

BR 8920004

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**SEGURANÇA OCUPACIONAL NO PROCESSO DE CONVERSÃO  
DE URÂNIO DA UNIDADE PILOTO DO IPEN-CNEN/SP**

**Janete Cristina G. Gaburo, Teresinha de Moraes da Silva e  
Gian-Maria A. A. Sordi**

IPEN - PUB - 223

**PUBLICAÇÃO IPEN 223**

**OUTUBRO/1988**

**SÃO PAULO**

**SEGURANÇA OCUPACIONAL NO PROCESSO DE CONVERSÃO  
DE URÂNIO DA UNIDADE PILOTO DO IPEN-CNEN/SP**

**Janete Cristina G. Gaburo, Teresinha de Moraes da Silva e  
Gian-Maria A. A. Sordi**

**DEPARTAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**C55.00**

**BIOASSAY  
HEALTH PHYSICS  
NATURAL URANIUM  
OCCUPATIONAL SAFETY  
PERSONNEL MONITORING  
PILOT PLANTS**

---

**IPEN - Doc - 3080**

**Aprovado para publicação em 28.09.88**

**Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).**

SEGURANÇA OCUPACIONAL NO PROCESSO DE CONVERSÃO  
DE URÂNIO DA UNIDADE PILOTO DO IPEN-CNEN/SP\*

Janete Cristina G. Gaburo, Teresinha de Moraes da Silva e  
Gian-Maria A.A.Sordi

RESUMO

Após uma breve descrição das operações efetuadas no processo de conversão de Urânio da Unidade Piloto do IPEN-CNEN/SP mostram-se as principais fontes de irradiação do trabalhador e as medidas de Proteção Radiológica implantadas, e, por fim, discutem-se as doses recebidas pelos trabalhadores.

As medidas de Proteção Radiológica incluem amostragem de ar, controle da contaminação interna por meio de excreção urinária e monitoração do local de trabalho para radiação externa. Os resultados das monitorações de ar mostram que em alguns pontos, ainda que os níveis estejam próximos dos 3/10 da CDA (Concentração Derivada no Ar), os tempos de permanência dos trabalhadores são curtos, resultando numa dose bem abaixo dos limites máximos admissíveis, fato este confirmado pelas análises de excreção urinária destes trabalhadores.

NUCLEAR OCCUPATIONAL SAFETY IN URANIUM  
CONVERSION FACILITY AT THE IPEN-CNEN/SP

ABSTRACT

After a brief description of the operations involved in the Uranium Process Conversion at the IPEN-CNEN/SP it is shown the principal radioactive sources exposure, the health physics procedures implemented and finally are discussed the doses received by the workers.

---

(\*) Trabalho apresentado parcialmente na 40<sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC.

2.

The health physics measurements include air sampling, internal contamination control by bioassay analysis and workplace monitoring for external radiation. The air monitoring results show in some points that the radiation levels are very near of the 3/10 of the DAC, but the permanence of the workers are very short. This fact is confirmed by the results of the bioassay analysis performed on the workers.

## 1. INTRODUÇÃO

Esta publicação vem atualizar o trabalho já realizado no IPEN-CNEN/SP<sup>(12)</sup>. Novas unidades entraram em operação como a produção de UF<sub>6</sub> e a usina de UF<sub>6</sub>. Por outro lado, a unidade de purificação, que operava em regime de campanhas, atualmente trabalha em regime contínuo de 24 horas.

O objetivo do presente trabalho, além da atualização mencionada, visa adaptar o sistema de Radioproteção do trabalhador à nova filosofia adotada internacionalmente, que é assunto de publicações atuais da International Commission on Radiological Protection-I.C.R.P.<sup>(6) (8)</sup> e International Atomic Energy Agency-IAEA<sup>(3) (4) (5)</sup>.

O projeto de conversão, do concentrado de urânio em UF<sub>6</sub> adotado no IPEN-CNEN/SP, utiliza-se do processo químico úmido, compreendendo as operações de dissolução do concentrado de urânio, sua purificação por extração com solventes, a precipitação do D.U.A, a conversão a UO<sub>3</sub> seguida da redução a UO<sub>2</sub> e fluoretação a UF<sub>4</sub>, terminando com a fluoretação do tetrafluoreto a UF<sub>6</sub>.

Inicia-se com a pesagem de tambores do concentrado de urânio trazido do setor de armazenagem para o setor de purificação. O processo de purificação é feito em várias etapas que são mencionadas a seguir.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A figura 1 mostra um diagrama de bloco das operações do processo.

### Pesagem

Os tambores com o concentrado de urânio são pesados dentro de um local apropriado denominado capela de pesagem, o qual possui um sistema de exaustão adequado conhecido como ciclo-filtro (filtro de mangas). A função deste filtro é reter os aerossóis produzidos nesta etapa.

Para este local temos um programa de amostragem de ar descrito nos itens seguintes

### Digestão

O processo de digestão do concentrado de urânio, diuranato de sódio (D.U.S.) ou diuranato de amônio (D.U.A.) é feito no reator químico de dissolução utilizando ácido nítrico e água desionizada.

Uma amostragem de ar é realizada durante essa etapa, pois o trabalhador está manuseando o pó do concentrado.

Após a digestão seguida da filtração a vácuo, obtemos o nitrato de urânio impuro (N.U.I.) que depois de acertar a densidade, acidez livre e concentração de urânio, passa para a etapa de purificação.

### Purificação

A purificação do urânio é feita através de colunas pulsadas no sistema líquido-líquido em contra-corrente utilizando TBP-VARSOL, obtendo-se nitrato de urânio nuclearmente puro (N.U.P.).

Nessa etapa do processo não temos o perigo de contaminação do ar, pois o urânio está na forma de solução, porém pode ocorrer vazamentos ocasionando uma contaminação superficial do local de trabalho.

### Precipitação

O nitrato de urânio nuclearmente puro (N.U.P.) é precipitado com gás de amônia obtendo-se o diuranato de amônio nuclearmente puro (D.U.A.). Nesta etapa não há contaminação do ar, pois o material encontra-se na forma líquida e com o precipitado úmido, contido em reator fechado. O maior problema para a saúde ocupacional do trabalhador é o vazamento de gás de amônia caso ocorra alguma falha de operação. O trabalhador desta área usa máscara semi-facial com filtro apropriado para es

4.

te gás.

#### Filtração

O D.U.A. proveniente da precipitação passa por um estágio de filtração a vácuo, onde obtemos o D.U.A. úmido em forma de placas, as quais são transferidas para o estágio de calcinação. Todo líquido proveniente da filtração é enviado para um tanque de decantação.

#### Calcinação

O DUA úmido entra em um forno com três zonas de temperatura. Na saída deste, temos o trióxido de urânio ( $UO_3$ ) na forma de placas. Este material é recalcinado para entrar na próxima etapa do processo.

O trabalhador nesta fase usa máscara semi-facial, avental de PVC, luvas de cano longo e óculos de proteção, pois ao manusear estas plaquetas existe a possibilidade de uma dispersão dos aerossóis.

#### Produção de Tetrafluoreto de Urânio ( $UF_4$ )

O  $UO_3$  proveniente da calcinação reage com hidrogênio ( $H_2$ ) obtido pelo craqueamento da amônia ( $NH_3$ ) em um Reator de leito móvel formando o dióxido de urânio  $UO_2$  e em seguida este material é fluoretado com ácido fluorídrico (HF) produzindo o tetrafluoreto de urânio  $UF_4$ . Este  $UF_4$  é descarregado em coletor apropriado. As mencionadas operações são feitas num só reator hermeticamente fechado.

Nesta etapa o trabalhador usa escafandro pois temos a possibilidade de haver escape de vapores de HF.

#### Produção de Hexafluoreto de Urânio ( $UF_6$ )

O  $UF_4$  entra no reator de chama reagindo com o gás flúor ( $F_2$ ), produzido por eletrólise do ácido fluorídrico, formando o hexafluoreto de urânio. Este material é estocado intermediariamente em cristalizadores de aço, refrigerados, sendo depois liquefeito por elevação da temperatura e transferidos para cilindros de estocagem.

### 3. SISTEMA DE MONITORAÇÃO USADO

No presente trabalho quando descrevemos as etapas do processo de conversão do concentrado de urânio, mencionamos os principais pontos

de maior exposição ao trabalhador, e os equipamentos de proteção individual usados pelo mesmo. Sabemos que tais EPIs não são 100% eficientes, motivo pelo qual um programa de monitoração é aplicado para controlar os níveis de radiação.

Este programa engloba a monitoração do local de trabalho subdividida em monitoração para irradiação externa, monitoração para contaminação de superfície e monitoração para contaminação do ar. Este tipo de monitoração tem a vantagem de medir a taxa de exposição e a concentração de contaminação na superfície ou no ar, fornecendo, desta maneira, uma previsão da dose que poderá ser recebida pelo trabalhador; tem portanto um caráter preventivo. Além da monitoração do local de trabalho faz-se também a monitoração individual, tanto para irradiação externa como para contaminação interna ou de pele e roupa do indivíduo. Este tipo de medida é muito útil pois tem caráter confirmativo. Ela nos diz se as doses previstas pela monitoração do local de trabalho resultaram em doses reais no trabalhador.

Discorrendo algo mais sobre estes tipos de monitoração devemos informar que o risco apresentado por uma contaminação radioativa de superfície durante as operações envolvidas nos processos de conversão é mínima, pelo fato de se tratar de compostos de urânio alfa emissores. Se ocorrer uma contaminação de superfície é detectada e as medidas reparadoras são tomadas. Tal fato justifica porque neste trabalho não foram apresentados resultados de monitorações de descontaminação de superfície e nem a monitoração individual para contaminação de roupa e pele.

A monitoração do local de trabalho, para irradiação externa, é efetuada para se ter a certeza que os níveis de radiação externa são baixos e seus resultados podem ser comparados com a monitoração individual para radiação externa.

A monitoração para contaminação do ar é muito útil, uma vez que ela pode ser comparada com os resultados da monitoração individual para contaminação interna. Para este tipo de monitoração existem duas técnicas conhecidas como "in vivo" e "in vitro". A primeira técnica mede a contaminação interna do indivíduo diretamente fazendo uso de detectores de corpo inteiro ou corpo parcial. Porém para radionuclídeos emi-

6.

sores alfa é uma técnica muito difícil e sofisticada por causa do pequeno alcance na matéria da partícula alfa. Neste caso as técnicas mais comuns são "in vitro", isto é, examina-se no laboratório o nível de contaminação apresentado nos excretas do indivíduo. No presente trabalho usou-se a técnica mais comumente utilizada em que o material biológico examinado é a urina do trabalhador.

#### 4. PROCEDIMENTOS PARA A MONITORAÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO E INDIVIDUAL PARA IRRADIAÇÃO EXTERNA.

Os pontos de monitoração dos locais de trabalho para irradiação externa foram escolhidos pelo tipo de operação efetuada e que possivelmente levariam a maiores doses. Além disso foi considerada a possibilidade de incorporação de material radioativo pois assim poderia-se determinar a dose total recebida pelo trabalhador (externa mais a interna) e determinar a contribuição de cada uma delas separadamente. Desta maneira os locais selecionados foram em número de sete, apresentadas na tabela A juntamente com os resultados, médios somados sobre um ano em função do número de operações efetuadas.

Como pode-se observar a dose no ano é inferior a 2,4 mSv.

Isto explica o fato de os resultados apresentados pela monitoração individual externa ter dado valores < 2,4 mSv acumulados num ano.

A monitoração individual externa é feita por meio de dosímatros radiográficos marca Agfa-Gevaert modelo Structurix D<sub>10</sub> e D<sub>2</sub> constituído de duas películas radiográficas, uma para baixas doses e outra para altas doses.

O limite de sensibilidade para a película de baixa dose é de 0,2 mSv e o dosímetro é trocado mensalmente, perfazendo então uma sensibilidade mínima de < 2,40 mSv/ano.

#### 5. PROCEDIMENTOS PARA MONITORAÇÃO DE AR NAS INSTALAÇÕES DA UNIDADE PILOTO.

Com a monitoração do ar visava-se determinar a concentração de urânio presente no ar do ambiente de trabalho e compará-la com a con

centração derivada no ar, C.D.A., que é de  $10 \text{ Bq/m}^3$  para o concentrado de Urânio, classificado sob o ponto de vista de Proteção Radiológica na classe W, considerando 2000 h de trabalho<sup>(10)</sup>.

Como instrumento de medida utilizou-se uma bomba marca Millipore, com capacidade de aspirar 20 l/minuto de ar, exatamente o valor atribuído ao homem referência<sup>(7)</sup>.

O filtro utilizado foi do tipo Millipore, modelos pH  $0,3 \mu\text{m}$ , AA  $0,8 \mu\text{m}$ , SS  $3,0 \mu\text{m}$ , Sc  $8,0 \mu\text{m}$  afim de reter os aerossóis na faixa respirável pelo homem<sup>(9)</sup>.

A bomba funcionava durante todo o tempo de operação do trabalhador, que dependendo do local variava de 1 minuto a uma hora.

Os pontos de monitoração, isto é, os locais onde há possibilidade de contaminação do ar pelo urânio estão representados nas figuras 2, 3, 4 e são os mesmos daqueles da monitoração do local de trabalho para irradiação externa.

Os resultados das monitorações são apresentados na tabela B e são médias de cerca de 12 medidas.

## 6. MONITORAÇÃO INDIVIDUAL INTERNA POR MEIO DE BIOANÁLISE "IN VITRO".

A concentração de urânio foi determinada em amostras de urina colhidas de trabalhadores da Unidade Piloto.

O método foi por fluorimetria<sup>(14)</sup>, bastante específico para o Urânio com sensibilidade de  $5 \mu\text{gU/L}$ .

As amostras de urina foram coletadas de 24 horas, em frascos de polietileno de um litro e conservadas em geladeira até a análise.

No presente trabalho foi adotado como Nível de Investigação para o Urânio  $50 \mu\text{gU/L}$ . Não foi estabelecido o Nível de Interrupção pois é improvável que seja alcançado, em função dos resultados apresentados. De qualquer maneira, lembramos que poderia ser adotado o valor de um LIA (Limite de Incorporação Anual).

Como para qualquer outro agente tóxico de interesse ocupacio

8.

nal, é necessário que sejam tomadas medidas no sentido de se prevenir o aparecimento de intoxicação pelo flúor. Para esta avaliação o método foi por íon-análise por meio de eletrodo seletivo<sup>(11)</sup>. A coleta das amostras de urina dos trabalhadores envolvidos foi realizada em duas etapas, ao início e ao término das atividades. As amostras foram colhidas em recipiente de polietileno de 250 ml, lavados com detergente e água desionizada, contendo cada um 0,2 g de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético). Foram, conservadas na geladeira até serem efetuadas as análises, num prazo não superior a 3 dias.

Para o flúor em urina o nível aceitável é de 4 mgF<sup>-</sup>/L. Este valor é tomado como a diferença entre a concentração de fluoreto no início do trabalho e fim da jornada.

Atualmente para os trabalhadores das Instalações da Unidade Piloto é feita análise trimestral para o Urânio e o Flúor em urina. Essa frequência de amostragem foi estabelecida pela quantidade de material radioativo ou quimiotóxico processada e pelos resultados apresentados nas determinações.

Evidentemente poderá ser alterada caso a quantidade processada seja aumentada e conseqüentemente se os níveis de contaminação aumentarem.

Os resultados das análises de Urânio e Flúor em urina estão contidas nas tabelas C e D respectivamente.

## 7. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Como pode-se constatar pelos resultados da monitoração do local de trabalho para radiação externa e monitoração individual externa estes métodos não são muito sensíveis para as variações que ocorrem nos campos de radiação do local de trabalho, pois os seus níveis são muito baixos. O mesmo não pode ser dito para o caso de monitoração para contaminação do ar e monitoração individual interna. Sem dúvida nenhuma destas técnicas são mais sensíveis na detecção de variações que ocorrem nos campos de radiação. Realmente, a maior dose nos trabalhadores é aquela interna provocada pelos materiais suspensos no ar, mas assim mesmo são

pequenas quando comparadas as C.D.A. A não ser no silo (Ponto 6), onde a concentração média está cerca de 2,5 vezes superior a C.D.A.

Nos demais locais estão no máximo a 1/4 da C.D.A. Ainda que o valor do silo seja alto o tempo de permanência do trabalhador por operação é curto, e o fato foi confirmado pelos resultados das análises de urina. Tais resultados referem-se aos trabalhadores que prestam serviços nos locais um e dois. Dever-se-ia esperar que os resultados médios das análises de urina se situassem entre 1/10 ou no máximo 1/4 do limite, apresentados pela monitoração do ar; e isso realmente ocorreu uma vez que o limite de investigação foi fixado nos 3/10 do limite anual de incorporação na fração do tempo de monitoração e portanto o nível de ação valeria 170  $\mu\text{gU/L}$  de urina. O valor apresentado pela tabela C de 18  $\mu\text{gU/L}$  de urina é pouco mais de 1/10 do limite.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração do Dr. Alcídio Abrão na leitura do manuscrito.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) FRANÇA JR., J.M. Usina Piloto de purificação de urânio pelo processo de colunas pulsadas em operação no Instituto de Energia Atômica. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, out. 1972. (Publicação IEA 277).
- 2) FRANÇA JR., J.M. Unidade Piloto de tetrafluoreto de urânio pelo processo de leito móvel em operação no I.E.A. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, jan. 1975. (Publicação IEA 381).
- 3) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic safety standards for radiation protection. Vienna, 1982, (Safety series, 9).
- 4) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic requirements for personal monitoring. Vienna, 1980. (Safety series, 14).

10.

- 5) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic principles for occupational radiation monitoring. Vienna, 1987. (Safety series, 84).
- 6) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Implications of Commission recommendations that doses be kept as low as readily achievable. 1973. (ICRP-22).
- 7) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Reference man: anatomical, physiological and metabolic characteristics. Oxford, Pergamon, 1975. (ICRP-23).
- 8) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. 2.ed. 1987. (ICRP-26).
- 9) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Limits for intakes of radionuclides by workers. 1979. (ICRP-30, part 1).
- 10) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. General principles of monitoring for radiation protection of workers. 1982. (ICRP-35).
- 11) LEYTON, V. Avaliação da exposição ocupacional a fluoretos em indústria de alumínio. São Paulo, 1983. (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Univ. São Paulo).
- 12) MEYER, M.; OLIVEIRA, E.C.; SORDI, G.M.A.A.; ABRÃO, A. Health physics system scheme for the uranium purification plant. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, fev. 1976. (Publicação IEA-400)
- 13) NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. Use of bioassay procedures for assessment of internal radionuclide deposition. 1987. (NCRP-87).

- 14) PASSARELI, M.M. Determinação de urânio e trítio em urina de trabalhadores. São Paulo, 1977. (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Univ. São Paulo).

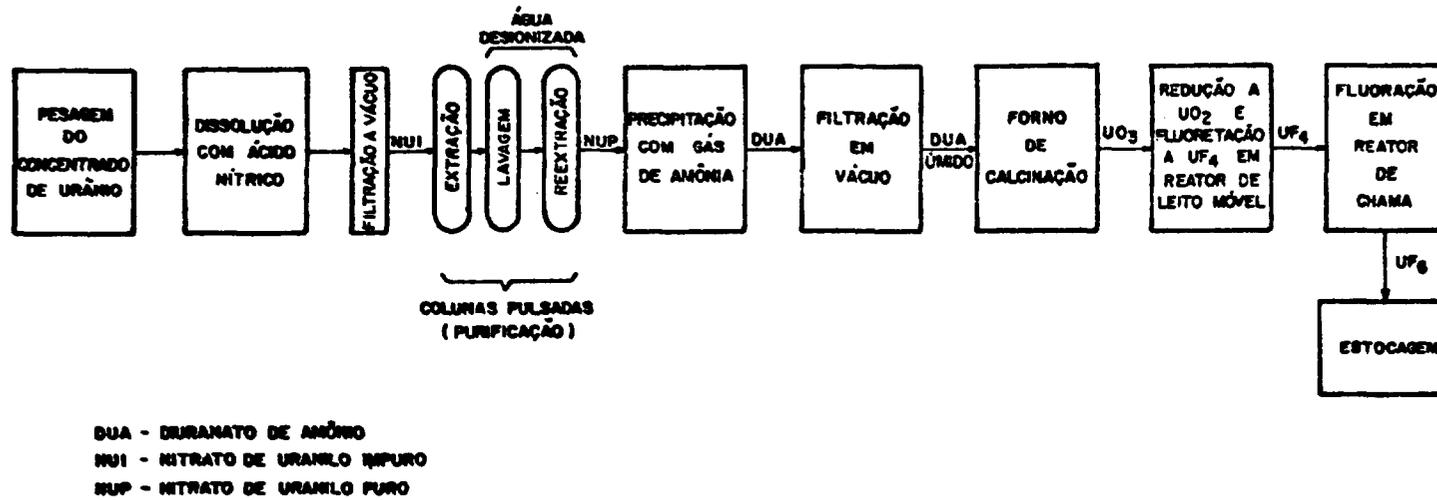
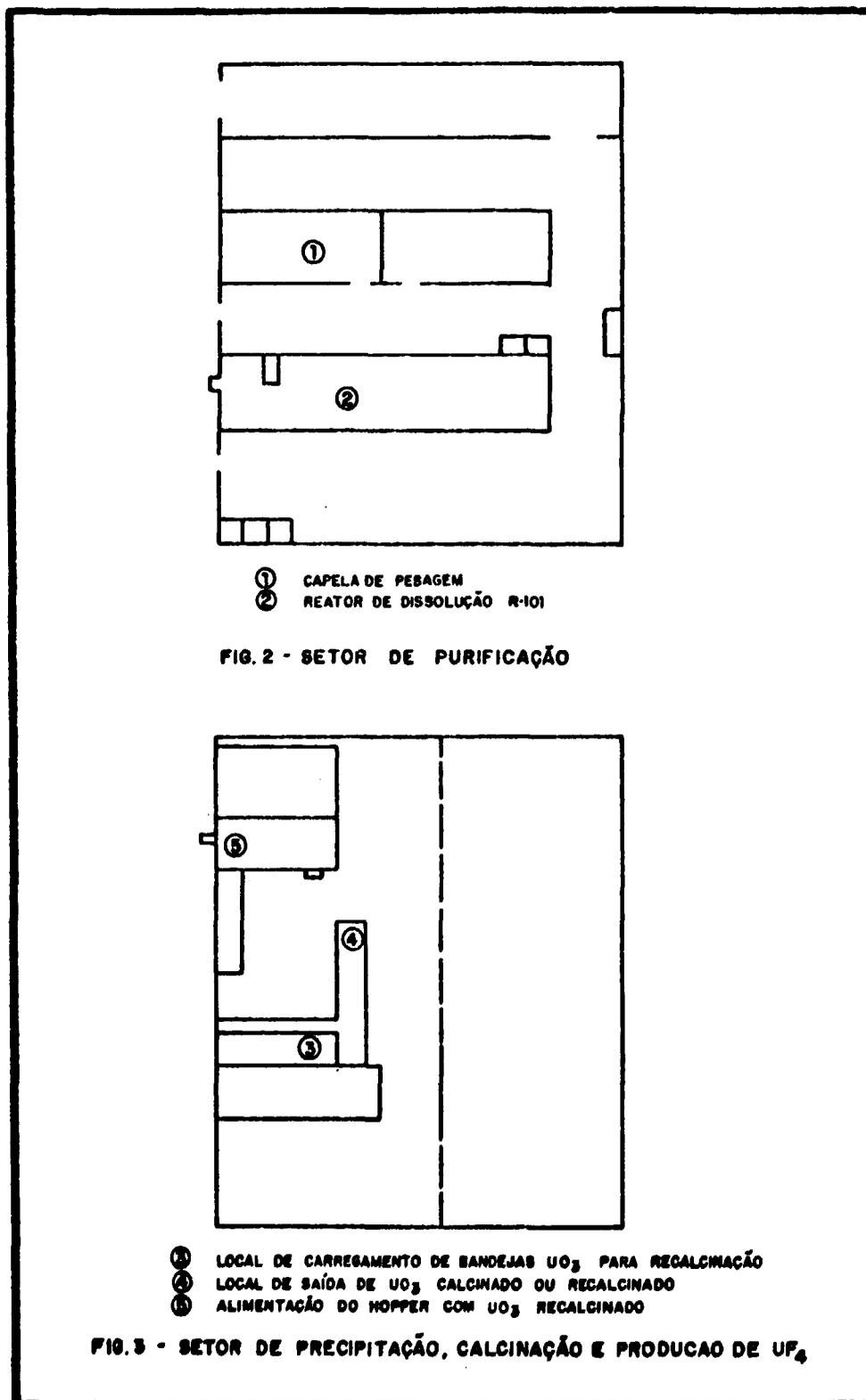


FIG. 1 - DIAGRAMA DE BLOCO DO PROCESSO DE CONVERSÃO DE URÂNIO DA USINA PILOTO IPEN-CNEN/SP



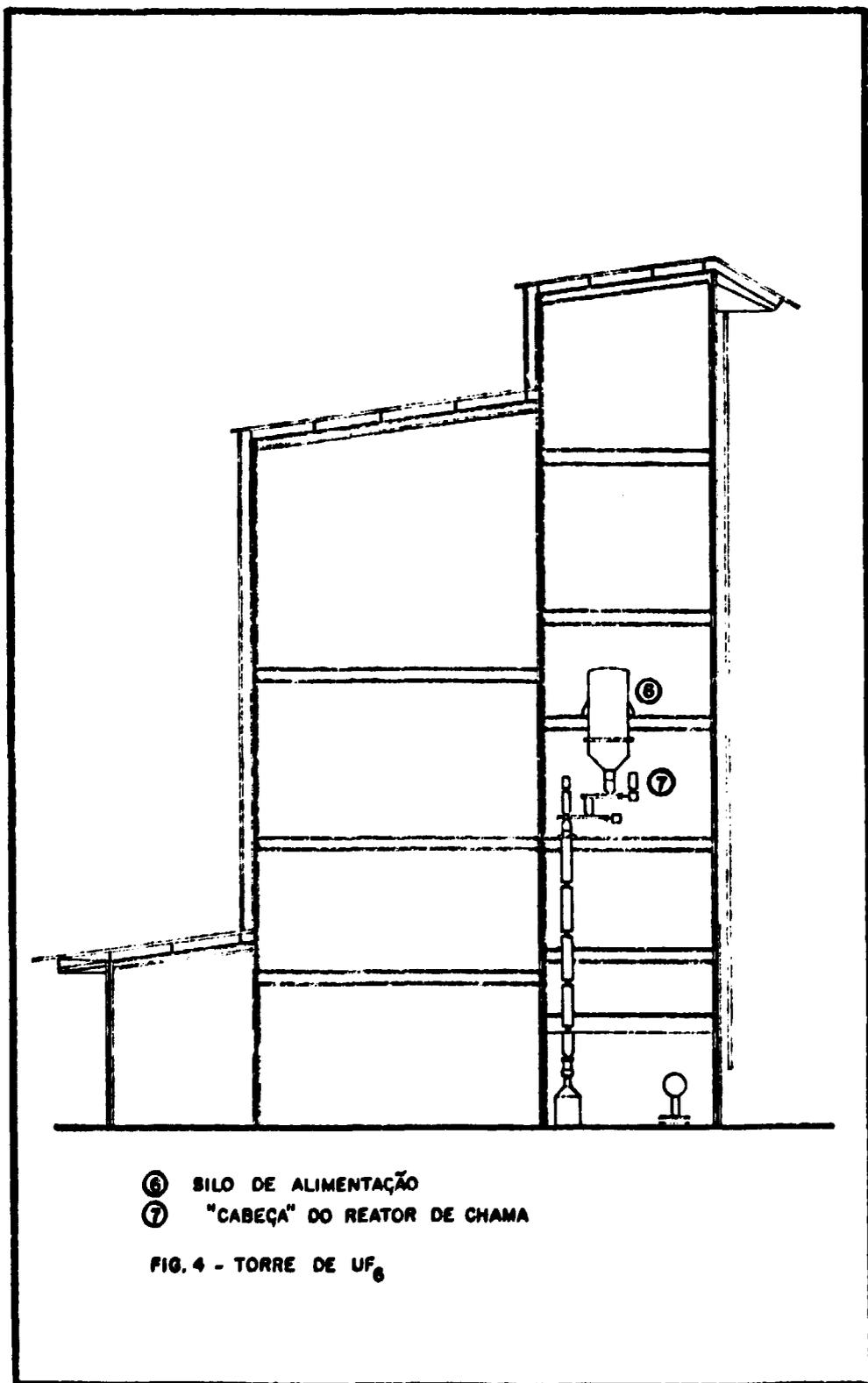


TABELA A

## Resultados das Monitorações de Área

LOCAIS DE MONITORAÇÃO	TAXA DE EXPOSIÇÃO MÉDIA $\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$ (28 medidas)
Setor de Purificação	
1).... Capela de Pesagem	1,56
2).... Reator de Dissolução	0,19
Setor de Precipitação, Calci nação e Produção de $\text{UF}_4$ .	
3).... Carregamento de bandejas ( $\text{UO}_3$ )	0,33
4).... Saída de $\text{UO}_3$ calcinado ou re- calcinado.	0,14
5).... Alimentação do Hopper com $\text{UO}_3$ recalcinado.	0,15
6).... Silo de Alimentação	0,21
7).... "Cabeça do reator de chama"	0,05

**TABELA B**  
**Resultados das Monitorações de Ar**

LOCAIS DE MONITORAÇÃO	CONCENTRAÇÃO ENCONTRADA Bq/m <sup>3</sup>		
	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MÉDIA ANUAL
Setor de Purificação			
1).... Capela de Pesagem	3,15	0,05	1,09
2).... Reator de Dissolução	5,85	0,12	2,48
Setor de Precipitação, Calci nação e Produção de UF <sub>4</sub> .			
3).... Carregamento de bandejas (UO <sub>3</sub> )	2,10	0,20	0,80
4).... Saída de UO <sub>3</sub> calcinado ou re- calcinado.	2,16	0,04	0,53
5).... Alimentação do Hopper com UO <sub>3</sub> recalcinado.	6,43	0,20	1,88
Torre de Produção de UF <sub>6</sub>			
6).... Silo de Alimentação	86,11	0,10	24,38
7).... "Cabeça do reator de chama"	0,38	0,07	0,15

A tab. B representa a exposição dos trabalhadores nos pontos selecionados. Os resultados obtidos são referentes às horas reais trabalhadas <sup>(10)</sup>.

TABELA C

Resultados das análises de Urânio nat. em urina

(média 4 amostras/ano)

PERMANÊNCIA DOS TRABALHADORES	CONCENTRAÇÃO ENCONTRADA $\mu\text{gU/L}$		
	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MÉDIA ANUAL
Locais 1, 2	47,0	<5	18
Locais 3, 4, 5	38,0	<5	15
Locais 6, 7	8,0	<5	6,0

Nível de Investigação: 50  $\mu\text{gU/L}$ 

TABELA D

Resultados das análises de Flúor em urina

(média 4 amostras/ano)

PERMANÊNCIA DOS TRABALHADORES	CONCENTRAÇÃO ENCONTRADA $\text{mgF}^-/\text{L}$		
	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MÉDIA ANUAL
Locais 1, 2	*	*	*
Locais 3, 4, 5	2,6	0,10	0,89
Locais 6, 7	1,9	0,10	0,69

\*Na tabela D, os trabalhadores dos pontos 1 e 2 não coletaram urina para análise de fluoretos porque não há manuseio de flúor neste local.