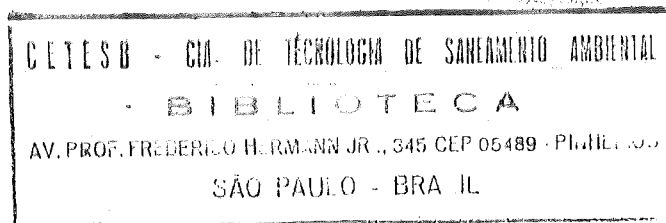


COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL

GERÊNCIA DE APLICAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

PLANO DE TRABALHO PARA TAREFAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEIO DAS TÉCNICAS
RADIOISOTÓPICAS - SEGURANÇA RADIOLÓGICA



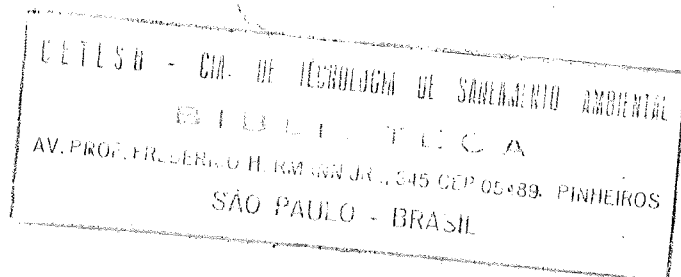
ARQUIVO TECNICO

DEZEMBRO DE 1976

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

PLANO DE TRABALHO PARA TAREFAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEIO DAS TÉCNICAS
RADIOISOTÓPICAS - SEGURANÇA RADIOLÓGICA.

- I. OBJETIVO DO TRABALHO.
- II. METODOLOGIA.
- III. CARACTERÍSTICAS DO TRAÇADOR.
- IV. TRANSPORTE DO MATERIAL RADIOATIVO.
- V. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS ÁREAS ABRANGIDAS PELO TRABALHO.
- VI. SEGURANÇA RADIOLÓGICA.
- VII. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA.
- VIII. EQUIPE TÉCNICA.
- IX. PREVENÇÃO CONTRA AS EVENTUAIS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA.
- X. PROGRAMA DE IRRADIAÇÃO.



I. OBJETIVO

Em Engenharia do Meio Ambiente, o estudo do índice de poluição de um corpo d'água receptor, o cálculo do dimensionamento das estações de depuração, o volume de esgoto tratado, as condições de auto depuração e o desejo clandestino de esgoto precisam ser bem avaliados, daí a necessidade de se conhecer a carga poluidora lançada no escoamento em questão. Para se determinar essa carga poluidora torna-se necessário conhecer:

- a concentração C_i dos elementos considerados poluentes;
- a vazão Q_i de lançamento desses poluentes.

Determina-se a carga poluidora P_i , relativa a um elemento específico i , somando-se durante um intervalo de tempo dt o produto da vazão instantânea Q , do escoamento, pela concentração instantânea C_i , isto é:

$$\{P_i\}_{dt} = \int_{dt}^t Q \cdot C_i dt$$

No caso de medição de vazão, as técnicas convencionais conduzem a resultados insatisfatórios porque o escoamento considerado possui características físicas e químicas especiais, tais como alta concentração de sólidos em suspensão, turbidez, altamente redutor etc que tornam as medidas bem imprecisas.

Considerando-se esses inconvenientes aplica-se a técnica radioisotópica para essas medições, que proporciona alta sensibilidade, pequeno erro, rapidez de resposta, simplicidade de operação, segurança para os operadores e para o público em geral.

Baseando-se nessas considerações a CETESB programou para 1977, as medições de vazão dos seguintes corpos d'água, receptores de efluentes domésticos e industriais: 

1. Rio Piracicaba, no trecho compreendido entre as cidades de Laranjal Paulista e Limeira, nas proximidades da fábrica de papel RIPASA;
2. Vazão de esgoto, na Estação de Tratamento de Vila Leopoldina, São Paulo;
3. Rio Cotia, município de Cotia, Estado de São Paulo;
4. Canal Três, Quatro e Cinco, na Cidade de Santos, São Paulo;
5. Rio Goiana, nas proximidades da Cidade de Goiana, Estado de Pernambuco;
6. Rio Mega Ô, nas proximidades da Cidade de São Lourenço da Mata, Estado de Pernambuco;
7. Rio Juquiriquerê, nas proximidades do Porto de São Sebastião, Litoral Norte do Estado de São Paulo;
8. Córrego do Sapateiro, Cidade de São Paulo;
9. Rio Botafogo, nas proximidades da Ilha de Itamaracã, Estado de Pernambuco;
10. Rio Cubatão, nas proximidades da Companhia Siderúrgica Paulista, COSIPA, Município de Cubatão, São Paulo;
11. Rio Piquiri, 50 km a montante da foz do Rio Paraná, aproximadamente, na região sudoeste do Estado do Paraná;
12. Rio Ivaí, a 50 km, a montante da foz do Rio Paraná, aproximadamente, na região sudoeste do Estado do Paraná. S.

II. METODOLOGIA.

A técnica usada consiste em medir a taxa de diluição que sofre uma solução radioativa, lançada no escoamento. Conhecendo-se a concentração lançada e medindo-se a taxa de diluição do radioisótopo, em qualquer secção a jusante do ponto onde ele se homogeneizou com a água, pode se determinar a vazão desse escoamento, por meio de cálculo simples.

Seja Q a vazão do corpo d'água réceptor, que se deseja medir, q a vazão constante de lançamento da solução radioativa, de concentração C_1 , conhecida e C_2 a concentração medida no escoamento, tem-se:

$$q \cdot C_1 = (Q + q) \cdot C_2$$

$$Q = q \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_2}$$

ou seja Q e q são inversamente proporcionais as suas concentrações C_1 e C_2 .

A vazão de lançamento q é da ordem de 20 ml/minuto. S.

III. CARACTERÍSTICAS DO TRAÇADOR.

As características principais dos traçadores radioativos, para uso em medição de vazão de mananciais de superfície são:

- a) Fidelidade de marcação. O radioisótopo escolhido não pode ser absorvido significativamente pelo biota e por minerais que se encontram em contato com a água;
- b) Solúvel na água. A solução aquosa deve ser estável;
- c) Desprovido de radiotoxicidade. As atividades injetadas se restringem a valores tais que, na seção de medição, não seja ultrapassada a concentração máxima permissível, para os usos a que se destinam as águas do manancial investigado;
- d) Energia suficiente para a detecção de baixas concentrações "in situ". Nessas condições, dão-se preferência aos emissores gama;
- e) Meia vida compatível com a duração dos trabalhos, para evitar problemas de poluição do ambiente, por radiação, em decorrência dos eventuais processos acumulativos;
- f) Alta atividade específica;
- g) Facilidade de produção;
- h) Baixo custo.

Existem diversos radioisótopos que satisfazem essas oito (8) condições, mas nossa preferência recai sobre o ^{82}Br , em decorrência da facilidade de produção e do custo relativamente baixo.

O ^{82}Br tem sido irradiado no reator do Instituto de Pesquisas Radioativas, de Belo Horizonte, instituição pertencente a NUCLEBRÁS S.A., nas formas de K Br de NH_4Br .

A meia vida do ^{82}Br é 36 horas, a energia gama mais frequente refere-se a 0,62 MeV e a 1,48 MeV e a concentração máxima permissível na água é $3,0 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{Ci/cm}^3$ (tabela 10, página 31, Normas Básicas de Segurança Radiológica, Resolução CNEN 06/73).

Em decorrência da meia vida relativamente curta, da presença do ^{42}K (cuja meia vida é 12,4 horas), do período de resfriamento para o ma 

nuseio do material radioativo, no próprio reator, da grande distância que separa São Paulo de Belo Horizonte, as irradiações são planejadas levando-se em conta uma atividade superior a necessária.

O KBr e o NH_4Br são irradiados na forma de pastilhas compactas. Esses materiais são solúveis em água, e por isso, depois de irradiados são transformados em solução, já nos laboratórios da CETESB, em São Paulo.

Depois de transcorrido um dia, para o resfriamento das amostras irradiadas, o pessoal do IPR embala o material e armazena-o na blindagem de transporte, de propriedade da CETESB, despachando-o, via aérea, para São Paulo. São cumpridas as normas da IATA, para despacho aéreo de material radioativo, que vem acompanhado de um certificado do Laboratório de Radioproteção do IPR. 

IV. TRANSPORTE.

Depois de embalado e acondicionado no interior da blindagem de chumbo, com 10 cm de espessura de parede e pesando 400 Kg, aproximadamente as pastilhas de bromo são encaminhadas para a sede da CETESB, em São Paulo, via aérea, por meio das Empresas VASP e VARIG.

A blindagem de transporte fica acondicionada no interior de uma caixa de madeira, fechada com cadeado e suficientemente robusta para permitir seu deslocamento seguro, sem avarias.

Um certificado de transporte, emitido pelo Laboratório de Radioproteção do IPR acompanha o material radioativo. Nesse certificado constam dados sobre o material embarcado, que em geral são os seguintes:

- natureza do radioisótopo: ^{82}Br ;
- atividade: 3,0 Ci, aproximadamente;
- estado físico: sólido, pastilhas;
- índice de transporte: 1,5;
- categoria: III;
- tipo de embalagem: A.

O material radioativo é retirado do aeroporto de Congonhas, imediatamente após seu desembarque, por técnicos da CETESB, com experiência em manuseio e uso de radioisótopos e encaminhado para nosso Laboratório Radioquímico onde é dissolvido, em capelas apropriadas. Nesse Laboratório se processam as diluições e o preparo da solução que será injetada, em cada medição.

As soluções já preparadas são mantidas no interior de tubos plásticos, hermeticamente fechados e acondicionados em blindagem de chumbo, para transporte até o local do trabalho.

Quando se destina a locais próximos de São Paulo, esse material radioativo é transportado por veículos da CETESB, (perua C-14), devidamente sinalizados. Ele é sempre acompanhado pelo pessoal técnico, munidos de seus filmes dosimétricos e de aparelhos de levantamento radiométrico. 

As blindagens de chumbo e as baixas atividades envolvidas proporcionam segurança para o pessoal, no interior do veículo, o que pode ser facilmente comprovado pelas pequenas doses registradas nos relatórios dosimétricos encaminhados pelo IEA a CNEN.

Quando os locais são distantes de São Paulo, o material radioativo segue por via aérea, obedecendo as especificações da IATA, sobre transporte de material radioativo.

Os equipamentos de manuseio e de injeção de soluções radioativas que se contaminam, durante o trabalho de campo, são inicialmente descontaminado no local, por lavagem com ácido clorídico, em solução fraca. Posteriormente, são embalados com plástico, colocados em caixas de madeira, fechadas com cadeados e devolvida para o Laboratório Radioquímico. S

V. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS ÁREAS ABRANGIDAS PELO TRABALHO.

As áreas de trabalho abrangidas pelos serviços são:

RIO PIRACICABA: Distante 160 km de São Paulo, cortando uma região de plantação de cana de açúcar. A montante do trecho a ser estudado encontra-se a cidade de Laranjal Paulista e a jusante a cidade de Limeira, ambas com município contendo população superior a 60 mil habitantes. As águas do Rio Piracicaba, neste trecho, não são usadas para abastecimento populacional e nem para irrigação. O acesso ao local de trabalho se faz pela Rodovia Presidente Castelo Branco. Sua vazão média é estimada em $90 \text{ m}^3/\text{s}$.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE VILA LEOPOLDINA: Essa Estação de Tratamento localiza-se em Vila Leopoldina, junto a margem esquerda do Rio Tietê, nas proximidades da ponte de Vila dos Remédios, em São Paulo. A vazão média diária, de esgoto tratado é de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ela opera com quatro (4) bombas, sendo duas de regime variável e duas de regime constante, que trabalham isoladamente ou em conjunto, para recalcar o esgoto do poço de sucção. O acesso, a ETE Leopoldina, tomando como ponto de partida a CETESB, faz-se pela Avenida Pedroso de Moraes, em Pinheiros. O esgoto tratado é encaminhado para o Rio Tietê, e daí para a Barragem Edgard de Souza, que funciona como regulador de nível, para inversão das águas do Rio Pinheiros. As vazões envolvidas variam de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

RIO COTIA: Localizado no município de Cotia, distante 30 kms de São Paulo, aproximadamente. O acesso as suas margens se faz pela rodovia que liga as cidades de São Paulo e Sorocaba. A região estudada é usada em sua

maioria como pastagem para rebanho bovino, existindo ainda mata cerrada, cortada por estrada de leito carroçável, ligando as fazendas próximas

Este rio se encontra bem poluído, no trecho em estudo, pela ação de fontes poluidoras provenientes de diversas indústrias, a montante, do tipo de rações para animais, matadouros, frigoríficos e indústrias químicas, sendo classificado, de acordo com o artigo 5º, do Decreto nº 52.490 de 14/07/70, em classe IV - águas destinadas ao afastamento de despejo.

Sua vazão média é da ordem de 5,0 m³/s.

CANAL TRÊS:

Localiza-se na cidade de Santos, São Paulo, tendo por finalidade drenar a área abrangida pelo seu percurso, que corresponde as Avenidas Washington Luis, Brás Cubas, Rangel Pestana, Francisco Manoel e Ulrico Mursa. Convergem para esse canal diversas ligações clandestinas de esgoto, poluindo acentuadamente suas águas, que não são consumidas pela população, sendo inadequadas para recreação e para pessoas do público em geral. O acesso ao Canal Três, a partir da CETESB, faz-se pela Vila Anchieta. As margens e o fundo desse canal são concretadas e de fácil acesso. As pontes sobre o canal permitem posicionar os instrumentos de medição, facilitando o trabalho para o pessoal. As vazões envolvidas variam de 100 l/s a 400 l/s.

RIO GOIANA:

Localiza-se junto ao litoral norte de Pernambuco, - servindo de fronteira com a Paraíba. É um rio que se encontra bem poluído, principalmente pelo lançamento de caldas, (restilo) proveniente de usinas açucareiras e de efluentes da fábrica de Papeis Finais do Nordeste S.A. O acesso as suas margens faz-se pela rodovia BR-101, que liga Recife a João Pessoa. No trecho a ser estudado, situado entre as ci

dades de São Joaquim da Mata e Goiana, existem áreas de cultivo da cana de açúcar. As suas águas, altamente poluídas, não são aproveitadas para abastecimento da população, nem para recursos de irrigação. A vazão média deste Rio é estimada em 120 m³/s.

RIO MEGA Ô: Encontra-se também na área correspondente ao norte do Estado de Pernambuco, cortando a região mais industrializada e por isso mesmo mais poluída. Ele recebe descarga de oito (8) usinas e engenhos de açúcar, de um frigorífico e de uma fábrica de soda, que utiliza o processo Solvay. O acesso as suas margens também se faz pela rodovia BR-101. O trecho a ser estudado possui extensão de 45 km, não existindo nenhuma cidade nas suas margens. Somente junto a sua foz existe uma Vila de Pescadores, com cerca de 400 habitantes, denominada "Carne de Vaca". Suas águas não são aproveitadas nem para abastecimento populacional nem para irrigação de lavoura canavieira. A vazão média deste Rio é estimada em 80 m³/s.

RIO JUQUIRIQUERÊ: Localizado no norte do litoral paulista, distante 4 km da cidade de Caraguatatuba. Nasce na Serra do Mar e desemboca na localidade denominada Praia da Enseada, caracterizada por uma pequena Vila de Pescadores. Ele é formado pelos rios: Camburu ou Fingo, Claro, Perequê e Perequê Mirim. Este rio não passa por nenhuma localidade com concentração urbana, e apenas na sua desembocadura existe uma Vila de Pescadores com aproximadamente 200 habitantes. O acesso as suas margens é relativamente difícil, em decorrência da floresta compacta que cobre toda a Serra do Mar. A vazão média estimada é de 4,0 m³/s. *S.*

CÓRREGO DO SAPATEIRO: É o formador do lago do Parque do Ibirapuera, nascendo na Vila Mariana, nas proximidades da Avenida Domingos de Morais. Esse Córrego encontra-se totalmente canalizado, escoando por tubulação de concreto, a cerca de 3,0 m de profundidade. O acesso as suas águas se faz por meio das bocas de lobo, normalmente vedadas por tampas de ferro fundido. Suas águas encontram-se poluídas pelo lançamento indevido de efluentes domésticos provenientes de residências e de despejos industriais. Suas águas, no passado, eram utilizadas para fins de recreação da população, sendo lançada no Rio Pinheiros. A vazão média desse Córrego é de 100 l/s.

RIO BOTAFOGO: Desemboca junto a Ilha de Itamaracá, nas proximidades da Colonia Penal, do Estado de Pernambuco. Este rio contém um viveiro experimental, de peixes, mantido pelo Laboratório de Estudos do Mar, que registrou nos ultimos anos mortandade excessiva, decorrente da poluição de suas águas, causada pelo lançamento de grande quantidade de calda de cana de açúcar (restilo) e por cloro, provenientes das Indústrias Químicas Rodia S.A. Suas águas não são aproveitadas para o abastecimento da população, em decorrência dele escoar por uma região ainda despovoadas. O acesso as suas margens se faz pela rodovia BR-101, que liga Recife a João Pessoa. Sua vazão média é avaliada em 20 m³/s.

RIO CUBATÃO: O local de estudo situa-se nas proximidades da COSIPA, Companhia Siderurgica Nacional, a jusante da estação de captação d'água da SABESP, que abastece as cidades de Santos, São Vicente, Cubatão e Praia Grande. O acesso as suas margens se faz pela Via Anchieta. A região é relativamente bem povoada, existindo nas suas proximidades instalações de todo

o parque industrial da Baixada Santista. A qualidade da água, no trecho a ser estudado, é inadequada para consumo humano, em decorrência dos lançamentos de esgotos provenientes de Cubatão, de Vicente de Carvalho, e de todas as indústrias da área.

Além disso, os despejos provenientes das indústrias petroquímicas tornam a água inadequada para consumo humano. A vazão média desse Rio, no trecho estudado é estimada em $16 \text{ m}^3/\text{s}$.

RIO PIQUIRI:

Situa-se na parte Sul do Estado do Paraná, sendo um dos principais afluentes do Rio Paraná, na sua margem esquerda. Ele corta uma região de terras férteis, bem cultivadas, destacando-se as culturas de soja, hortelã, café e trigo. Não existe em suas margens nenhuma cidade com população relativamente grande, mas sim pequenas vilas que são abastecidas por água subterrânea proveniente dos poços domiciliares. O acesso as suas margens se faz pela BR-126 e pela rodovia que liga as cidades de Ponta Grossa e Cascável. Será estudado o regime hidrológico deste rio para definir sua contribuição, em relação ao assoreamento da futura usina hidrelétrica de Itaipú. Estima-se em $120 \text{ m}^3/\text{s}$ sua vazão média.

RIO IVAÍ:

O rio Ivaí também é afluente do Rio Paraná, na sua margem esquerda. O trecho a ser estudado situa-se nas proximidades da cidade de Campo do Mourão. Ele também corta uma região de terras férteis, com predominância do cultivo de café e soja. Nenhuma captação de água, para consumo da população, se verifica no trecho investigado. Assim como o Rio Piquiri, será estudado seu regime hidrológico, para verificar a contribuição da descarga sólida na construção da Usina de Itaipú, e seu correlacionamento com o regime de vazões líquidas. Sua vazão média é estimada em $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

VI. SEGURANÇA RADIOLÓGICA.

Em todas as operações envolvidas no uso e manuseio dos materiais radioativos, as mais delicadas, do ponto de vista da segurança radiológica referem-se a separação, fracionamento e preparação das amostras a serem injetadas no sistema investigado, e que são efetuadas no Laboratório Radioquímico da CETESB. (figura 1).

Ao chegar ao IPR, o material radioativo é retirado da blindagem de transporte por meio de garra mecânica, comandada a distância de 1,0 metro e levada para a capela de processamento. A duração dessa operação varia de 5 a 15 segundos, e por isso a dose de radiação recebida pelos operadores é mínima.

A ala quente do Laboratório Radioquímico, possui duas capelas para processamento de material radioativo, providas de paredes de chumbo, exaustão, vácuo e ar comprimido. O trabalho de dissolução das pastilhas, separação, fracionamento e preparação das amostras é efetuado com toda a segurança pois nosso laboratório se equivale, em padrão, aos melhores internacionais.

Depois de preparadas, as amostras são colocadas em recipientes de plástico, para evitar sua quebra, por esforço mecânico. Esses recipientes são hermeticamente fechados para evitar vazamentos.

Os materiais contaminados são desativados, por lavagem com sabão de coco, detergente, permanganato de potássio ou solução fraca de ácido clorídrico, conforme o caso. Os rejeitos radioativos líquidos, provenientes desta descontaminação, são armazenados em um tanque de decaimento, com volume de 2 m³, contendo um sistema detector e válvulas de segurança. O material só é liberado para o esgoto quando a concentração se apresenta inferior, por um fator 10, a máxima permissível estabelecida nas Normas Básicas de Segurança Radiológica.

A preparação da solução radioativa no laboratório evita problemas de contaminação, no campo, que muitas vezes fogem ao controle do pessoal responsável.

As soluções preparadas são colocadas em blindagens de chumbo, transportadas em veículo sinalizado para o local de trabalho. Com o fra

cionamento e preparação de numerosas amostras, as atividades individuais se apresentam bem diluídas, minimizando os riscos de manuseio.

Depois de usados, os frascos plásticos são colocados novamente no interior da blindagem e devolvidos para a sede, para serem descontaminados, juntamente com outros acessórios de trabalho como garras, luvas, aventais, galochas, pinças, mangueiras, injetor etc. Esses acessórios são colocados em sacos plásticos e mantidos em caixa de madeira, fechada em cadeado, durante seu transporte de regresso a sede.

Sendo o ^{82}Br um radioisótopo de meia vida curta, as contaminações são muito leves. Por excesso de precaução os materiais contaminados ainda ficam retidos no Depósito de Material Contaminado, situado junto a ala quente do Laboratório Radioquímico.

Quando necessário isola-se do público o local de injeção da solução radioativa, no sistema estudado, por meio de cordas de nylon, vermelhas. O balizamento se faz com o auxílio de placas sinalizadoras, contendo o símbolo internacional da radiação, em cor púrpura e com fundo amarelo, entre as palavras: CUIDADO - PERIGO - MATERIAL RADIOATIVO. A área delimitada é aquela que corresponde a exposição de 2,5 mR/h, junto as cordas de nylon que bloqueiam a entrada de estranhos no local da injeção do traçador.

Terminado o serviço, o pessoal efetua um levantamento radiométrico da área envolvida para certificar-se da inexistência de qualquer contaminação do ambiente.

Vamos admitir, no caso mais desfavorável que os 3,0 Ci de ^{82}Br , correspondentes a atividade solicitada para o Shut-down do reator do IPR fossem usados integralmente em uma única injeção

Sendo 20,0 litros o volume do injetor, a concentração máxima de solução radioativa no seu interior seria,

$$\frac{3000 \text{ mCi}}{20.000 \text{ ml}} = 0,15 \text{ mCi/ml.}$$

De acordo com os dados da tabela 10, coluna 7, das Normas Básicas de Proteção Radiológica, Resolução CNEN 06/73, o limite de incorporação

anual, por ingestão, para indivíduos do público, é $2,1 \times 10^2 \mu\text{Ci/ano}$. Levando-se em conta uma vazão de injeção, de 50 ml/minuto, o tempo necessário para injetar os 20 litros será,

$$\frac{20.000 \text{ ml}}{50 \text{ ml/min}} = 400 \text{ minutos}$$

ou seja, pouco menos de 7 horas.

Novamente, consideremos o caso mais desfavorável entre os trabalhos previstos, que corresponde ao estudo do Canal Três, em Santos, onde a vazão mínima é 100 l/s ou 6000 l/min. Nesse estudo preve-se a efetivação de oito (8) campanhas no decorrer de 1977.

Após injeção contínua, a concentração de ^{82}Br nas águas do Canal Três será de:

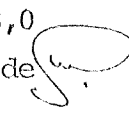
$$C = \frac{50 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \times 150 \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}}{6000 \text{ l/min}} = 1,25 \mu\text{Ci/l.}$$

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde, uma pessoa ingere em média 2l de água por dia, entre a que é bebida e a que é incorporada nos alimentos. Consideremos o caso extremo em que as águas do Canal Três, de Santos, fossem potáveis, e que uma pessoa ingerisse 2 litros dessa água, nas 7 horas de injeção.

A quantidade de ^{82}Br ingerida seria de:

$$1,25 \mu\text{Ci/l} \times 2\text{l} = 2,5 \mu\text{Ci.}$$

Considerando ainda a possibilidade que essa mesma pessoa ingerisse 2 litros de água, com ^{82}Br , nas oito (8) campanhas previstas para o ano todo, a quantidade total de ^{82}Br ingerida seria de 20 $\mu\text{Ci/ano}$, valor bem inferior ao máximo permitido pela Norma de Segurança Radiológica da CNEN (210 $\mu\text{Ci/ano}$).

Ademais, a sensibilidade de medição do detector de cintilação, conectado ao scaler BASC é de 30 cps/ $\mu\text{Ci/m}^3$, em geometria infinita e 3,0 cps/ $\mu\text{Ci/m}^3$ na geometria de menor eficiência utilizada (garrafão de 

cinco (5) litros, com detector mergulhado no centro) quando se trata de ^{82}Br . Levando em conta a concentração máxima permissível, na água do escoamento que está sendo investigado, (para a população será 10 vezes inferior à concentração máxima permissível para trabalhadores, ou seja $3 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/m}$) a resposta do conjunto seria de:

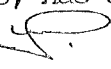
$A = 540.000 \text{ cpm}$, para geometria infinita

$A = 54.000 \text{ cpm}$, para geometria do tambor.

É fato bem conhecido que taxas de contagem superiores a 10^5 fornecem resultados errados de contagem, nos sistemas contadores, em decorrência do fenômeno de perdas por coincidência.

Trabalhar nestas condições invalidaria todos os resultados das investigações programadas.

Assim, a taxa de contagens ideal, para nossos trabalhos, situa-se entre 10.000 e 50.000 cpm, valores que correspondem a concentrações de ^{82}Br , bem inferiores ao máximo permissível, para indivíduos do público.

Portanto, pode-se concluir que, em todos os trabalhos programados pela CITESEB, as Normas de Proteção Radiológica da CNEN são rigorosamente cumpridas, e ainda mais, não existe tecnicamente a possibilidade de deixar de cumpri-las. 

VII. APARELHOS DE MEDIÇÃO E DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA.

Os aparelhos de medição usados pela CETESB, nos serviços de campo, constituem-se de scalers, marca BASC, sondas cintiladoras, com cristal de NaI (Tl), de $1^{11} \times 1^{11}$ e registradores gráficos marca RUSTRAK.

As sondas são constituídas por cilindros de aço, estanques, e com condições de operação até a profundidade de 100 metros de coluna d'água, contendo no interior o cristal e a válvula fotomultiplicadora de sinais. Elas são conectadas ao scaler por cabos coaxiais, de comprimento variável entre 30 e 50 metros. A capacidade máxima de registro deste sistema de medição, é de 10^6 contagem por minuto (cpm). As taxas de contagem podem ser registradas graficamente, conectando-se ao scaler um registrador RUSTRAK.

Para os trabalhos de campo a CETESB dispõe atualmente de três (3) conjuntos, scalers - sonda - registrador gráfico, estando em andamento um processo para aquisição de mais três (3) unidades.

Utilizam-se nos trabalhos de campo três (3) aparelhos de levantamento radimétrico, tipo contadores Geiger-Müller, NDG-50R, fabricados pela Nortron. Esses instrumentos são portáteis, cada qual equipado com quatro (4) baterias níquel-cádmio, recarregáveis, que permitem longa autonomia de uso. A intensidade da radiação detectada é lida em um galvanômetro, com escala linear, cobrindo as faixas de 10, 100 e 1000 mR/h e escala logarítmica que permite registrar a taxa de até 50 R/h. O tempo de resposta do medidor varia automaticamente com a escala escolhida. A sensibilidade, para a detecção da radiação gama emitida por fontes de ^{60}Co ou de ^{82}Br é de 120 pulsos por minuto, por mR/h, aproximadamente. O tempo morto é inferior a 20 microsegundos e a sua sensibilidade relativa de 88%, aproximadamente, para a energia de 350 keV.

Os tempos de resposta são:

- . escala de 0 a 10 mR/h : 4 segundos;
- . escala de 0 a 100 mR/h : 3 segundos;
- . escala de 0 a 1000 mR/h : 2 segundos;
- . escala de 0 a 50 mR/h : 0,6 segundo.

Esses aparelhos são relativamente robustos, podendo operar em locais de temperatura ambiente compreendida entre os extremos do intervalo de -10°C a + 60°C.

A constante de ionização do ^{82}Br é de 1,44 R/h.Ci.m. Sendo 1,5 Ci, a ordem de grandeza das atividades que chegam ao Laboratório Radioquímico, da CETESB, para sofrerem diluição, separação e fracionamento, os instrumentos de levantamento radionômico que adquirimos da Nortron cobrem seguramente a faixa de exposições envolvidas no trabalho.

VIII. EQUIPE TÉCNICA.

A equipe técnica que manuseia e utiliza material radioativo, em trabalhos de engenharia do meio ambiente, é constituída por profissionais com larga experiência, em tecnologia nuclear. Ela é constituída pelos componentes seguintes:

DOUTOR WLADIMYR SANCHEZ: bacharel e licenciado em física, engenheiro, com mais de 16 anos de experiência em engenharia e tecnologia nucleares, com diversos cursos de especialização no exterior. Foi funcionário do Instituto de Energia Atômica, de 18.09.60 a 30.04.76, exercendo atividades nas áreas de operação e manutenção de reatores, de produção de radioisótopos e aplicação, na engenharia e na indústria.

DOUTOR EDMUNDO GARCIA AGUDO: engenheiro químico, com 15 anos de experiência em engenharia e tecnologia nucleares. Trabalhou na Comissão de Energia Atômica Argentina e no Instituto de Energia Atômica, exercendo atividades ligadas a radioquímica, a aplicação de radioisótopos e a centrais nucleares geradoras de eletricidade, possuindo diversos cursos de especialização no exterior.

ENGENHEIRO JOSÉ LEOMAX DOS SANTOS: engenheiro civil, formado em 1970, dedicando-se as atividades de aplicação de radioisótopos, a partir de junho de 1971. Possui cursos de especialização no Brasil e no exterior, tendo trabalhado no Instituto de Energia Atômica, de 1971 a 1974.

ENGENHEIRO AUGUSTO MERIGHI JUNIOR: engenheiro civil, formado em 1972, dedicando-se a partir desta data a atividades relacionadas com a aplicação de radio

isótopos. Possui cursos de especialização - no Brasil e no exterior, tendo trabalhado no Instituto de Energia Atômica até 1974.

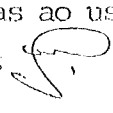
ENGENHEIRO RICARDO PERALBO GONZALES: engenheiro químico, formado em 1973, dedicando-se a partir desta data a atividades ligadas a aplicação de radioisótopos. Foi funcionário do Instituto de Energia Atômica até junho de 1976.

ENGENHEIRO HENRIQUE MONTEIRO ALVES: engenheiro eletrônico, com experiência de oito anos, nos laboratórios do Instituto de Energia Atômica, onde permaneceu até setembro de 1976. Possui cursos de engenharia e tecnologia nucleares e experiência no uso e manuseio de materiais radioativos.

TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO: HELENO BARBOSA: especialização em mecânica, possui boa experiência no manuseio de material radioativo, tendo sido treinado na CETESB.

TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO: LEONARDO DE JORGE: possui curso secundário - completo e experiência em serviços de oceanografia física. Foi treinado na CETESB, em segurança radiológica, para exercer atividades ligadas ao uso e manuseio de material radioativo.

TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO: JAIR PEREIRA DA COSTA: possui curso técnico de máquinas e de desenho industrial. Foi treinado na CETESB para exercer atividades ligadas ao uso e manuseio de material radioativo.



IX. PREVENÇÃO CONTRA AS EVENTUAIS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA.

Todas as etapas envolvidas no trabalho, desde a irradiação das amostras até seu uso, são cuidadosamente planejadas para evitar qualquer situação que possa provocar contaminação de pessoas e do meio ambiente.

As precauções e controle radiológico, durante a fase de irradiação e embalagem, para embarque aéreo, são de competência do Laboratório de Segurança Radiológica do IPR.

As pastilhas de bromo são armazenadas em blindagem de chumbo, totalmente revestidas por aço, que tem seu ponto de fusão avaliado em 1535°C. Assim, o material radioativo contido no seu interior estará protegido contra perigo de incêndio.

A blindagem possui tampa que é fechada com cadeado, ficando uma chave no IPR e outra na CETESB, o que diminui acentuadamente a possibilidade de violação de seu conteúdo, por pessoas não qualificadas. Ademais, a blindagem de chumbo é mantida no interior de uma caixa de madeira, de 60 x 60 cm, robusta, fechada a cadeado, com o objetivo de atenuar as doses de radiação, junto as suas faces e de melhor proteger a blindagem, durante o manuseio necessário para o despacho aéreo.

A blindagem com o material radioativo só é liberada pelo pessoal do Laboratório de Proteção Radiológica, do IPR, se os níveis de radiação, na sua superfície, estiverem dentro dos limites fixado pelas Normas Básicas de Segurança Radiológica da CNEN.

Ao chegar no aeroporto de São Paulo, o pessoal da CETESB já se encontra a postos, preparado para a retirada do material radioativo. Após cada embarque, o pessoal do IPR nos informa, por telefone ou por telex, o horário de voo, o número do conhecimento aéreo e a companhia transportadora, para facilitar a retirada imediata do material radioativo. Com isso, o tempo de permanência do radioisótopo, no aeroporto, é mínimo, não havendo possibilidade de expor o público em geral, a ação da radiação do ^{82}Br .

Do aeroporto, a blindagem segue para CETESB, em condução devidamente sinalizada, por placas indicativas de transporte de material radio

ativo, acompanhada de uma pessoa qualificada em segurança radiológica, munida de seu instrumento de levantamento radimétrico. Essa condução deixa a blindagem na porta do Laboratório Radioquímico, da CETESB.

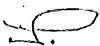
A partir daí, ela é transportada para a Ala Quente, pelo pessoal envolvido no projeto, que abre a caixa de madeira e a blindagem de chumbo. Por meio de garras mecânicas, operadas a distância, o recipiente contendo as pastilhas de bromo é colocado no interior de uma das capelas de manuseio de radioisótopos, para diluição, separação e fracionamento da solução, de acordo com a necessidade do trabalho. As capelas possuem paredes blindadas com chumbo, exaustão, ar comprimido, e vácuo, permitindo trabalho seguro. Durante essa fase de operação não existe probabilidade de acidentes que possam colocar em risco a integridade física do pessoal envolvido ou de outros funcionários da CETESB, pois o Laboratório Radioquímico é bem isolado dos demais edifícios.

Durante a operação de fracionamento, a solução radioativa é dividida em alíquotas e colocadas no interior de frascos plásticos, bem vedados, para evitar possibilidades de quebra e de vazamentos que poderiam contaminar o interior da blindagem de armazenamento. Essa blindagem é fechada com cadeado, colocada em caixa de madeira, também fechada por cadeado e transportada para o local de lançamento da solução radioativa. Aí, transfere-se a solução para o injetor por meio de um sistema de tubos plásticos, a base de pressão, comandado a distância pelo operador, evitando-se o perigo de contaminação provocado por respingos de material radioativo, no solo, ou materiais próximos ou mesmo nos aventais das pessoas. O pessoal que manuseia a solução radioativa está munido de luvas cirúrgicas, aventais de trabalho, galochas, filmes dosimétricos e aparelhos de levantamento radimétrico, pinças, garras mecânicas e materiais para eventual descontaminação - (sabão de coco, detergente, permanganato de potássio, ácido clorídrico diluído, álcool iodado, etc).

Durante a transferência da solução radioativa, do interior da blindagem de transporte para o injetor contamina-se internamente a mangueira plástica que serve de conexão entre esses dois dispositivos.

Depois de usada ela é colocada no interior de um saco plástico, que é em seguida fechado e levado para uma caixa de madeira apropriada para receber material contaminado. Todos os materiais contaminados são devolvidos para o Laboratório Radioquímico onde sofrem limpeza.

Terminado o serviço, descontamina-se o injetor e as peças que tenham sido envolvidas diretamente com a solução radioativa. Elas são colocadas em sacos plásticos para serem isoladas das demais e devolvidas para o Laboratório Radioquímico onde sofrerão melhor descontaminação.

Todas essas providências tomadas mostraram-se satisfatórias, não havendo registro, até o presente, de nenhuma contaminação provocada em pessoas, nem problemas de alta dosimetria para o pessoal técnico envolvido diretamente no trabalho. 

X . PROGRAMA DE IRRADIAÇÃO DE AMOSTRAS

Para cumprir o programa de trabalho previsto para o ano de 1977 torna-se necessário irradiar amostras de KBr, no reator do Instituto de Pesquisas Radioativas, de Belo Horizonte. Levando em conta os trabalhos definidos em V, o programa de irradiação ajustado com o pessoal do IPR, é o seguinte

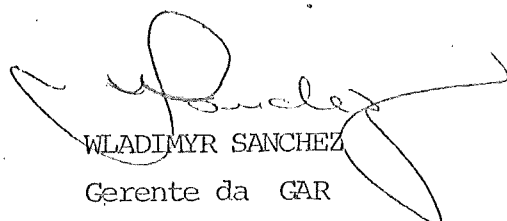
PROJETO	ATIVIDADE NO SHUT-DOW DO REATOR E DATA DA IRRADIAÇÃO					
RIO PIRACICABA	3,0 Ci 11/04	3,0 Ci 02/05	3,0 Ci 06/06	3,0 Ci 18/06		
ETE LEOPOLDINA	3,0 Ci 17/01	3,0 Ci 14/02	3,0 Ci 21/03	3,0 Ci 23/05		
RIO COTIA	3,0 Ci 31/01	3,0 Ci 28/02	3,0 Ci 07/03			
CANAL TRES	3,0 Ci 10/01	3,0 Ci 24/01	3,0 Ci 07/02	3,0 Ci 28/02	3,0 Ci 04/04	3,0 Ci 09/05
	3,0 Ci 13/06	3,0 Ci 18/07				
RIO GOIANA	3,0 Ci 20/06	3,0 Ci 27/06	3,0 Ci 04/07	2,0 Ci 24/10	2,0 Ci 31/11	
RIO MEGA O'	3,0 Ci 25/07	3,0 Ci 01/08	3,0 Ci 08/08	2,0 Ci 05/12	2,0 Ci 12/12	
RIO JUQUIRIQUERÊ	3,0 Ci 18/04	3,0 Ci 25/04	3,0 Ci 30/05	1,0 Ci 19/12	1,0 Ci 26/12	
CÓRREGO DO SAPATEIRO	1,0 Ci 05/09	2,0 Ci 12/09	3,0 Ci 19/09	3,0 Ci 26/09		
RIO BOTAFOGO	3,0 Ci 15/08	3,0 Ci 22/08	3,0 Ci 29/08			

PROJETO	ATIVIDADE NO SHUT-DOWN DO REATOR E DATA DA IRRADIAÇÃO			
RIO PEQUIRI	3,0 Ci 03/10	3,0 Ci 17/10	3,0 Ci 07/11	3,0 Ci 21/11
RIO IVAÍ	3,0 Ci 10/10	3,0 Ci 24/10	3,0 Ci 14/11	3,0 Ci 28/11

Depois de analisado e aprovado pela CNEN, esse programa de irradiação será encaminhado ao IPR para as providências pertinentes.

São Paulo, 29 de dezembro de 1976


OSCAR FUGITA
Superintendente de Tecnologia


WLADIMYR SANCHEZ
Gerente da GAR