade, para o radionuclídeo em questão, são as mais desfavoráveis.

QUADRO N.º 3

| Nuclídeo | CMP ($\mu\text{e}/\text{m}^3$) | Órgão Crítico |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| $T_e^{131\text{m}}$ | $6 \cdot 10^{-4}$ | Intestino |
| $T_e^{129\text{m}}$ | $8 \cdot 10^{-4}$ | Fígado, Testículos, Intestino |
| T_e^{129} | $8 \cdot 10^{-3}$ | Intestino |
| T_e^{127} | $6 \cdot 10^{-4}$ | Fígado, Testículos, Intestino |
| T_e^{127} | $3 \cdot 10^{-3}$ | Fígado, Testículos, Intestino |
| $T_e^{125\text{m}}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ | Fígado, Testículos, Intestino |
| I^{131} | $2 \cdot 10^{-5}$ | Tireóide |
| $I^{129\text{m}}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | Tireóide |

O ICRP prescreve também que, no caso de uma mistura de nuclídeos, deve ser satisfeita a relação

$$\frac{C_A}{\text{CMP}_A} + \frac{C_B}{\text{CMP}_B} + \dots \leq 1$$

onde:

C_A é a concentração do nuclídeo A na água

C_B é a concentração do nuclídeo B na água

CMP_A é a concentração máxima permitida para o nuclídeo A na água

CMP_B é a concentração máxima permitida para o nuclídeo B na água

Com relação ao despejo de resíduos radioativos em rêsdes de esgôto, existem recomendações específicas, para os casos I^{131} , P^{32} , C^{14} , consubstanciadas respectivamente nos "Handbook 49 e 53" do Nat. Bureau of Standards do Dep. of Commerce. Não existem ainda recomendações para o caso do Telúrio.

No cálculo das concentrações máximas permitidas na água, o critério utilizado foi o de limitar a dose máxima permitida, à exposição a que estaria sujeita uma pessoa que ingerisse, durante 30 anos, 2,2 litros de água diariamente, com aquelas concentrações. Esta dose seria aproximadamente de 60 rems para as gônadas e para o corpo todo.

No caso de despejo em rêsdes de esgôto, o critério adotado é o de admitir a ocorrência bastante remota de um acidente no qual uma pessoa submergisse por 30 segundos neste líquido e ingerisse 0,25 l., podendo receber nesta ingestão o equivalente em I^{131} , por exemplo, ao que é administrado a um doente como dose traçadora para fins de diagnóstico médico. Esta dose seria de 100 μ c, à qual equivale num volume de 0,25 l, a concentração de 0,4 μ c/ml. Considerando ainda u'a margem de segurança adicional, é recomendado o máximo de 0,1 μ c/ml.

Em casos de exposição de emergência, por acidente, recomenda-se (*) que as doses às quais possa ser exposta a população não ultrapassem os valores

10 rads para o corpo todo

15 rads para o esqueleto

25 rads para a tireóide

Estas doses que seriam recebidas pela população em geral, inclusive crianças, acidentalmente, uma ou no máximo duas vêsdes durante tóda a vida, correspondem à que um operador que trabalha com radiação pode acumular em um ano consecutivamente, durante 30 anos de trabalho.

Por outro lado, à ingestão de 100 μ c de Iódo 131 , dose comumente empregada para fins de diagnóstico médico, corresponde uma dose na tireóide de 185 rads aproximadamente.

Verifica-se, pois, que os limites acima referidos são bastante conservadores, pois no caso da tireóide, por exemplo, o máximo recomendado é bem menor que a dose para diagnóstico médico.

Na falta de uma recomendação específica para o caso presente, adotamos os limites acima, e acreditamos com segurança suficiente.

O Quadro n.º 4 indica as energias médias absorvidas por desintegração e as frações da quantidade ingerida que atingem os órgãos críticos, relativas ao $T_{1/2}^{125m}$.

QUADRO N.º 4

| Órgão Crítico | Fração que atinge o órgão crítico | Energia média absorvida |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Corpo todo | 25% | 0,15 Mev |
| Esqueleto | 2,3% | 0,51 Mev |
| Fígado | 1% | 0,14 Mev |

(*) Medical Research Council — British Med. Jr. 11-4-59.

Considerando os valores acima, os limites recomendados para exposições de emergência permitem as seguintes ingestões:

- 230 μC $T_e^{125\text{m}}$ correspondem a 10 rads no corpo todo
 63 μC $T_e^{125\text{m}}$ correspondem a 15 rads no esqueleto
 154 μC $T_e^{125\text{m}}$ correspondem a 25 rads no tireóide

Supondo pois que num acidente, com imersão em águas residuárias, seja possível a uma pessoa ingerir 60 μC de $T_e^{125\text{m}}$ num volume de 0,25 l, a concentração máxima correspondente e permissível seria de 0,24 $\mu\text{C}/\text{ml}$.

Podemos pois adotar o mesmo limite recomendado pelo Handbook 49 do Nat. Bur. of Standards, para o Iodo¹³¹, isto é 0,1 $\mu\text{C}/\text{ml}$, também para o caso presente de uma mistura de isótopos de Telúrio.

Aspectos Econômicos

Como já foi indicado quando procuramos caracterizar o meio ambiente receptor, o destino dos resíduos líquidos descarregados no rio Pinheiros é o Oceano, via Reprêsa Billings, reprêsa Rio das Pedras, Usina Hidroelétrica de Cubatão, rio Cubatão e Estuário de Santos.

A descarga do efluente radioativo do Instituto de Energia Atômica no rio Pinheiros pode ser feita de várias maneiras:

- Linha direta especial para este resíduo radioativo líquido.
- Transporte em recipientes até um ponto de lançamento.
- Descarga na galeria de águas pluviais junto ao IEA.
- Descarga na rede de esgotos junto ao IEA.
- Infiltração no lençol freático.

Na avaliação destas diversas alternativas deverão ser levados em conta não somente os custos iniciais de instalação e os de operação, como ainda os custos indiretos para cobertura dos riscos envolvidos em cada uma delas, bem como efeitos não imediatos como os da corrosão por exemplo.

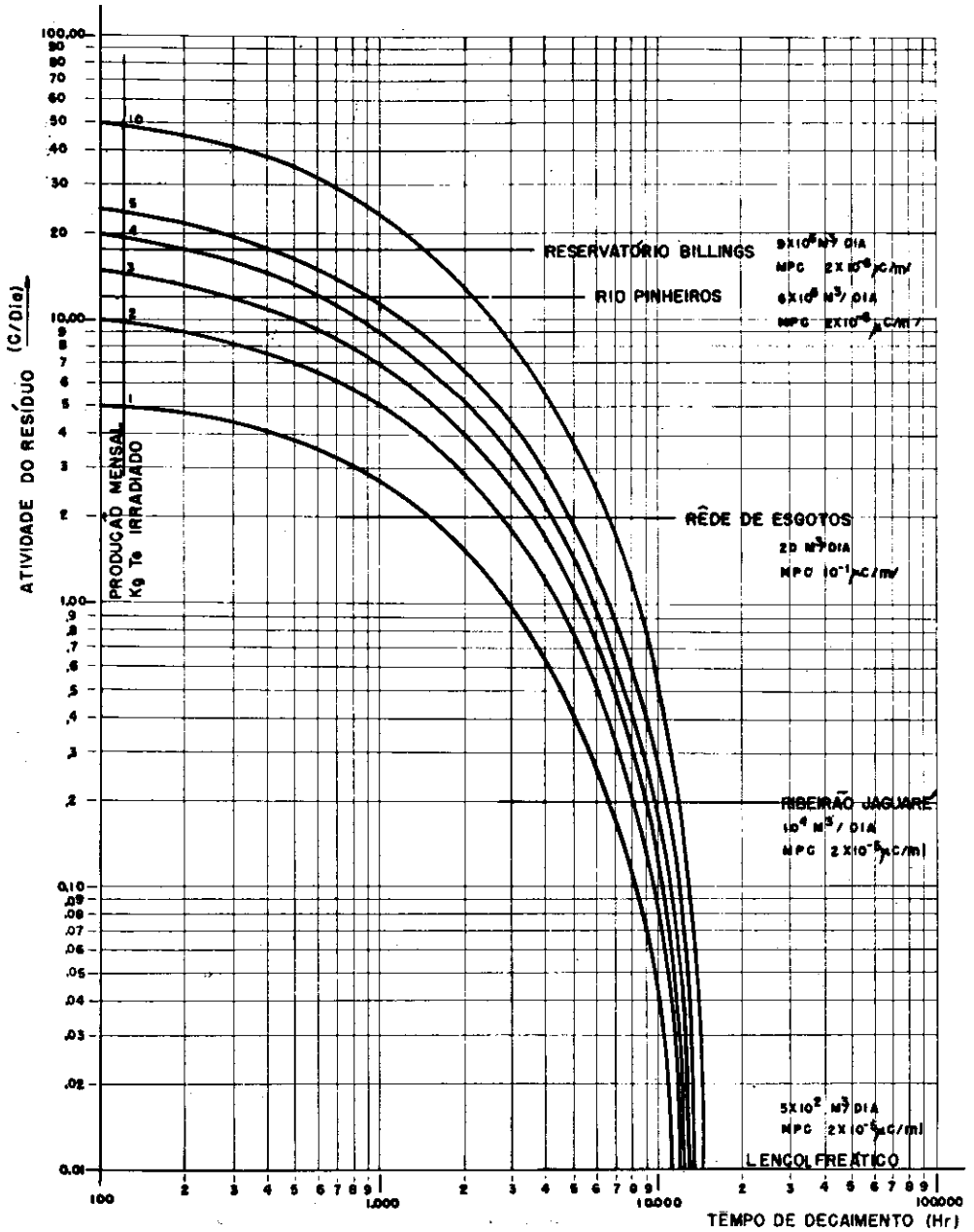
Adotando, para uma primeira avaliação comparativa das diversas possibilidades, as concentrações máximas permissíveis seguintes:

| | | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| para água na região circunvizinha | 2×10^{-5} | ($\mu\text{C}/\text{ml}$) |
| para água na região em geral | 2×10^{-6} | " |
| para esgoto | 10^{-1} | " |

resultam as capacidades máximas de diluição dos diversos corpos de água que integram o circuito a ser percorrido pelo resíduo líquido radioativo, que estão indicadas no Quadro n.º 5.

QUADRO N.º 5

| | Vazões médias m^3/dia | Concentrações $\mu\text{C}/\text{ml}$ C/m^3 | Capacidades de diluição C/dia |
|------------------|--|---|---|
| Rêde de esgotos | 20 | 10^{-1} | 2 |
| Lençol Freático | 4×10^3 | 2×10^{-5} | 8×10^{-3} |
| Ribeirão Jaguaré | 10^4 | 2×10^{-5} | 2×10^{-1} |
| Rio Pinheiros | 6×10^6 | 2×10^{-6} | 12 |
| Reprêsa Billings | 9×10^6 | 2×10^{-6} | 18 |



ESTUDO SOBRE A DISPOSIÇÃO FINAL POR DECAIMENTO NO IEA E DILUIÇÃO NAS ÁGUAS DA BACIA DO TIETÊ SUPERIOR, DOS RESÍDUOS LÍQUIDOS RADIOATIVOS, DA FABRICAÇÃO DE I^{131} .

Ilustração n.º 5

Os valores das capacidades máximas de diluição calculados, indicados acima, foram colocados na Ilustração n.º 5, na qual é também representado o decaimento da atividade deste resíduo para diversos valores da produção mensal do mesmo.

Este gráfico foi construído com o objetivo de indicar uma orientação preliminar para a solução do problema.

Pelo mesmo pode-se verificar:

- 1 — que é possível dispersar, nas águas da bacia do Alto Tietê, os resíduos radioativos efluentes da produção de I^{131} em quantidade várias vezes superior à atualmente produzida e após períodos de decaimento razoáveis;
- 2 — que atualmente o lançamento destes resíduos pode ser feito no rio Pinheiros, após um período de resfriamento superior a 100 horas;
- 3 — ou na rede de esgotos que serve o IEA, após período de resfriamento superior a 1 500 horas, e tendo-se o cuidado de diluir cada descarga diária pelo menos com 20 m³ de água. Os tanques de retenção existentes no Instituto são adequados para tal finalidade;
- 4 — o lançamento poderá ser feito também no ribeirão Jaguaré após um período de resfriamento superior a 1 ano;
- 5 — a dispersão do resíduo no lençol freático exigirá tempo de resfriamento superior a 2 anos.

Além da diluição ou dispersão do resíduo no meio ambiente, as outras alternativas são:

Reservação simples ou seguida à concentração.

Recuperação, em seguida a um longo período de decaimento.

Qualquer delas envolve também a construção de instalações convenientes para a estocagem deste resíduo, para decaimento da atividade.

A última alternativa exigiria um investimento adicional nas instalações para a produção de ácido Telúrico com pureza suficiente.

Um estudo econômico poderá indicar, dentre todas as alternativas, a mais conveniente.

O passo seguinte seria refinar o estudo levando em conta também o tempo de permanência do resíduo radioativo, no seu caminhar pelos condutos, cursos de água e reservatórios do sistema, no trajeto até o oceano, para o cálculo da atividade de equilíbrio que irá resultar de descargas radioativas contínuas ou intermitentes.

Finalmente, devemos dizer que o problema da dispersão dos efluentes da produção de I^{131} deve ser equacionado juntamente com os dos demais resíduos radioativos produzidos no IEA e em outros pontos da Bacia do Alto Tietê.