

BR 91 26/194
11/15-61--2118

(8)

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA NOVA FILOSOFIA INTERNACIONAL DE
SEGURANÇA RADIOLÓGICA NO PROCESSAMENTO QUÍMICO
DO URÂNIO NATURAL**

TERESINHA DE MORAES DA SILVA

Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Tecnologia Nuclear.

Orientador: Dr. Gian Maria A. A. Sordi

SÃO PAULO
1988



MEUS AGRADECIMENTOS

A. Deus.

A meu marido.

Aos meus pais, Elvira Corcione de Moraes e José Sebastião de Mo
raes, pelo carinho e incentivo ao longo do Trabalho.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear - IPEN/CNEN-SP na pe
essoa de seu Superintendente Doutor Claudio Rodrigues.

Ao Doutor Gian Maria A.A. Sordi pela orientação, apoio e confian
ça.

Ao Doutor Laércio Antônio Vinhas, Diretor do Departamento de Pro
teção Radiológica.

Ao Doutor Alcídio Abrão, Diretor das Instalações MT-MH.

Ao Gerente do MT, Carlos Octávio de Freitas.

Ao Gerente do MH, Wagner Oliveira Santos.

Ao Doutor Rui Ribeiro Franco pela gentileza em revisar o texto
da Dissertação.

Ao MSc Roberto Vicente.

Ao MSc Alberto Saburo Todo.

Ao Engenheiro Matias Puga Sanches.

Aos amigos, Iris, Antônio Carlos, Lauro, Encocles, David, Sandra
pelas discussões referentes ao melhoramento do trabalho.

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA NOVA FILOSOFIA INTERNACIONAL DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA NO PROCESSAMENTO QUÍMICO DO URÂNIO NATURAL.

TERESINHA DE MORAES DA SILVA

R E S U M O

Este trabalho tem por objetivo adaptar o sistema de Segurança Radiológica das instalações referentes ao tratamento químico do concentrado de urânio ("yellow-cake") até a conversão em hexafluoreto de urânio na Usina Piloto do IPEN-CNEN/SP, à nova filosofia internacional adotada pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica C.I.P.R. publicações 22(1973) , 26(1977), 30(1978) e Agência Internacional de Energia Atômica A.I.E.A. publicação 9(1982).

A nova filosofia altera completamente os conceitos de radioproteção da filosofia anterior; altera, também, o conceito de monitoração do local de trabalho e individual bem como a classificação das áreas de trabalho.

Estes novos conceitos são aplicados em cada fase do processo químico de tratamento do urânio natural na instalação de conversão.

**STUDY CONTRIBUTION OF THE NEW INTERNATIONAL PHILOSOPHY OF THE
RADIOLOGICAL SAFETY SYSTEM ON CHEMICAL PROCESSING OF THE NATURAL
URANIUM.**

TERESINHA DE MORAES DA SILVA

A B S T R A C T

The objective of this work is to adapt the Radiological Safety System in the facilities concerned to the chemical treatment of the uranium concentrated (yellow-cake) until conversion in uranium hexafluoride in the pilot plant of IPEN-CNEN/SP, to the new international philosophy adopted by the International Commission Radiological on Protection ICPR publication 22(1973), 26(1977), 30(1978) and the International Atomic Energy Agency IAEA publication 9(1982).

The new philosophy changes fully the Radiological Protection concepts of preceding philosophy, changes, also, the concept of the workplace and individual monitoring as well as the classification of the working areas.

These new concepts are applied in each fase of the natural uranium treatment chemical process in conversion facility.

Ao pessoal dos laboratórios analíticos das Divisões NPA, NPM e MEC.

À Senhora Dolores Benites Pisani pela orientação na parte bi
bliográfica.

Aos técnicos em proteção radiológica Cláudio Calixto, Amaro, Fa
biano, Olavo.

I N D I C E

Pág.

CAPÍTULO 1

DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE CONVERSÃO DO URÂNIO E DAS INSTALAÇÕES DO IPEN-CNEN/SP	01
1. Introdução	01
1.1 Descrição dos Processos Comumente Usados Internacionalmente	01
1.2 As Instalações MT-MH	05
1.2.1 Unidade de Purificação MT (Bloco 30)	05
1.2.1.1 Setor I Pesagem do Concentrado de Urânio	05
1.2.1.2 Setor II Dissolução do Concentrado de Urânio ..	05
1.2.1.3 Setor III Extração	05
1.2.2 Unidade de Precipitação do Diuranato de Amônio (DUA) Nuclearmente Puro (MT)	05
1.2.2.1 Precipitação do DUA	05
1.2.2.2 Filtração do DUA	05
1.2.2.3 Calcinação do DUA em UO_3	05
1.2.3 Unidade de Produção do Tetrafluoreto de Urânio (MT)	05
1.2.4 Unidade de Produção do Hexafluoreto de Urânio (MH)	06

	Pág.
1.2.4.1 Casa de Força	06
1.2.4.2 Geração de Flúor	06
1.2.4.3 Torre Metálica	06
1.2.4.4 Casa de Máquinas e Almoxa-ifado	06
1.2.5 Unidade de Armazenagem de Materiais Radio ativos (MT)	06
1.2.6 Vestiário MT-MH	06
1.3 Descrição do Processo Químico Adotado nas Instala ções da Usina Piloto dos Projetos MT-MH-CNEN/SP....	08
1.3.1 Unidade de Purificação MT	08
1.3.1.1 Amostragem do Concentrado de Urânio	08
1.3.1.2 Preparação do Nitrato de Uranilo em Processo Descontínuo com Digestão Nítrica	12
1.3.1.3 Filtração em Vácuo	15
1.3.1.4 Extração	16
1.3.1.5 Tratamento dos Efluentes Aquosos Originados Du rante o Processo de Extração	21
1.3.2 Unidade de Precipitação do Diuranato de Amônio DUA Bloco 31 (MT)	24
1.3.3 Calcinação	26
1.3.4 Produção do Tetrafluoreto de Urânio (MT)	26

1.3.5	Produção de Hexafluoreto de Urânio UF ₆ (MH)	29
-------	--	----

CAPÍTULO 2

	METABOLISMO DOS COMPOSTOS DE URÂNIO E MODELOS DOSIMÉTRICOS PARA AVALIAÇÃO DE DOSES. OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO	35
2.1	Metabolismo do Urânio	35
2.2	Modelo Dosimétrico Vigente no País Resolução CNEN 06, ou Modelo Antigo Internacional cuja Finalidade é a de Determinar as Doses nos Trabalhadores ...	36
2.3	Métodos Dosimétricos para Prever e Avaliar as Doses Recebidas pelos Trabalhadores em Obediência às Normas Vigentes	39
2.4	Modelo Dosimétrico Internacional com a Finalidade de Determinar as Doses dos Trabalhadores	46
2.4.1	Modelo do Sistema Respiratório	54
2.4.2	Modelo de Deposição e Retenção	56
2.4.3	Trato Gastrointestinal	62
2.5	Métodos Dosimétricos para Prevenção e a Avaliação das Doses Recebidas pelos Trabalhadores de Acordo com a Nova Filosofia Internacional	63
2.6	Necessidade do Serviço de Proteção Radiológica	67
2.7	Objetivos do Presente Trabalho	71

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE TRABALHO E DOS PONTOS QUE NECES SITAM CUIDADOS DO PONTO DE VISTA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	73
3.1 Vestiários	74
3.1.1 Vestiário Frequentado pelos Trabalhadores de Ní vel Superior e Visitantes	74
3.1.2 Vestiário B Destinado aos Técnicos que Trabalham nas Instalações	76
3.1.3 Vestiário Recomendado pela A.I.E.A.	80
3.1.4 Comentários sobre os Atuais Vestiários Representa dos nas Figuras 3.1 e 3.3 Respectivamente	82
3.2 Unidade de Purificação	88
3.2.1 Monitorações Diretas	90
3.2.2 Discussão dos Resultados Apresentados pela Monito ração Direta	91
3.2.3 Monitorações Indiretas	93
3.2.4 Discussão dos Resultados Apresentados pela Monito ração Indireta	97
3.2.5 Monitoração de Ar	100
3.2.5.1 Resultados das Monitorações Feitas na Unidade de Purificação	103
3.2.5.2 Análise dos Resultados Encontrados na Capela de Pesagem	106

3.2.5.3	Análise dos Resultados Encontrados no Setor de Dissolução do Concentrado de Urânio	110
3.2.5.4	Análise dos Resultados Encontrados em Situações Anormais	114
3.2.5.5	Monitorações de Ar Realizadas com Óxidos de Urânio	120
3.2.5.6	Recomendações Objetivando Diminuir a Concentração de Material Radioativo	125
3.2.5.7	Resultados das Análises de Urina dos Trabalhadores	126
3.3	Bloco 31	129
3.3.1	Unidade de Precipitação do DUA	129
3.3.2	Forno de Calcinação	133
3.3.3	Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio UF ₄	136
3.3.4	Monitoração de Ar no Bloco 31	141
3.3.4.1	Locais de Monitoração	141
3.3.4.2	Monitoração de Ar Durante uma Parada do Forno de Calcinação	152
3.3.4.3	Monitoração do Ar Durante a Limpeza da Capela do Forno de Calcinação	154
3.3.4.4	Monitoração do Ar Durante o Desentupimento do Reator de Leito Móvel	155

3.3.4.5	Procedimentos que Devem ser Seguidos Durante a Execução das Tarefas a,b,c Mencionadas no Item 3.3.4.1 a 3.3.4.3	157
3.3.5	Resultados da Análise de Urina do Pessoal que Executou o Serviço no Bloco 31	158
3.4	Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio UF ₆	160
3.4.1	Monitorações Diretas e Indiretas	162
3.4.2	Monitorações de Ar Feitas na Torre de UF ₆	164
3.4.3	Resultados da Análise de Urina dos Trabalhadores que Executam Serviços na Torre de UF ₆	167
3.4.4	Procedimentos a Serem Introduzidos na Unidade UF ₆	169

CAPÍTULO 4

PLANEJAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EM SEGURANÇA	170	
4.1	Classificação das Áreas na Unidade de Purificação	170
4.2	Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Purificação	171
4.3	Soluções Propostas para Diminuir os Níveis de Radiação no Setor de Dissolução	173
4.4	Bloco 31	176
4.4.1	Classificação da Área na Unidade de Precipitação do DUA	177
4.4.2	Classificação da Área para o Setor do Forno de Calcinação	177
4.4.3	Classificação das Áreas para a Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio UF ₄	178
4.5	Classificação das Condições de Trabalho no Bloco 31	179

4.5.1	Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Precipitação do DUA	-179-
4.5.2	Classificação das Condições de Trabalho no Setor do Forno de Calcinação	-179-
4.5.3	Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Produção de UF ₄	180
4.6	Soluções Propostas para o Bloco 31	180
4.7	Classificação das Áreas na Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio	184
4.8	Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Produção de UF ₆	184
4.9	Soluções Propostas para a Torre de UF ₆	185
4.10	Vestiário	185
4.11	Programa de Monitoração	187

CAPÍTULO 5

	AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS SITUAÇÕES ANORMAIS	199
5.1	Descrição das Possíveis Situações Anormais	199
5.1.1	Unidade de Purificação	199
5.1.2	Bloco 31	202
5.1.2.1	Unidade de Precipitação do DUA	202
5.1.2.2	Forno de Calcinação	203

	Pág.
5.1.2.3 Torre de Produção de UF ₄	203
5.1.3 Torre de Produção de UF ₆	203
5.2 Detecção das Situações Anormais	204
5.3 Caracterização de uma Situação Acidental	205
5.3.1 Discussão da Situação Acidental na Unidade de Purificação	206
5.3.2 Discussão de Situação Acidental no Bloco 31	207
5.3.2.1 Unidade de Precipitação do DUA (Ver Figura 3.6 ponto 7)	207
5.3.2.2 Forno de Calcinação	208
5.3.2.3 Torre de Produção de UF ₄	209
5.3.3 Torre de Produção de UF ₆	209
5.4 Intervenção nas Situações Anormais a fim de Restabelecer as Situações Normais	211
5.4.1 Situações Anormais Provocadas por Derrame de Pó .	211
5.4.2 Situações Anormais Provocadas por Derrame de Líquido Contendo urânio	213
 <u>CAPÍTULO 6</u>	
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	215
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	217

A meus queridos Pais.

Aos técnicos das instalações MT-MH.

ÍNDICE DE SIGLAS

- A.I.E.A.** - Agência Internacional de Energia Atômica
- ALARA** - Tão baixa quanto razoavelmente exequível, da língua inglesa "As low as reasonably achievable".
- C.C.M.P.** - Carga corporal máxima permissível
- C.D.A.** - Concentração derivado no ar
- C.E.** - Coluna de extração
- C.I.P.R.** - Comissão Internacional de Proteção Radiológica
- C.L.** - Coluna de lavagem
- C.M.Par** - Concentração máxima permissível no ar
- CNEN** - Comissão Nacional de Energia Nuclear
- CPM** - Contagens por minuto
- CR** - Coluna de reversão
- DAMA** - Diâmetro Aerodinâmico Médio para Atividade
- DP** - Deposição na região pulmonar
- DP-N** - Deposição na região da passagem nasal
- DT-B** - Deposição na região da traquéia e árvore bronquial
- DUA** - Diuranato de amônio
- DUS** - Diuranato de sódio
- E** - Esfregação
- E.P.I.** - Equipamento de proteção individual
- F.c** - Forno de calcinação
- F.p** - Fator de ponderação
- H** - Dose equivalente
- H₅₀** - Dose equivalente comprometida
- IPEN** - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

L	- Sistema linfático pulmonar
LAMA	- Limite Anual Máximo Admissível
LD	- Limite Derivado
LIA	- Limite de Incorporação Anual
N.I.	- Nível de investigação
N.Int.	- Nível de interrupção
N.R.	- Nível de registro
NUI	- Nitrato de urânio impuro
NUP	- Nitrato de urânio nuclearmente puro
P	- Parênquima pulmonar
P-N	- Passagem nasal
PVC	- Cloreto de polivinil
RF	- Radiação de fundo
T-B	- Traquéia e árvore bronquial
T.B.P.	- Tributil-fosfato
λ	- Constante de eliminação
U	- Urânio

DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE CONVERSÃO DO URÂNIO E DAS INSTALAÇÕES DO IPEN-CNEN/SP

1. INTRODUÇÃO

O urânio é amplamente usado na indústria nuclear, tanto para a fabricação de elementos combustíveis dos reatores nucleares, como para construir blindagens para fontes radioativas. Neste último caso, o mais conveniente é o uso do urânio empobrecido, aquele do qual foi retirado parcialmente o radioisótopo de número da massa 235.

Em virtude desses fatos, o IPEN-CNEN/SP mantém uma usina piloto com a finalidade de realizar o processo de conversão do urânio natural ao hexafluoreto de urânio, isto é, o tratamento químico do urânio partindo-se do concentrado, "yellow-cake", até a obtenção do produto final.

Neste capítulo descreveremos, em linhas gerais, o processo de conversão utilizado internacionalmente e adotado no IPEN-CNEN/SP.

1.1 Descrição Dos Processos Comumente Usados Internacionalmente (45)

A indústria do urânio usa comumente dois processos para a purificação e a conversão do concentrado de urânio em hexafluoreto de urânio a saber:

- a) fluoração seguida de destilação fracionada,
- b) extração com solvente seguida de fluoração.

Esses processos são referidos como processo seco e úmido, respec

A primeira diferença entre os dois processos é que no processo seco, a conversão em hexafluoreto de urânio (UF_6) precede a purificação, enquanto no processo úmido a conversão sucede à purificação.

A seguir, mostramos um diagrama de blocos dos dois processos, ver figura 1.1.

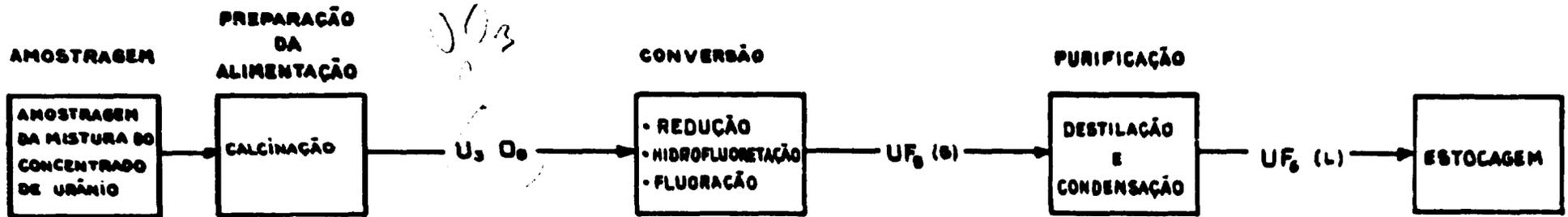
A fase de amostragem de ambos os processos consiste em esvaziar tambores de 208 litros (55 galões) de concentrado de urânio para o interior de um silo de alimentação "hopper"; misturando-se as porções e fazendo-se coletas de amostras. Estas são analisadas quanto as suas características químicas e físicas, pois podem afetar o rendimento final de urânio puro. A fase de amostragem é feita em uma área separada do resto do processo em virtude de ser uma fase que origina dispersão de pó.

A fase de preparação da alimentação no processo seco exige vários passos. O passo inicial é a calcinação, a fim de secar o concentrado de urânio e converter muitos dos compostos de urânio em óxido de urânio (U_3O_8). Esse passo é seguido por moagem e homogenização a fim de obtermos uma mistura uniforme. O material é reumedecido formando placas de U_3O_8 .

Como mostra a figura 1.1, o próximo passo no processo seco é a conversão em UF_6 .

As placas de U_3O_8 são reduzidas pelo hidrogênio proveniente da decomposição da amônia em um reator de leito fluidizado, obtendo-se dióxido de urânio (UO_2) na forma de pó. A conversão para tetrafluoreto de urânio (UF_4) é obtida em uma série de reatores

PROCESSO SECO



PROCESSO ÚMIDO

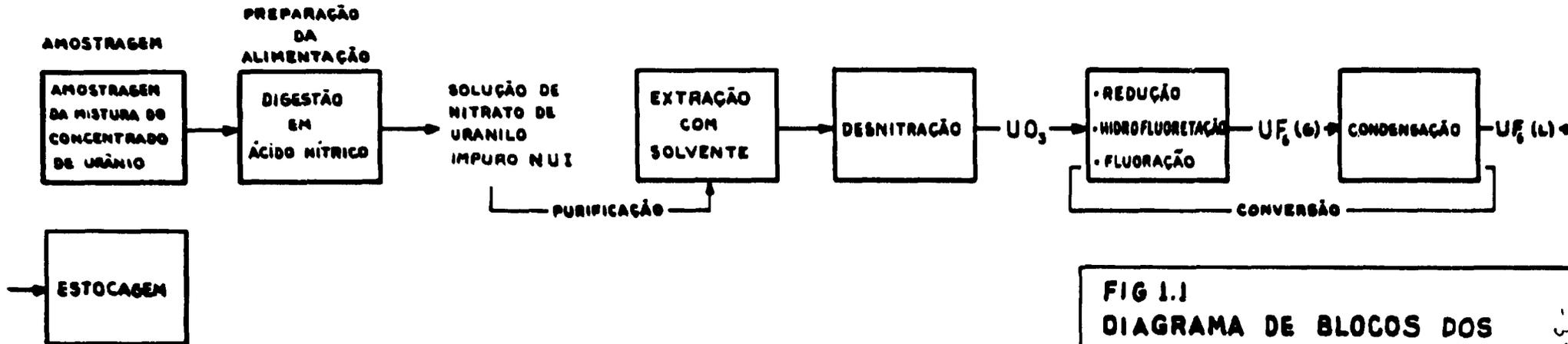


FIG 1.1
DIAGRAMA DE BLOCOS DOS
PROCESSOS DE CONVERSÃO

de leito fluidizado onde o fluoridreto de hidrogênio gasoso (HF) reagindo com UO_2 produz o UF_4 . A conversão final também ocorre em um reator de leito fluidizado onde o pó de UF_4 e flúor (F_2) gasoso reagem formando UF_6 gasoso.

O UF_6 é purificado no processo seco em uma série de colunas de destilação fracionada e o produto final condensado é 99,99% UF_6 . As impurezas incluindo os filhos do urânio, são coletadas como cinza na base das colunas.

Na fase de preparação da alimentação do processo úmido, o concentrado de urânio é digerido em ácido nítrico por oito horas. O resultado da digestão nítrica é a solução de nitrato de urânio impuro (N.U.I.). Após a fase de preparação da alimentação, segue-se a purificação propriamente dita como mostra a figura 1.1.

A solução de nitrato de urânio da fase de preparação da alimentação é purificada por um processo de extração com solvente. O solvente, carregado com urânio, é então lavado com água acidulada para remover impurezas residuais, e o nitrato de urânio é reextraído dentro da fase aquosa.

A solução é concentrada em um sistema de evaporação de duas fases, obtendo-se nitrato de urânio. Este material passa pela fase de desnitração originando pó de trióxido de urânio, UO_3 .

Finalmente, UO_3 é pulverizado em um moinho martelo. A conversão do UO_3 em UF_6 é obtida usando-se uma técnica similar àquela da fase de conversão do processo seco.

Antes de descrever o processo químico adotado nas instalações da usina piloto do IPEN-CNEN/SP, apresentaremos suas instalações.

1.2 As instalações pertencentes ao projeto hexafluoreto de urânio recebe a sigla MH enquanto as instalações referentes ao projeto concentrados de urânio e tório recebem a sigla MT.

Apresentamos a seguir as unidades abaixo relacionadas que podem ser vistas na figura 1.2.

1.2.1 Unidades de Purificação (MT) - Bloco 30

Esta unidade é formada por três setores, a saber:

- 1.2.1.1 Setor I - Pesagem do concentrado de urânio;
- 1.2.1.2 Setor II - Dissolução do concentrado de urânio;
- 1.2.1.3 Setor III - Extração

1.2.2 Unidade de Precipitação do Diuranato de Amônio (D.U.A.) Nuclearmente Puro (MT)

- 1.2.2.1 Precipitação do D.U.A.;
- 1.2.2.2 Filtração do D.U.A.;
- 1.2.2.3 Calcinação do D.U.A. em UO_3 .

De acordo com a figura 1.2, estas partes do processo localizam-se no bloco 31.

1.2.3 Unidade de Produção do Tetrafluoreto de Urânio (MT)

Esta unidade encontra-se no bloco 31 ao lado do setor de calcinação. O UO_3 , do forno de calcinação, é transformado em UF_4 via reator de leito móvel.

1.2.4 Unidade de Produção do Hexafluoreto de Urânio (MH)

6

Na figura 1.2, vê-se a unidade acima representada pelo bloco 84, onde estão incluídas as seguintes instalações:

1.2.4.1 Casa de força;

1.2.4.2 Geração de flúor;

1.2.4.3 Torre metálica (unidade de produção de UF_6);

1.2.4.4 Casa de máquinas e almoxarifado.

Como se pode observar na figura 1.2, essas instalações são independentes.

1.2.5 Unidade de Armazenagem de Materiais Radioativos (MT)

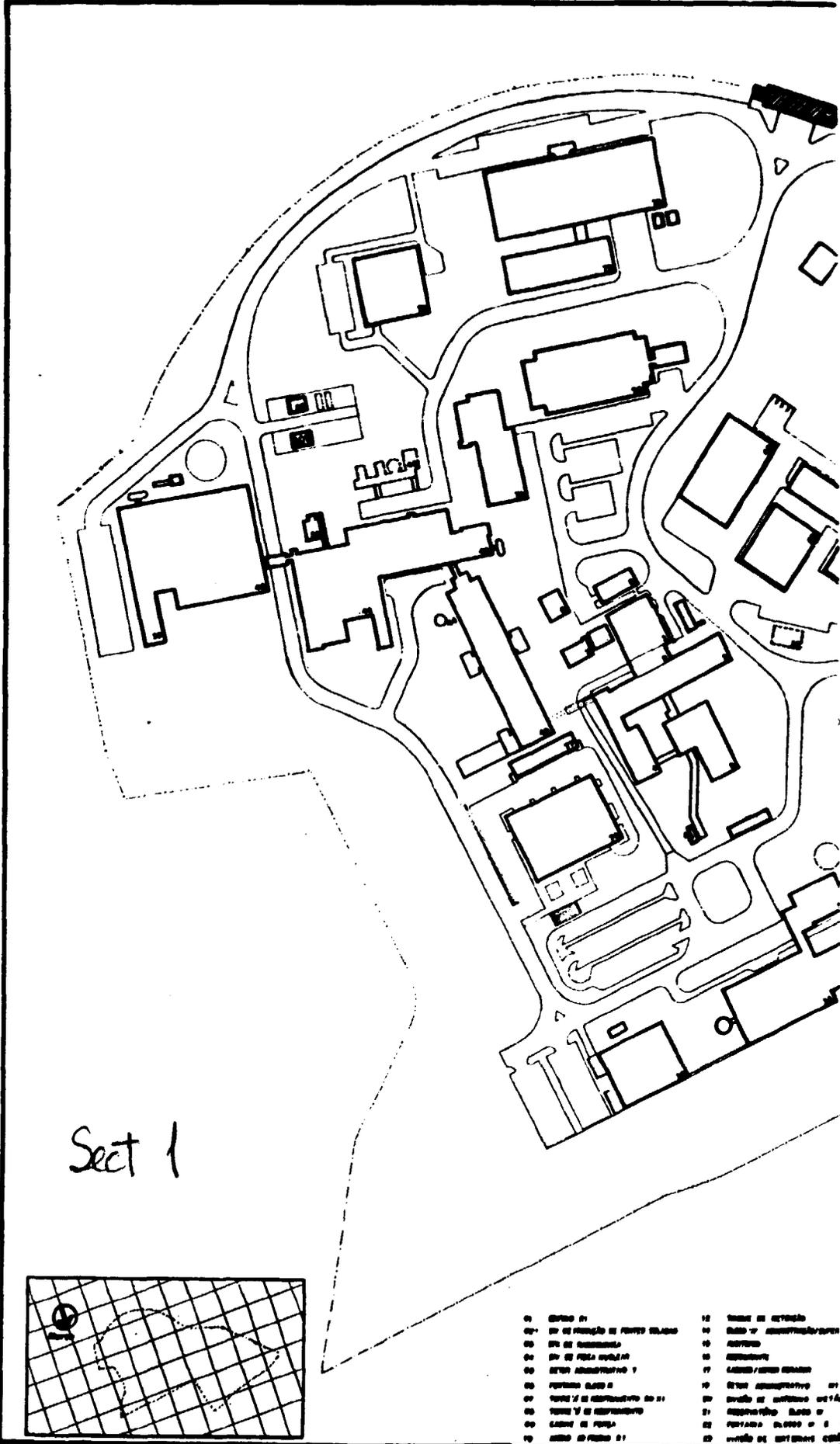
Localizada pelo número 110 da figura 1.2.

1.2.6 Vestiário MT-MH

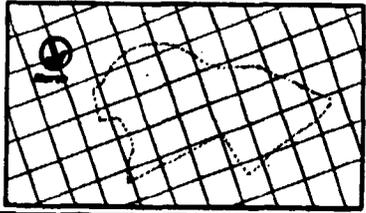
Os trabalhadores que executam as tarefas nas áreas mencionadas acima devem, obrigatoriamente, passar pelos vestiários onde trocam de vestimentas e colocam os equipamentos de proteção individual (E.P.I.) adequados.

Os vestiários, em número de dois, denominados A e B, são identificados na figura 1.2 pelo bloco 85.

O vestiário A é utilizado pelos trabalhadores de Nível Superior (MT-MH), do Departamento de Proteção Radiológica (NPS) e pelos visitantes. O vestiário B é utilizado pelos técnicos de Nível Médio que trabalham nas referidas unidades.

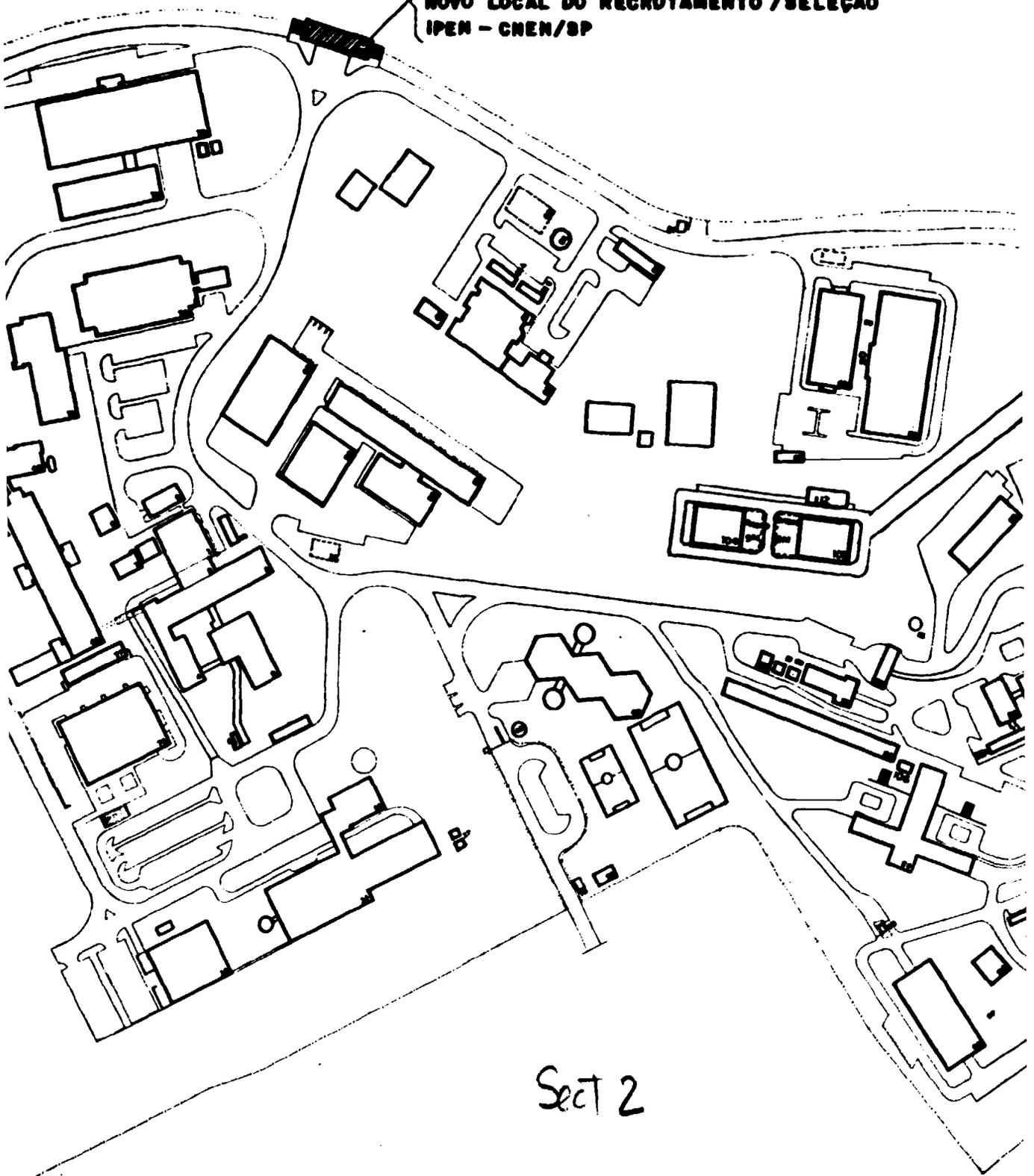


Sect 1



- | | | | |
|----|--------------------------------------|----|--------------------------------|
| 01 | ENTRATA 01 | 12 | TORRE DI SERVIZIO |
| 02 | SP. DI RIUNIONE DI SERVIZI VIGILANZA | 13 | LABOR. DI ANALISI/INFORMAZIONE |
| 03 | SP. DI INCONTRO | 14 | LABORATORIO |
| 04 | SP. DI FIDUCIA VIGILANZA | 15 | LABORATORIO |
| 05 | SP. DI AMMINISTRAZIONE 1 | 16 | LABORATORIO VIGILANZA |
| 06 | LABORATORIO 02 | 17 | LABORATORIO AMMINISTRATIVO 01 |
| 07 | TORRE 1 DI AMMINISTRAZIONE 01 | 18 | LABOR. DI ANALISI/INFORMAZIONE |
| 08 | TORRE 2 DI AMMINISTRAZIONE | 19 | LABORATORIO 02 |
| 09 | LABOR. DI FIDUCIA | 20 | LABORATORIO 03 |
| 10 | LABOR. DI FIDUCIA 01 | 21 | LABOR. DI ANALISI/INFORMAZIONE |
| | | 22 | LABORATORIO 04 |
| | | 23 | LABOR. DI ANALISI/INFORMAZIONE |
| | | 24 | LABORATORIO 05 |

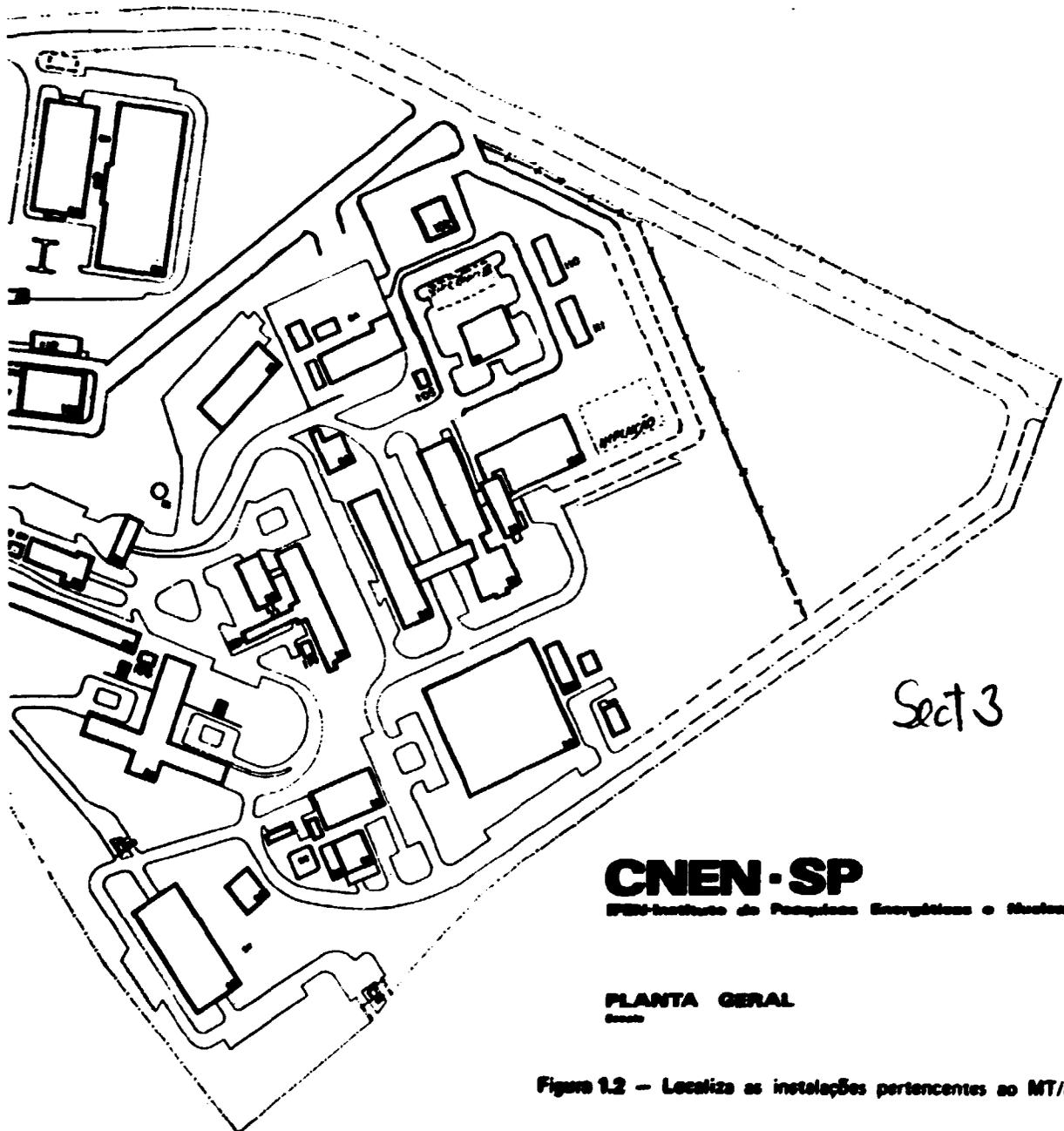
**PONTARIA SUL
NOVO LOCAL DO RECRUTAMENTO /SELEÇÃO
IPEN - CHEN/SP**



Sect 2

- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|

SELEÇÃO



Sect 3

CNEN-SP

IPEN-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

PLANTA GERAL

Scale

Figura 1.2 - Localiza as instalações pertencentes ao MT/MH

101 CABINE DE CONTROLE	102 CABINE DE CONTROLE	103 CABINE DE CONTROLE	104 105
106 CABINE DE CONTROLE	107 CABINE DE CONTROLE	108 CABINE DE CONTROLE	106 CABINE P/ TRANSFORMADORES-PRÉLIM 6-10KV
109 CABINE DE CONTROLE	110 CABINE DE CONTROLE	111 CABINE DE CONTROLE	109 ALMOXARIFADO
112 CABINE DE CONTROLE	113 CABINE DE CONTROLE	114 CABINE DE CONTROLE	110 DEPOSITO DE MAT. RADIOATIVAS
115 CABINE DE CONTROLE	116 CABINE DE CONTROLE	117 CABINE DE CONTROLE	111 DEPOSITO DE TRINCOES
118 CABINE DE CONTROLE	119 CABINE DE CONTROLE	120 CABINE DE CONTROLE	112 CABINE ELÉTRICA 6KV E 9KV
121 CABINE DE CONTROLE	122 CABINE DE CONTROLE	123 CABINE DE CONTROLE	113 DEPOSITO DE RESÍDUOS
124 CABINE DE CONTROLE	125 CABINE DE CONTROLE	126 CABINE DE CONTROLE	114 CABINE DE TRANSFORMAÇÃO MECÂNICA
127 CABINE DE CONTROLE	128 CABINE DE CONTROLE	129 CABINE DE CONTROLE	115

1.3 Descrição do Processo Químico Adotado nas Instalações da Usina Piloto dos Projetos MT-MH-CNEN/SP

O processo adotado é semelhante ao processo úmido descrito na figura 1.1. Em suas variantes compararemos os processos. A seguir nós o descreveremos sucintamente e apresetaremos o diagrama de blocos. Ver figura 1.3.

1.3.1 Unidade de Purificação MT

A fase de purificação engloba os seguintes setores já mencionados anteriormente:

- Setor I - Pesagem do concentrado de urânio;
- Setor II - Dissolução do concentrado de urânio;
- Setor III - Extração do urânio até a obtenção do nitrato de urânio nuclearmente puro (NUP).

Ainda dentro desta unidade ocorrerá o tratamento dos efluentes aquosos gerados durante esta fase do processo. Relataremos esta fase do tratamento dos efluentes aquosos após a descrição do item referente ao Setor III.

A matéria prima utilizada no processo é o concentrado de urânio também conhecido por diuranato de sódio D.U.S. e diuranato de amônio DUA, podendo ou não ser calcinados.

1.3.1.1 Amostragem do Concentrado de Urânio

Este material oriundo do armazém de urânio chega ao bloco 30 setor I em tambores, com peso médio de 200 kg.

PROCESSO ÚMIDO

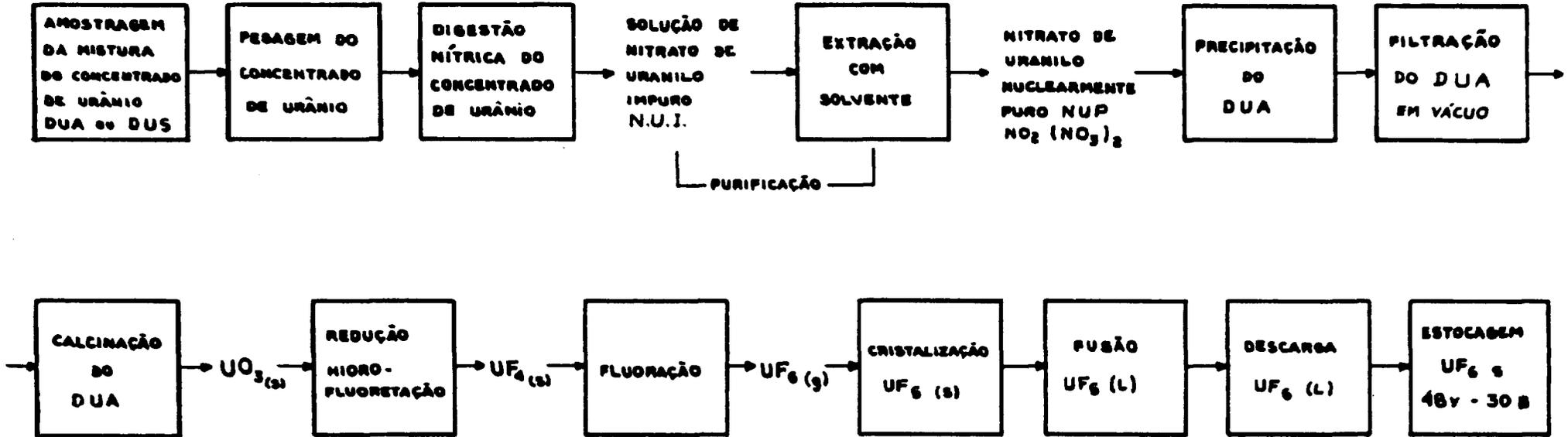


FIG 1.3

DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO UTILIZADO NO IPEN/CNEN - SP

As amostras são retiradas e enviadas ao laboratório analítico para avaliação do teor de urânio existentes na matéria prima.

Cerca de 5%, conforme tabela 1.1 apresentada a seguir, são impurezas e o restante é a matéria prima propriamente dita. Desta, D.U.S. ou D.U.A., cerca de 74% em peso é urânio natural.

Tabela 1.1 : Quantidade de impurezas existentes no concentrado de urânio recebido pelo IPEN-CNEN/SP (39)

Impurezas	%
Mo	<0,014
Zr	0,110
Co ₃ ⁼	0,220
SO ₄ ⁼	3,130
Ca ⁺⁺	0,051
Na ⁺	0,570
Th	0,070
F ⁻	0,029
Halogênios	0,038
B	<0,010
As	<0,010
V ₂ O ₅	<0,020
PO ₄ ⁼	0,088
Fe	0,330

A área destinada à pesagem do concentrado de urânio po

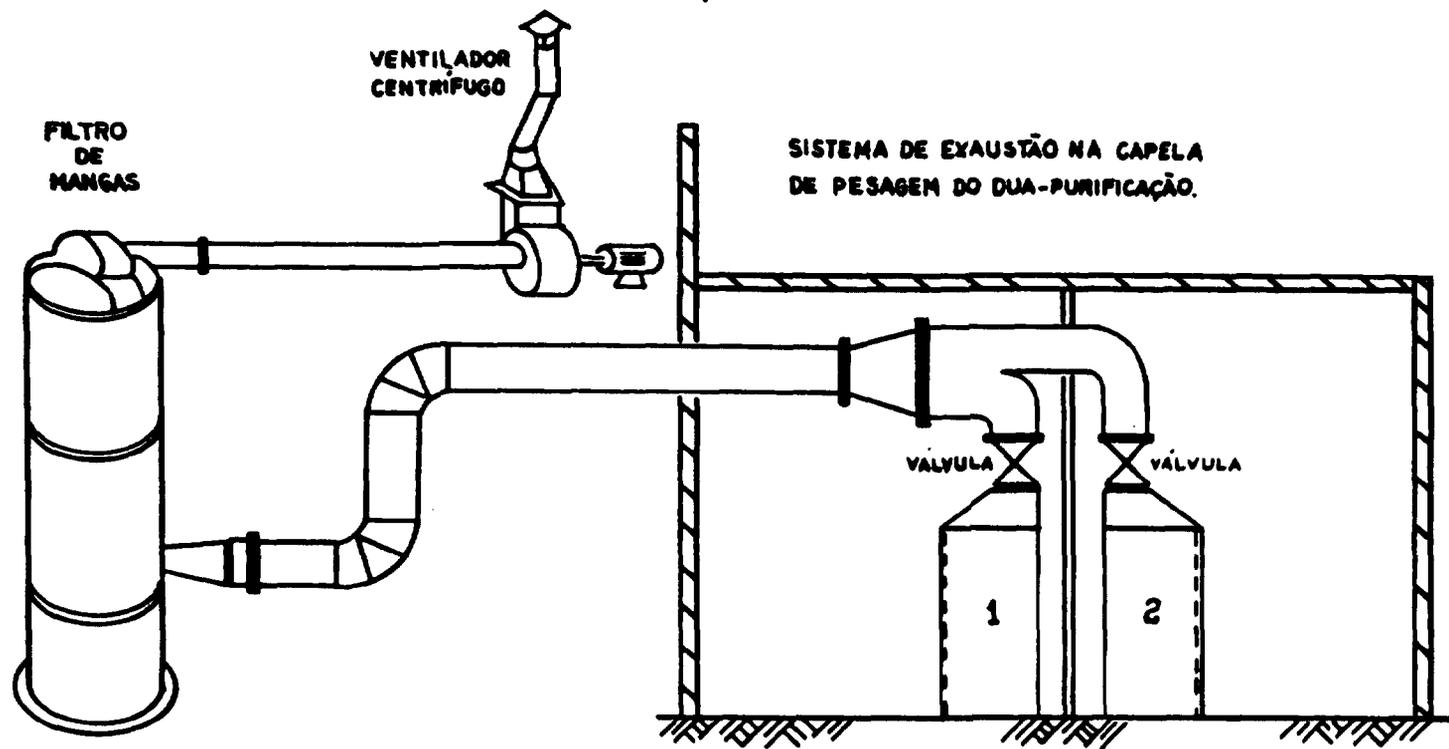


FIG 1.4 CAPELA J
PESAGEM DO CONCENTRADO
DE URÂNIO

de ser vista na figura 1.4: é fechada e possui um sistema de e xhaustão. Esta exaustão é feita por um ciclo-filtro (filtro de mangas) situado fora do prédio 30, com uma vazão de $1\text{m}^3/\text{seg}$.

O ciclo-filtro é totalmente construído em PVC, possuindo 37 mangas confeccionadas em tecido de nylon. Estas mangas permitem a passagem do ar para o exterior e retêm o pó fino de DUA ou DUS que por gravidade é depositado em uma gaveta inferior para reaproveitamento ⁽¹⁾.

Na fase de pesagem, os equipamentos de proteção individual (E.P.I.) utilizados pelos técnicos geralmente são escafandro, calça de pvc e luvas de cano longo; o tempo gasto varia de técnico para técnico, durando cerca de trinta minutos. Esta área de pesagem encontra-se dentro do bloco 30, não estando isolada do restante da unidade.

1.3.1.2 Preparação do Nitrato de Uranilo em Processo Descontínuo com Digestão Nítrica ⁽¹²⁾

O fluxograma simplificado do processo de purificação, cujos itens abaixo o descrevem, encontra-se na figura 1.5.

Carga do reator de dissolução R 101

Inicialmente, colocamos no reator químico R 101 solução de lavagem (água usada na lavagem da torta silicosa), contendo pouco urânio e estocada no tanque V 104, sob agitação constante.

Em seguida, são descarregados manualmente para o interior do reator, 120Kg de material (torta amarela) e mais 100Kg de pó

do concentrado de urânio.

Primeiramente, um técnico adiciona o material de reciclo , torta amarela, gastando cerca de trinta minutos. O E.P.I. que este técnico utiliza para essa operação é o avental de PVC, a máscara facial completa e as luvas de cano longo de PVC.

Depois outro técnico, usando escafandro e luvas de PVC cano longo, adiciona os 100kg do concentrado de urânio ao R 101. O tempo máximo gasto nesta operação é cerca de cinquenta minutos.

Como esta operação é feita sob agitação contínua, forma-se uma suspensão no interior do reator a qual vai sendo dissolvida pela adição do ácido nítrico provindo do tanque V 103. A adição de ácido nítrico sobre a pasta de DUA ou DUS provoca uma elevação de temperatura significativa (reação exotérmica) que alcança até 70°C. De certo modo, esta elevação é útil, pois, ao terminar a entrada do ácido, pouco vapor é necessário para elevar a temperatura à de digestão, que vai de 90°C a 100°C, mais precisamente 95°C durante três horas.

O processo de digestão nítrica ocorre no interior do reator químico R 101 que tem capacidade para 300 litros, dispõe de camisa de vapor, agitador e dispositivo para remoção de vapores denominado "demyster".

A parte superior do R 101 dispõe de entrada para ácido nítrico (HNO_3) V 103, água desionizada V 105 e água de lavagem V 104.

O ácido nítrico ataca o concentrado de urânio formando uma

mistura de óxidos, por exemplo, o óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Em ácido diluído, a reação produz principalmente NO e em ácido concentrado forma-se particularmente NO₂.

Observa-se a formação de gás amarelo, especialmente durante a entrada do ácido sobre a suspensão aquosa do concentrado não calcinado. No caso de usar-se óxido de urânio surge uma nuvem de cor alaranjada intensa. Esta nuvem dispersa-se pelo setor de dissolução. O assunto será reexaminado no capítulo IV deste trabalho. Cabe relatar, que se usarmos óxido de urânio ter-se-á um maior desprendimento de vapores nitrosos durante a fase de digestão do que se usarmos o D.U.A..

O ciclo de operações dura 5 horas, partindo do concentrado de urânio, até obter-se a solução de nitrato de urânio.

1.3.1.3 Filtração em Vácuo (12)

Terminada a digestão, desliga-se o vapor e injetamos água fria na camisa do reator para abaixar a temperatura da mistura para 70°C. Nessa fase, adicionamos 2kg de celite número 545, terra de infusórios, para facilitar a filtração.

Após 5 minutos de agitação com a celite, descarrega-se o material em dois filtros em vácuo F 101, F 101A.

Na parte superior do filtro observamos a formação de uma massa denominada torta silicosa, a qual é lavada com água desionizada. Depois essa lavagem é adicionada ao filtrado, resultando uma solução de nitrato de urânio de concentração em torno de 400 g/l que é bombeada pela B.103 aos tanques V 108 e V 127

para acerto final de concentração em gramas de urânio por litro.

Este acerto é ajustado aos parâmetros seguintes:

- a) Adição do íon sulfato $SO_4^{=}$ com a finalidade de eliminar as terras-raras e o tório contidos no concentrado de urânio;
- b) concentração em urânio ao nível de 300g/l;
- c) concentração do ácido nítrico livre.

A solução de nitrato de uranilo proveniente da operação de dissolução é acertada para uma acidez 1N em ácido nítrico. Uma vez terminado o ajuste, o nitrato de uranilo é estocado nos tanques V 109 e V 121 localizados no piso superior do setor de extração.

Assim, termina o ciclo de operações realizadas dentro do setor II de dissolução da unidade de purificação mencionado no item 1.2.1.2.

Seguem as operações executadas dentro do setor III referente à extração do urânio por meio de colunas pulsadas, até a obtenção do nitrato de uranilo nuclearmente puro mencionado no item 1.2.1.3.

1.3.1.4 Extração

Iniciamos fornecendo uma noção do princípio de funcionamento de uma coluna pulsada.

Ela é usada na extração de um produto por contracorrente, em um sistema líquido-líquido aproveitando, em princípio, a

diferença de densidades entre os dois líquidos em contato.

No caso específico do IPEN/CNEN-SP, procuraremos extrair urânio de uma solução aquosa de nitrato de urânio, mais densa, com uma solução orgânica composta de n-tributil-fosfato varsol, 35% TBP-65% varsol, em volume, menos densa.

O ciclo de purificação de urânio até o grau nuclear por colunas pulsadas compreende três fases distintas, a saber:

- a) extração do urânio da fase aquosa, nitrato de urânio impuro já ajustado com solvente-diluinte, que é a fase orgânica (f.o);
- b) lavagem do solvente-diluinte (f.o) carregada com urânio;
- c) reversão do urânio do solvente-diluinte para a fase aquosa, água desionizada (f.a).

Escolhe-se o T.B.P. pelo fato de apresentar uma alta seletividade pelo urânio em relação aos outros elementos que constituem as impurezas.

Voltando-se, então, à descrição do processo, informamos que o nitrato de urânio, estocado nos tanques V 109 e V 121 dentro do setor III, piso superior, será a fase aquosa de alimentação da coluna de extração.

Esta fase aquosa é bombeada pela B.104 para a parte superior da coluna de extração CE 111, enquanto a fase orgânica armazenada no tanque V 110 é bombeada pela B 105 para a parte inferior da coluna.

Tiram-se amostras a cada hora no ponto de saída das fa

ses na coluna, quando então medimos as respectivas densidades . Quando as densidades acusarem os mesmos valores, ou bem próximos, a coluna está em equilíbrio. A fase aquosa de saída de extração sai pela parte de baixo do decantador inferior da coluna, quase sem urânio, com cerca de 100mg/l , com um mínimo de 99,9% de extração, o que deve ser considerado normal em instalações de colunas pulsadas.

Entretanto, admitimos a possibilidade dessa fase aquosa de saída conter mais urânio; esse efluente é estocado no tanque V 126 para tratamento, que será descrito no item 1.3.1.5.

A fase orgânica sai no topo da coluna de extração carregada com uma concentração de urânio ao redor de 135g/l. Para esta fase, por causa das propriedades do T.B.P., o urânio é transferido seletivamente, já em estado de grau de pureza, quase em grau nuclear.

Considerando que o tório está acompanhado de alguns elementos que constituem as terras-raras, lantanídeos, por exemplo, Gadolínio (Gd), Samário (Sm), Európio (Eu) e Disprósio (Dy), que possuem as mais elevadas secções de choque, uma descontaminação do tório representará automaticamente uma descontaminação dos elementos indesejáveis, mais perigosos sob o ponto de vista de impurezas, depois do boro.

Quando a fase orgânica, f.o, deixa a coluna de extração pela sua parte superior, passa pelo decantador D₅ e cai, por gravidade, sobre um conjunto de filtros coalescedores, F. Esses filtros, contendo celite número 545, têm duas finalidades: quebrar a emulsão e reter microcristais orgânicos, sólidos semico

loidais, que se formam na fase de extração.

Ambos concorrem para o abaixamento dos fatores de descontaminação, razão pela qual a f.o deve passar por um processo de clarificação que, no caso, é feito pelos filtros coalescedores, F, antes da operação de lavagem.

Após a f.o deixar ps filtros mencionados, ela passa pe lo tanque V 136 sendo armazenada no decantador V 112, com concen tração de 135g/l, através da bomba dosadora B 106, a f.o entrará pela parte inferior na coluna de lavagem CL 114.

No topo da coluna de lavagem entra a fase aquosa desio nizada vinda do decantador V 113 por meio do bombeamento da B.107.

Há, nesta coluna de lavagem, em contracorrente, a f.o de saída da coluna de extração com a f.a de água desionizada, pa ra a lavagem da f.o sob alimentação controlada da bomba dosadora B.113. No topo da coluna de lavagem sai a f.o com uma concentra ção em urânio de 115g/l e na parte inferior da coluna sai a fase aquosa que será armazenada no tanque V 115 para ser usada nos acertos de densidades dos tanques V 108 e V 127 encontrados no setor de dissolução.

A coluna de lavagem entrará em equilíbrio após a colu na de extração ter atingido o equilíbrio que, uma vez alcançado, as concentrações de urânio na fase orgânica lavada se estabilizam e esta é encaminhada através do tanque de decantação V 116 , à bomba dosadora B.109 e à coluna seguinte para a operação de re extração CR 118.

Entretanto, o urânio, nas condições como sai da coluna de lavagem, não pode ser utilizado para transformar-se em um composto, por exemplo, o diuranato de amônio, D.U.A., adequado à preparação de combustíveis nucleares, porque ele coexiste em mistura com a f.o de n-tributil fosfato-varsol sob a forma de complexo $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2TBP$. Portanto, impomos uma operação adicional no sentido de transferirmos o nitrato de uranilo da f.o para uma solução aquosa, da qual possa ser transformado em um composto adequado para posteriores usos em combustíveis nucleares. Esta fase é conhecida como reversão "Stripping" e é feita, também, em uma coluna pulsada de placas perfuradas, operando em contra corrente.

Opera-se a coluna de reversão a quente, fazendo a f.a entrar na coluna a 58°C e mantendo a f.o aquecida em 30°C através dos trocadores de calor TH₂ e TH₃, respectivamente. Desta forma a reextração atinge na f.a uma concentração em torno de 100g /l.

A coluna de reversão, como as duas anteriores, para operar corretamente com o máximo de rendimento, precisa atingir seu ponto de equilíbrio. Entretanto, ela é a última a atingir esse ponto, porque é necessário que as colunas que a precedem atinjam o equilíbrio antes. Isto é óbvio, porque o processo de purificção começa na coluna de extração e termina na de reversão,.

Portanto, somente após as duas primeiras colunas atingirem o equilíbrio, uma após a outra, através de concentrações constantes, é que a coluna de reversão começa a evoluir no sentido de atingir o seu equilíbrio.

A bomba dosadora B.110 recebe do tanque V 117 água de sionozada a qual é enviada à parte superior da coluna de reversão através do trocador de calor TH₂. Aqui a f.a passa da temperatura ambiente a 58-60°C, apenas esta fase é aquecida porque temos água pura somente, enquanto a f.o, quando aquecida, tende a se degradar.

A f.a sai pela parte inferior da coluna de reversão passa pelos filtros coalescedores, F₁ e em seguida pelo decantador V 137, sendo estocada nos tanques T 01, V 119 e V 120. Essa fase aquosa é a solução de nitrato de urânio nuclearmente puro (NUP) com concentração de urânio de 100g/l a qual, na seqüência do processo, será transferida para o bloco 31 no setor de precipitação.

A fase orgânica sai no topo da coluna de reextração e passa por um misturador (M), sendo tratada como efluente aquoso.

1.3.1.5 Tratamento dos Efluentes Aquosos Originados Durante o Processo de Extração (12)

Primeiramente, relataremos o tratamento da f.a que deixou a coluna de extração. Esta f.a, contendo uma concentração de urânio de 100mg/l, passa por um decantador V 128 para decantação de eventual arraste de f.o e em seguida é transferida para o tanque de estocagem V 126. Por gravidade, a solução contida no V 126 é descarregada no reator de precipitação de rejeitos R 102. Após ser precipitada, é filtrada nos filtros de vácuo F 102 e F 103, de onde, obtemos, como produto final, tortas amarelas ou acastanhadas, diuranato de sódio.

A coloração indica-nos, visualmente, a ausência ou a presença de urânio; a cor amarela aponta-nos sua presença. Se as

tortas tiverem coloração amarela significa que há de 10 a 30% em urânio sobre a torta úmida. Nesse caso, são recicladas, retornando à dissolução.

Para o filtrado faz-se a prova com ferrocianeto de potássio. A prova consiste de pipetar-se gotas de ferrocianeto de potássio sobre um papel de filtro acidulado com ácido nítrico 0,2N e gotas do filtrado.

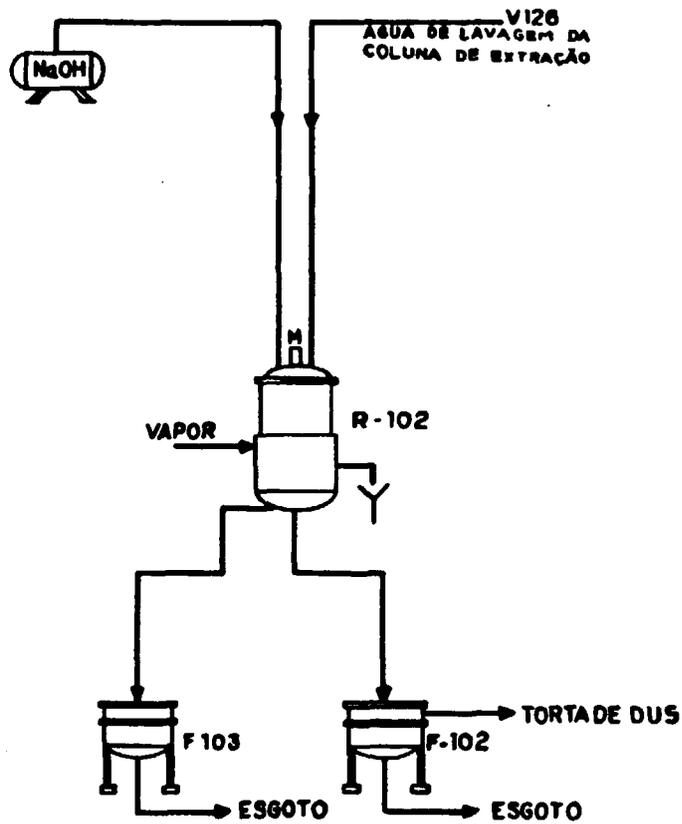
A coloração acastanhada indica-nos a presença de urânio enquanto que a cor azul esverdeada registra ausência. Após a realização da prova o filtrado isento de urânio é liberado para o esgoto.

Assim, terminamos o tratamento da f.a de saída da coluna de extração (ver figura 1.6).

A fase orgânica de saída da coluna de reversão passa por um tratamento antes de recomeçar o processo de extração, conforme a seguir: - após sair da coluna de reversão, é resfriada no trocador de calor TH₅ passando por um misturador, M₁, e entra no tanque V 124. Esse tanque contém solução de carbonato de sódio, preparada no V 122, onde se precipitam quaisquer quantidades de urânio ainda existentes na f.o. Após passar pelo segundo misturador, M₂, entra para o tanque V 125 contendo solução de ácido nítrico preparado no V 123 para que se acidule o TBP-VARSOL.

Saindo do V 125, a f.o está pronta para ser enviada ao tanque V 110, que é o tanque de armazenagem da f.o.

TRATAMENTO DA F.A. QUE SAIU DA COLUNA DE EXTRAÇÃO



REGENERAÇÃO DA FASE ORGÂNICA (F.O.)

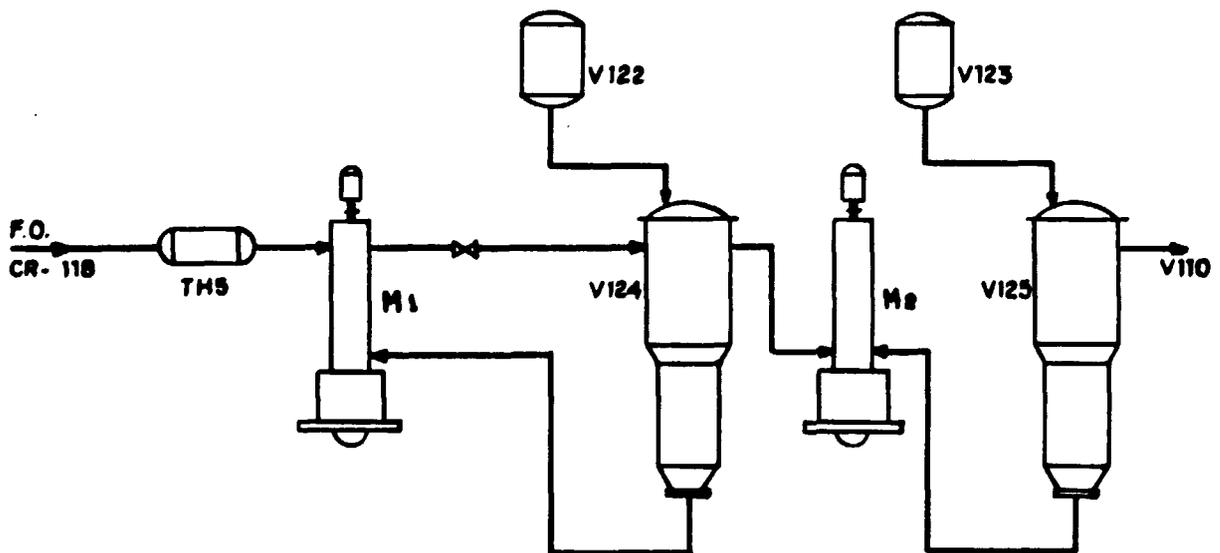


FIG 16
TRATAMENTO DA F.A.
REGENERAÇÃO DA F.O.

1.3.2 Unidade de Precipitação do Diuranato de Amônio DUA Bloco 31 (MT) (12).

Nesta unidade ocorre a precipitação contínua da solução de nitrato de uranilo nuclearmente puro (NUP), tendo como agente precipitante o gás de amônia NH_3 .

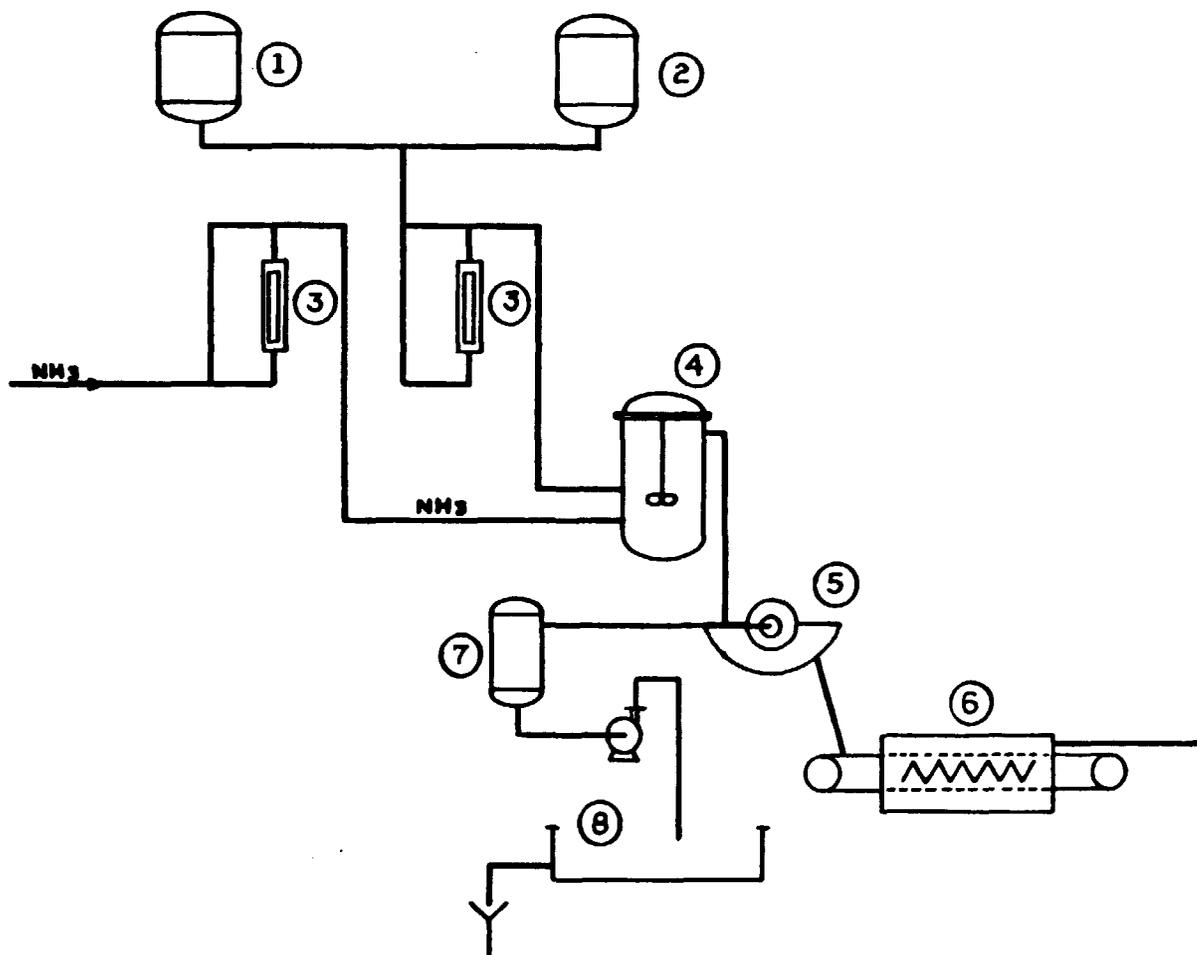
O material armazenado nos tanques T 01, V 119 e V 120 , bloco 30, contendo soluções de nitrato de uranilo nuclearmente puro, são enviados para o bloco 31 por bombeamento aos tanques de estocagem da unidade de precipitação V 119B, V 119C.

A seguir, procede-se à alimentação da solução de nitrato de uranilo nuclearmente puro e do gás de amônia no reator de precipitação, cujas vazões são controladas por rotômetros.

Decorrido um tempo de residência de 15 minutos, a suspensão do DUA na faixa de pH 6 a 9 passa a fluir pela saída do reator, caindo, por gravidade, diretamente no filtro de vácuo de aço inoxidável onde é submetida à filtração contínua.

O filtrado, solução de nitrato de amônio, NH_4NO_3 , é sucionado para o tanque de retenção e em seguida bombeado para o tanque de decantação. Após prova com ferrocianeto de potássio é liberado para o esgoto. O material D.U.A., ao deixar o filtro de vácuo, sai na forma de plaquetas que podem ser secas ou calcinadas no forno de calcinação.

Esta fase de precipitação do DUA esquematizada na figura 1.3, difere da apresentada na figura 1.1.



1. V 119 B - ESTOCAGEM DE NUP
2. V 119 C - ESTOCAGEM DE NUP
3. ROTÂMETRO
4. REATOR DE PRECIPITAÇÃO DE DUA
5. FILTRO DE VÁCUO
6. FORNO DE CALCINAÇÃO
7. TANQUE DE RETENÇÃO (SOLUÇÃO DE NITRATO DE AMÔNIO)
8. DECANTADOR

FIG.1.7 FLUXOGRAMA DAS UNIDADES

- PRECIPITAÇÃO
- FILTRAÇÃO EM VÁCUO
- CALCINAÇÃO DO DUA

No processo químico adotado no IPEN-CNEN/SP após obtermos a solução de N.U.P., passamos pela fase de precipitação com gás de amônia. Obtendo-se o diuranato de amônio nuclearmente puro D.U.A.; que em seguida é calcinado a trióxido de urânio, UO_3 .

1.3.3 Calcinação (11)

O material DUA, que deixa o filtro de vácuo do setor de precipitação, cai, por gravidade, por meio de uma calha, na esteira do forno de calcinação, durante a fase de precipitação contínua.

De acordo com a faixa de temperatura, o material pode deixar o forno apenas seco, sendo recolhido em bombona para posterior calcinação. Neste caso o trabalhador transfere o material das bombonas para bandejas a fim de calciná-lo.

A bandeja contendo o material a ser calcinado entra no forno passando por faixas de temperatura de 150 a 350°C. O tempo total de residência do material no forno é de 68 minutos. Este material é a matéria-prima para obtenção do tetrafluoreto de urânio, UF_4 . (Ver figura 1.7).

1.3.4 Produção do Tetrafluoreto de Urânio (MT) (11)

O UF_4 também conhecido pela designação de sal verde, produzido de acordo com o esquema da figura 1.1, utiliza reator de leito fluidizado. O processo adotado no IPEN-CNEN/SP permite a formação de UF_4 empregando reator de leito móvel, (ver figura 1.8); dividido em módulos vertical e horizontal, baseado em duas reações gás-sólido em contracorrente, ocorridas no mesmo reator.

LEGENDA

- 1. SILO DE ALIMENTAÇÃO DE UO_2
- 2. SILO DE ESCAPE DE GASES
- 3. MÓDULO DE REDUÇÃO
- 4. MÓDULO DE HIDROFLUORETAÇÃO VERTICAL
- 5. MÓDULO DE HIDROFLUORETAÇÃO HORIZONTAL
- 6. COLHEEDOR DE UF_4
- 7. CONDENSADOR
- 8. TROMPA "SPRAY" (BORRIFADOR)
- 9. FORNO DE PREAQUECIMENTO DE HF
- 10. ROSCA TRANSPORTADORA

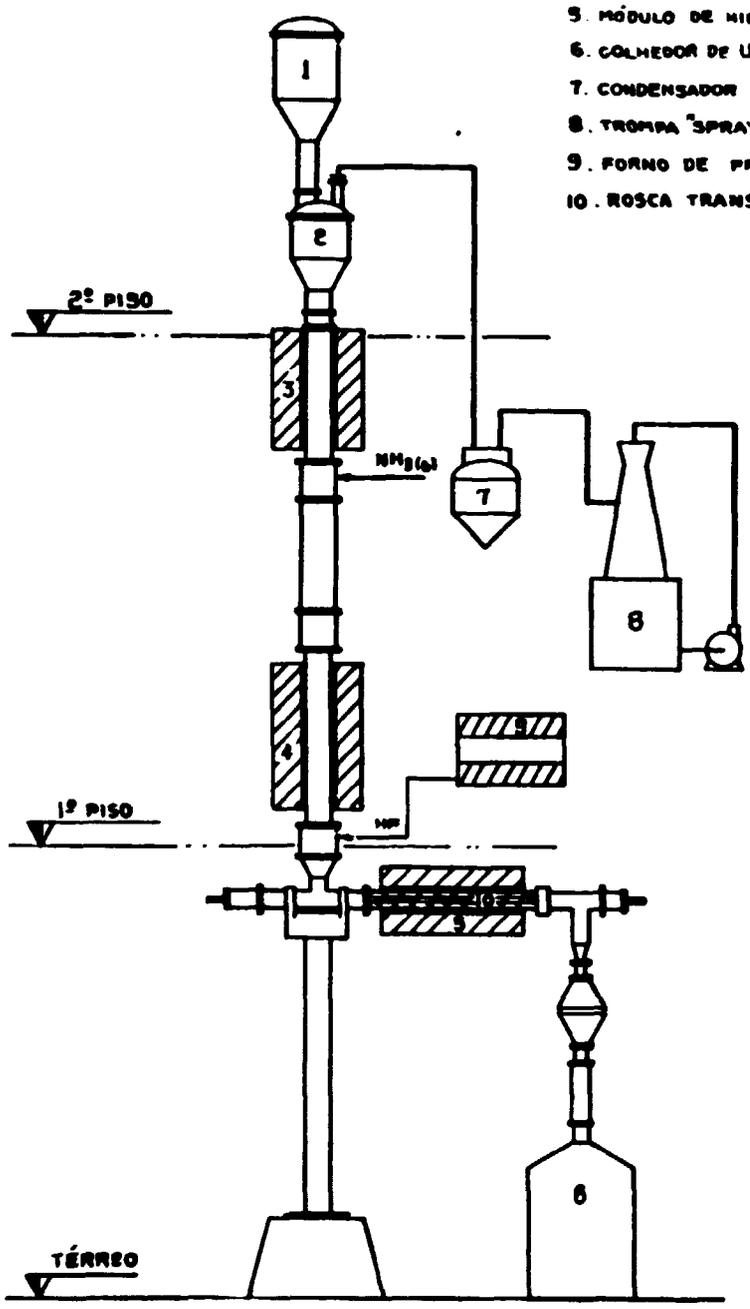


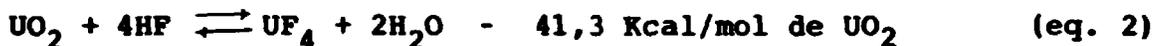
FIG 1.8 REATOR DE LEITO MÓVEL
 UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE
 TETRAFLUORETO DE URÂNIO UF_4

no bloco 31.

Na reação inicial, o UO_3 com o hidrogênio, H_2 , obtido por decomposição da amônia, se reduz a dióxido de urânio, UO_2 no módulo de redução de acordo com a equação 1.



Em seguida, obtém-se a transformação do UO_2 em UF_4 pela reação do fluoridreto de hidrogênio gasoso, HF, (hidrofluoretação) em temperaturas de aproximadamente 350 a 500°C, conforme a equação 2.



A operação de hidrofluoretação se processa nos módulos vertical e horizontal, sendo 30% da reação no módulo vertical e os restantes 70% no módulo horizontal.

Todo o vapor d'água da hidrofluoretação é removido pela parte superior do reator e condensado juntamente com os vapores da zona de redução.

O HF anidro, na forma gasosa aquecido a 300°C, é injetado no reator após a formação do UO_2 ; atualmente no módulo de hidrofluoretação vertical. Após toda a reação ter atingido o equilíbrio é que se injeta o HF no módulo de hidrofluoretação horizontal.

O UF_4 produzido é descarregado por meio de rosca transportadora para o colhedor. Quando cheio, o colhedor é substituído

29-

e levado para a capela de exaustão número 2 localizada no bloco 30 (ver figura 04) afim de ser removido o vapor de HF.

Após eliminação do vapor de HF, o UF_4 é acondicionado em bombonas, terminando esta fase do processo.

1.3.5 Produção de Hexafluoreto de Urânio UF_6 (MH)

De acordo com o diagrama de blocos apresentado na figura 1.1, o UF_6 é obtido utilizando reator de leito fluidizado.

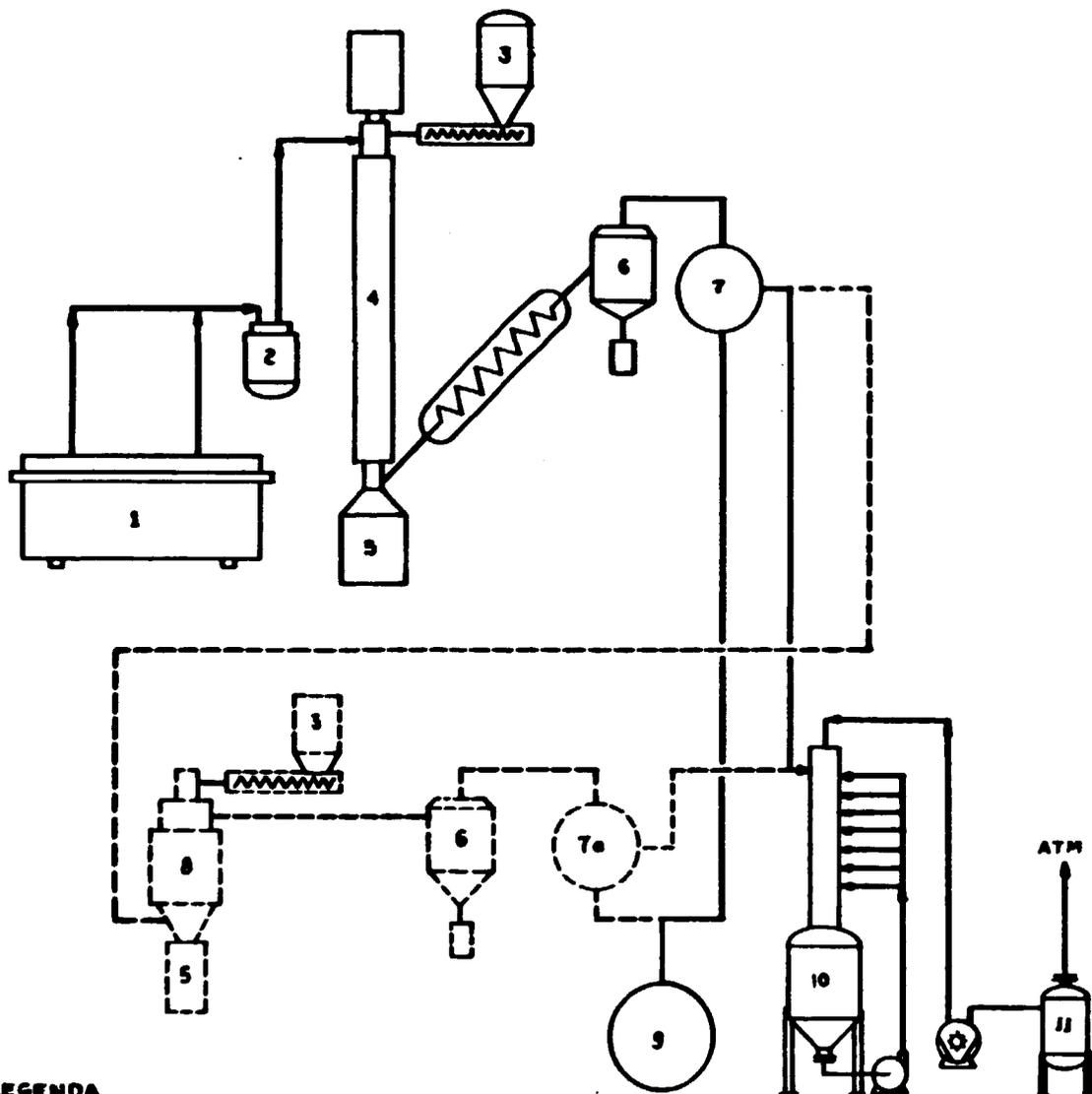
No IPEN-CNEN/SP utiliza-se um outro tipo de reator, denominado "de chama"; no qual se trabalha com excesso de flúor, numa faixa de 20 a 30% em volume, para se chegar a um bom rendimento.

O processo básico segue as operações realizadas nas usinas francesas em Pierrelatte⁽³⁵⁾.

Em síntese, o processo usado no IPEN-CNEN/SP é exposto a seguir. (Ver figura 1.9).

A primeira fase na operação do reator de chama é fazer o aquecimento do seu leito, utilizando para isto ar quente até ele atingir 400°C.

Os reagentes envolvidos nesta operação são UF_4 na forma de pó, com granulometria de 50 a 80 "mesh" (série tyler), e flúor, F_2 , no estado gasoso. Este último é produzido em célula eletrolítica^(2,4) a partir de sais de potássio (KF, HF), com ácido fluorídrico anidro, HF. O flúor antes de participar da reação com o UF_4 , passa por uma fase de purificação, ou seja, elimina



LEGENDA

- 1- CÉLULA ELETROLÍTICA
- 2- CONDENSADOR DE HF
- 3- SILO DE UF₆
- 4- REATOR DE CHAMA
- 5- COLHEDOR DE CINZAS
- 6- FILTRO DE METAL SINTERIZADO
- 7- CRISTALIZADOR PRIMÁRIO
- 7a- CRISTALIZADOR SECUNDÁRIO
- 8- REATOR DE LIMPEZA
- 9- TANQUE DE ESTOCAGEM DE UF₆ 48 Y - 30B
- 10- COLUNA DE LAVAGEM "SPRAY" (BORNIFADOR)
- 11- TANQUE PULMÃO

FIG 1.9 FLUXOGRAMA DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE HEXAFLUORETO DE URÂNIO UF₆

ção parcial do HF presente nele.

Esta purificação é feita passando-o por condensadores resfriados a -80°C .

Quando o reator estiver aquecido, inicia-se a operação de conversão da forma seguinte:

- o pó de UF_4 é introduzido no reator de chama por meio de roscas dosadoras ajustadas para as condições do processo.

As partículas são desagregadas no interior do reator com a ajuda de um dispersador rotativo; ao mesmo tempo, o flúor gasoso é injetado no topo do reator. A maior parte da reação ocorre nos primeiros 60cm do reator, no sentido co-corrente, de acordo com a equação:



Esta reação é fortemente exotérmica fazendo com isto elevar a temperatura no interior do reator a aproximadamente 1000°C . O reator é construído em monel-400, liga de cobre e níquel; por conseguinte, a partir de 600°C aumenta seu poder corrosivo.

Para se evitar essa corrosão, faz-se o resfriamento do reator com ar para mantê-lo a 500°C . Esta operação é contínua só permitindo paradas por saturação do colhedor de cinzas ou outros imprevistos.

Nem todo o UF_4 introduzido é convertido em UF_6 , pois pelo menos 4% são cinzas (pentafluoreto de urânio, UF_5 , dióxido de urânio UO_2 , fluoreto de urânio, UO_2F_2 etc), ficando retidos

tal sinterizado.

Na saída do reator de chama temos uma composição gasosa de UF_6 , F_2 , HF e N_2 .

Como esses gases saem do reator a uma temperatura de aproximadamente $300^\circ C$, não é possível estocá-los nessas condições e, então a mistura gasosa passa, inicialmente, por um trocador de calor para reduzir a temperatura a $100^\circ C$. Em seguida, por cristalizadores ($-15^\circ C$) onde, praticamente, todo o UF_6 passará do estado gasoso para o estado sólido.

Os demais gases com exceção do HF, não ficarão retidos no cristalizador porque não mudam de fase nesta temperatura.

O cristalizador é um trocador de calor que é refrigerado com freon R 113 a $-20^\circ C$. Sua função é permitir a cristalização do UF_6 vindo do reator de chama. Posteriormente, em outra fase, fundir o UF_6 para transferi-lo para os cilindros de estocagem denominados respectivamente de 30B e 48Y. Esses cilindros foram confeccionados obedecendo a normas internacionais usadas para a estocagem do UF_6 ⁽³⁾.

Todo flúor em excesso vindo do reator de chama será recuperado em um reator secundário denominado reator de limpeza, atualmente em fase de instalação. O UF_4 em pó é introduzido na parte superior do reator por roscas dosadoras. O flúor é introduzido na parte inferior juntamente com N_2 , HF (residual) tornando-se assim um sistema em contracorrente. A temperatura nas paredes do reator será mantida em $500^\circ C$. O sistema trabalha com ex

cesso de UF_4 , a fim de que todo o flúor seja consumido no reator, restando apenas UF_6 , N_2 e HF (residual).

Existe uma quantidade razoável de cinzas contidas nos gases de saída do reator de limpeza. Para evitar que elas se alojem no cristalizador secundário o material passa por filtro de metal sinterizado.

A função dos cristalizadores secundários é permitir a cristalização de UF_6 produzido no reator de limpeza, operando a uma temperatura de $-45^{\circ}C$. Obtém-se esta temperatura usando-se freon, R 113.

Nem todo o UF_6 é cristalizado nesta fase; traços de UF_6 e HF, juntamente com N_2 , irão para coluna de lavagem "spray" (borrifador) contendo solução alcalina, K_2CO_3 , onde o urânio e HF permanecem; o N_2 irá para a atmosfera.

Todo o UF_6 cristalizado, seja no cristalizador primário seja no secundário, será descarregado para o cilindro de estocagem 30B-48Y.

Essa descarga é feita da seguinte forma:

Trocamos o freon de resfriamento pelo freon de aquecimento, até o UF_6 ultrapassar o seu ponto de fusão, $65^{\circ}C$. Quando a temperatura do UF_6 estiver em torno de $80^{\circ}C$, inicia-se, por gravidade sua descarga para o cilindro de estocagem.

Quando a solução da trompa de lavagem "spray" (borrifador) estiver saturada, será removida e enviada para a unidade de purificação; a fim de fazermos o tratamento desta solução. Os

fluoretos são eliminados com a adição de hidróxido de potássio, KOH, e várias lavagens com água quente para que a massa de urânio precipite. Após a prova do sobrenadante, ele é liberado para o esgoto e o urânio recolhido em bombonas para entrar novamente no processo de purificação.

Um procedimento semelhante encontramos em nossa referência (14).

2. METABOLISMO DOS COMPOSTOS DE URÂNIO E MODELOS DOSIMÉTRICOS PARA AVALIAÇÃO DE DOSES.OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO.

Neste capítulo, examinaremos aspectos referentes ao metabolismo do urânio dentro do organismo humano. Faremos referência não somente à filosofia relativa ao assunto vigente em nosso país, mas também introduziremos as novas filosofias internacionais.

2.1 Metabolismo do Urânio

É indispensável fazer-se um estudo do metabolismo do urânio e de seus compostos, pois ele pode penetrar no corpo humano de várias maneiras, a saber: pela via respiratória, via digestiva, poros da pele ou ainda feridas superficiais (47).

Uma vez no corpo, ele se fixa em vários órgãos irradiando a pessoa contaminada.

2.1.1.1. A deposição do urânio no corpo humano - 57 J 14 22 2000
separado
Torna-se necessário, portanto, conhecer os órgãos ou tecidos de deposição do material radioativo para que se possa estabelecer as doses de irradiação que o indivíduo tomará. A partir disso, avaliaremos o provável dano biológico que o material depositado provocará.

adaptação
Partindo desses pressupostos, verificamos na literatura que o material, uma vez incorporado, se fixa principalmente em quatro órgãos: pulmão, rim, osso e intestino delgado inferior. Para

o estudo do metabolismo do urânio e seus compostos e de sua fixação nesses órgãos, existem duas filosofias que levam a tratamentos diferentes. A filosofia vigente em nosso País, que é a mais antiga, está exposta na resolução CNEN (6) e toma por base as publicações internacionais da Comissão Internacional de Proteção Radiológica C.I.P.R. (22,23,24,25) e da Agência Internacional de Energia Atômica A.I.E.A. (16).

Uma nova filosofia foi introduzida em 1973⁽²⁶⁾ e foi completada em 1977 e 1978 pela CIPR^(28,29) e aceita pela AIEA em 1982⁽¹⁷⁾.

Essa nova filosofia ainda não foi legalmente adotada no Brasil, razão pela qual devemos tratá-las separadamente a fim de que o leitor entenda as profundas diferenças que existem entre elas.

2.2 Modelo Dosimétrico Vigente no País Resolução CNEN (06) ou Modelo Antigo Internacional⁽²⁵⁾ Cujá Finalidade é a de Determinar as Doses nos Trabalhadores.

A filosofia vigente estabelece as doses máximas permissíveis para o trabalhador. Os dados constam na tabela 2.1.

A dose trimestral, contrariamente ao que poderia dar a entender não é a dose acumulada em um trimestre no seu verdadeiro sentido; mas é a dose que pode ser tomada de uma só vez, até em frações de segundos desde que não seja excedida em qualquer período de três meses, antes ou após a irradiação.

Tabela 2.1 - Doses Máximas Permissíveis para Trabalhadores.

ÓRGÃOS	LIMITES	
	rem/Ano	rem/Trimestre
Corpo inteiro, gônada e medula óssea eritropoética	5	3
Mãos, antebraços, pé e tornozelos (extremidades do corpo)	75	40
Pele do corpo exceto extremidades, ossos e tireóide	30	15
Demais órgãos	15	8

A dose anual, contrariamente à trimestral, é realmente a dose acumulada em qualquer período de 12 meses. Diz a norma que a tabela 2.1 é válida tanto para radiações externas, isto é, a quela irradiações em que uma vez que o irradiado sai do campo de radiação cessa a irradiação; como para irradiação interna, na qual mesmo que o indivíduo deixe o campo de irradiação continua sendo irradiado, pois o material radioativo se encontra incorporado.

A irradiação, neste último caso, só cessará quando o radionuclídeo tiver decaído fisicamente, isto é, perdido sua radioatividade, ou tiver sido completamente eliminado do corpo pelas vias de excreção mais comuns: urina, fezes e suor. Como o mesmo radionuclídeo deposita-se em vários órgãos, resta saber como seria atribuída a dose vinda de radiações internas. Foi, então,

vez irradiado, provocaria o maior dano biológico ao corpo do indivíduo como um todo.

Neste caso ver-se-ia, entre os órgãos de deposição do material radioativo, qual seria o primeiro a alcançar seu limite máximo permissível dado na tabela 2.1. Este seria o órgão crítico. É evidente que esse órgão, para diferentes radionuclídeos, vai depender de uma série de fatores, por exemplo: órgãos de deposição, vias de entrada no corpo, solubilidade do composto nos fluidos do corpo, fração em cada órgão etc.

Em decorrência desses fatos, os radioisótopos e seus compostos foram classificados em duas categorias: solúvel e insolúvel.

No caso do urânio ocorre o quadro seguinte (6,16,22,24,25):

- a) na forma solúvel o órgão crítico é o rim;
- b) na forma insolúvel, o pulmão.

Por causa desses fatos, estabelecemos uma carga corporal máxima de material radioativo para o órgão crítico; a qual nos dá a dose anual máxima.

Entendemos por carga corporal máxima permissível, C.C.M.P., a quantidade de material radioativo que, se mantida no órgão durante todo o ano, resultará em uma dose equivalente, H , ao limite anual máximo permissível. No caso do urânio natural, em virtude de sua toxicidade química alta, a C.C.M.P. é ditada por este último e não pelo limite de dose. Para os trabalhadores, a C.C.M.P. para o urânio natural, na forma solúvel, no rim, é de

9,3.10 microgramas e, na forma insolúvel, a incorporação máxima permissível por inalação, que se destina ao pulmão, é de $2,96 \times 10^4$ microgramas.

Fazendo uma síntese do metabolismo pela filosofia vigente, consideramos que dos 100% inalados, 25% é imediatamente exalado, 50% é deglutido por via digestiva e somente 25% ficará no pulmão, sendo 12,5% retido nas partes superiores da via respiratória e os outros 12,5% no pulmão propriamente dito. Da parte deglutiva, uma pequeníssima fração, menor do que 1% é absorvida via intestino delgado. A CIPR, embora saiba que uma fração muito pequena de materiais possa ser absorvida pelo intestino grosso superior, admite para simplificação de cálculo que só seja absorvida pelo intestino delgado.

Dessa maneira, como com o transcorrer do tempo o material radioativo decai fisicamente, e é biologicamente eliminado, o indivíduo irradiado deveria repor a fração eliminada para manter a C.C.M.P. durante o ano como exigido pela definição.

2.3 Métodos Dosimétricos para Prever e Avaliar as Doses Recebidas Pelos Trabalhadores em Obediência às Normas Vigentes.

Para se poder prever as doses que os trabalhadores poderão receber na execução de suas atividades usam-se técnicas de monitoração, isto é, avaliação dos níveis de radiação que se encontram no ambiente de trabalho. Em síntese, existem três técnicas para avaliarmos os níveis de radiações nesses locais:

1. monitoração do local de trabalho para radiação externa;
2. monitoração do local de trabalho para contaminação de super

fície;

3. monitoração do local de trabalho para contaminação do ar.

Para o primeiro caso, geralmente usamos monitores portáteis semiportáteis ou fixos nos locais de trabalho. Suas respostas geralmente já se apresentam em unidades de dose usadas em proteção radiológica.

Para o segundo caso, usam-se medidores portáteis e são determinados níveis de contaminação em unidades de atividade por unidade de superfície.

Existem duas técnicas conhecidas, como indireta e direta, que se complementam uma vez que a contaminação possa ser facilmente transferível ou intransferível, por estar impregnada na superfície, de uma superfície a outra.

O método direto é feito pelos medidores portáteis específicos.

O método indireto é feito por um esfregão friccionado sobre a superfície contaminada e depois lido em um instrumento que pode ser portátil ou não.

Para o terceiro método, usamos bombas aspiradoras de ar, portáteis ou semiportáteis. Raramente são fixas a não ser que sejam colocadas em dutos de exaustão do ar.

As portáteis são bombas de pequeno porte onde são colocados filtros de papel ou de outra natureza, para pós; ou de carvão

de medida, conhecendo-se a vazão da bomba e medindo o filtro num detector de radiação ou analisando-o quimicamente, podemos determinar a concentração de atividade suspensa no ar.

Para podermos determinar a dose de radiação recebida por um indivíduo submetido a esta atmosfera de ar contaminado, foi necessário introduzir pelos órgãos competentes internacionais CIPR⁽²⁷⁾ e AIEA⁽¹⁶⁾ um homem-referência.

Esse homem-referência 1,70m de altura, 70kg de peso, bebe 800 litros de água por ano. Ele respira 7.300m^3 de ar por ano, sendo que 2.500m^3 são respirados durante as 2000 horas de trabalho por ano, isto é, 8 horas por dia, 5 dias por semana e 50 semanas por ano. Este mesmo indivíduo elimina diariamente 2,5 litros de água, sendo 1 litro ingerido "in natura", 1,2 litro provindo dos alimentos ingeridos e 0,3 litro provindo de oxidação metabólica. Com isso, a C.I.P.R. pôde estabelecer uma Concentração Máxima Permissível no ar (C.M.P_{ar}) como sendo aquela concentração de material radioativo por unidade de volume de ar que, uma vez respirado pelo homem-referência durante 2000 horas por ano, receberia a dose máxima permissível no órgão crítico.

O que fazemos na prática é comparar a concentração determinada pelo instrumento com a concentração máxima permissível já tabelada^(16,22) independentemente do tamanho real do trabalhador.

Outro método é carregar uma pequena bomba operada com pilha pelo próprio trabalhador, próxima ao seu rosto, para representar o ar inalado. O procedimento para se avaliar o ar inalado

e idêntico ao descrito acima para a bomba aspiradora portátil.

A bomba semiportátil pode apresentar, incorporada a ela, o sistema de detecção, geralmente com registrador e, enquanto, no caso da portátil, o filtro deve ser recolhido para medirmos a atividade retida nele.

Com esses métodos de medida, pode-se avisar o trabalhador, se os níveis forem altos antes que ele venha a tomar as doses de radiação e, conseqüentemente, que se prejudique biologicamente.

O procedimento normal é medirmos os níveis de radiação do local de trabalho e avisar ao trabalhador quanto tempo pode permanecer nesse ambiente para evitar que as doses excedam os limites. Por exemplo: se a concentração de material radioativo suspenso no ar for o dobro da C.M.P_{ar} admitida para 2000 horas de trabalho, diríamos a ele que, neste local de trabalho, só poderá permanecer 20 horas por semana em vez de 40 horas. A obediência a esse aviso dependerá única e exclusivamente do trabalhador, mas por outro lado suas doses realmente recebidas serão avaliadas e com isso a proteção radiológica saberá se as instruções foram cumpridas.

Para facilitar o controle dos locais de trabalho pela proteção radiológica, eles foram subdivididos em função dos níveis de radiação que apresentam, considerando as 2000 horas de trabalho por ano, em área livre e controlada.

Classificamos como área livre aquela cujos níveis de radiação durante um ano são inferiores aos limites para um indivíduo do público. Os limites para os indivíduos do público, que não

le dos trabalhadores apresentados na tabela 2.1.

As áreas classificadas como controladas apresentam níveis de radiação acima do limite anual do indivíduo do público e, portanto, devem ser identificadas e possuir sinais de aviso de radiação pertinentes. Essa avaliação é feita pelo que denominamos de monitoração individual, regulada por três métodos, a saber:

1. monitoração individual para radiação externa;
2. monitoração individual para contaminação da pele;
3. monitoração individual para contaminação interna.

Para o primeiro método, utilizamos geralmente monitores portados sobre a superfície do corpo em um local que é designado como representativo da irradiação do corpo inteiro. Os principais dosímetros atualmente utilizados são: filme dosimétrico, dosímetro termoluminescente e radiofotoluminescente.

Como esses dosímetros são geralmente lidos de mês em mês, no caso de haver possibilidade de acidente com doses de radiação elevadas, acrescenta-se um dosímetro denominado "de aviso" pelo qual o indivíduo pode ter uma avaliação a qualquer instante. Os principais dosímetros de aviso usados são: câmara de bolso, dosímetro de bolso e dosímetro sonoro.

Para o segundo método usam-se, geralmente, instrumentos portáteis ou semiportáteis que permanecem em bancadas de laboratórios com sondas destacadas que podem ser aproximadas às diferentes partes do corpo.

Para o terceiro método, há duas possibilidades de medidas diferentes, denominadas "in vitro" e "in vivo".

No primeiro, não medimos o indivíduo em si, mas suas excretas, como urina, fezes, suor, muconasal etc; raramente, o sangue.

Dessa maneira consegue-se realmente medir a quantidade de material radioativo excretado na amostra recolhida. Partindo desse resultado, por um modelo matemático de cálculo, inferimos a fração depositada no órgão crítico e, via homem-referência, a dose recebida pelo trabalhador.

No método "in-vivo" medimos diretamente a dose no indivíduo usando-se um instrumento denominado contador de corpo inteiro. O indivíduo é deitado sobre uma maca de maneira tal que a radiação emitida pelo seu corpo alcance o detector. Esse método é simples para emissores de radiação penetrante como a radiação gama, porém mais complexo para a radiação pouco penetrante.

No IPEN-CNEN/SP possuímos o sistema de medida para radiações penetrantes e tentamos montar aquele para radiações pouco penetrantes.

No caso do urânio as medidas que até agora prevalecem para detectar a contaminação interna é a in-vitro, via urina.

Do exposto, no método de análise in-vitro podemos verificar que é fácil avaliar as doses quando há uma única incorporação de materiais radioativos, pois podemos determinar o seu decréscimo e, portanto, as meias-vidas efetivas reais no trabalhador, se

É mais difícil efetuar esse cálculo quando tratamos de in corporações contínuas e regulares durante o transcorrer do trabalho para o qual, além de decaimento radioativo, há uma nova in corporação.

Para efeito de ação, do ponto de vista de proteção radiolôgica, são estabelecidos dois níveis de referência denominados níveis de investigação e níveis de ação.

O nível de investigação é estabelecido como sendo três décimos da carga corporal máxima permissível (C.C.P.M.). É um nível acima do qual é necessário uma investigação para se ter a certeza de que não poderia ser evitada de outro modo, portanto devemos saber o porquê de o trabalhador tomar aquela incorporação.

O nível de ação é estabelecido como sendo o valor da C.C.M. P.. Uma vez excedido tal valor, deve-se descobrir por que se efetivou esta incorporação com a finalidade de evitar futuramente que se repita uma incorporação desse tipo.

No caso do urânio, o nível de investigação detectados na urina excretada é maior ou igual a 30 microgramas de urânio por litro e o nível de ação é maior ou igual a 100 microgramas de urânio por litro.

minar as Doses dos Trabalhadores.

A filosofia vigente, com o transcorrer do tempo, mostrou várias deficiências que exporemos sucintamente a seguir, as quais provocaram uma drástica alteração em toda a filosofia exposta, ainda que as técnicas de medidas permaneçam as mesmas.

1. A norma vigente diz que devemos somar as doses internas e externas e que os seus valores não podem ultrapassar os expostos na tabela 2.1. Como para doses internas temos órgãos críticos para diferentes radioisótopos e seus compostos e ainda dependente de seu caráter de solubilidade somado com limites diferentes para diferentes órgãos, torna-se impossível somar as doses internas com as externas.

Até o momento presente procuramos manter ambas abaixo dos limites anuais e são escritas lado a lado.

2. Quando um trabalhador lida com vários radioisótopos e portanto tendo vários órgãos críticos, quando levaremos em consideração a dose do corpo inteiro sendo a limitante e não a dose em cada órgão?

Em virtude dessa dificuldade, a C.I.P.R. resolveu "ab hoc" estabelecer que, acima de três órgãos críticos irradiados, passaria a valer o limite do corpo inteiro.

3. Surgiu a seguinte questão: os laboratórios que trabalhassem com quantidades pequenas de material radioativo e nos quais, portanto, teríamos quase certeza de que os limites máximos permitíveis não seriam ultrapassados, deveriam possuir um serviço de

Como resposta a essa pergunta a C.I.P.R. resolveu colocar um segundo princípio, o de proteção radiológica, segundo o qual as doses deveriam ser mantidas tão baixas quanto possível e que, portanto, o serviço de proteção seria justificado.

Entretanto a expressão "tão baixa quanto possível" foi imediatamente modificada para manter as doses "tão baixas quanto praticável", pois manter as doses tão baixas quanto possível seria quase reduzi-las a zero com uma despesa de vulto que impossibilitaria os usos pacíficos da energia nuclear. "Manter as doses tão baixas quanto praticável" era entendido como que os serviços de proteção radiológica, além de satisfazer os limites máximos permissíveis deveriam manter as doses tão baixas quanto lhes permitissem os meios disponíveis. A esta altura víamos que

1. A filosofia dos limites de dose tinha muitos entraves, necessitando de modificações radicais;

2. A crise do petróleo estava em evolução e pensava-se que a única solução para a crise energética seria a numerosa proliferação de reatores de potência, com o conseqüente aumento de porcentagem de ocorrência de acidente e, portanto, de risco à população, saindo, portanto, das fronteiras do trabalhador.

Esse princípio de mantermos as doses tão baixas quanto praticável evoluiu para o conceito de mantermos as doses tão baixas quanto facilmente exequível, conceito mudado imediatamente para mantermos as doses tão baixas quanto razoavelmente exequível.

cal, pois, o que é fácil para uns pode ser difícil para outros e vice-versa. Facilidade e dificuldade são conceitos subjetivos e não é isso que era pretendido. O que buscamos é introduzir um cálculo de análise custo/eficácia com o intuito de otimizar a proteção radiológica, ou seja, almejamos que o benefício líquido à população, advindo de uma atividade que envolva radiação, seja máximo com relação ao detrimento biológico, danos biológicos que a atividade provocará.

Em virtude dessa mudança vimos a necessidade de introduzir um novo conceito que proíba toda atividade, envolvendo a radiação, que não leve a um benefício líquido positivo para a população.

Com isso firmamos as bases de um novo sistema de limitação de doses cujos princípios passaram a ser enunciados da maneira seguinte:

1. Nenhuma atividade será aceita a menos que introduza um benefício líquido positivo;
2. todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível (ALARA), levando em consideração fatores sócio-econômicos;
3. a dose equivalente nas pessoas não deve exceder os limites recomendados pela C.I.P.R. (26)

O primeiro princípio é chamado também de princípio de justificativa e está baseado numa análise conhecida como custo-benefício, geralmente feita pela autoridade competente de um país.

introduzir no Brasil a radioterapia nos estudos oncológicos quando já existem a quimioterapia, a imunoterapia e a cirurgia? Uma análise custo-benefício poderá verificar se existe um benefício líquido positivo para a população do País com a introdução desta nova técnica.

O fato da CNEN proibir a adição de material radioativo em alimentos, brinquedos e cosméticos significa, nesta nova filosofia, que foi feita uma análise custo-benefício e foi verificado que a população brasileira não leva um benefício positivo.

Em alguns casos esta análise poderá também ser feita pelos serviços de proteção radiológica quando existirem técnicas alternativas e estivermos em dúvida quanto à escolha.

O segundo princípio é conhecido também como princípio de otimização da proteção radiológica, ou princípio ALARA, resultado das iniciais da frase inglesa "As Low As Reasonable Achievable". Está associado a uma análise diferencial custo-benefício, também chamada de análise custo-eficácia. Em vez de tratarmos a atividade a ser introduzida em termos globais como a anterior, procuramos tratá-la em termos diferenciais, isto é, objetivamos estabelecer qual o melhor nível de proteção e de dano biológico que leve a um benefício líquido máximo para a população. Trata-se, portanto, de verificar se é melhor ter um nível de proteção A que resulte num dano biológico alfa em vez de termos um nível de proteção B, que resultará em um dano biológico Beta. Esse tipo de análise é feito pelo serviço de proteção radiológica.

No terceiro princípio são estabelecidos limites anuais de doses máximas admissíveis, LAMA, uma vez que nada é permitido a não ser que sejam submetidos aos primeiros dois princípios, que possibilitem a soma das doses internas e externas, pois, como se deve ter intuído, falamos em benefício da população e detrimento biológico da população e não mais num indivíduo como tal, ainda que este terceiro princípio limite a dose deste indivíduo.

Partindo do conhecimento atual, detrimento biológico foi dividido em duas grandes categorias: efeitos biológicos estocásticos e não estocásticos⁽²⁸⁾.

Consideram-se efeitos biológicos estocásticos aqueles cuja porcentagem de ocorrência aumenta com o aumento da dose recebida. Dentre os efeitos somáticos, os cânceres são colocados nesta categoria, bem como os efeitos biológicos hereditários.

Os efeitos não-estocásticos são aqueles em que a gravidade do efeito biológico é proporcional à dose e que, para tanto, geralmente apresentam uma dose limiar, isto é, dose abaixo do valor limiar, o efeito biológico não se manifestará e acima delas se manifestará em todos os indivíduos irradiados; além disso, a sua gravidade aumentará com o aumento da dose.

Em virtude dessa classificação, os limites anuais máximos admissíveis serão especificados para essas duas categorias.

O limite trimestral da norma vigente foi eliminado em virtude do limite anual ser já muito pequeno.

É um novo limite anual que passa a ter a definição do anti

do dano provocado e terceiro, a extensao em que o dano pode ser sanado.

A tabela 2.2 contém os fatores de ponderação. $F_p^{(28,30)}$.

Tabela 2.2 - Fatores de ponderação.

Órgãos	Fp
Gônadas	0,25
Medula óssea eritropoética	0,12
Pulmão	0,12
Seios	0,15
Tireóide	0,03
Superfície dos ossos	0,03
Demais órgãos	0,30

Devemos comentar que os demais órgãos, a que se refere a última linha da tabela 2.2, na realidade, são considerados no máximo cinco e justamente aqueles órgãos que receberam a maior dose.

A cada órgão irradiado atribui-se um F_p igual a 0,06 ainda que tenhamos um número menor que cinco.

Não são considerados outros órgãos as extremidades, o cristalino dos olhos e a pele do corpo inteiro, a não ser em casos excepcionais cujo fator de ponderação será de 0,01. Nesse caso, uma vez verificada a dose equivalente por qualquer órgão, multiplicamos o seu valor pelo F_p da tabela 2.2 e determinamos a dose equivalente efetiva para o corpo inteiro. O limite de dose após esse cálculo passa a ser aquele dos efeitos estocásticos.

Portanto, ambos os limites para efeitos estocásticos e não-estocásticos devem ser obedecidos.

PELE

A pele é muito radiossensível e o desenvolvimento de cânceres, como efeitos estocásticos, são muito pouco prováveis e posuem um tempo de incubação muito longo - dezenas de anos.

Para os efeitos não-estocásticos consideramos que a camada de célula basal que se situa de 50-100 micrometro de profundidade, é a mais radiossensível.

As primeiras modificações funcionais, como o caso do eritema, ocorrem com uma dose limiar de 350rem.

Em doses maiores aparecem modificações estruturais com ataque à epiderme e à derme, as quais dão origem a queimaduras do tipo térmico. O tempo de incubação é de algumas semanas. Doses maiores podem levar a necroses, que se assemelham a queimaduras por ácido, isto é, não haverá cicatrização até que não seja eliminado o tecido morto^(5,28).

Em virtude do exposto e do fato dos níveis de radiação terem que ser mantidos ALARA torna-se necessário a manutenção de um serviço de proteção radiológica, que ficará encarregado de emitir normas, procedimentos de trabalho, com a finalidade de asgurar um trabalho em segurança aos indivíduos.

Para termos a certeza de que esse objetivo é alcançado, o serviço de proteção radiológica é encarregado de efetuar as monitorações do local de trabalho e do indivíduo com a finalidade de comprovar que o trabalho está sendo executado em nível ALARA.

cendo às equações seguintes ⁽³⁰⁾ :

$$\frac{H_{I,d}}{H_{E,L}} + \sum \frac{I_J}{I_{J,L}} \leq 1$$

$$\frac{H_{I,s}}{H_{SK,L}} \leq 1$$

$H_{I,d}$ é o índice de dose equivalente anual profundo

$H_{I,s}$ é o índice de dose equivalente anual raso

$H_{E,L}$ é o limite anual de dose equivalente efetiva (50mSv)

$H_{SK,L}$ é o limite anual de dose equivalente na pele (500mSv)

I_J é a incorporação anual do radionuclídeo J (RN_J)

$I_{J,L}$ é o limite anual de incorporação para RN_J

Com relação as doses internas, a filosofia foi também muda da e o conceito de carga corporal máxima permissível foi substituída pelo limite de incorporação anual, LIA, que está baseado num novo conceito denominado "dose equivalente comprometida".

Dose equivalente comprometida é a dose que seria recebida nos próximos 50 anos de um trabalhador como resultado de uma única incorporação.

As normas estabeleceram que o limite anual para a dose interna é aplicado sobre a dose equivalente comprometida, H_{50} .

ra meias-vidas efetivas muito curtas de maneira que possamos considerar o material radioativo eliminado no próprio ano que é incorporado.

O LIA é inferior ao LAMA, pois entendemos que, se o indivíduo tomar uma dose anual equivalente ao LIA durante 50 anos seguidos, em nenhum destes anos excederá o LAMA.

Dessa forma, se a meia vida efetiva do radioisótopo é muito longa, de maneira que o decaimento nos próximos 50 anos seja desprezível, o LIA será igual a um cinquent^a avos do LAMA sendo esta a pior das hipóteses. O modelo do sistema respiratório também foi alterado.

2.4.1 Modelo do Sistema Respiratório ⁽²⁹⁾

O modelo dosimétrico desenvolvido é relativo à inalação de aerossóis radioativos.

Quando forem inalados aerossóis radioativos, parte do sistema respiratório serão irradiados. Outros órgãos e tecidos do corpo também serão irradiados pela radiação originada nos pulmões e como resultado da transferência do material inalado do sistema respiratório para os tecidos do corpo.

Admite-se que, após a inalação de aerossóis radioativos, as doses recebidas pelas várias regiões do sistema respiratório, diferirão grandemente, dependendo da classificação do material inalado. A dose recebida pela região nasofaríngea foi desprezada, uma vez que, para a maioria das partículas classificadas, ela

traz regiões. A dose liberada por alguns dos nódulos linfáticos pulmonares, por partículas insolúveis eliminadas da região pulmonar, pode ser muitas vezes maior que aquela recebida pelos tecidos do pulmão.

A distribuição de dose, para as células do pulmão, provocada por partículas inaladas, também pode ser muito heterogênea. Para a indução de enfermidades hereditárias, a C.I.P.R. considera que os riscos de partículas radioativas no pulmão são, provavelmente, menores do que aqueles provocados pela mesma quantidade de material distribuída uniformemente no pulmão, parágrafos 49 e 50 da C.I.P.R. (28)

Embora, em princípio, o modelo descrito aqui possa ser usado para estimar a dose equivalente nas diferentes regiões do sistema respiratório, e essa estimativa possa ser útil para investigações, em vista de outras incertezas, por exemplo, com relação à localização precisa das células em risco, não se considera que tais estimativas sejam garantidas para fixação dos valores do LIA. Portanto, para os propósitos de proteção radiológica, a CIPR delibera que, em adultos, será satisfatório considerar a região traqueobronquial, região pulmonar e nódulos linfáticos pulmonares como um órgão composto, de massa igual a 1000 gramas, parágrafo 54 da C.I.P.R. (28), para o qual se aplica o fator de ponderação para o pulmão.

A irradiação de trabalhadores, por materiais radioativos, é limitada pelo valor da dose equivalente comprometida, H_{50} nos tecidos do corpo.

A estimativa da distribuição e retenção do material no sistema respiratório toma por base um modelo proposto no relatório da CIPR pelo grupo de trabalho sobre a dinâmica do pulmão

Esse modelo leva em consideração o tamanho da partícula e define três classes de retenção que, em parte, refletem a forma química do aerosol. Adicionalmente, o modelo fornece informações sobre as várias vias de eliminação do pulmão.

O sistema respiratório é dividido em três regiões distintas, a saber: a passagem nasal (P-N), a traquéia e árvore bronquial (T-B) e a parênquima pulmonar (P).

Supõe-se que a deposição varia com as propriedades aerodinâmicas da distribuição do aerosol e é descrita pelos três parâmetros, D_{P-N} , D_{T-B} e D_P , que representam as frações do material inalado depositado inicialmente nas regiões P-N, T-B e P, respectivamente. Para uma distribuição de diâmetros log-normal, que parece ser típico dos aerossóis, o modelo de deposição pode ser descrito pelo Diâmetro Aerodinâmico Médio para Atividade (DAMA) do aerosol. Ver figura 2.1.

A porcentagem de atividade ou massa de um aerosol que é depositada nas regiões P-N, T-B e P é dada em relação ao D.A.M.A da distribuição do aerosol.

O modelo é útil para distribuições de aerossóis como DAMA, entre 0,2 e 10 micrões e com desvios padrões geométricos de menos que 4,5. Estimativas provisórias de deposições posteriores,

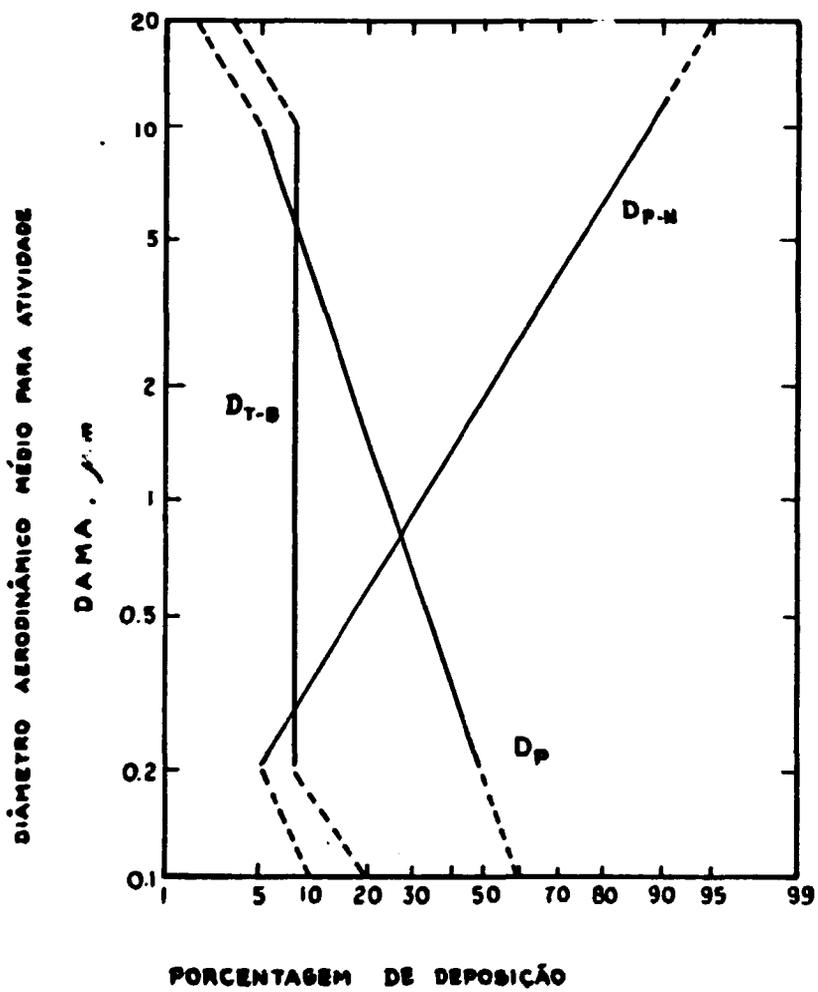


FIG 2.1
 DEPOSIÇÃO DE PÓ NO
 SISTEMA RESPIRATÓRIO

çadas.

Para uma deposição anormal com um DAMA de mais que 20 μ cra , pode-se supor a deposição completa na P-N. O modelo não se aplica a aerossóis com DAMA_s menores que 0,1 micron.

Os cálculos para a dose equivalente comprometida, H₅₀ , neste modelo, foram feitos para um aerossol com DAMA de 1 micron. Se o DAMA for desconhecido, recomenda-se que sejam usados os valores da H₅₀, do LIA e da C.D.A., fornecidos nos dados dosimétricos para um aerossol de 1 micron de DAMA. Para DAMA_s conhecidos e diferentes de 1 micron, procede-se como na figura 2.2..

Para descrevermos a eliminação do pulmão de materiais inalados estes estão classificados em D, W, Y, que se referem à sua retenção na região pulmonar. Esta classificação se aplica a um intervalo de meias-vidas efetivas para a classe D menor do que 10 dias, para a classe W, de 10 a 100 dias e para a classe Y, maior do que 100 dias.

A figura 2.2 apresenta, sucintamente, dados qualitativos de eliminação por classe de retenção, e onde são mostradas as vias de eliminação.

Cada uma das regiões P-N, T-B e P, descritas anteriormente, é dividida em dois ou quatro compartimentos, como é mostrado na figura 2.2..

Os valores para as meias-vidas de eliminação, T_{a-i}, e as frações-compartimento, f_{a-i}, são fornecidas na porção tabu

REGIÃO	COMPARTIMENTO	CLASSE					
		D		W		Y	
		T	F	T	F	T	F
		DIA	F	DIA	F	DIA	F
P N ($D_{PN} = 0,30$)	a	0,01	0,5	0,01	0,1	0,01	0,01
	b	0,01	0,5	0,40	0,9	0,40	0,99
T-B ($D_{T-B} = 0,08$)	c	0,01	0,95	0,01	0,5	0,01	0,01
	d	0,2	0,05	0,2	0,5	0,2	0,99
P ($D_p = 0,25$)	e	0,5	0,9	50	0,15	500	0,05
	f	*N.A	N.A	1,0	0,4	1,0	0,4
	g	N.A	N.A	50	0,4	500	0,4
	h	0,5	0,2	50	0,05	500	0,15
L	i	0,5	1,0	50	1,0	1000	0,9
	j	N.A	NA	N.A	N.A	∞	0,1

*NA-NÃO APLICAVEL

D - meia vida efetiva inferior a 10 dias
W - meia vida efetiva entre 10 a 100 dias
Y - meia vida efetiva maior que 100 dias

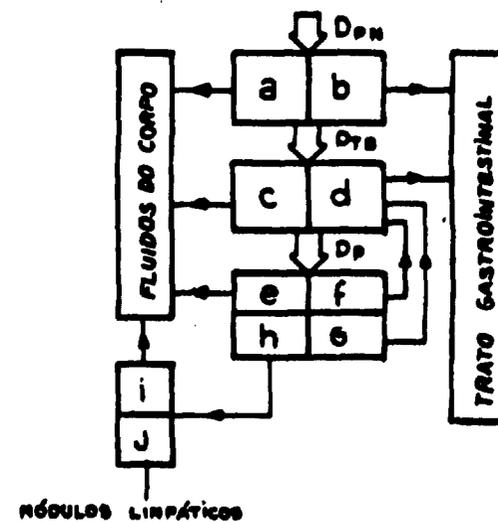


FIG 2.2
MODELO ESQUEMÁTICO DAS V
DE ELIMINAÇÃO DO URÂNIO
INALADO

lar da figura 2.2, para cada uma das três classes de materiais re-
tidos.

Os valores fornecidos para D_{P-N} , D_{T-B} e D_P (coluna à
esquerda) são as deposições regionais para um aerosol com um
DAMA de 1 micron.

No caso dos compostos de urânio, no novo modelo do pul-
mão da C.I.P.R. (29), a classificação é aquela apresentada na ta-
bela 2.3, a seguir (32,43).

Tabela 2.3 - Classificação da C.I.P.R. para Composto de Urânio.

Classe de Inalação	Solubilidade no Pulmão T biológica na região Pulmonar	Compostos de Urânio
D	Muito solúvel 0 - 10 dias	UF_6 UO_2F_2 $UO_2(NO_3)_2$
W	Solubilidade Moderada 10 - 100 dias	$Na_2U_2O_7$ D.U.S. $(NH_4)U_2O_7$ D.U.A. UO_3 UF_4 UCl_4
Y	Relativamente Insolúveis maior que 100 dias	UO_2 U_3O_8

compartimentos a-i nas quatro regiões respiratórias P-N, T-B , P e L. As letras a,b,c,d,e,f,g,h,i,j representam os compartimentos.

De acordo com o modelo matemático, as regiões nasofaringeal e traqueobronquial estão divididas em dois compartimentos ; a pulmonar, em quatro e a linfática em dois.

Cada um desses compartimentos está associado a uma via particular de eliminação para a qual o tempo médio de eliminação é T dias e a fração deixando a região com esta taxa é F. Dessa forma, os compartimentos a,c, e são associados aos processos de transporte de partículas incluindo o transporte mucociliar, que transfere material para o trato gastrointestinal.

O sistema linfático pulmonar, L, também serve para remover a poeira dos pulmões. Ele é associado ao compartimento h na região P dos pulmões de onde o material é transferido para os compartimentos i e j nos nódulos linfáticos pulmonares.

O material do compartimento i é transferido para os fluidos do corpo, mas supomos que aquele do compartimento j permaneça retido neste local por um tempo indefinido. Este compartimento é considerado adequado somente para aerossóis da classe Y; para os demais aerossóis da classe W, D a fração de material que entra no compartimento j, proveniente do compartimento h $(F_j)_j$ é determinada como sendo igual a zero.

Supomos que a eliminação de material de cada um dos compartimentos descritos é dirigida pela primeira lei da dinâmica. Des

ta forma, cada compartimento é associado a uma constante de eliminação λ (S^{-1}) e a um tempo médio de eliminação T dias $T=0,693/86.400 \lambda$.

A eliminação do material inalado do pulmão é, portanto, descrita por uma série de equações diferenciais de primeira ordem interligadas.

2.4.3 Trato Gastrointestinal (29)

Consiste em quatro seções, cada uma das quais representada por um único compartimento. Ver figura 2.3.

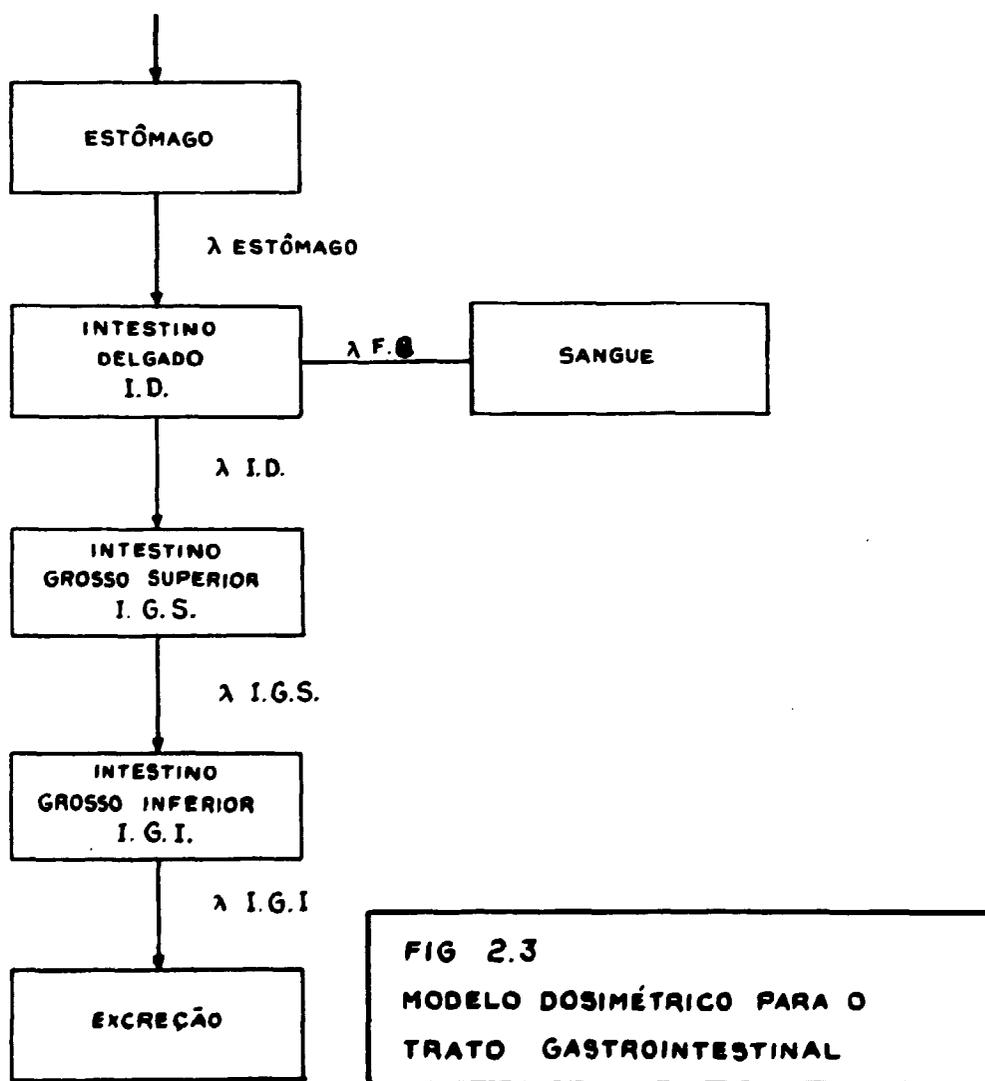


FIG 2.3
MODELO DOSIMÉTRICO PARA O
TRATO GASTROINTESTINAL

O transporte de radionuclídeos de um compartimento para o seguinte é governado por uma série de equações diferenciais de primeira ordem.

As taxas de liberação biológica do radionuclídeo ingerido nos compartimentos Estômago (est), Intestino delgado, I.D., Intestino grosso superior, I.G.S., Intestino grosso inferior, I.G.I. são representados, respectivamente, por λ_{est} , $\lambda_{I.D.}$, $\lambda_{I.G.S.}$, $\lambda_{I.G.I.}$. A taxa de transferência do radionuclídeo para os fluidos biológicos é representada por $\lambda_{P.B.}$, cujo valor pode ser estimado a partir do valor de f_1 , que é a fração do elemento estável que atinge os fluidos biológicos após ingestão.

Para os compostos de urânio que passam para o trato gastrointestinal após inalação classificados como D e W, a fração f_1 é considerada igual a 0,05. Para os compostos de urânio da classe Y, esta fração vale 0,002.

2.5 Métodos Dosimétricos Para Prevenção e a Avaliação das Doses Recebidas pelos Trabalhadores de Acordo com a Nova Filosofia Internacional.

As técnicas de monitoração examinadas no item 2.3 continuam idênticas nas novas normas internacionais, mas as concentrações máximas admissíveis no ar estão baseadas nos L.I.A. e não mais nas C.C.M.P..

A filosofia da técnica de monitoração sofreu uma mudança drástica. Pelas novas normas, é necessário, a partir dos resultados das monitorações do local de trabalho, estimar a dose anual

Torna-se, então, necessário introduzir um modelo matemático que transforme os resultados das monitorações em unidades usadas no sistema de limitação de dose, isto é, dose equivalente, dose equivalente efetiva e dose equivalente comprometida.

Esse modelo apresenta vários graus de complexidade em função das doses a serem estimadas. Se forem próximas aos limites anuais máximos admissíveis (LAMA) ou ao LIA, o modelo é complexo, pois devemos ser realistas ao ponto de evitar a subestimação e superestimação das doses, desde que o indivíduo poderá ultrapassar o limite sem ser verdade.

Se as doses forem muito abaixo dos LAMA e LIA, o modelo poderá ser muito mais simples, obrigando-nos, entretanto, a evitar a subestimação das doses, pois a superestimação será tal que não alcançará os limites prefixados.

Quanto à classificação das áreas também houve alteração.

A área controlada passou a ser chamada de área restrita e foi subdividida em supervisionada e controlada.

Na área supervisionada basta que conheçamos os níveis de radiação do local de trabalho, tenhamos os sinais de aviso de radiação recomendados e não é necessária nenhuma monitoração individual.

Na área controlada são necessários os sinais de aviso de radiação recomendados e é necessária a monitoração individual que,

como o próprio nome diz, é necessário o controle de seu acesso rigorosamente. Não basta colocarmos um aviso impedindo a não penetração no local sem permissão do serviço de proteção radiológica, como no caso da área supervisionada. As normas internacionais estabelecem os 3/10 do LAMA ou do LIA como linha demarcatória entre a área supervisionada e a área controlada, considerando o ano de 2000 horas. Estabelecem ainda condições de trabalho A e B.

São consideradas condições de trabalho A quando o trabalhador tem possibilidade de tomar doses em atividades normais, acima dos 3/10 do LAMA ou LIA.

São consideradas condições de trabalho B quando o trabalhador dificilmente tomará doses acima dos 3/10 do LAMA ou LIA.

Não existe um paralelismo simples entre as condições de trabalho e a classificação das áreas, pois esta última leva em conta o ano de 2000 horas, enquanto a primeira leva em conta as horas realmente trabalhadas pelo indivíduo.

Nas condições de trabalho A é necessário o uso de dosímetros individuais enquanto nas condições de trabalho B é necessário conhecermos os níveis de radiação do local.

Os níveis de referência, a saber, de investigação e de ação mencionados no item 2.3, foram alterados; assim são sugeridos três⁽³⁰⁾;

a) Nível de registro, N,R. Definido para a dose equivalente ou dose equivalente efetiva ou ainda incorporação. É um valor abai

diológica, e, portanto, deixamos de registrar o resultado ou o registramos como zero, independente do valor medido.

As normas internacionais (C.I.P.R.) aconselham adotar como valor do nível de registro 1/10 do LAMA ou LIA, calculado na fração de tempo em que é feita a medida.

Por exemplo: para radiação externa, se usarmos um detector portátil que meça em unidade de exposição mR/h o nível de registro para 2000 horas de trabalho, será de 0,25mR/h.

b) Nível de investigação, N.I.. Definido para dose equivalente ou dose equivalente efetiva ou incorporação. O conceito continua sendo como o das normas vigentes, isto é, um valor acima do qual é necessário conhecermos os motivos que levaram a tomar esta dose. As normas internacionais aconselham adotar como N.I. os 3/10 do LAMA ou do LIA calculados na fração de tempo em que a medida é feita.

c) Nível de Interrupção N.Int.. Tem o mesmo significado do nível de ação, isto é, devemos interromper o trabalho para melhorar as condições de proteção e evitar que a sobre-exposição se repita. Geralmente especificado para uso em situações anormais.

As normas internacionais sugerem que tomemos um valor bastante elevado para evitar interrupções do trabalho sem justa causa.

Como o trabalhador pode em uma única atividade tomar até o LAMA, as normas internacionais sugerem que o nível de interrupção nunca seja inferior ao LAMA ou ao LIA.

Devemos tomar o cuidado que para este caso, não é a fração de tempo em que é feito a medida, mas, sim, o seu valor total.

Para os radioisótopos de meia-vida efetiva muito longa, que não entram em equilíbrio nos primeiros 50 anos, a C.I.P.R. sugere que o próprio valor do LIA pode ser restritivo demais como o nível de interrupção sendo preferível, portanto, tomarmos um múltiplo do LIA como nível de interrupção.

Logo na irradiação de corpo inteiro para 2000 horas de trabalho por ano os valores dos níveis de referência seriam: Nível de Registro 2,5 Sv (0,25mRem/h); Nível de Investigação 7,5 Sv (0,75mRem/h); Nível de Interrupção 50.000 Sv (5000mRem/ano).

2.6 Necessidade do Serviço de Proteção Radiológica

Como salientamos, quando se trata da filosofia para o estabelecimento dos limites máximos permissíveis e dos LAMA, se estes forem obedecidos, o trabalho estará sendo efetuado em segurança e os riscos à saúde advindos serão desprezíveis e sob controle.

Se, por outro lado, os níveis de radiação puderem tornar-se muitas vezes elevados, acima dos limites, poderá aparecer a ocorrência de efeitos biológicos indesejáveis para o trabalhador.

No caso específico do urânio, em que temos como órgãos de deposição o pulmão, rins, ossos e a pele do corpo como contaminação superficial, daremos resumidamente os principais efeitos de letéricos que a radiação incorporada poderá provocar⁽³³⁾.

A seguir mostramos a tabela 2.4 onde são evidenciadas as principais diferenças entre as duas filosofias tratadas no que diz respeito à classificação das áreas e condições de trabalho bem como quanto a necessidade de monitoração.

Tabela 2.4 - Principais diferenças entre as filosofias tratadas quanto à classificação da área e da condição de trabalho.

Antiga Filosofia

Classificação das áreas baseadas nas 2000 horas de trabalho

Área Livre

Nível de dose menor que o limite para o indivíduo do público

Área Controlada

Locais onde os Trabalhadores poderiam tomar doses acima do limite do indivíduo do público

Nova Filosofia

Classificação das áreas baseadas nas 2000 horas de trabalho

Área Livre

Nível de dose menor que o limite para o indivíduo do público

Área Restrita

- . Supervisionada: níveis de dose menor que 3/10 LAMA para os trabalhadores.
- . Controlada: níveis de dose maior que 3/10 LAMA para os trabalhadores.

Condições de Trabalho

- . Condição de Trabalho A
Onde o trabalhador por tomar dose acima dos 3/10 LAMA
- . Condição de Trabalho B
Onde o trabalhador dificilmente ultrapassará os 3/10 LAMA.
O tempo real de trabalho é considerado nessa definição.

Todos os trabalhadores necessitam de monitoração individual.

Só necessitam de monitoração individual os que estão trabalhando dentro da condição de Trabalho A.

Para Área Supervisionada basta conhecermos os níveis de radiação do local de trabalho.

PULMÃO

Começando pelo pulmão, consideraremos a traquéia, brônquios, região pulmonar e tecido linfóide pulmonar como pertencente à região pulmonar.

Como efeito não-estocástico para doses elevadas teremos inflamações que podem conduzir a escleroses provocadas pelos aerossóis radioativos que se fixam no tecido alveolar.

Como efeito estocástico, sem sombra de dúvida o mais importante é o câncer que pode ser provocado pelo urânio e seus descendentes, como o Radônio, tendo períodos de incubação muito longos, geralmente dezenas de anos.

Não há até a presente data, evidências epidemiológicas de cânceres em trabalhadores que manuseiam o urânio em forma de partículas, mas há muitos exemplos sobre aqueles que trabalham em minas, principalmente nas mais antigas da Boêmia, nas quais não tinha sido tomada nenhuma precaução especial, pois eram desconhecidos os efeitos deletérios da radiação. Um número elevado de cânceres de pulmão apareceu nesses mineiros.

As normas internacionais⁽²⁹⁾ informam que, da região pulmonar, realmente o mais radiosensível é o pulmão propriamente dito.

RIM

O urânio é considerado um agente químico nefrotóxico, com ordem de toxidez semelhante à de outros metais pesados como o chumbo, o mercúrio e o arsênio⁽⁴³⁾.

A primeira observação de que os sais de urânio, quando absorvidos sistemicamente, eram capazes de causar efeitos tóxicos nos rins foi feita por Chittenden em 1889⁽⁴³⁾.

Efeitos bioquímicos apresentam-se refletindo alterações nas funções renais, como aumento de proteínas, açúcar, aminoácidos e enzimas excretadas na urina.

O urânio concentra-se na parte cortical dos rins, principalmente nos túbulos contornados próximos, sendo esta a primeira região a sofrer danos.

OSSO

Para os ossos, dois tecidos são mais vulneráveis à ação deletéria do urânio: as células endoteliais e epiteliais sobre a superfície óssea cortical, até uma profundidade de cerca de 10 micra na parte mineral do osso, e o osso trabecular na região da medula óssea eritropoética, que se encontra dentro dele.

Para o primeiro tecido, ocorrem unicamente efeitos estocásticos que se manifestam por necroses ósseas e em doses mais elevadas por cânceres, osteosarcomas.

Para o segundo tecido, o efeito biológico estocástico mais importante é a leucemia, proliferação desordenada de glóbulos brancos, também denominada câncer de sangue; para os efeitos não-estocásticos, a leucopenia, diminuição de glóbulos brancos, e a anemia, diminuição de glóbulos vermelhos, que tem uma dose limiar de 150rem⁽⁵⁾.

exclusivamente pelas doses recebidas pelos trabalhadores; daí a importância de a proteção radiológica conhecer os métodos, os procedimentos de trabalho, o aconselhamento e treinamento do trabalhador para que o serviço seja executado em segurança^(18,21,30).

2.7 Objetivos do Presente Trabalho

Até a presente data, todo o sistema de proteção radiológica montado nas instalações do MT e MH, onde se encontra a usina piloto de purificação do urânio e sua conversão em UF_4 e UF_6 , está baseado nas normas vigentes, resolução 6/73 da CNEN⁽⁶⁾.

Com este trabalho procuraremos introduzir os novos conceitos das normas internacionais e reformular o programa de proteção radiológica para atender às publicações da A.I.E.A.^(17,18,21) e C.I.P.R.^(26,28,29,30).

Para atingir este objetivo principal, procuraremos avaliar os locais fracos da instalação do ponto de vista de proteção radiológica e estudaremos os tipos de monitoração necessários para manter estes locais sob controle.

Introduziremos modelos para estimar as doses recebidas pelos trabalhadores partindo das monitorações do local de trabalho e como interpretar os resultados estimados a partir das doses prováveis.

Tentaremos também identificar os locais que poderão provocar um acidente nuclear, isto é, qualquer evento não planejado

que possa resultar em doses ou incorporações superiores aos
LAMA ou LIA.

Neste caso descreveremos como é possível detectar o aciden
te, quais as intervenções imediatas na primeira fase, na segunda
fase ou fase intermediária e, por fim, na terceira fase ou fase
de recuperação através da qual retornaremos às condições normais
de trabalho.

3. DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE TRABALHO E DOS PONTOS QUE NECESSI-
TAM CUIDADOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.

Neste capítulo faremos uma descrição das instalações e do ambiente de trabalho no MT e MH bem como indicaremos os pontos e situações que necessitam uma maior atenção da proteção radiológica.

Sempre que o caso justificar mostraremos as soluções que a C.I.P.R. e A.I.E.A. sugerem.

As instalações destes dois locais são consideradas áreas controladas de acordo com as normas internacionais elaboradas pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica, C.I.P.R. (22,23,24,25), e pela Agência Internacional de Energia Atômica, A.I.E.A. (16), admitindo-se que os trabalhadores possam tomar doses superiores aos três décimos do LAMA, isto é, sejam classificados nas condições de trabalho classe "A".

Em virtude de haver possibilidade de contaminação dentro das instalações, tanto nos locais de trabalho como dos equipamentos e das próprias pessoas torna-se necessário a passagem dos trabalhadores pelos vestiários antes de alcançarem as instalações.

É por esse motivo que começamos a descrever a instalação e os vestiários existentes.

3.1 Vestiários

Iniciamos pela descrição do vestiário usado pelos trabalhadores de nível superior e pelos visitantes.

3.1.1 Vestiário Frequentado Pelos Trabalhadores de Nível Superior e Visitantes, Ver Figura 3.1.

Observamos que este vestiário não possui uma divisão rigorosa entre o lado usado pelas mulheres e pelos homens. Os símbolos universais desenhados na figura 3.1 representam o lado designado às mulheres e aos homens, respectivamente.

Por causa das instalações serem simétricas descreveremos sucintamente um deles, dando inicialmente uma relação esquemática de cada ponto indicado na figura 3.1.

- A - porta de entrada do vestiário
- B - porta de acesso às usinas
- 1,2 - banheiros do lado feminino
- 1',2' - banheiros do lado masculino
- 3 - chuveiro do lado feminino
- 3' - chuveiro do lado masculino
- 5 - lavatórios do lado feminino
- 5' - lavatórios do lado masculino e mictório
- C - cabides do lado feminino
- C' - cabides do lado masculino
- P - lugar onde são pendurados aventais, máscaras do lado feminino (12 lugares)
- P' - lugar onde são pendurados aventais, máscaras do lado masculino (18 lugares).

- A - Porta de entrada do vestiário
- B - Porta de acesso às usinas
- 1,2 - Banheiros do lado feminino
- 1',2' - Banheiros do lado masculino
- 3 - Chuveiro do lado feminino
- 3' - Chuveiro do lado masculino
- 5 - Lavatórios do lado feminino
- 5' - Lavatórios do lado masculino
- C - Cabides do lado feminino
- C' - Cabides do lado masculino
- P - Lugar onde são pendurados aventais, máscaras do lado feminino
- P' - Lugar onde são pendurados aventais, máscaras do lado masculino.

ficam os locais onde foram realizadas as monitorações para contaminação de superfície (Esfregãos). Ver página 85.

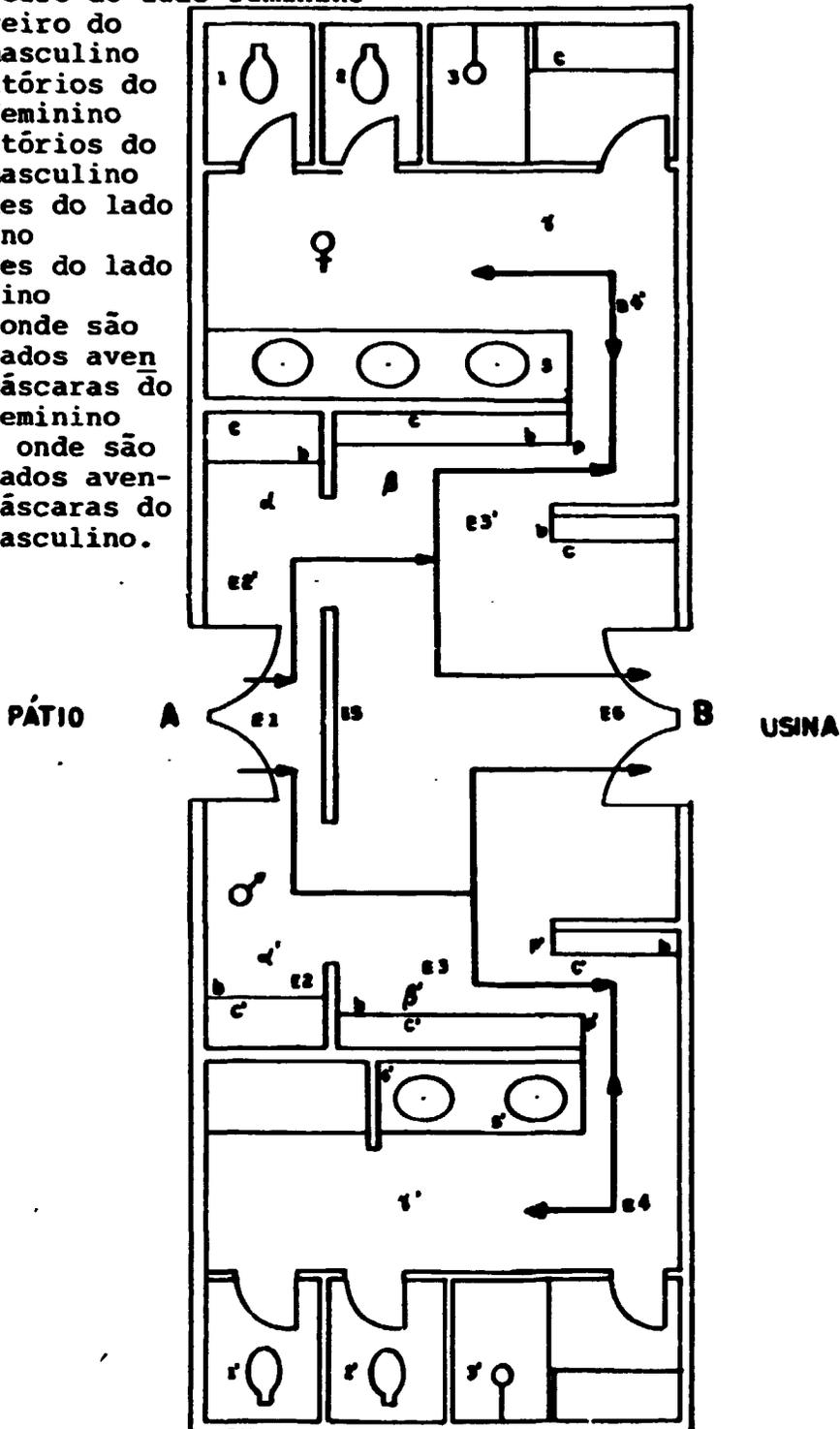


FIG 3.1
VESTIÁRIO A

←→ FLUXO DOS TRABALHADORES

O trabalhador, após passar pelo acesso (A), dirige-se ao ponto alfa (α), onde deixa os sapatos na bancada (b) e coloca parte de suas roupas no cabide representado por (C).

Passa para o ponto beta (β), veste o avental que se encontra pendurado no ponto P, pega a máscara e o capacete que se encontram no mesmo ponto P. Calça as botas de trabalho que se encontram nas bancadas (b) e se dirige para a saída (B).

Em caso de necessidade poderá dirigir-se ao ponto gama (γ) e (γ') fazendo uso do banheiro, chuveiro e laboratório.

A figura 3.2 mostra as reformas recentemente efetuadas no vestiário. Foram as seguintes as mudanças:

Houve a divisão nítida entre os vestiários feminino e masculino, mantendo-se os demais arranjos já existentes.

O banheiro representado na figura 3.1 pelo número 1 do lado feminino foi separado do vestiário passando a fazer parte das instalações referentes à segurança física da usina, que atualmente se encontra em fase de estruturação.

3.1.2 Vestiário B Destinado aos Técnicos que Trabalham nas Instalações.

A figura 3.3 esquematiza o vestiário usado pelos técnicos que trabalham nas instalações do MT e MH.

A seguir damos uma relação esquemática de cada ponto indicado na figura 3.3.

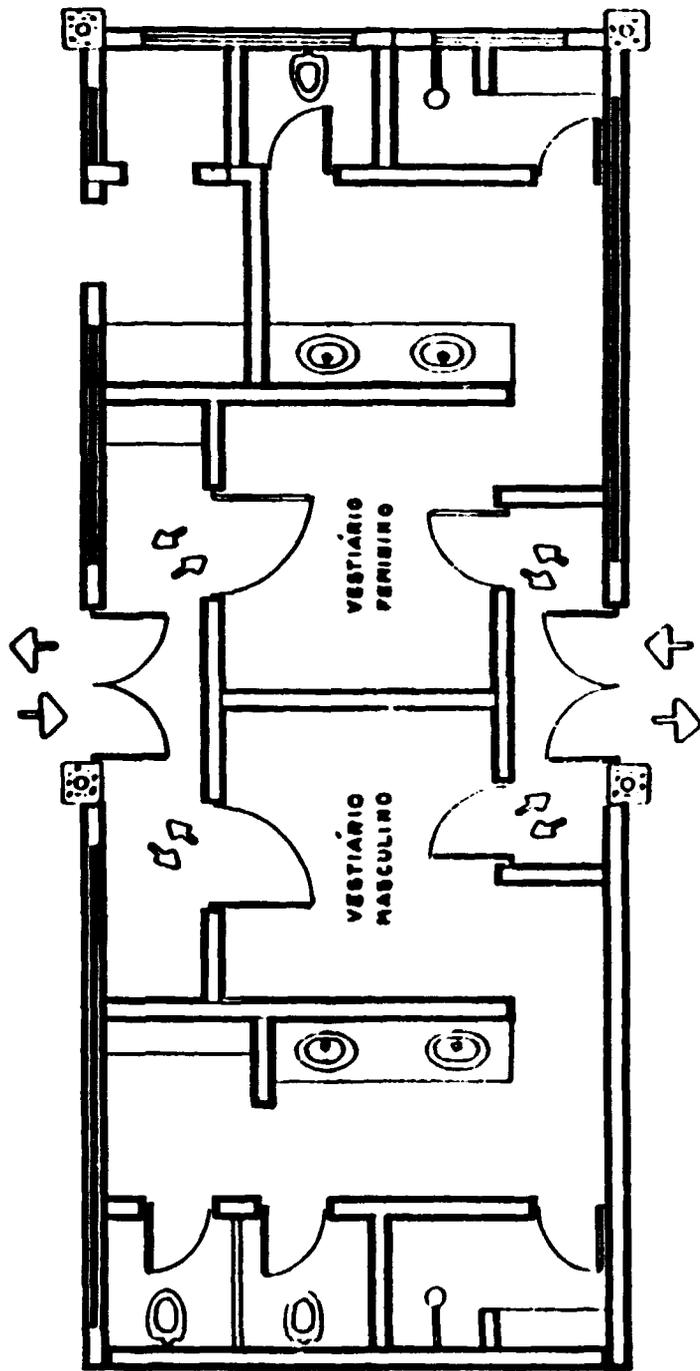
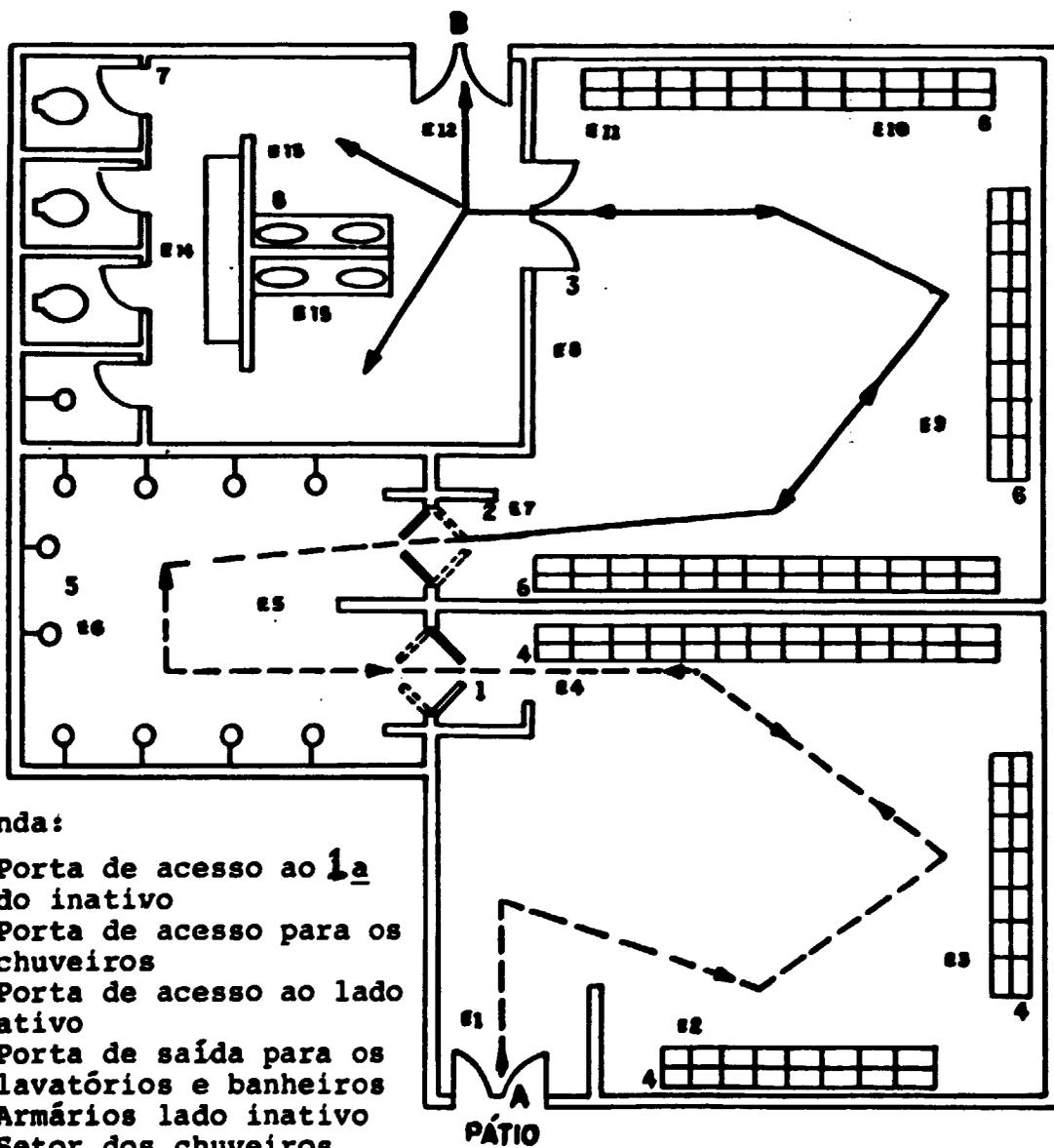


FIG 3.2
VESTIÁRIO "A" APÓS
REFORMA

A letra E seguida de algarismos arábicos indica os locais onde foram realizadas monitorações para contaminação de superfície (esfregaços).

USINA



Legenda:

- A - Porta de acesso ao 1^a do inativo
- 1 - Porta de acesso para os chuveiros
- 2 - Porta de acesso ao lado ativo
- 3 - Porta de saída para os lavatórios e banheiros
- 4 - Armários lado inativo
- 5 - Setor dos chuveiros
- 6 - Armários lado ativo
- 7 - Banheiros
- 8 - Lavatórios
- B - Porta de saída para a usina

FIG 3.3
VESTIÁRIO 8

-- ÁREA INATIVA
— ÁREA ATIVA

- A - porta de acesso ao setor inativo do vestiário
- 1 - porta de acesso para os chuveiros
- 2 - porta de acesso para o lado ativo
- 3 - porta de saída para os lavatórios e banheiros
- 4 - armários pertencentes ao lado inativo (91)
- 5 - setor dos chuveiros (15)
- 6 - armários pertencentes ao lado ativo
- 7 - banheiros (4)
- 8 - lavatórios (6)
- B - porta de saída para a usina.

Os trabalhadores de nível médio (técnicos) que usam o vestiário B são do sexo masculino e por isso só temos uma entrada que pode ser vista no ponto "A" da figura 3.3.

Esta figura mostra a área inativa do vestiário B, indicada por setas com linha descontinua. Após a entrada no lado inativo do vestiário há noventa e um armários, onde são guardadas as roupas normais dos técnicos.

Pelos pontos (1) e (2) os técnicos passam para a área ativa do vestiário indicada por setas com linha contínua e retiram, do seu respectivo armário, uniforme de trabalho e equipamento de proteção individual (E.P.I.) a saber: máscara semifacial, óculos de proteção, luvas e botas; eles vestem-se e passam pelo ponto 3, dirigindo-se à porta de saída (B).

Caso haja necessidade podem dirigir-se ao ponto (7) e (8) onde poderão usar banheiros, lavatórios e duchas.

3.1.3 Vestiário Recomendado Pela A.I.E.A.

Ambos os vestiários apresentados necessitam enquadrar-se dentro dos padrões de vestiário exigidos pela proteção radiológica. Com isso, queremos demonstrar que sendo as instalações do MT e MH, locais onde são elaborados as fases do processamento químico do urânio, é necessário que em cada vestiário esteja de marcada e isolada a área ativa da inativa.

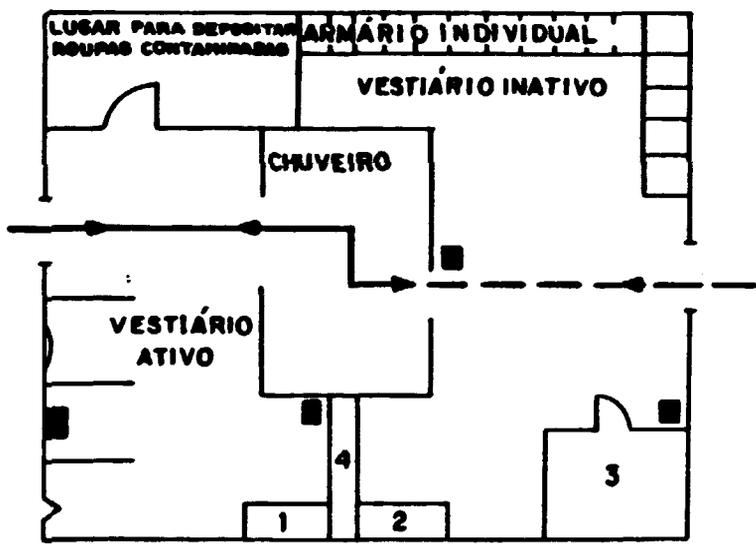
Cabe ressaltar que na área ativa o trabalhador circula com seu uniforme de trabalho, botas e E.P.I. enquanto que na área inativa o trabalhador deverá estar vestindo seus trajes de casa.

O vestiário representado na figura 3.3 está de acordo com os padrões de proteção radiológica, embora a circulação cor reta não esteja sendo respeitada, mas o vestiário representado pela figura 3.2 não possui qualquer separação entre as áreas ati va e inativa.

São necessárias reformas a fim de que seja respeitado o conceito de separação da área ativa e inativa, existente na filosofia de radioproteção.

De acordo com a A.I.E.A. ⁽¹⁹⁾ apresentamos um modelo de vestiário que obedece os rigorosos padrões de radioproteção. Ver figura 3.4 a seguir.

Pode-se ver que as áreas ativa e inativa são bem delimi tadas e existem monitores de pés, mãos e roupas para detectar e medir a radioatividade no trabalhador.



**FIG 3.4 MODELO A.I.E.A.
VESTIÁRIO MODELO 88.30**

- 1- SAPATARIA PARA SAPATOS SUJOS
- 2- SAPATARIA PARA SAPATOS LIMPOS
- 3- ROUPAS LIMPAS E ESTOQUE
- 4- BANCO
- - MONITOR
- LADO ATIVO
- - - - - LADO INATIVO

3.1.4 Comentários Sobre os Atuais Vestiários Representados nas Figuras 3.1 e 3.3, Respectivamente.

Ao entrarmos nos dois vestiários verificamos que a área estava visivelmente contaminada, principalmente, pelo aspecto do chão.

Portanto, escolhemos os pontos mais críticos que estão enumerados de E_1 até E_6 para o vestiário representado na figura 3.1 e de E_1 até E_{15} para o vestiário mostrado na figura 3.3 e fizemos medidas dos níveis de contaminação pelo método indireto descrito no item 2.3. Para tanto utilizamos papel de filtro seco com 50mm de diâmetro e esfregamos sobre uma área de 100cm^2 , que é o convencional pelas normas internacionais⁽⁸⁾.

Os esfregaços foram contados num detector tipo poço com sensor tubo Geiger-Müller (G-M) com uma unidade didática de contagem de esfregaço fabricado no IPEN-CNEN/SP modelo PI 33A encontrado no setor de reprocessamento do Centro de Engenharia Química IPEN-CNEN/SP.

O instrumento usado foi calibrado com uma fonte de plutônio 239 pelo laboratório de metrologia da Divisão de Calibração e Dosimetria do Departamento de Proteção Radiológica.

A atividade da fonte era de 433Bq correspondente a 185 contagens por minuto (cpm). A eficiência obtida foi de 0,71%. Utilizou-se a equação 3.1⁽⁴¹⁾

R.F. = radiação de fundo

- 87 -

$$\frac{(\text{CPM}_{\text{esfregação}} - \text{CPM R.F.}) \pm 3 \cdot \sqrt{\frac{\text{CPM}_{\text{esfregação}}}{t} + \frac{\text{CPM (RF)}}{t}}}{100\text{cm}^2 \times \text{eficiência} \times \text{ft} \times \text{f}}$$

(3.1)

- CPM_{esfregação}** - contagens por minuto do esfregação realizado;
- CPM R.F.** - contagens por minuto do papel de filtro limpo;
- t** - tempo de contagem 1 minuto;
- f.t** - fator de transferência da contaminação removível supusemos ser transferível cerca de 10% da contaminação no local⁽⁸⁾;
- f** - fator de conversão para atividade, igual a $2,22 \cdot 10^6$ cpm por microcurie (μCi) ou 60 cpm por Bequerel (Bq).

A partir da equação 3.1 chegamos à atividade por unidade de área (Bq/cm²) encontrada nos respectivos esfregaços. Esta atividade por unidade de área foi comparada com os limites derivados do trabalho sugeridos pela A.I.E.A. que correspondem aos limites derivados nacionais vigentes⁽⁶⁾.

Cabe relatar que os limites derivados não são valores rígidos, isto é, podem ser alterados.

Estes limites derivados são definidos pela concentração no ar Bq/m³ dividida pelo fator de ressuspensão.

Este fator de ressuspensão é definido pela relação entre a concentração no ar Bq/m³ e a contaminação superficial de um determinado radionuclídeo.

- 34 -

Logo, pode-se concluir que fixado o fator de ressuspenção teremos o limite derivado de contaminação de superfície em função da concentração derivada no ar que se estiver considerado.

Calculamos o nosso limite derivado tomando por base a concentração derivada do ar (C.D.A.) das normas internacionais vigentes para a classe W de 10Bq/m^3 (9,17) e um fator de ressuspenção de $5.10^{-6}/\text{m}$ que é bem restrito, para ser usado quando não se conhece o valor real⁽⁸⁾ .

No caso por nós examinado o limite de contaminação para uma área ativa será de 200Bq/cm^2 tornando-os mais realista desde que a necessidade o exija.

Por exemplo: O limite derivado vigente nacional de 37Bq/cm^2 foi calculado tomando o radioisótopo mais restritivo no caso o plutônio e portanto é válido para todos os demais radioisótopos da carta de nuclídeos.

No caso daquele calculado por nós foi considerado o próprio urânio com o fator de ressuspenção mais restritivo. Se algum ponto exceder este segundo limite derivado de 200Bq/cm^2 o que deveríamos fazer seria determinar experimentalmente o fator de ressuspenção real do local de trabalho. Pretendemos estudar o assunto em trabalhos futuros.

Os valores dos esfregaços encontrados nos vestiários, representados nas figuras 3.1 e 3.3, em três ocasiões diferentes, encontram-se na tabela 3.1 e 3.2, respectivamente. Na primeira coluna representamos os pontos de medida simbolizados pela letra

E de esfregação estando a letra **E** seguida por linha (**E'**) representando os pontos do lado feminino do vestiário A.

As colunas 2,3,4 representam as contagens encontradas nos esfregaços respectivos.

A coluna 5 representa o valor médio das contagens dos esfregaços e seus respectivos desvios padrões.

Em cada ocasião em que foram feitas as contagens dos esfregaços foram realizados também contagens das radiações de fundo do instrumento e encontram-se nas tabelas mencionadas por R.F.. Representamos o R.F. médio ($\bar{R}.F.$) encontrado em cada leitura realizada.

Tabela 3.1 - Contagens dos esfregaços feitos no vestiário A representado na figura 3.1

Coluna 1 Locais de Amostragem Esfregaço cpm	Coluna 2 Esfregaço cpm	Coluna 3 Esfregaço cpm	Coluna 4 Esfregaço cpm	Coluna 5 Valor Médio cpm
$\bar{R}F$	8	12	10	$10 \pm 2,00$
E_1	17	17	10	$15 \pm 4,04$
E_2	18	13	12	$14 \pm 3,21$
E'_2	13	15	13	$14 \pm 1,15$
E_3	13	16	11	$13 \pm 2,52$
E'_3	10	11	14	$11 \pm 2,08$
E_4	9	18	13	$13 \pm 4,51$
E'_4	9	9	10	$9 \pm 0,57$
E_5	42	14	20	$25 \pm 14,74$
E_6	13	31	33	$25 \pm 11,01$

**Tabela 3.2 - Contagens dos esfregãos feitos no vestiário B re-
presentado pela figura 3.3**

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Locais de Amostragem Esfregão cpm	Esfregão cpm	Esfregão cpm	Esfregão cpm	Valor Médio cpm
$\bar{R}P$	8	12	10	$10 \pm 2,00$
E ₁	12	12	14	$13 \pm 1,15$
E ₂	17	14	16	$16 \pm 1,53$
E ₃	10	14	24	$16 \pm 7,21$
E ₄	13	18	11	$14 \pm 3,61$
E ₅	25	16	25	$22 \pm 5,20$
E ₆	10	10	11	$10 \pm 0,58$
E ₇	33	16	37	$28 \pm 11,15$
E ₈	32	17	18	$22 \pm 8,39$
E ₉	18	26	20	$21 \pm 4,16$
E ₁₀	15	29	14	$19 \pm 8,39$
E ₁₁	28	45	30	$34 \pm 9,29$
E ₁₂	43	21	35	$33 \pm 11,14$
E ₁₃	28	25	18	$24 \pm 5,13$
E ₁₄	31	18	18	$22 \pm 7,51$
E ₁₅	26	16	18	$20 \pm 5,29$

Considerando o valor médio das medidas feitas para le var em conta as flutuações estatísticas e o da radiação de fundo (R.F.) igual a 10cpm, pode-se com o auxílio da equação 3.1, consi deramos que um ponto apresentará um certo grau de contaminação quando o valor da medida for superior a 20 cpm que equivale a

6,2Bq/cm². Valor este que se encontra aproximadamente 6 vezes inferior ao limite derivado apresentado pelas normas vigentes (6) e 32 vezes abaixo do limite calculado a partir das normas internacionais atuais (8, 9,17).

A partir dos dados da tabela 3.1 podemos verificar que somente os pontos E₅ e E₆ apresentaram valores superiores ao nosso limite de detecção, respectivamente, em uma ou duas ocasiões das três em que foram efetuadas as medidas com valores em concentração de E₅ = 13Bq/cm² ; E₆ = 9,07 Bq/cm² e 10,01 Bq/cm².

O exame da figura 3.1 põe em evidência que o resultado é aquele que tecnicamente deveria ser o esperado, pois o ponto E₆ que foi encontrado duas vezes contaminado é aquele situado na entrada do vestiário A quando se deixa a área da usina e o ponto E₅ é um pouco mais afastado.

Como os níveis de contaminação são baixos é evidente que à medida que nos afastamos o espalhamento de contaminação decrece ficando abaixo do limite de detecção estabelecido.

Examinando a figura 3.3 verificamos que os pontos E₁₁ e E₁₂ se apresentaram contaminados nas três vezes que fizemos medi das. Os pontos E₅ , E₇ , E₁₃ , em duas vezes; os pontos E₃ , E₈ , E₉ , E₁₀ , E₁₄ e E₁₅ uma só vez contaminados e os pontos E₁ , E₂ , E₄ e E₆ não exibiam qualquer contaminação.

De novo observando a figura 3.3 verificamos que os resultados são lógicos uma vez que os pontos E₁₁ e E₁₂ são os mais próximos à entrada do vestiário para quem vem da usina.

Os pontos E_5 , E_7 , E_{13} representam os locais dos chuveiros, entrada para os chuveiros e lavatórios que são pontos de passagem e descontaminação do pessoal.

Os pontos que não apresentaram contaminação são exatamente aqueles da área fria e um ponto embaixo do chuveiro E_6 , encontramos uma exceção para o ponto E_3 , próximo ao armário de roupas usuais.

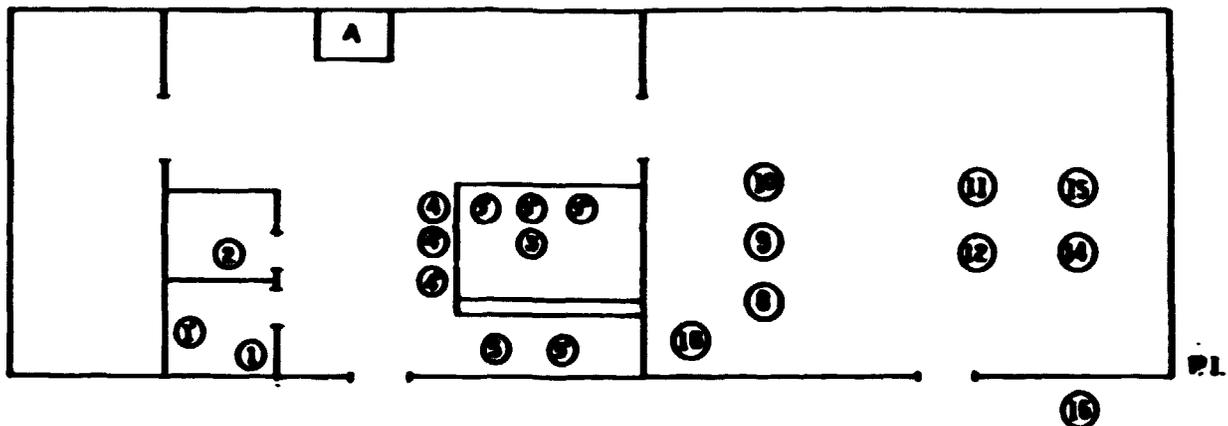
Este fato provavelmente é uma das provas da falta de observância das rotas de circulação entre áreas inativas e ativas, mencionadas no item 3.1.3.

Os demais pontos que encontramos uma vez contaminados entre as três ocasiões em que fizemos as medidas acham-se localizadas no setor ativo do vestiário mas em locais mais afastados da entrada, ocorrendo portanto o espalhamento já mencionado.

3.2 Unidade de Purificação

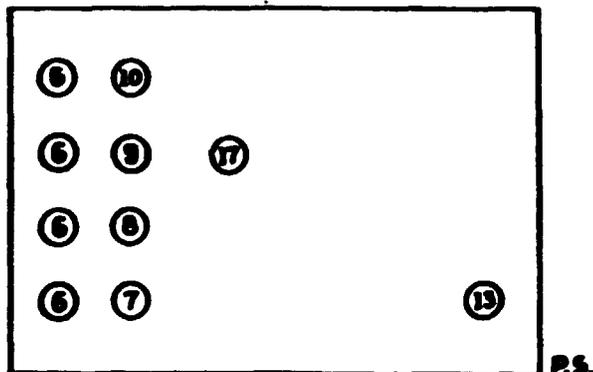
Na figura 3.5 representamos esquematicamente a localização dos equipamentos que se encontram na unidade de purificação bloco 30.

- PI - piso inferior
- PS - piso superior
- 1 - capela de pesagem do concentrado de urânio
- 1' - balança de pesagem
- 2 - não será mencionado na dissertação
- 3 - reator de dissolução do concentrado de urânio R 101
- 3' - tanque de água desionizada V 105



Legenda:

- 1. Capela de pesagem
- 1'. Balança
- 2. Capela
- 3. Reator de dissolução R 101
- 3'. Tanque de água desionizada V 105
- 3''. Tanque de água de lavagem V 104
- 3'''. Tanque de ácido nítrico V 103
- 4. Filtro de vácuo F 101
- 4'. Filtro de vácuo F 101A
- 4''. Válvulas
- 5. Tanque estocagem N.U.I. V108 p.I.
- 5'. Tanque estocagem N.U.I. V127 p.I.
- 6. Tanque estocagem N.U.I. V109 p.S.
- 7. Tanque f.a. de C.E. V 126 p.S.
- 8. Coluna de extração CE 111
- 9. Coluna de lavagem CL 114
- 10. Coluna de reversão
- 11. Tanque N.U.P T 01
- 12. Tanque N.U.P. V 119
- 13. Reator de precipitação de rejeitos básicos R 102
- 14. Filtro de vácuo F 102
- 15. Filtro de vácuo F 103
- 16. Tanque de estocagem N.U.P. V 120
- 17. Tanque de estocagem f.a. da C.L. V 115
- 18. Tanque de estocagem f.o. V 120



A LETRA A
 REFERE-SE
 AO ITEM 3.2.5.6
 DO CAPÍTULO 3

**FIG 3.5
 LOCALIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS
 EQUIPAMENTOS QUE SE ENCONTRAM
 NO BLOCO 30 - SETOR DE PURIFICAÇÃO**

- 3'' - tanque de água de lavagem V 104
- 3''' - tanque de ácido nítrico V 103
- 4 - filtro de vácuo F 101
- 4' - filtro de vácuo F 101-A
- 4'' - conjunto de válvulas que alimentam os tanques e bomba b.103
- 5 - tanque de estocagem e de acerto de N.U.I. V 108 p.I.
- 5' - tanque de estocagem e de acerto de N.U.I. V 127 p.I.
- 6 - tanque de estocagem do N.U.I. V 109 p.s.
- 7 - tanque de estocagem da f.a dã C.E. V 126 p.s
- 8 - coluna de extração CE 111
- 9 - coluna de lavagem CL 114
- 10 - coluna de reversão .
- 11 - tanque de estocagem do N.U.P. T 01
- 12 - tanque de estocagem do N.U.P. V 119
- 13 - reator de precipitação de rejeitos básicos R 102
- 14 - filtro de vácuo F 102
- 15 - filtro de vácuo F 103
- 16 - tanque de estocagem de N.U.P. V 120
- 17 - tanque de estocagem da f.a da C.L. V 115
- 18 - tanque de estocagem da f.o V 110

Nesses equipamentos realizamos monitorações diretas e indiretas.

3.2.1 Monitorações Diretas

As monitorações diretas foram feitas com um aparelho portátil, com detector Geiger-Müller (G-M) modelo 760 marca IPEN ; fornecendo uma medida instantânea dos níveis de radiação beta (β) e gama (γ).

- 91

Os resultados são apresentados na tabela 3.3.

A coluna 1 mostra o número que localiza o equipamento na figura 3.5;

A coluna 2 representa o nome do equipamento no local;

A coluna 3 indica a taxa de exposição média (\bar{X}) calculada após monitorações realizadas semanalmente. Um total de vinte e oito monitorações foram feitas próxima aos equipamentos ou locais.

Em obediência ao novo sistema de unidades expressaremos as taxas de exposições em microCoulomb por quilograma hora $\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$ e entre parênteses as antigas unidades em miliRoentgen por hora mR/h . Sabendo que $1\text{R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{C}/\text{kg}^{(6)}$.

A coluna 4 indica a taxa de exposição média (\bar{Y}) a um metro do equipamento ou local.

De acordo com a tabela 3.3 pode-se estabelecer uma faixa de taxa de exposição entre $0,05 \pm 0,03$ a $1,56 \pm 1,32 \mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$.

3.2.2 Discussão dos Resultados Apresentados Pela Monitoração Direta

Do levantamento da taxa de exposição realizada para a Unidade de Purificação encontramos 1 local e 8 equipamentos enquadrando-se dentro dos limites estabelecidos para área controlada ou seja valores maiores do que $0,19 \mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$ ($0,75\text{mR}/\text{h}$).

Tabela 3.3 - Taxas de exposições médias na unidade de purificação Bloco 30.

Coluna 1 Locais de amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Encostado $\mu\text{C}/\text{kg h}$ (mR/h)	Coluna 4 1 metro de distância $\mu\text{C}/\text{kg h}$ (mR/h)
1	Capela de pesagem	1,56 \pm 1,32(6,05 \pm 5,12)	0,61 \pm 0,38(2,37 \pm 1,47)
1'	Balança de pesagem	0,77 \pm 0,54(2,99 \pm 2,10)	0,59 \pm 0,39(2,29 \pm 1,51)
2	-	-	-
3	R 101	0,19 \pm 0,11(0,74 \pm 0,...)	0,14 \pm 0,07(0,54 \pm 0,27)
3'	V 103	0,11 \pm 0,08(0,43 \pm 0,31)	0,09 \pm 0,04(0,35 \pm 0,16)
3''	V 104	0,18 \pm 0,06(0,70 \pm 0,23)	0,12 \pm 0,06(0,47 \pm 0,23)
3'''	V 105	0,10 \pm 0,07(0,39 \pm 0,27)	0,10 \pm 0,04(0,39 \pm 0,16)
4	F 101	0,18 \pm 0,07(0,70 \pm 0,27)	0,10 \pm 0,03(0,39 \pm 0,12)
4'	F 101-A	0,21 \pm 0,10(0,81 \pm 0,39)	0,13 \pm 0,08(0,50 \pm 0,31)
4''	Válvulas	0,18 \pm 0,11(0,70 \pm 0,43)	0,09 \pm 0,02(0,35 \pm 0,08)
5-5'	V 108 - V 127	0,35 \pm 0,20(1,36 \pm 0,78)	0,13 \pm 0,06(0,50 \pm 0,23)
6	V 109	0,38 \pm 0,10(1,47 \pm 0,38)	0,05 \pm 0,02(0,19 \pm 0,78)
7	V 126	0,46 \pm 0,22(1,78 \pm 0,85)	0,23 \pm 0,10(0,89 \pm 0,39)
8	CE	0,39 \pm 0,26(1,51 \pm 1,01)	0,18 \pm 0,07(0,70 \pm 0,27)
9	C.L	0,17 \pm 0,12(0,66 \pm 0,47)	0,11 \pm 0,03(0,43 \pm 0,12)
10	C.. Reversão	0,08 \pm 0,04(0,31 \pm 0,16)	0,05 \pm 0,02(0,19 \pm 0,08)
11	T 01	0,06 \pm 0,03(0,23 \pm 0,12)	0,05 \pm 0,04(0,19 \pm 0,16)
12	V 119	0,06 \pm 0,02(0,23 \pm 0,08)	0,05 \pm 0,02(0,19 \pm 0,08)
13	R 102	0,14 \pm 0,05(0,54 \pm 0,19)	0,07 \pm 0,02(0,27 \pm 0,08)
14	F 102	0,23 \pm 0,14(0,89 \pm 0,54)	0,14 \pm 0,10(0,54 \pm 0,39)
15	F 103	0,25 \pm 0,15(0,97 \pm 0,58)	0,14 \pm 0,11(0,54 \pm 0,43)
16	V 120	0,06 \pm 0,03(0,23 \pm 0,12)	0,05 \pm 0,03(0,19 \pm 0,12)
17	V 115	0,12 \pm 0,07(0,47 \pm 0,27)	0,07 \pm 0,03(0,27 \pm 0,12)
18	V 110	0,10 \pm 0,03(0,39 \pm 0,12)	0,12 \pm 0,05(0,47 \pm 0,19)

Quanto à taxa de exposição dentro do limite de área su
pervisionada 0,06 a 0,19 μ C/kg h (0,23 a 0,75mR/h) encontrou-se 14
equipamentos.

O limite considerado para área livre, isto é, valor infe
rior a 0,06 μ C/kg h (0,23mR/h) não foi detectado.

3.2.3 Monitorações Indiretas

Executaram-se cinco esfregaços em diferentes épocas nos
equipamentos e pisos da unidade, representados na figura 3.5.

A coluna 1 mostra o número que localiza o equipamento na
figura 3.5 para as tabelas 3.4 e 3.5.

A coluna 2 representa o equipamento ou local para a tabe
la 3.4; piso próximo ao equipamento ou local para a tabela 3.5 .
As colunas 3 a 7 representam os cinco esfregaços realizados nos
equipamentos expressos em contagens por minuto para a tabela 3.4
e os cinco esfregaços realizados nos pisos próximos aos equipa
mentos expressos em contagens por minuto para a tabela 3.5. A co
luna 8 representa a atividade por centímetro quadrado expressa
em Bq/cm² encontrada nos esfregaços realizados para os equipamen
tos e locais para tabela 3.4 e para o piso na tabela 3.5.

A coluna 8 foi calculada considerando a maior contagem
por minuto (C.P.M.) entre os cinco esfregaços realizados indepen
dente. Esta observação é válida para as demais tabelas de esfrega
ços que serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

Tabela 3.4 - Esfregaços realizados nos equipamentos da Unidade de Purificação.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Esfregaços cpm	Coluna 4 Esfregaços cpm	Coluna 5 Esfregaços cpm	Coluna 6 Esfregaços cpm	Coluna 7 Esfregaços cpm	Coluna 8 Valor Má- ximo Bq/cm ²
RF	-	11	11	12	13	11	-
1'	balança	1681	898	583	693	834	421
2	-	-	-	-	-	-	-
3	R 101	899	1855	914	334	568	463,28
3'	V 103	196	2170	1589	1322	113	539,69
3''	V 104	883	437	1382	2361	168	585,48
3'''	V 105	130	1053	245	187	179	267,57
4	F 101	1368	1290	272	874	175	344,69
4'	F 101A	1616	573	462	147	336	405,16
4''	válvulas	3832	500	853	447	1180	940,60
5	V 108	2485	2833	3771	1472	1305	925,70
5'	V 127	358	1566	914	707	1566	392,98
6	V 109	2091	1453	2085	153	341	520,54
7	V 126	2551	7858	760	442	1300	1904,48
8	CE	1402	5001	5981	10564	1022	2549,18
9	C.L.	3302	1818	1828	2363	646	813,05
10	C.Reversão	1145	465	486	803	187	290,14
11	T 01	487	722	488	377	192	185,96
12	V 119	656	3560	2180	1769	123	875,18
13	R 102	3727	1289	784	1215	892	915,35
14	F 102	1363	969	560	1176	3707	910,54
15	F 103	1344	708	783	3138	1333	773,09
16	V 120	278	108	157	121	232	74,64
17	V 115	235	3480	460	508	162	855,92
18	V 110	1197	582	892	1796	1289	448,49

Tabela 3.5 - Esfregações realizadas no piso da Unidade de Purificação.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Fiso Amostrado	Coluna 3 Esfregação cpm	Coluna 4 Esfregação cpm	Coluna 5 Esfregação cpm	Coluna 6 Esfregação cpm	Coluna 7 Esfregação cpm	Coluna 8 Valor Máximo Bq/cm ²
RF		12	12	13	11	12	-
1	Capela	872	745	243	463	3319	817,00
2	-	-	-	-	-	-	-
*	Degraus da escada que dá acesso ao R 101	6891	1261	2063	1287	7670	1859,37
3	R 101	844	355	1262	1622	1739	434,86
4	Entre F101-F101A	1526	341	660	838	1811	452,36
4"	Válvulas	749	322	1038	2807	3048	751,63
**	Sob _R 101	529	1634	1380	399	515	409,32
5-5'	Entre V108-V127	1190	1275	1911	2210	5872	1429,60
6	V 109	1674	1533	3366	1852	2874	828,02
7	V 126	242	159	575	480	989	251,62
8	CE	2309	3146	572	2356	2306	775,25
9	CL	3046	3778	3074	1501	4869	1189,34
10	CReversão	1800	2907	3128	1305	5248	1280,19
11-12	Entre T01-V119	783	2504	5327	476	3351	1298,87
13	R 102	499	700	2137	738	4311	1055,45
14-15	F102-F103	1952	8639	5264	300	3541	2090,61
16	V 120	3811	3132	1325	1212	4615	1128,41
17	V 115	1081	4414	1094	1154	1346	1080,18
18	V 110	792	1250	872	2051	3533	868,45

- 16 -

Os resultados apresentados na coluna 8 das tabelas 3.4 e 3.5 foram comparados com os limites derivados do trabalho para contaminação superficial.

Ambas as tabelas encontram-se com atividades/cm² acima dos limites derivados estabelecidos tanto pela A.I.E.A. (8), pela norma vigente (6) como pelo L.D. por nós calculado (38).

Portanto, estes resultados evidenciam a necessidade de um programa rotineiro de descontaminação a fim de nos aproximar dos limites derivados nacionais vigentes de 37Bq/cm² (6) para áreas ativas.

Após realizar-se as monitorações indiretas nessa unidade, juntamos os esfregaços referentes à coluna 4 da tabela 3.4 e encaminhamos ao laboratório da Divisão NPA do Departamento de Proteção Radiológica. Usou-se um detector multicanal de Ge-Li calibrado com $^{133}_{56}\text{Ba}$ e $^{60}_{27}\text{Co}$.

Procedemos assim com o intuito de identificar a não-existência de agentes contaminantes estranhos à série do urânio, tório e do actínio que normalmente devem estar presentes em um concentrado de urânio.

Das contagens obtidas realizou-se uma regressão linear e com o auxílio de uma tabela de radionuclídeos (34) identificamos-os.

Locais Monitorados

Radionuclídeos Encontrados

A) Capela de pesagem	$^{210}_{82}\text{Pb}$	$^{227}_{90}\text{Th}$	$^{234}_{91}\text{Pa}$
Reator de dissolução R 101	$^{211}_{82}\text{Pb}$	$^{230}_{90}\text{Th}$	$^{234\text{m}}_{91}\text{Pa}$
Tanques V 103 , V 104	$^{214}_{82}\text{Pb}$	$^{234}_{90}\text{Th}$	$^{234}_{91}\text{Pa}$
V 105 , V 127	$^{223}_{88}\text{Ra}$	$^{235}_{92}\text{U}$	
V 108	$^{226}_{88}\text{Ra}$		
B) Coluna de extração	$^{227}_{90}\text{Th}$	$^{231}_{91}\text{Pa}$	$^{223}_{88}\text{Ra}$ $^{234}_{92}\text{U}$
Coluna de lavagem	$^{230}_{90}\text{Th}$	$^{234}_{91}\text{Pa}$	$^{226}_{88}\text{Ra}$
Coluna de reversão	$^{231}_{90}\text{Th}$	$^{234}_{90}\text{Th}$	

As monitorações A, B foram feitas em épocas diferentes.

Somente fizemos uma análise qualitativa e assim mesmo pudemos verificar pelos valores das contagens que se trata de quantidades muito pequenas, da ordem de traços.

Confirmou-se dessa maneira que não existe agentes contaminantes estranhos dentro da matéria-prima e que realmente o urânio é novo e longe de entrar em equilíbrio secular com os seus descendentes.

3.2.4 Discussão dos Resultados Apresentados Pela Monitoração Indireta

Os resultados encontrados nas monitorações indiretas, efetuadas em equipamentos e pisos, revelam que para o reator de dissolução R 101 e os tanques dessa região V 103, V 104 e V 105 encontramos dispersão do pó do concentrado ocasionado pela tarefa de alimentação do R 101. Esta região exige que haja sempre descontaminação. O piso sob R 101 apresenta-se contaminado pois geralmente há vazamento pela válvula de descarga do R 101 ou da

bomba b.103 que envia o material do reator R 101 para os tanques de estocagens V 108 - V 127.

Os filtros F 101 - F 101A apresentam freqüentes contaminações por causa da má vedação ou da corrosão existente na borracha que une a parte superior do filtro à parte inferior. Mensalmente, há necessidade de se trocar essa junta como também a lona que efetua a filtração do N.U.I.. Conseqüentemente, o piso ao redor desse equipamento apresenta-se contaminado, há sempre a necessidade de haver descontaminação.

As válvulas que alimentam os tanques V 108 - V 127 - V 109 apresentam constante vazamento em suas junções e isto acarreta contaminação do chão necessitando de manutenção permanente.

A região das colunas de extração, lavagem e reextração apresenta-se contaminada pois nas flanges dessas colunas e válvulas ocorrem vazamentos constantes.

O filtro coalescedor entre a coluna de extração e lavagem, ver figura 1.5, geralmente apresenta vazamento em sua junção. Conseqüentemente o piso ao redor apresenta-se contaminado , necessitando de descontaminação a cada mudança do turno que estiver em operação.

Os tanques V 119 - V 115 tem vazamentos por seus visores e válvulas e os filtros F 102 - F 103 por suas juntas.

Torna-se difícil mantermos esses equipamentos isentos de vazamentos. Atualmente, as válvulas estão sendo trocadas pelo

- 49 -

tipo borboleta de aço inox, inclusive os parafusos, como também as tubulações por diâmetro maiores e de aço inox.

As contagens apresentadas nos esfregaços evidenciam locais contaminados. Deve-se acrescentar que em termos de atividade por centímetro quadrado encontrada estamos muito acima dos limites estabelecidos pela norma vigente nacional em todos os locais monitorado.

O L.D. calculado por nós também foi excedido. Chegando em certos locais atingir valores de 5 a 13 vezes acima de 200Bq/cm².

Ao compararmos ambos os resultados apresentados nas tabelas 3.3, 3.4, 3.5 observamos que os pontos que se apresentam como áreas controladas referente à taxa de exposição são também críticos quanto a contaminação superficial encontrada. Estes pontos, por exemplo ponto 1, representa a capela de pesagem do concentrado de urânio que exige atenção por parte da radioproteção no sentido de não termos excesso de dose:

- 1) Armazenamento inadequado de tambores de concentrado de urânio dentro da capela;
- 2) Manter disciplina no sentido de haver descontaminação do local após a realização das pesagens do concentrado.

O ponto 8 referente à coluna de extração apresenta-se como área controlada e exige constantemente serviços de manutenção para que se diminua a contaminação superficial no equipamento e piso ao redor.

Os filtros F 101 - F 101A, F 102 - F 103 de acordo com a quantidade de material que estejam recebendo refletirá em maior ou menor taxa de exposição. De acordo com as condições das lonas de filtragem e das juntas ocorre maior ou menor espalhamento de contaminação superficial.

3.2.5 Monitoração de Ar

Para a unidade de purificação selecionamos, de acordo com o processo, dois pontos para realizarmos a monitoração de ar:

Primeiro, a capela de pesagem do concentrado de urânio sendo representada pelo número 1 na figura 3.5.

Segundo, o setor de dissolução, durante alimentação do R 101 representado pelo número 3 na figura 3.5.

O objetivo da monitoração de ar é avaliarmos a dispersão do concentrado de urânio na massa de ar do local de trabalho. Os resultados finais são expressos em atividade por metro cúbico de ar ou seja Bq/m³.

O parâmetro de avaliação é a concentração derivada no ar (C.D.A.) expressa em Bq/m³ tabelada para 2000 horas de trabalho anual. NO caso por nós considerado a C.D.A. para urânio natural classe W é 10Bq/m³ para 2000 horas de trabalho anual^(9,17).

Para podermos discutir os resultados apresentados na monitoração de ar, devemos ter em mente o conceito de níveis de referência⁽³⁰⁾ isto é, o valor de uma grandeza que é usada para determinar o curso de uma ação particular, não é portanto um limi

Para executarmos a amostragem das partículas transportáveis pelo ar utilizamos uma bomba a vácuo, um medidor de vazão, um suporte de filtro e filtros de membrana marca Millipore com eficiência de coleta muito alta da ordem de 99,99% (20).

A bomba de vácuo utilizada foi da marca Millipore patrimônio GESP nº 31.332 com vazão em torno de 25 l/min. Esta vazão foi medida fazendo uso de vazômetro patrimônio I.E.A. GESP nº 10.004, que fornecia os volumes de ar que passaram pelo filtro, durante a monitoração. Cabe relatar que toda a vazão próxima de 20 l/min é satisfatório, pois está de acordo com os dados obtidos para o homem referência (27).

A bomba de vácuo estava conectada por uma mangueira de cristal de diâmetro 6mm a um suporte de filtro ao qual era introduzido o filtro de papel a cada monitoração. A disposição do arranjo foi conforme visualizamos na foto.

Esclarecemos que o suporte contendo o filtro foi preso ao indivíduo próximo à zona de respiração do trabalhador em todas as monitorações de ar executadas; uma vez que desejávamos avaliar a concentração de aerossóis durante a execução da tarefa em torno do trabalhador, pois o ar inalado por este pode ser substancialmente diferente daquele do local de trabalho como um todo (18).

Cabe dizermos que a sensibilidade do sistema de monitoração de ar adotado consegue detectar até 1/100 do C.D.A., quando em literaturas é desejável detectar-se pelo menos 1/10 da

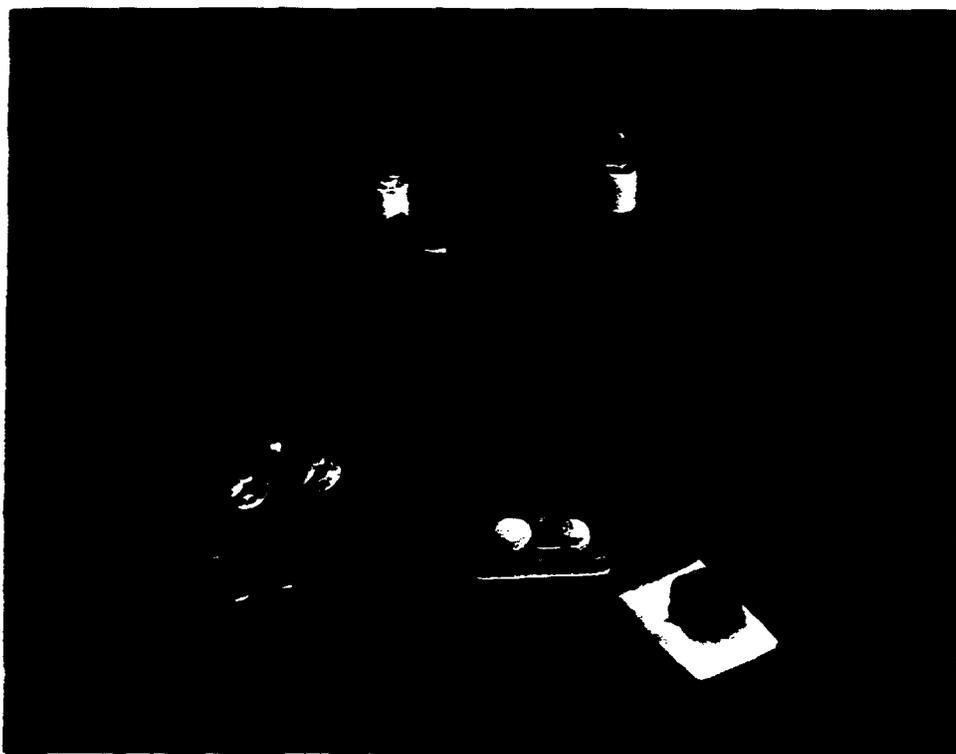


Figura 3.5.a - Equipamento utilizado na monitoração do local de trabalho para contaminação do ar.

Nas monitorações realizadas a vazão média foi de 25l/min e o tempo de amostragem mínimo de 5 minutos, valores que conduziram a um limiar de sensibilidade da ordem de 1/10 da C.D.A. ou seja 1Bq/m³.

Os tipos de filtros escolhidos foram pH 0,3 micron (μm), AA 0,8 μm , SS 0,3 μm e Sc 8,0 μm (10,36).

Escolhemos essa faixa, pois aerossóis acima de 10 μm não atingirão os pulmões caso sejam inalados, pararão na região nasofaríngea. Os aerossóis de diâmetros menores que 0,2 μm suspensos no ar apresentam um movimento Browniano e portanto do ponto de vista de radioproteção comportam-se como gases, isto é, o que entrar na via respiratória será eliminado, sem haver retenção (29).

A cada monitoração feita foi nossa preocupação saber o tempo gasto a fim de termos parâmetros para análise posterior.

3.2.5.1 Resultados das Monitorações Feitas na Unidade de Purificação.

Na tabela 3.6 que apresentaremos a seguir evidencia-se as monitorações onde um ou mais tipos de filtros foram usados, na execução das tarefas.

A coluna 1 representa os pontos onde foram executadas as monitorações:

Ponto 1 local de pesagem do concentrado de urânio;

Ponto 3 local de alimentação do R 101 com concentrado de urânio. Representa também o número de monitorações, a saber, quatro no ponto 1 e cinco no ponto 3.

A coluna 2 representa o número de monitorações realizadas, com a letra A indicando que mais de um tipo de filtro foi usado durante a monitoração de determinado ponto.

A letra B indica que unicamente um tipo de filtro foi usado para um determinado ponto.

Para cada ponto monitorado tivemos diferentes técnicos executando as operações.

A coluna 3 representa os tipos de filtros utilizados em cada monitoração.

A coluna 4 representa a massa de urânio expressa em microgramas captada durante a monitoração de ar em cada filtro usado.

Massa essa detectada pelo método fluorimétrico⁽⁴⁰⁾ no Laboratório de Bioanálise da divisão NPM do Departamento de Proteção Radiológica.

A coluna 5 representa o volume de ar (m^3) que passou pelo vazômetro em cada filtro durante a monitoração.

A coluna 6 representa a concentração de urânio (massa de urânio existente em $1 m^3$ de ar) expressa em $\mu g/m^3$. Calculada

a partir das duas colunas anteriores.

A coluna 7 representa a concentração de atividade expressa em Bq/m³ correspondente a cada concentração expressa na coluna 6.

Calculou-se a atividade do urânio natural referente a massa de uma micrograma, considerando os seus três isótopos. Assim, uma micrograma de urânio natural corresponde a 0,025Bq⁽⁴²⁾.

Lembramos que a C.D.A. para o concentrado de urânio é de 10Bq/m³ portanto o nível de registro será 1 Bq/m³ e o nível de Investigação 3Bq/m³.

Tabela 3.6 - Monitorações de ar feitas no ponto 1 e 3 da Unidade de Purificação. Ver figura 3.5

Coluna 1 Ponto de Amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio Micrograma	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentração µg/m ³	Coluna 7 Concentração Bq/m ³
1	1A1	SS3,0	5,10	0,08	63,75	1,59
	1A2	SS3,0	2,24	0,09	24,88	0,62
	1A3	SS3,0	8,81	0,07	125,85	3,15
	1A4	AA0,8	5,91	0,08	73,87	1,85
1	2A1	pH0,3	0,90	0,20	4,50	0,11
	2A2	AA0,8	0,50	0,25	2,00	0,05
	2A3	SS3,0	0,70	0,18	3,88	0,09
1	3B1	AA0,8	1,90	0,64	2,97	0,07
1	4B1	AA0,8	21,00	0,23	91,30	2,28
3	4B1	AA0,8	138,00	1,16	119,00	2,97
3	5B1	Sc8,0	84,00	0,88	95,45	2,38
3	6B1	Sc8,0	29,00	0,60	48,33	1,21
3	7B1	Sc8,0	25,00	0,18	138,86	3,47
3	8B1	Sc8,0	285,40	0,30	951,33	23,78

3.2.5.2 Análise dos Resultados Encontrados na Capela de Pesagem

Para a primeira pesagem usou-se três filtros iguais e um quarto filtro diferente (coluna 3). Verificamos para esses três primeiros filtros de mesmo tipo uma variação bem elevada, isto é, de 0,62 e 3,15Bq/m³.

Este último com concentração acima do Nível de Investigação. O valor da concentração de atividade média entre esses três filtros é de $1,79 \pm 1,28$ Bq/m³. Desta maneira verifica-se que a variação obtida é função da técnica de pesagem de cada técnico, variando com os tipos de movimentos e sua velocidade.

Para efeito de cálculo é evidente que sendo um único técnico a executar cada pesagem o valor médio das atividades encontradas para cada filtro usado do mesmo tipo durante a monitoração realizada, reflete melhor o andamento da operação.

O quarto filtro usado nesta monitoração foi do tipo AA0,8µm.

Podemos verificar que a atividade calculada para esse filtro está um pouco acima do valor médio calculado para os três filtros usados inicialmente. Este fato era realmente esperado, pois, a diferença entre a atividade obtida pelo filtro AA0,8µm, menos a média das atividades encontradas nos três primeiros filtros usados corresponde às partículas com DAMA situado entre 0,8 e 3µm.

Na realidade, em virtude do grau de variação nas respostas, não podemos afirmar que seja somente de 0,06Bq/m³.

107
Para os resultados apresentados na monitoração de ar co
dificada por $2A_3$, observa-se que neste tipo de filtro houve
maior captação de partículas do que para o filtro AA0,8 μ m codi
ficado por $2A_2$. Isto se deve à imprevisibilidade apresentada pe
lo técnico ao manusear o concentrado de urânio.

As operações executadas na Usina Piloto de Purificação
envolvendo pó de concentrado de urânio durante a fase de pesagem
é realizada uma vez por turno todos os dias da semana.

Tomando por base uma hora por dia para a tarefa executa
da no ponto 1, de acordo com a figura 3.5, teremos o trabalhador
gastando cinco horas por semana no manuseio do concentrado de
urânio, logo considerando o ano de cinquenta semanas de traba
lho, chegamos a 250 horas anuais manuseando o pó radioativo.

Para analisar essas monitorações tomaremos por base o
tempo real de trabalho do técnico. Isto possibilitará uma amplia
ção no nível de investigação.

Sabemos que a C.D.A. está tabelada para 2000 horas anuais
de trabalho, porém na unidade de purificação são gastos 250 ho
ras reais trabalhadas em contato com pó radioativo, logo, esta
mos reduzindo o número de horas tabalhadas de um fator oito e,
conseqüentemente, isto possibilita uma ampliação do nível de in
vestigação de oito vezes.

Para a análise das monitorações realizadas teremos o ní
vel de investigação (N.I.) correspondendo a 24Bq/m³ conseqüente
mente a C.D.A. também será ampliada de 10Bq/m³ para 80Bq/m³ para
250 horas reais trabalhadas.

Consideraremos as monitorações executadas no ponto 1 levando-se em conta o tempo real gasto por filtro e a maneira com que o técnico realizou a pesagem durante a monitoração de ar efetuada por determinado filtro.

Transcrevemos as colunas 1,2,3,7 da tabela 3.6 para a tabela 3.7 acrescentando mais três colunas 8,9 e 10 respectivamente significando o tempo gasto na monitoração por filtro, o respectivo nível de investigação adotado por monitoração e o número de vezes que cada monitoração se apresentou acima ou abaixo do N.I. estabelecido.

Tabela 3.7 - Monitorações de ar efetuadas no setor de pesagem

Coluna 1 Local de Amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m³	Coluna 10 N.I. Concentração
1	1A4	AA0,8	1,85	5min(1/12h)	288	155 N.I.
1	2A2	AA0,8	0,05	5min(1/12h)	288	5760 N.I.
1	3B1	AA0,8	00,7	10min(1/3h)	72	1028 N.I.
1	4B1	AA0,8	2,28	10min(1/6h)	144	63 N.I.

As monitorações mencionadas gastaram um tempo menor do que uma hora. Logo o nível de investigação será ampliado pelo respectivo intervalo da hora gasto.

Entre as monitorações codificadas o técnico que esteve exposto a maior concentração no ar é o representado por 4B1. O nível de investigação para esta monitoração é de $24 \times 6 = 144 \text{ Bq/m}^3$, logo este técnico executou uma pesagem que se encontra 63 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

O técnico que executou a monitoração 3B1 apresentou uma concentração bem inferior em relação à monitoração 4B1. O N.I. para esta monitoração foi de $24 \times 3 = 72 \text{ Bq/m}^3$, logo apresentou-se

1028 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Comparando-se essas duas monitorações percebemos que o técnico que gastou menor tempo durante a pesagem esteve submetido a uma concentração maior. Isto evidencia que um manuseio rápido do pó provoca maior dispersão de pó pelo local da pesagem. O técnico que gastou maior tempo manuseou o pó bem mais moderadamente, como também, colocou totalmente o tambor e a bombona dentro da coifa de exaustão. Assim favoreceu a não dispersão do pó, enquanto o técnico anterior deixou o tambor e bombona meio dentro da coifa e meio fora.

Em ambas as monitorações a válvula do sistema de exaustão estava na posição semi-aberta.

Fazendo-se a comparação entre as monitorações 1A4 e 2A2 temos a ressaltar que ambas estão submetidas ao mesmo N.I., isto é, 288Bq/m^3 . Ao observarmos as atividades encontradas para cada monitoração encontramos o técnico da primeira monitoração submetido a uma maior concentração do que o segundo. Este técnico executou uma pesagem que evidenciou estar 155 vezes abaixo do N.I. enquanto que o técnico da segunda monitoração esteve 5.760 vezes abaixo do N.I..

Temos a ressaltar que o técnico da primeira monitoração colocou o tambor contendo o concentrado de urânio e a bombona dentro da coifa de exaustão estando a válvula do sistema de exaustão na posição semi-aberta enquanto que o segundo técnico executou a pesagem tendo procedimentos totalmente incorretos por exemplo:

110-
a) Não colocou o tambor e a bombona dentro da coifa;

b) A válvula do sistema de exaustão estava totalmente aberta durante a pesagem o que provocou um arraste violento de pó que contaminou seu E.P.I. e o chão.

Porém esta monitoração apresentou uma concentração inferior às três demais realizadas; dessa forma podemos concluir que a melhor condição para a pesagem é colocar o tambor e a bombona dentro da coifa de exaustão e a válvula do sistema de exaustão permanecer totalmente aberta.

Estando o tambor e a bombona posicionados dentro da coifa de exaustão o pó não se depositará pelo chão da capela como também o fluxo de ar levará o pó no sentido do sistema de exaustão, não deixando o pó se depositar sobre o E.P.I. que o técnico usa nesta tarefa como também pelo chão.

Em qualquer caso podemos mencionar que as doses são irrisórias, mas, assim mesmo, a proteção radiológica tomou a precaução de obrigar o uso do escafandro e portanto nem a esses níveis o técnico esteve submetido.

3.2.5.3 Análise dos Resultados Encontrados no Setor de Dissolução do Concentrado de Urânio

Passemos a analisar o ponto 3 da tabela 3.6.

Das cinco monitorações realizadas as quatro últimas utilizaram o mesmo tipo de filtro, razão pela qual a discutiremos em primeira instância.

Elas foram realizadas por quatro técnicos diferentes.

A utilização de um único tipo de filtro foi motivada, pelo fato de haver desprendimento de vapores nitrosos durante a fase de dissolução.

O tempo gasto em cada monitoração foi diferente e conseqüentemente terá um nível de investigação diferente.

Na tabela 3.8 transcrevemos os resultados das monitorações de ar apresentadas na tabela 3.6 e mantivemos os mesmos dízeres para as colunas 1, 2, 3, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 3.8 - Monitorações de ar executadas no setor de dissolução.

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentração
3	5B1	Sc8,0	2,38	30min(1/2h)	48	20 + N.I.
3	6B1	Sc8,0	1,21	20min(1/3h)	72	59 + N.I.
3	7B1	Sc8,0	3,47	10min(1/6h)	144	41 + N.I.
3	8B1	Sc8,0	23,78	15min(1/4h)	96	4 + N.I.

Entre as monitorações apresentadas a representada por 6B1 na coluna 2 foi a executada por um técnico que soube manusear o pó do concentrado de urânio com maior habilidade, pois foi o que esteve mais abaixo do N.I., isto é, esteve 59 vezes abaixo. O tempo gasto por este técnico está quase perto do tempo médio gasto pelos demais técnicos, 18 minutos.

A monitoração representada por 8B1 na coluna 2 foi exe

cutada por um técnico não tão experiente quanto os demais, pois ao fixarmos o número de vezes que cada monitoração está abaixo do N.I. esta encontrava-se apenas 4 vezes abaixo do seu respectivo nível de investigação.

O tempo gasto por este técnico foi de 15 minutos, cinco a menos do que o da monitoração mais bem executada.

Observando os procedimentos dos dois técnicos verifica-se que o técnico da monitoração 6B1 foi calmo ao alimentar o R 101, retirou o concentrado de urânio de uma bombona de 50 quilos, não se preocupou com a liberação de vapores nitrosos, foi cuidadoso ao adicionar o pó e procurava com seus movimentos evitar cair material fora do local do reator. Enquanto, o técnico da monitoração 8B1 retirou material diretamente do tambor que contém o concentrado de urânio, este tambor estava quase vazio e por isto o técnico curvava-se para dentro dele a fim de pegar o material, ocasionando uma maior dispersão de pó do concentrado no local de trabalho.

A área ao redor ficou contaminada como também o E.P.I. do trabalhador.

Temos a observar que embora este técnico executasse a alimentação do R 101 em melhor tempo do que o da monitoração 6B1, não podemos afirmar que este foi o fator que contribuiu para sua tarefa ser realizada dentro de piores condições, uma vez que o técnico executou a monitoração codificada por 7B1 gastou um tempo menor e esteve mais vezes mais abaixo do nível de investigação em relação ao outro.

Logo, podemos afirmar que a coordenação motora do técnico ao pegar uma pá contendo pó do concentrado de urânio faz com que haja maior ou menor dispersão deste.

Há técnicos como o representado em 7B1 que apresenta melhor coordenação do que o representado por 8B1.

O técnico representado pela monitoração 7B1 executou uma alimentação cerca de 10 vezes melhor do que o técnico da monitoração 8B1, isto pode ser observado pelo fato que o primeiro esteve 41 vezes abaixo do N.I., enquanto o segundo esteve 4 vezes abaixo.

Também podemos observar que o técnico representado por 8B1 desenvolveu uma tarefa que levou a metade do tempo gasto pelo técnico representado por 5B1, porém esteve sujeito a uma contaminação de cerca de 10 vezes superior ao do mais lento.

Passamos a interpretar a monitoração codificada por 4B1.

Esta monitoração foi realizada com um filtro tipo $0,8\mu\text{m}$. O tempo gasto pelo técnico foi de 35 minutos. Logo o N.I. para esta monitoração foi de 41 Bq/m^3 . A atividade observada na coluna 7 é de $2,97 \text{ Bq/m}^3$, portanto, esteve 14 vezes abaixo do N.I.

Este técnico manuseou cuidadosamente o pó do concentrado de urânio como pode ser comprovado comparando este número com os dos outros quatro técnicos que usaram outro tipo de filtro.

Além disso ao compararmos os resultados codificados por

5B1, 6B1, 7B1, 8B1 todos realizados com o filtro tipo Sc8,0 μ m com o resultado codificado por 4B1 e realizado com o filtro 8,0 μ m para o mesmo tipo de operação, pudemos observar que as partículas captadas estavam dentro de uma faixa bem superior a 8,0 μ m.

Isto deixa-nos pensar que essas partículas do concentrado de urânio estão mais pendentes a estarem dentro de uma faixa acima de 8 μ m; significando estarem dentro do intervalo de partículas já não respiráveis ou melhor que são respiráveis mas que ficarão retidas na região nasofaringial. Conseqüentemente, não atingindo os pulmões do trabalhador, evitando uma incorporação de partículas de concentrado de urânio. Caso análogo foi reportado pela literatura para pó do minério de urânio (concentrado de urânio) (37).

Por esse motivo caberia realizar uma análise espectral para determinar o tamanho das partículas do material, de concentrado de urânio, o que possivelmente será um tema para um trabalho futuro.

3.2.5.4 Análise dos Resultados Encontrados em Situações Anormais

Apresentaremos três resultados de monitorações de ar que ocorreram dentro de condições anormais representadas na tabela 3.9.

Será mantido o mesmo número de colunas e dizeres da tabela 3.6.

Tabela 3.9 - Monitorações de ar executadas em condições anormais no setor de dissolução.

Coluna 1 Ponto de Amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio Micrograma	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentração µg/m ³	Coluna 7 Concentração Bq/m ³
3	1A1	pH0,3	83,00	0,25	332,00	8,30
	1A2	AA0,8	65,00	0,23	282,60	7,06
	1A3	SS3,0	547,00	0,26	2103,84	52,59
	1A4	AA0,8	74,64	0,24	310,98	7,77
3	2A1	pH0,3	2760,00	0,33	8363,63	209,09
	2A2	AA0,8	6900,00	0,34	20294,11	507,35
	2A3	SS3,0	10085,00	0,34	29661,76	741,54
	2A4	Sc8,0	2919,00	0,34	8585,29	241,63
	2A5	pH0,3	1168,00	0,33	3539,39	88,48
3	3A1	pH0,3	922,46	0,11	8386,00	209,65
	3A2	AA0,8	881,44	0,16	5509,00	137,72
	3A3	SS3,0	854,40	0,12	7120,00	178,00

Estes resultados foram causados pela inexperiência dos técnicos.

Para o primeiro caso encontramos a seguinte situação: Considerando a C.D.A. de 10Bq/m³ e que um trabalhador nas 2000 horas de trabalho respira 2500m³ de ar por ano para ser visualizado um acidente ele deveria estar submetido a uma atividade de 25.000Bq.

Como o volume de ar que respira por hora é de 1,25m³/hora a concentração de material radioativo durante uma hora de trabalho será 20.000Bq/m³. Neste caso os resultados apre

sentados na coluna 7 estão muito longe de caracterizar uma situação de acidente em que seria ultrapassado o Nível de Interrupção. Porém pelas normas vigentes no Brasil⁽⁶⁾ um acidente radiológico é comprovado quando atingimos metade da concentração derivada no ar (C.D.A.) isto seria 10.000Bq/m³.

Agrupando somente os resultados do primeiro caso da tabela 3.9 e mantendo os mesmos dizeres e numeração da tabela 3.7 apresentamos a tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Primeiro Caso de Situação Anormal.

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentração
3	1A1	PH0,3	8,30	15min(1/4h)	96	11 + N.I.
3	1A2	AA0,8	7,06	15min(1/4h)	96	13 + N.I.
3	1A3	SS3,0	52,59	15min(1/4h)	96	2 + N.I.
3	1A4	AA0,8	7,77	15min(1/4h)	96	12 + N.I.

Este primeiro conjunto de monitorações de ar foi executado durante a alimentação do R 101 por um técnico que provocou uma dispersão acentuada de pó. O que ocorreu foi falta de coordenação do técnico ao manusear o pó do concentrado de urânio durante a transferência do material da bombona para o R 101.

Ao compararmos os resultados encontrados em monitorações realizadas dentro de condições normais podemos concluir que este conjunto de monitorações esteve para a monitoração mais crítica codificada por 1A3 de um fator dois mais próximo do nível de investigação do que as monitorações executadas em operações normais que ocorreram de 4 a 59 vezes abaixo do N.I., como pode

ser visto na tabela 3.8.

Ainda que o técnico tenha dispersado pó por toda a região da dissolução ele utilizava como E.P.I. o escafandro e, portanto, esteve protegido dessa nuvem de pó e dos resultados apresentados na tabela 3.9.

Tabela 3.11 segundo caso de situação anormal.

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 E.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 E.I. Concentração
3	2A1	pH0,3	209,09	15min(1/4h)	96	2 + N.I.
3	2A2	AA0,8	507,35	15min(1/4h)	96	5 + N.I.
3	2A3	SS3,0	741,54	15min(1/4h)	96	7 + N.I.
3	2A4	Sc8,0	214,63	15min(1/4h)	96	2 + N.I.
3	2A5	pH0,3	88,48	1h	24	3 + N.I.

Estes resultados das monitorações de ar executadas no ponto 3 evidenciam as piores condições no manuseio do concentrado de urânio.

Observamos que o técnico não sabia manusear o pó; era a primeira vez que executava esta tarefa.

Seus movimentos eram acelerados e não coordenados, isto favorecia uma formação de uma nuvem ascendente de pó.

Os resultados apresentados estão acima do N.I. em uma média de quatro vezes e isto não é desejável uma vez que pretendemos evitar que o N.I. seja ultrapassado. Neste caso o resultado mostra que se deve controlar de maneira mais acurada a opera

ção.

Ao iniciarmos a monitoração de ar usamos um filtro $PH0,3 \mu m$ que reteve uma concentração cerca de duas vezes acima do N.I.. Após verificar a situação anormal colocamos um filtro do mesmo diâmetro com o objetivo de captar os aerossóis espalhados no local de trabalho. Este filtro foi usado por uma hora, es colhemos esse tipo $PH0,3\mu m$, pois pegariamos as partículas com DAMA com maior probabilidade de atingir os pulmões dos trabalhadores, caso estivessem pela área de dissolução sem estar usando máscara semifacial.

Retivemos uma concentração nesse filtro de cerca de 3 vezes acima do N.I..

A massa detectada neste filtro em uma hora foi bem menor do que a massa detectada no início da operação. Isto nos leva a concluir que durante a alimentação do R 101 houve grande dispersão do concentrado de urânio.

Após a situação anormal as partículas dispersas eram de DAMA maior e por isso tivemos uma captação bem menor de partículas com diâmetro de $0,3\mu m$. Inclínamo-nos a afirmar que a maior parte das partículas que compõem este concentrado de urânio possui um DAMA maior do que $8,0\mu m$, portanto favorecendo a não inalação dessas partículas pelo trabalhador.

No pior dos casos o ponto 2A3 da coluna da tabela 3.11 encontra-se 13 vezes abaixo da caracterização de acidente.

Deste modo, discutiremos os resultados em função dos

níveis de investigações estabelecidos supondo como se fossem si
tuações normais de trabalho.

Passamos a evidenciar o 3º caso.

Tabela 3.12 - Terceiro Caso de Situação Anormal.

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentraçã Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoraçã	Coluna 9 N.I. Adotaçã Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentração
3	3A1	PH0,3	209,65	6min(1/10h)	240	1 + N.I.
	3A2	AA0,8	133,72	7min(7/60h)	206	1,5 + N.I.
	3A3	SS3,0	178,00	5min(1/12h)	288	1,6 + N.I.

O trabalho executado pelo técnico refletiu em resulta
dos para as monitorações de ar feitas simultaneamente bem próxi
mas ao N.I. O tempo gasto para adicionar o concentrado de urânio
ao R 101 foi de 18 minutos.

Observamos que o técnico não adicionou o pó cuidadosa
mente, ao contrário, foi rápido demais. Bruscamente pegava a pá
com o material e jogava pelo bocal do R 101, isto ocasionou uma
dispersão violenta de pó do concentrado de urânio.

Como conclusão desses três casos podemos verificar que
a operação de dissolução é muito delicada e dependendo da habili
dade do técnico pode ter ultrapassado o N.I. Em virtude desse fa
to além de um controle por parte da proteção radiológica é neces
sário um treino "in loco" do técnico para que os níveis sejam
mantidos abaixo dos N.I.

3.2.5.5 Monitorações de Ar Realizadas Com Óxidos de Urânio.

Passamos a analisar os resultados das monitorações de ar realizadas com óxidos de urânio.

Estes óxidos tem uma aparência granulada, de cor castanha escura, parecendo ser menos poeirento do que o concentrado de urânio de granulometria fina de cor amarela.

Os técnicos se recusavam a usar o escafandro, pois dizem que este material não era tão poeirento quanto o concentrado de urânio amarelo.

Analisando a tabela 3.13 apresentada a seguir observamos que 75% das monitorações de ar executadas excederam os três décimos da C.D.A. para 2000 horas de trabalho.

Relatamos, ainda que durante a alimentação do R 101 com este material houve desprendimento de vapores nitrosos pela área de dissolução em virtude de sua alta reatividade.

Acredita-se que essa grande quantidade de pó encontrada nos filtros deve-se em parte, ao esfarelamento do grão do concentrado e em parte ao arraste deste pó pelos vapores nitrosos.

A situação agravou-se pelo fato dos técnicos não usarem escafandro; ficavam irritados pela presença dos gases nitrosos e conseqüentemente relaxavam no manuseio do pó granulado.

Para termos certeza que os gases nitrosos arrastavam parte do pó, colocou-se um filtro de carvão ativado pendurado sobre o bocal do R 101 sem sucção forçada; mantendo-o durante todo o período das operações.

Por esta razão acrescentamos antes do número 3, na coluna 1 da tabela 3.13, a letra D.

Uma vez realizada a análise do filtro de carvão no laboratório de Bioanálise da Divisão NPM pelo método fluorimétrico⁽⁴⁰⁾ encontrou-se 36 microgramas de urânio retidas neste filtro. Provando ocorrer a suspensão de urânio pelos vapores nitrosos, ainda que a medida tenha sido feita qualitativamente.

Tabela 3.13 - Monitorações de ar executadas com a matéria-prima-óxidos de urânio.

Coluna 1 Ponto de amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio Micrograma	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentração $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coluna 7 Concentração Bq/m ³
1	B1	PH0,3	5,00	0,23	21,73	0,54
1	B2	SS3,0	450,00	0,15	3000,00	75,00
1	B3	PH0,3	10,00	0,23	43,18	1,09
1	B4	AA0,8	27,00	0,26	103,84	2,59
1	B5	PH0,3	822,00	0,15	5480,00	137,00
1	B6	PH0,3	44,70	0,12	372,50	9,31
3	B1	AA0,8	1400,00	0,75	186,66	4,66
D3	A1	Sc8,0	430,00	0,49	877,55	21,93
	A2	PH0,3	350,00	0,26	1346,15	33,95
D3	B2	AA0,8	1200,00	0,31	3860,96	96,52
D3	A3	SS3,0	380,00	0,20	1900,00	47,50
	A4	Sc8,0	1200,00	0,25	4800,00	120,00
D3	A5	AA0,8	280,00	0,28	1000,00	25,00
	A6	SS3,0	1200,00	0,28	4285,71	107,14
D3	A7	AA0,8	78,15	0,16	488,43	12,21
	A8	SS3,0	81,00	0,35	231,43	5,78

Discutiremos a tabela 3.13 agrupando os resultados obtidos para o ponto 1 na tabela 3.14 e os resultados obtidos para o ponto 3 na tabela 3.15.

Tabela 3.14 - Monitorações de ar executadas no ponto 1

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentração
1	B1	pH0,3	0,54	10min(1/6h)	144	267 + N.I.
1	B2	SS3,0	75,00	9min(3/20h)	160	2 + N.I.
1	B3	pH0,3	1,09	10min(1/6h)	144	132 + N.I.
1	B4	AA0,8	2,59	12min(1/5h)	120	46 + N.I.
1	B5	pH0,3	1,37	7min(7/60h)	206	1,5 + N.I.
1	B6	pH0,3	9,31	6min(1/10h)	240	26 + N.I.

Para as tarefas executadas no ponto 1, observamos que ao considerarmos o tempo real de trabalho apenas as monitorações codificadas por 1B2 e 1B5 estão próximas ao nível de investigação. Ambas as pesagens codificadas por 1B2 e 1B5 foram executadas pelo mesmo técnico. Este técnico não se preocupou em executar os procedimentos corretos na pesagem. Ele chegou a dizer que este material era mais fácil de manusear do que o material de pó amarelo fino. Pesou o material rapidamente e isto ocasionou uma dispersão acentuada de pó uma vez que não posicionou o tambor e a bombona dentro da coifa de exaustão.

Porém, comparando os resultados da tabela 3.14 com os da tabela 3.7 observamos que os resultados apresentados na tabela 3.14, se apresentam mais próximos aos N.I. estabelecidos. Isto ocorreu, pois, os técnicos ao manusearem o material calcinado sentiam-se mais despreocupados e conseqüentemente relaxados em

virtude da aparência enganosa do pó granulado.

Dentro desse esquema de raciocínio podemos referenciar o trabalho executado por um técnico que apresentou ótimos resultados durante as operações executadas com o concentrado de urânio e com os óxidos de urânio.

O seu trabalho está registrado pelos resultados apresentados em 3B1 na tabela 3.7 e em 1B1, 1B3 na tabela 3.14. Este técnico executou os procedimentos corretos nas pesagens, pois, colocou o tambor, a bombona dentro da coifa de exaustão por iniciativa própria.

Como vemos o manuseio de óxidos de urânio apresentaram resultados de monitorações de ar bem mais próximas aos níveis de investigação do que quando comparamos os resultados das monitorações de ar em que foram manuseados concentrado de urânio sem ser granulado, isto é, pó fino.

Tabela 3.15 - Resultados das monitorações de ar realizadas no ponto 3.

Coluna 1 Ponto de Monitoração	Coluna 2 Número de Monitoração	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentração
3	B1	AA0,8	4,66	30min	48	10 +
D 3	A1	Sc8,0	21,93	20min	72	3 +
	A2	pH0,3	33,65	10min	144	4 +
D 3	B2	AA0,8	96,52	16min	90	1 +
D 3	A3	SS3,0	47,50	9min	160	3 +
	A4	Sc8,0	120,00	10min	144	1 +
D 3	A5	AA0,8	25,00	12min	120	4 +
	A6	SS3,0	107,14	12min	120	1 +
D 3	A7	AA0,8	12,21	7min	206	17 +
	A8	SS3,0	5,78	16min	90	15 +

Para as monitorações executadas no ponto 3 por B1 e B2 usou-se um mesmo tipo de filtro. O técnico na primeira monitoração gastou o dobro do tempo que o técnico da segunda monitoração

Conseqüentemente, o nível de investigação é quase metade do apresentado para a segunda monitoração.

Porém, o primeiro técnico que realizou a alimentação do R 101 manuseou o pó do concentrado de urânio com cuidado, foi aos poucos adicionando o pó, pois estava preocupado que ocorresse transbordamento no R 101, dada a reatividade desse material calcinado. Ao inciar o desprendimento de vapores nitrosos não se perturbou, como conseqüência apresentou um resultado melhor.

O técnico da segunda monitoração, além de enfrentar o mesmo tipo de problema, manuseou rapidamente o pó, retirando-o diretamente do tambor de 250kg. Este fato favoreceu a maior captação de pó durante a monitoração, pois o técnico teve que se curvar para dentro do tambor a fim de pegar o material.

Por ser uma tarefa executada manualmente os resultados variam de técnico para técnico. Comprovando o que já se disse anteriormente, ou seja, que a suspensão do pó durante o manuseio é função de dois itens:

- a) Habilidade e experiência que o técnico possui;
- b) Comportamento do trabalhador no cumprimento correto dos procedimentos ocupacionais rotineiros.

Comparando as monitorações executadas no ponto 3 obser

vamos resultados mais próximos do N.I. para as monitorações realizadas com o pó de óxidos de urânio calcinado.

3.2.5.6 Recomendações Objetivando Diminuir a Concentração de Material Radioativo.

Como parte final das interpretações dos resultados das monitorações de ar executadas no bloco 30 fornecemos algumas recomendações para diminuir a concentração de material radioativo no ar, começando pelo setor de pesagem:

- a) Conscientizar o técnico da necessidade de usar o sistema de exaustão durante a pesagem, uma vez que alguns pesam o concentrado de urânio sem utilizá-lo;
- b) Explicar a necessidade de posicionar a válvula do sistema de exaustão completamente aberta;
- c) Acondicionar o material pesado somente em bombonas, nunca usar saco plástico ou o próprio tambor;
- d) Explicar aos técnicos a importância de posicionar o tambor e a bombona dentro da coifa de exaustão;
- e) Adaptar uma balança de menor porte dentro da coifa de exaustão. Com o sistema balança, bombona e tambor dentro da coifa de exaustão haverá sucção do pó inteiramente para o filtro de mangas;
- f) Termos o filtro de mangas em condições adequadas de uso. Isto é, 37 mangas em condições plenas de uso;
- g) Uso do E.P.I. pelo trabalhador durante as tarefas de pesagens;
- h) Estabelecer o hábito de limpar o local e o E.P.I. após a execução da pesagem;

i) Dar treinamento aos técnicos.

Para o setor de dissolução ponto 3, recomendamos:

- a) Deve-se eliminar a liberação de vapores nitrosos dentro do setor de dissolução; a sugestão encontra-se no capítulo seguinte;
- b) A posição em que se encontra a mesa do chefe de turno, em frente ao setor de dissolução, não está correta. Deve-se situá-la em outro local mais apropriado; como esquematizada na figura 3.5 pela letra A;
- c) O técnico deve usar escafandro na alimentação do R 101 a fim de assegurar que não haja incorporação de pó radioativo durante a execução da tarefa, independentemente do concentrado de urânio ser calcinado ou não;
- d) Introduzir o hábito de limpar o E.P.I. e o local após a tarefa de alimentação do R 101.

3.2.5.7 Resultados das Análises de Urina dos Trabalhadores

Neste tópico apresentamos os resultados que nos foram fornecidos pelo Departamento de Proteção Radiológica e que se encontram na tabela 3.16. As análises foram feitas na urina dos trabalhadores do atual MT, começando no ano que teve início este trabalho, representando os maiores valores encontrados.

Os resultados são expressos em microgramas de urânio encontradas por litro de urina analisada, $\mu\text{g}/\text{l}$.

A primeira coluna representa os servidores analisados e identificados por números arábicos de 1 a 21.

A segunda coluna representa a data de colheita das amostras.

A terceira coluna representa a concentração de urânio encontrada nas amostras de urina analisadas utilizando o método fluorimétrico⁽⁴⁰⁾.

A quarta coluna representa o Nível de Investigação adotado no IPEN/CNEN-Sp para estes exames.

Tabela 3.16 - Resultados dos exames de urina de trabalhadores do MT unidade de purificação.

Identificação dos Servidores	Data de Colheita	Amostra $\mu\text{g/l}$	N.I. $\mu\text{g/l}$
1	09.05.83	47	50
2	29.06.83	14	30
3	12.01.84	21	30
4	14.05.84	29	30
5	15.05.84	21	20
6	08.08.84	36	30
7	27.08.84	16	30
2	27.08.84	12	30
8	04.09.84	12	30
9	04.09.84	25	30
10	04.09.84	29	30
4	04.09.84	15	30
11	10.09.84	15	30
12	18.09.84	10	30
13	10.01.85	19	30
14	15.01.85	20	30
15	30.09.85	09	30
16	28.06.86	11	30
17	22.07.86	10	30
18	27.07.86	15	30
15	23.11.86	15	30
19	23.11.86	13	30
20	23.11.86	15	30
21	23.11.86	13	30

O resultado mais crítico é o representado pelo número 6 onde o trabalhador ultrapassou o N.I. Presentemente, este trabalhador já não é mais servidor do IPEN/CNEN-SP.

Os resultados apresentados pelos trabalhadores identificados como 01, 5 e 10 são os que quase atingiram o N.I.. Estes servidores foram conscientizados da necessidade do uso correto do E.P.I. para as tarefas de pesagem do concentrado de urânio e alimentação do R 101.

Atualmente, eles apresentam resultados de exame de urina menor do que o limite de detecção do método fluorimétrico, isto é, para uma concentração de urânio menor do que $5\mu\text{g}/\text{l}$ de urina analisada. Resultado apresentado na última colheita do dia 19.05.87.

O trabalhador representado em 1 não executa mais tarefas na unidade de purificação, isto é, manuseando o pó de concentrado de urânio, ele passou a trabalhar no setor de manutenção da unidade.

O último resultado de urina realizado dia 27.05.87 apresentou uma concentração de urânio na urina de $6\mu\text{g}/\text{l}$. Nós sempre o alertamos da necessidade de usar o E.P.I. nas tarefas que executa.

Os demais resultados estão de acordo com o exposto nas análises dos resultados das monitorações de ar executadas onde evidenciamos resultados abaixo do N.I. adotado para cada situação apresentada.

3.3 Bloco 31

Neste espaço físico encontra-se a Unidade de Precipitação do DUA seguida do Filtro de Vácuo, Forno de Calcinação e Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio.

3.3.1 Na Unidade de Precipitação do DUA realizou-se monitorações diretas e indiretas. Para este local não há necessidade de monitoração do ar sob o ponto de vista de radioproteção, pois o material usado esta na forma líquida.

A figura 3.6 representa a Unidade de Precipitação do DUA.

O ponto 1 representa o tanque de estocagem do N.U.P - V119B

O ponto 2 representa o tanque de estocagem do N.U.P - U119C

O ponto 3 representa o conjunto de válvulas que alimentam o reator de Precipitação.

O ponto 4 representa o Reator de Precipitação do DUA

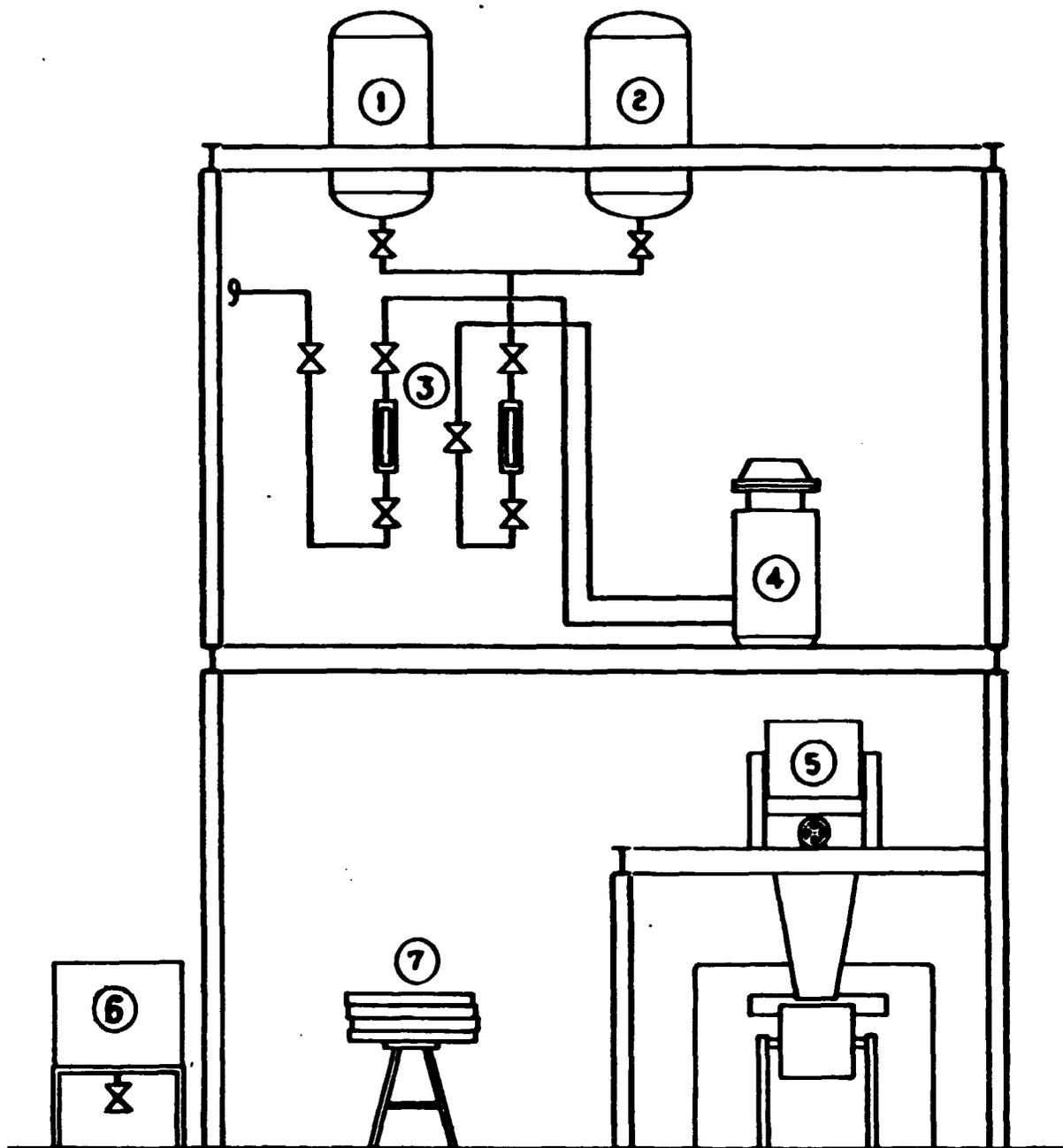
O ponto 5 representa o Filtro Rotativo de Vácuo

O ponto 6 representa o Tanque de Decantação.

Nesta figura 3.6 acha-se representado o ponto 7 o qual se rá mencionado no item 3.3.4, não fazendo parte da Unidade de Precipitação do DUA.

A tabela 3.17 põe em evidência as taxas de exposições mé dias detectadas nos equipamentos representados pelos pontos de 1 a 6 na figura 3.6.

A coluna 1 mostra o número que localiza o equipamento na figura 3.6.



Legenda:

1. Tanque de Estocagem N.U.P. V 119B
2. Tanque de Estocagem N.U.P. V 119C
3. Conjunto de Válvulas
4. Reator de Precipitação do D.U.A.
5. Filtro Rotativo
6. Tanque de Decantação

FIG 3.6 REPRESENTA A UNIDADE DE PRECIPITAÇÃO DE D.U.A.

As demais colunas mantêm os mesmos dizeres da tabela 3.3.

Tabela 3.17 - Taxas de exposições médias na Unidade de Precipitação do DUA.

Coluna 1 Local da amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Encostado $\mu\text{C/kg h}$ (mR/h)	Coluna 4 A 1m de Dis- tância $\mu\text{C/kg h}$ (mR/h)
1	V 119B	$0,19 \pm 0,03 (0,74 \pm 0,12)$	$0,25 \pm 0,05 (0,97 \pm 0,19)$
2	V 119C	$0,18 \pm 0,03 (0,70 \pm 0,12)$	$0,25 \pm 0,05 (0,97 \pm 0,19)$
3	Válvulas	$0,11 \pm 0,05 (0,43 \pm 0,19)$	$0,08 \pm 0,02 (0,31 \pm 0,08)$
4	Reator de Precipitação	$0,16 \pm 0,07 (0,62 \pm 0,27)$	$0,10 \pm 0,03 (0,39 \pm 0,12)$
5	Filtro de Vácuo	$0,50 \pm 0,15 (1,94 \pm 0,58)$	$0,20 \pm 0,06 (0,78 \pm 0,23)$
6	Tanque de Decantação	$0,17 \pm 0,06 (0,66 \pm 0,23)$	$0,16 \pm 0,04 (0,62 \pm 0,16)$

De acordo com a tabela 3.17 encontramos uma faixa de taxa de exposição média de $0,11 \pm 0,05$ a $0,50 \pm 0,15 \mu\text{C/kg h}$ encostado aos equipamentos.

Para a monitoração indireta realizou-se cinco esfregaços em épocas diferentes e com o auxílio da equação 3.1 obtivemos atividade por centímetro quadrado, Bq/cm^2 .

O número e dizeres das colunas apresentadas nestas tabelas 3.18 e 3.19 são iguais aos mencionados na tabela 3.4 e 3.5, quando nos referimos aos esfregaços realizados no bloco 30. As tabelas 3.18 e 3.19 representam esfregaços feitos nos equipamentos e no piso próximo aos equipamentos respectivamente.

Tabela 3.18 - Esfregaços feitos nos equipamentos da Unidade de Precipitação do DUA.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Esfregaços cpm	Coluna 4 Esfregaços cpm	Coluna 5 Esfregaços cpm	Coluna 6 Esfregaços cpm	Coluna 7 Esfregaços cpm	Coluna 8 Valor Máximo Bq/cm ²
$\bar{R}F$	-	12	11	13	12	11	-
1	V 119B	151	673	636	469	626	173,82
2	V 119C	593	2092	810	581	101	520,79
3	Válvulas	1001	1782	841	1187	838	445,55
4	Reator de Precipitação	2045	2137	1210	1648	3500	860,74
5	Filtro de Vácuo	1145	1441	1039	170	130	362,52
6	Tanque de Decantação	51	71	94	57	66	26,30

Tabela 3.19 - Esfregaços feitos no piso da Unidade de precipitação do DUA.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Piso Amostrado	Coluna 3 Esfregaço cpm	Coluna 4 Esfregaço cpm	Coluna 5 Esfregaço cpm	Coluna 6 Esfregaço cpm	Coluna 7 Esfregaço cpm	Coluna 8 Valor Máximo Bq/cm ²
$\bar{R}F$	- -	11	12	11	12	11	-
1-2	Entre V119B-V119C	7941	391	213	4971	2757	1924,30
3	Válvulas	391	1521	4761	263	734	1163,60
4	Reator de Precipitação	297	532	351	396	344	138,49
5	-	-	-	-	-	-	-
6	Tanque de Decantação	327	821	320	264	121	210,23

3.3.2 Forno de Calcinação

Logo após a Unidade de Precipitação do DUA, encontra-se o Forno de Calcinação F.C.. O material DUA úmido, por meio de uma calha, cai diretamente na esteira do forno correspondendo ao ponto 1 da figura 3.7. Posteriormente o material é recolhido em bombona na saída do forno correspondendo ao ponto 2 da figura 3.7. Obtemos assim o DUA seco acondicionado em bombona. A próxima fase será calcinar este material. Para isso, os técnicos utilizam o ponto 7 da figura 3.6. O material DUA seco é transferido para bandejas e após deixar o forno de calcinação temos o trióxido de urânio UO_3 que é acondicionado em bombona. Este material é matéria-prima na fase do processo seguinte.

As monitorações de ar realizadas no ponto 7 da figura 3.6 serão examinadas posteriormente.

Abrangendo especificamente o Forno de Calcinação, realizou-se monitorações diretas e indiretas.

Monitoração Direta

A tabela 3.20 representa as taxas de exposições médias em contradas para os pontos 1 e 2 do forno de calcinação. Ver figura 3.7. Para essa tabela mantivemos os mesmos números de colunas e dizeres apresentados na tabela 3.3.

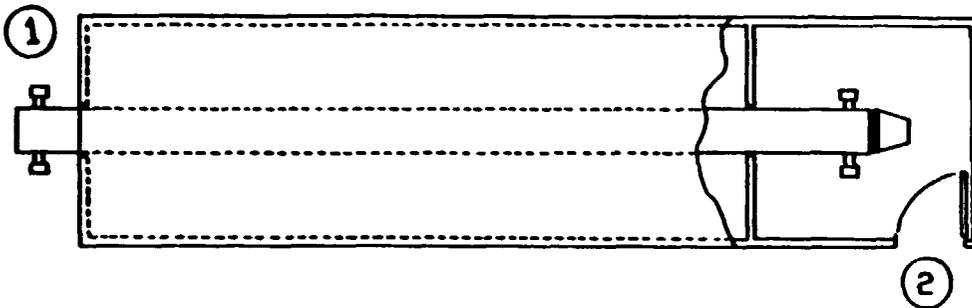


FIG 3.7 FORNO DE CALCINAÇÃO

① ENTRADA ② SAÍDA

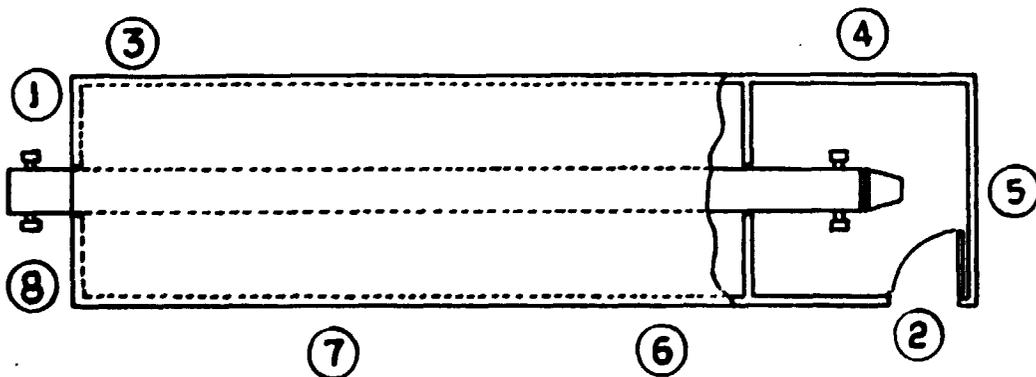


FIG. 3.8 REPRESENTA OS PONTOS ESCOLHIDOS PARA AS MONITORAÇÕES INDIRETAS REALIZADAS NO PISO AO REDOR DO FORNO DE CALCINAÇÃO

Tabela 3.20 - Taxas de exposições médias.

Coluna 1 Local da Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Encostado $\mu\text{C}/\text{kg}$ (mR/h)	Coluna 4 Alm de Dig tância $\mu\text{C}/\text{kg}$ (mR/h)
1	Entrada do Forno	$0,32 \pm 0,13 (1,24 \pm 0,50)$	$0,17 \pm 0,06 (0,66 \pm 0,23)$
2	Saída do Forno	$0,33 \pm 0,13 (1,28 \pm 0,50)$	$0,20 \pm 0,08 (0,78 \pm 0,31)$

Monitoração Indireta

As tabelas 3.21 e 3.22 apresentadas a seguir mantêm os mesmos dizeres da tabela 3.4 e 3.5.

Tabela 3.21 - Esfregaços realizados no Forno de Calcinação

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamento	Coluna 3 Esfregaços cpm	Coluna 4 Esfregaços cpm	Coluna 5 Esfregaços cpm	Coluna 6 Esfregaços cpm	Coluna 7 Esfregaços cpm	Coluna 8 Valor Má ximo Bq/cm ²
$\bar{R}F$	-	12	11	11	13	11	-
1	Entrada do Forno Próximo à esteira	331	624	1077	529	358	273,46
2	Saída do Forno (Porta)	402	796	1007	205	193	256,27

A figura 3.8 mostra os pontos escolhidos para monitoração indireta feita no piso próximo ao Forno de Calcinação.

Os pontos 1,8 representam o piso próximo à entrada do f.c..

O ponto 2 representa o piso próximo à saída do f.c..

Os pontos 3,4 representam o piso à lateral, à esquerda do f.c..

O ponto 5 representa o piso próximo à lateral menor do

f.c..

Os pontos 6,7 representam o piso próximo à lateral, à direita do f.c..

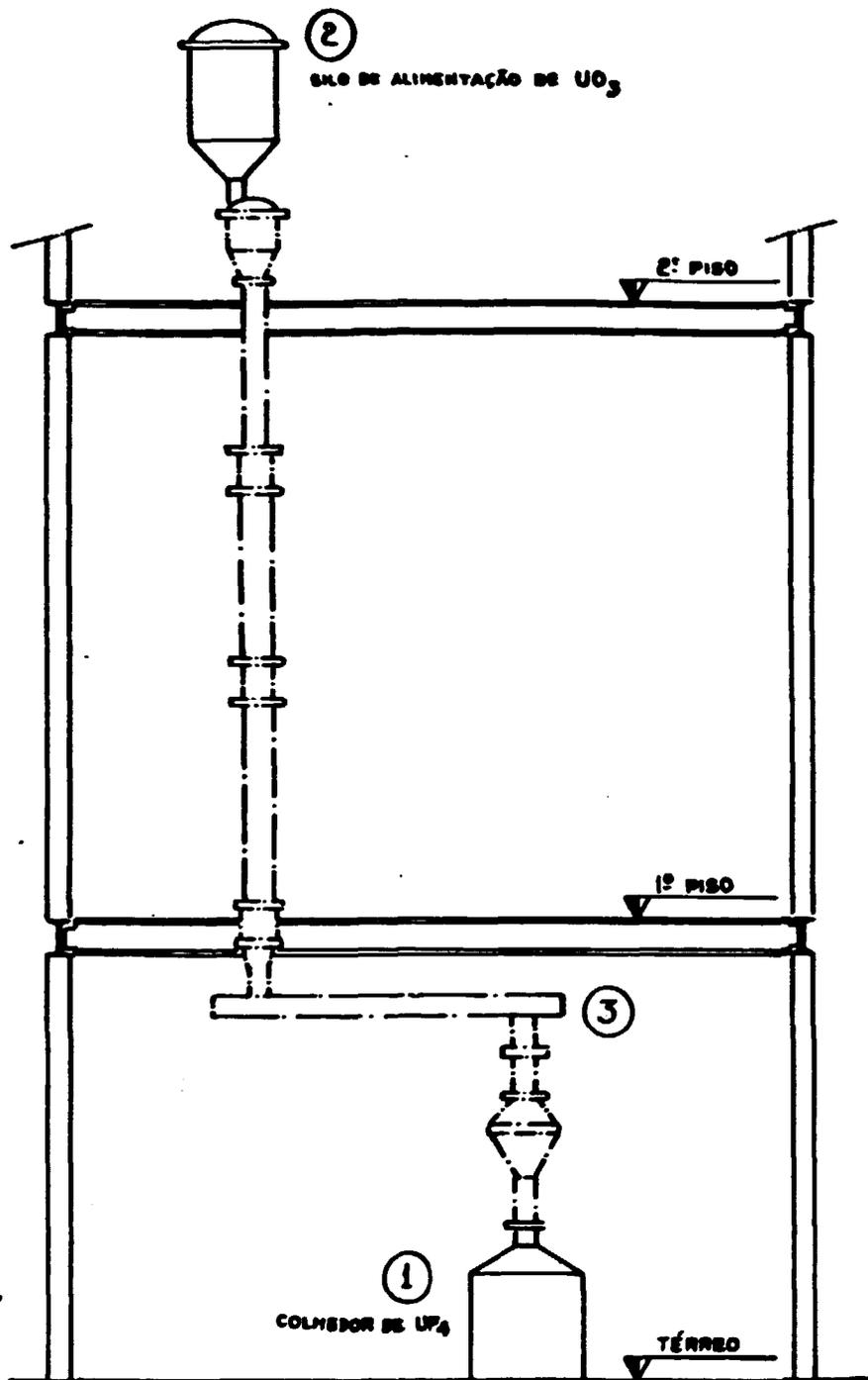
Tabela 3.22 - Esfregações feitas no piso ao redor do Forno de Cal
cinação

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Piso Amostrado	Coluna 3 Esfregaço cpm	Coluna 4 Esfregaço cpm	Coluna 5 Esfregaço cpm	Coluna 6 Esfregaço cpm	Coluna 7 Esfregaço cpm	Coluna 8 Valor Máximo Bq/cm ²
$\bar{R}F$	-	11	12	22	11	13	-
1	Piso	2029	230	678	377	398	505,52
2	Piso	1569	1025	963	2376	1379	589,57
3	Piso	157	145	82	73	294	78,30
4	Piso	402	370	1279	120	665	322,95
5	Piso	1532	698	447	705	692	384,70
6	Piso	996	663	269	256	324	253,57
7	Piso	1568	56	86	225	144	393,48
8	Piso	1623	240	389	2291	213	569,00

3.3.3 Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio - UF₄

A produção de UF₄ pode ser esquematizada de acordo com a figura 3.9. Para esse espaço físico foram feitas monitorações direta, indireta e de ar, tanto no piso térreo como no segundo piso.

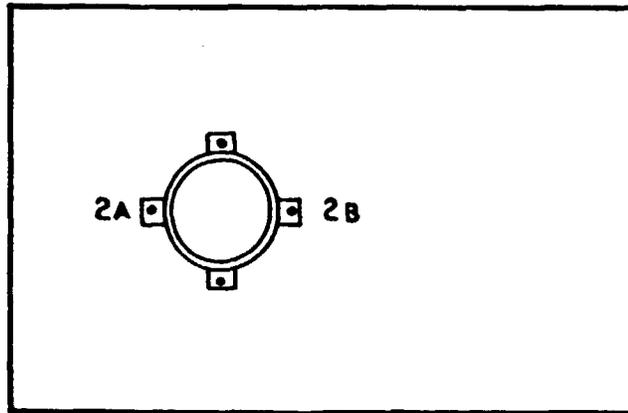
A figura 3.10 mostra os pontos escolhidos para monitoração indireta realizada no piso térreo e segundo piso da torre de UF₄ em maiores detalhes.



LEGENDA

- 1 - COLHEADOR DE UF_4
 - 2 - SILÓ DE ALIMENTAÇÃO DE UO_3
 - 3 - ROSCA TRANSPORTADORA
- VER ITEM 3.3.4A

FIG 3.9
REPRESENTAÇÃO FRONTAL DA
TORRE DE UF_4

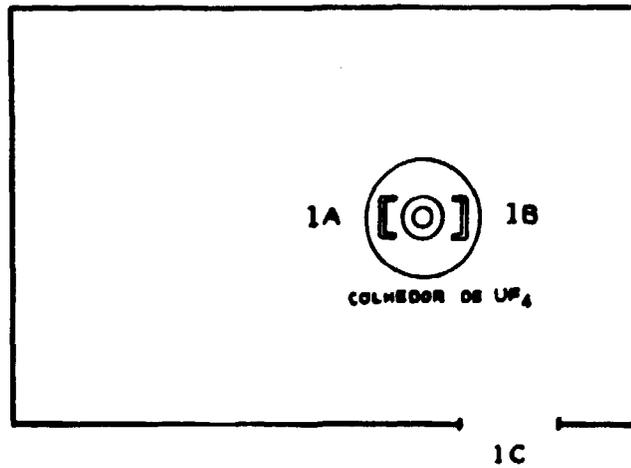


2º PISO

LEGENDA

2A PISO DO LADO À ESQUERDA DO SILO DE ALIMENTAÇÃO DE UO_3

2B PISO DO LADO À DIREITA DO SILO DE ALIMENTAÇÃO DE UO_3



PISO TÉRREO

LEGENDA

1A PISO À ESQUERDA DO COLHEADOR DE UF_4

1B PISO À DIREITA DO COLHEADOR DE UF_4

1C PISO PRÓXIMO À ENTRADA DA TORRE DE UF_4

FIG 3.10

**PONTOS ESCOLHIDOS PARA
MONITORAÇÃO SUPERFICIAL**

A tabela 3.23 mostra os resultados das monitorações diretas feitas junto aos pontos 1 e 2 da torre de UF₄. Ver figura 3.9.

Mantivemos os mesmos números de colunas e dizeres da tabela 3.3.

Tabela 3.23 - Taxa de exposição média encontrada nos equipamentos da Torre de UF₄

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Encostado C/kg (mR/h)	Coluna 4 1 metro de distância C/kg (mR/h)
1	Colhedor de UF ₄	0,15±0,06 (0,58±0,23)	0,09±0,03 (0,35±0,12)
2	Silo de Ali mentação de UO ₃	0,14±0,06 (0,54±0,23)	0,09±0,03 (0,35±0,12)

A tabela 3.24 mostra os resultados das monitorações indiretas feitas nos pisos da Torre de UF₄. Ver figura 3.10.

A coluna 1 localiza o piso a ser monitorado.

A coluna 2 representa os pontos de monitoração em cada piso respectivamente.

As colunas 3 e 4 representam os mesmos dizeres já mencionados na tabela 3.5.

Os resultados apresentados na coluna 4 das tabelas 3.18, 3.19, 3.21, 3.22 e 3.24 encontram-se muito acima dos limites de rivados estabelecidos na norma vigente⁽⁶⁾ como nas internacionais^(17,38). Logo, a análise desses resultados evidenciam a necessidade da introdução de um programa de descontaminação periódico

dico na instalação.

Tabela 3.24 - Esfregaços feitos nos pisos da Torre UF₄

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Pontos redor do equipamento	Coluna 3 Esfregaço cpm	Coluna 4 Esfregaço cpm	Coluna 5 Esfregaço cpm	Coluna 6 Esfregaço cpm	Coluna 7 Esfregaço cpm	Coluna 8 Valor Má- ximo Bq/cm ²
RF	-	12	12	11	12	12	-
Piso Térreo	1A	2132	832	271	1388	1035	530,26
	1B	3681	832	256	1255	2016	904,06
	1C	108	774	241	276	225	199,00
Segundo Piso	2A	788	1490	522	1692	322	423,44
	2B	1032	838	398	1094	1343	338,36

Após a monitoração superficial nas Unidades de Precipitação do DUA, Calcinação e Produção de UF₄, os esfregaços foram enviados a Divisão NPA para serem analisados. Utilizou-se um contador multicanal Ge-Li calibrado com ¹³³Ba e ⁶⁰Co a fim de detectar os prováveis radionuclídeos presentes.

Adotou-se o mesmo método empregado na Unidade de Purificação. A equação que evidencia a regressão linear realizada foi a apresentada abaixo:

$$Y = -0,0082x + 392,96.$$

Os radionuclídeos encontrados para esses locais foram ²¹⁴Bi com uma energia de 395kev e ²²⁶Ra com 186kev de energia (34).

3.3.4 Monitoração de Ar no Bloco 31

3.3.4.1 Locais de Monitoração

Monitoramos as seguintes tarefas rotineiras dentro da fase de obtenção do trióxido de urânio:

- a) Carregamento de bandejas. Ver número 7 da figura 3.6;
- b) Recolhimento de bandejas calcinadas. Ver número 2 da figura 3.7;
- c) Carregamento do silo de alimentação. Ver número 2 da figura 3.9.

Nesses locais encontramos o trabalhador manuseando DUA seco(a) e trióxido de urânio, UO_3 (b,c).

Usualmente, há um técnico trabalhando no carregamento de bandejas e outro no recolhimento destas.

Inicialmente, o técnico que executa a tarefa de carregar bandejas com DUA seco, carrega 10 bandejas e em seguida as coloca na entrada do forno de calcinação. Ver figura 3.7. As bandejas demoram 68 minutos para passar pelo forno.

Um outro técnico executa a tarefa de as recolher como também de carregar o silo de alimentação de UO_3 caso haja necessidade.

Faltando técnicos durante o turno de trabalho poderemos encontrar um só técnico executando as tarefas representadas em a,b,c.

Para as monitorações de ar executadas nestes locais usa mos o mesmo tipo de filtro das monitorações anteriores, mas um único filtro por turno. Isto fizemos objetivando avaliar a con centração do pó radioativo em Bq/m³ dos aerossóis de UO₃ disper sos no local de trabalho; em função das tarefas que o técnico de senhovia.

Comumente, os técnicos desta unidade reclamam que ficam 8 horas seguidas em contato com o pó de UO₃. Para tirar essa dú vida anotamos todas as tarefas que o técnico realizou durante seu turno e o tempo gasto na sua realização.

Abrangendo essas tarefas rotineiras executadas pelos técnicos montamos a tabela 3.25 para cada tipo de filtro usado no turno.

A coluna 1 representa as tarefas executadas pelo técni co nos locais a,b,c utilizando um único filtro por turno:

A coluna 2 representa o número de monitorações realiza das;

A coluna 3 a 7 mantêm os mesmos dizeres da tabala 3.4.

Os técnicos que participaram das monitorações foram de signados por letras do alfabeto. Para analisar os resultados ob tidos na tabela 3.25 construímos as 10 tabelas seguintes que en focam as tarefas executadas pelos técnicos durante o período de trabalho. Geralmente, por turno, temos dois técnicos trabalhan do nessas tarefas conforme já comentamos.

Tabela 3.25 - Monitorações de ar realizadas nos locais a,b,c

Coluna 1 Local de Amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio Micrograma	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentração µg/m ³	Coluna 7 Concentração Bq/lr ³
a,b,c	1	PH0,3	34,40	1,12	30,71	0,76
a,b,c	1	AA0,8	113,30	1,31	86,49	2,16
a,b,c	1	SS3,0	43,00	1,40	30,71	0,76
a,b,c	1	Sc8,0	630,00	1,58	398,73	9,97
a,b,c	1	Sc8,0	430,00	0,78	551,28	13,78

Apresentamos o código para as tabelas seguintes:

- CB - carregamento de bandejas
 RB - recolhimento de bandejas
 Nº BC - número de bandejas carregadas
 Nº BSFC - número de bandejas que saem do forno de calcinação
 C.S.A. - carregamento do silo de alimentação.

Passamos a descrever os resultados da primeira linha da tabela 3.25 nas tabelas 3.26 e 3.27.

Tabela 3.26 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico A.

Nº B.C.	10	04	02	08	06	03
Tempo Gasto no C.B.	10min15seg	4min22seg	2min06seg	7min33seg	5min28seg	3min41seg
Nº BSFC	1	1	1	1	1	1
Tempo Gasto no R.B.	27seg	51seg	37seg	40seg	3min30seg	1min09seg
C.S.A.	12kg de material UO ₃			calcinado		
Tempo Gasto no C.S.A.	2min17seg					

O técnico A gastou continuamente 2576 segundos aproximadamente 43 minutos durante o seu turno de trabalho na execução das tarefas a,b,c.

Tabela 3.27 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico B.

Nº BSFC	1	1	1	1	*	1	1	1	1
Tempo Gasto no R.B.	40seg	32seg	33seg	26seg	2min15seg	29seg	25seg	32seg	28seg
C.S.A	12kg		18kg		18kg				
Tempo Gasto	23seg		29seg		1min12seg				

* o técnico ajustou a esteira do forno.

O tempo gasto na execução das tarefas pelo técnico B foi de 432 segundos ou seja aproximadamente 7 minutos durante seu turno de trabalho.

Logo o tempo gasto continuamente, pelos técnicos A e B, no manuseio do pó radioativo durante o respectivo turno foi de 50 minutos. Isto porque cada bandeja leva cerca de 68 minutos para percorrer todo o forno de calcinação.

Tomando-se por base as 250 horas reais trabalhadas por ano, isto é, 1 hora por dia mantivemos o nível de investigação em 24Bq/m³; para 50 minutos o nível de investigação passou a 29Bq/m³.

Fazendo-se a relação do N.I. estabelecido pelo resultado da coluna 7 da tabela 3.25 encontramos um valor 37 vezes inferior ao N.I. estabelecido.

Passamos a descrever os resultados da segunda linha da tabela 3.25 nas tabelas 3.28 e 3.29.

Tabela 3.28 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico C.

NO B.C.	6	7	6	6	6
Tempo Gasto no C.B.	6min2seg	5min25seg	6min43seg	6min10seg	6min29seg

NO BSFC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tempo Gasto no C.B.	43seg	23seg	26seg	34seg	1min2seg	34seg	29seg	47seg	26seg	60seg	47seg	35seg	7min3se

O técnico C esteve em contato com o material UO₃ continuamente por 46 minutos em seu turno de trabalho.

O tempo gasto na execução das tarefas pelo técnico B foi de 432 segundos ou seja aproximadamente 7 minutos durante seu turno de trabalho.

Logo o tempo gasto continuamente, pelos técnicos A e B, no manuseio do pó radioativo durante o respectivo turno foi de 50 minutos. Isto porque cada bandeja leva cerca de 68 minutos para percorrer todo o forno de calcinação.

Tomando-se por base as 250 horas reais trabalhadas por ano, isto é, 1 hora por dia mantivemos o nível de investigação em 24Bq/m³; para 50 minutos o nível de investigação passou a 29Bq/m³.

Fazendo-se a relação do N.I. estabelecido pelo resultado da coluna 7 da tabela 3.25 encontramos um valor 37 vezes inferior ao N.I. estabelecido.

Passamos a descrever os resultados da segunda linha da tabela 3.25 nas tabelas 3.28 e 3.29.

Tabela 3.28 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico C.

Nº B.C.	6	7	6	6	6
Tempo Gasto no C.B.	6min2seg	5min25seg	6min43seg	6min10seg	6min29seg

Nº BSFC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tempo Gasto no C.B.	43seg	23seg	26seg	34seg	1min2seg	34seg	29seg	47seg	26seg	60seg	47seg	35seg	7min3

Tabela 3.29 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico D.

Nº BSFC	1	1	1	1
Tempo Gasto no R.B.	25seg	2min18seg	43seg	1min05seg
C.S.A.	12kg	18kg	18kg	
Tempo Gasto	52seg	1min03seg	1min27seg	

O técnico D esteve em contato com o pó de UO_3 durante seu turno por aproximadamente 8 minutos.

Somando o tempo dos dois técnico teremos um tempo real de contato com o material de UO_3 de 54 minutos.

Ao analisar a segunda linha da tabela 3.25, encontramos na coluna 7 uma concentração de $2,16Bq/m^3$. O N.I. essa monitoração é $27Bq/m^3$; fazendo-se a relação entre o N.I. estabelecido e o resultado encontrado na coluna 7 encontramos um valor 12,5 vezes aproximadamente 13vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Descreveremos a seguir os resultados da terceira linha da tabela 3.25, nas tabelas 3.30, 3.31 e 3.32.

Tabela 3.30 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico E.

Nº BC	8	9	6
Tempo Gasto no C.B.	8min48seg	9min45seg	7seg

Nº BSFC	1	1	1	1	1	1
Tempo Gasto no R.B.	40seg	60seg	38seg	40seg	45seg	2min26seg *

* O técnico E recolheu a bandeja e acertou a posição da esteira do forno.

O técnico E gastou continuamente 32 minutos ao executar as tarefas a e b.

Tabela 3.31 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico F.

Nº BSFC	1	1	1
Tempo Gasto no R.C.	23seg	28seg	1min38seg

C.S.A.	12kg
Tempo Gasto	1min3seg

O técnico F trabalhou de maneira contínua por aproximadamente 4 minutos em contato com o pó de UO_3 . Esse técnico parou de trabalhar neste turno por motivos particulares. O técnico G veio substituí-lo.

Tabela 3.32 - Tarefas rotineiras realizadas durante o turno de trabalho pelo técnico G.

Nº B.C.	8
Tempo Gasto no C.B.	8min 4seg

C.S.A. 15kg

Tempo Gasto 55seg

Nº BSFC 1 1 1 1 1 1 1 1

Tempo Gasto no R.B. 37seg 69seg 46seg 34seg 30seg 35seg 29seg 51seg

O técnico G gastou em seu turno aproximadamente 15 minutos contínuos manuseando o material UO_3 . Neste turno tivemos três técnicos designados por E, F, G executando as tarefas.

O tempo global gasto no manuseio de pó de UO_3 pelos técnicos foi de 51 minutos, para esse tempo o N.I. foi estabelecido em $28Bq/m^3$. Fazendo-se a relação do N.I. estabelecido pelo resultado expresso na coluna 7 para a terceira linha da tabela 3.25 chegamos a um valor 37 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Descreveremos, a seguir, os resultados da quarta linha da tabela 3.25 na tabela 3.33.

Durante esta monitoração tivemos apenas um técnico designado pela letra H executando as tarefas mencionadas em a,b,c.

Tabela 3.33 - Tarefas rotineiras executadas durante o turno de trabalho pelo técnico H.

Nº B.C. 1 8 2 4 2 5

Tempo Gasto no C.B. 71seg 15min 2min 5min10seg 3min10seg 6min54seg

Nº BSFC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo Gasto no R.B.	1min28seg	5seg	29seg	35seg	30seg	23seg	21seg	30seg	21seg	23seg	1min39seg	3min9seg

* o técnico arrumou a esteira do forno.

C.S.A.	11kg
Tempo Gasto	31seg

O tempo real que o técnico H esteve manuseando o pó de UO_3 foi de 43 minutos. Para esse tempo gasto no manuseio com pó de UO_3 o N.I. foi estabelecido em $33Bq/m^3$. Fazendo-se a relação do N.I. estabelecido com o resultado expresso na coluna 7 da quarta linha da tabela 3.25 evidenciamos que o técnico H trabalhou em condições 3 vezes inferior ao N.I. estabelecido.

Realizamos outra monitoração de ar, quinta linha da tabela 3.25, usando o mesmo tipo de filtro da monitoração anterior, porém tivemos dois técnicos executando as tarefas a,b,c.

Os técnicos foram designados pelas letras I e J, respectivamente.

Tabela 3.34 - Tarefas rotineiras executadas durante o turno de trabalho pelo técnico I.

Nº B.C.	1	1	3	2	6	1
Tempo Gasto no C.B.	1min44seg	1min47seg	2min47seg	1min38seg	10min24seg	1min44seg
Nº BSFC	1	1	1			
Tempo Gasto no R.B.	28seg	28seg	28seg			

O técnico I gastou cerca de 21 minutos continuamente, em contato com o material de UO_3 durante seu turno.

Tabela 3.35 - Tarefas rotineiras executadas durante o turno de trabalho pelo técnico J.

Nº B.C.	1	1	2	5
Tempo Gasto no C.B.	1min54seg	1min18seg	2min43seg	10min30seg

Nº BSFC	1
Tempo Gasto no R.B.	45seg

O técnico J gastou continuamente 17 minutos em contato com pó de UO_3 .

Somando-se o tempo gasto pelos dois técnicos chegamos a 38 minutos contínuos no manuseio com o pó de UO_3 , logo o N.I. foi estabelecido em $38Bq/m^3$.

Fazendo-se a relação do N.I. estabelecido com o resultado da coluna 7 para a quinta linha da tabela 3.25 observamos que os técnicos trabalharam aproximadamente 3 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Tabela 3.36 - Agrupamento dos resultados apresentados.

Técnicos A,B,E,F,G trabalharam em condições 37 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Técnicos C,D trabalharam em condições 13 vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Técnicos H,I,J trabalharam em condições 3 vezes abaixo do N.I. es tabelecido.

Conclusão: Podemos observar que as tarefas a,b,c são executadas em intervalo de tempo curto conforme evidenciam as tabelas 3.26 a 3.35.

A partir dessas monitorações estamos em condições de mostrar aos técnicos que na maioria das vezes eles gastam apenas um oitavo das horas de trabalho em contato contínuo com o mate rial de UO_3 , contrariando o que eles dizem ser 8 horas.

Porém, cabe ressaltar que são tarefas delicadas, pois dependendo da habilidade do técnico poderemos ter resultados pró ximos ou muito abaixo do N.I. estabelecido.

3.3.4.2 Monitoração de Ar Durante uma Parada do Forno de Calci nação.

Tivemos a oportunidade de realizar uma monitoração de ar quando o forno de calcinação queimou e conseqüentemente não pôde ser usado.

As bandejas que já estavam carregadas com UO_3 tiveram de ser recolhidas em bombonas de 50kg.

Os resultados da monitoração de ar efetuadas durante es ta operação encontram-se na tabela 3.37.

A coluna 1 representa o local onde foi feita a transferênci a do UO_3 das bandejas para as bombonas ver ponto 7 da figura 3.6.

Excluimos a coluna 2.

As colunas 3 a 7 mantêm os mesmos dizeres da tabela 3.6.

Tabela 3.37 - Monitoração de ar durante o recolhimento de bandejas contendo UO_3 para bombonas em virtude da falha operacional no forno de calcinação.

Coluna 1 Local de Amostragem	Coluna 2	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio μg	Coluna 5 Volume de Ar m^3	Coluna 6 Concentração $\mu g/m^3$	Coluna 7 Concentração Bq/m^3
Ponto 7 da Figura 3.6	-	PH0,3	590,00	0,16	3687,50	92,18
		AA0,8	529,00	0,14	3778,57	94,46
		SS3,0	344,00	0,13	2646,15	66,15
		Sc8,0	133,00	0,19	700,00	17,50

Sabendo-se que são gastos três horas por ano na execução deste tipo de operação, chegamos a um fator 667, que ampliará o N.I. de $3Bq/m^3$ para $2000Bq/m^3$.

Ao fazermos a relação entre o N.I. estabelecido e o resultado obtido na coluna 7 da tabela 3.37 encontramos os números seguintes 22, 21, 30 e 114 que representam o número de vezes que cada monitoração realizada esteve abaixo do N.I. estabelecido.

Em virtude das partículas acima de 10micra não chegarem ao pulmão e permanecerem na região nasofaringial podemos desprezar o valor 114 vezes abaixo do N.I. e dizer que em média o trabalho durante as três horas é efetuado num nível 20 vezes inferior ao de investigação.

Observamos que embora estivéssemos muitas vezes abaixo

do N.I. registramos a dispersão de pó fino durante a transferência do material das bandejas para a bombona.

O técnico não usou avental de PVC e assim o pó depositou-se sobre seu uniforme. No chão formou-se uma película de pó com uma taxa de exposição de $0,62\mu\text{C}/\text{kg}$ na posição do trabalhador e de $5\mu\text{C}/\text{kg}$ encostado à bombona.

3.3.4.3 Monitoração do Ar Durante a Limpeza da Capela do Forno de Calcinação.

Apresentamos o resultado de quatro monitorações de ar, tabela 3.38, realizadas em épocas diferentes, porém considerando apenas a tarefa de limpeza do forno de calcinação que ocorre na passagem do turno.

Tabela 3.38 - Monitoração do ar na capela do forno de calcinação.
(Ver figura 3.7 ponto 2).

A coluna 1 representa o local onde foram feitas as monitorações.

Excluiu-se a coluna 2.

Nas colunas 3 a 7 mantivemos os mesmos dizeres da tabela 3.6.

Acrescentamos duas colunas, a de número 8 representando o tempo gasto por monitoração e a de nº 9 representando o N.I. para cada monitoração realizada.

Coluna 1 Local de Mostragem	Coluna 2 -	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio µg	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentra- ção µg/m ³	Coluna 7 Concentra- ção Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitora- ção	Coluna 9 N.I. Concentra- ção
Ponto 2 da figu- ra 3.7	-	PH0,3	64	0,12	533,33	13,33	5min	288
		AA0,8	796	0,46	1730,43	43,26	15min	96
		SS3,0	83	0,15	553,33	13,33	5min	288
		Sc8,0	133	0,19	700,00	17,50	5min	288

O número de vezes que cada monitoração esteve abaixo do N.I. estabelecido foi cerca de 22;2;22;16 vezes. Observamos que a segunda monitoração esteve apenas duas vezes abaixo do N.I. estabelecido.

Porém, as outras monitorações mantiveram-se abaixo do N.I.. Deste fato podemos concluir que mesmo para tarefas a serem executadas em pequeno intervalo de tempo, é necessário um treino do pessoal envolvido.

3.3.4.4 Monitoração do Ar Durante o Desentupimento do Reator de Leito Móvel.

Fizemos monitorações durante as vezes que o reator entupiu e houve necessidade de retirar o material tanto pela parte superior, via silo de alimentação de UO_3 , como também durante a retirada da rosca transportadora que tem por finalidade enviar o material de UF_4 para o colhedor situado no andar térreo da torre.

A coluna 1 mostra os locais onde foram feitas as monitorações, ver figura 3.9, representados pelos números 2 e 3.

Mantivemos, nas colunas de 2 a 7, os mesmos dizeres mencionados na tabela 3.6.

A coluna 8 representa o tempo gasto em cada monitoração realizada.

A coluna 9 representa o N.I. estabelecido para cada monitoração realizada.

A coluna 10 representa o número de vezes que cada monitoração se afastou do N.I. estabelecido.

Tabela 3.39 - Monitoração de ar durante Desentupimento do Reator de Leito Móvel.

Coluna 1 Local de Amostragem	Coluna 2 Número de Monitorações	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio µg	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentra ção µg/m ³	Coluna 7 Concentra ção Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitora ção	Coluna 9 N.I. Adotado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. Concentra ção
2	1B	pH0,3	36,00	0,14	257,14	6,43	5min	288	45
2	2B	AA0,8	123,00	0,09	1366,66	34,16	5min	288	8
2	3B	SS3,0	172,00	0,12	1433,33	35,83	5min	288	8
2	4B	Sc8,0	110,00	0,33	333,33	8,33	15min	96	11
3	5A1	pH0,3	12,00	0,23	52,17	1,30	7min	206	158
3	5A2	AA0,8	13,00	0,26	50,00	1,25	10min	144	115
2	5A3	SS3,0	53,00	0,26	203,85	5,10	10min	144	28
3	6B	pH0,3	19,00	1,55	12,55	0,30	50min	29	97
3	7B	AA0,8	28,00	1,79	15,64	0,39	58min	25	64
3	8B	SS3,0	315,00	1,67	188,62	4,71	54min	27	6
3	9B	Sc8,0	63,00	1,74	36,21	0,90	56min	26	29

O número de vezes que cada monitoração se afastou do N.I. estabelecido foi satisfatório, porém isto não justifica os trabalhadores não usarem E.P.I. na execução dessa operação.

É necessário o uso da máscara respiratória como também acondicionar o material que sai do reator em saco plástico a fim de conter o espalhamento de pó na região da Torre de UF₄.

A monitoração representada pelo código 8B evidencia o instante em que a rosca transportadora foi retirada do reator e simultaneamente os técnicos limpavam com vareta o silo de ali mentação para desentupir o reator.

A taxa de exposição no local em que os trabalhadores es tavam era de $0,1\mu\text{C}/\text{kg}$; a bandeja onde o material de UF_4 foi de positado registrava $4\mu\text{C}/\text{kg}$,

3.3.4.5 Procedimentos que Devem Ser Seguidos Durante a Execução das Tarefas a,b,c Mencionadas no Item 3.3.4.1 a 3.3.4.3

A) Os técnicos ao carregarem as bandejas com o material UO_3 de vem estar usando avental de PVC, a fim de evitar deposição de pó em seu uniforme.

B) Os óculos de segurança são de uso obrigatório para evitar con taminação dos olhos.

C) Quando os técnicos executam a tarefa de limpeza do forno de calcinação devem usar máscara facial, pois caso usem a máscara semifacial o filtro desta saturará rapidamente no caso de haver excesso de pó no local.

Isto podemos afirmar pois os técnicos geralmente usam um pré-fill tro de algodão quando utilizam a máscara semifacial. Este pré-fill tro após a fase de limpeza apresentou totalmente coberto por par tículas de cor alaranjada.

O avental de PVC também deve ser usado para a limpeza do forno.

3.3.5 Resultados da Análise de Urina do Pessoal que Executou o Serviço no Bloco 31.

Os trabalhadores que executam as tarefas representadas nas tabelas 3.26 a 3.35 estão codificadas na coluna 5 da tabela 3.40, por letras do alfabeto. A letra A codifica os trabalhadores que executaram tarefas a,b,c apresentadas no item 3.3.4.1 ; a letra B codifica os trabalhadores que controlam o quadro de comando do reator de UF₄ e desconectam o colhedor de UF₄ após estar cheio de material; a letra C codifica os trabalhadores do setor de manutenção. Quando houver duas letras significa que o trabalhador ficou envolvido nas duas tarefas.

A coluna 1 representa o número do servidor analisado ; no total são dezoito, porém temos resultados de épocas diferentes para os servidores representados pelos números 2 e 3, respectivamente.

A coluna 2 representa o dia em que a amostra de urina foi colhida.

A coluna 3 representa as microgramas de urânio encontradas no exame de urina dos servidores. O resultado é expresso em microgramas de urânio por litro de urina analisada.

A coluna 4 representa o nível de investigação adotado na época da realização do exame.

A coluna 5 representa as tarefas que o servidor estava envolvido.

Tabela 3.40 - Resultados de análise de urina para urânio dos servidores que executam tarefas no bloco 31.

Coluna 1 Número do Servidor Analisado	Coluna 2 Data da Colheita	Coluna 3 Amostra µg/l	Coluna 4 N.I. µg/l	Coluna 5 Identificação das Tarefas Realizadas pelos Servidores
1	18.01.83	17	50	B
2	09.05.84	20	30	A,B
3	09.05.84	25	30	A,B
4	27.08.84	18	30	B
5	27.08.84	17	30	B,C
6	27.08.84	13	30	B
7	29.08.84	8	30	B
8	18.09.84	13	30	B
9	10.01.85	10	30	B
10	10.01.85	9	30	B
11	15.01.85	11	30	C
12	15.01.85	16	30	C
13	19.06.85	12	30	A,B
14	30.09.85	10	30	B
15	30.09.85	14	30	A
16	02.06.86	10	30	A
2	02.06.86	10	30	B
17	22.07.86	10	30	B
3	02.08.86	8	30	B
18	23.11.86	10	30	A

Observamos que o técnico representado na coluna 1 pelo número 3, foi o que mais se aproximou do N.I. quando do exame realizado em 09.05.84, porém em outra colheita 02.08.86 apresenta um resultado bem afastado do N.I. estabelecido.

Os demais se apresentam bem abaixo do N.I. mantendo a mesma coerência para os N.I. estabelecidos nas monitorações de ar executadas.

3.4 Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio UF₆

Apresentamos na figura 3.11 a Torre de UF₆ apenas enfocando os pontos de importância para este trabalho, isto é, onde o trabalhador está em contato com o pó de urânio, mais especificamente, com o tetrafluoretó de urânio.

A unidade de geração de flúor não é apresentada, pois não possui nenhum componente radioativo a não ser uma quantidade mínima de potássio ⁴⁰₁₉K natural.

Nesta figura, os números arábicos de 1 a 10 localizam os equipamentos para as monitorações diretas e indiretas realizadas. A letra P seguida dos algarismos arábicos indica os pontos onde foram realizados esfregos para o piso da unidade.

A letra X seguida dos algarismos 1 a 5 indica os possíveis locais onde podem ocorrer queda de bombona.

As letras a,b,c representam as operações que foram executadas durante as monitorações de ar realizadas como também localiza na figura o piso em que foram feitas as operações.

- 1 Colhedor de cinza
- 2 Barricas contendo pó de urânio
- 3 Balança de Pesagem
- 4 Estufa
- 5 "Cabeça" do reator de chama
- 6 Silo de Alimentação UF₄

LEGENDA

P - PONTOS DE ESPREGAÇO PARA O PISO

X - LOCAIS COM POSSIBILIDADE DE TOMBAMENTO DE BARRICAS

ALGARISMOS ARÁBICOS - INDICAM OS EQUIPAMENTOS A SEREM MONITORADOS

a, b, c - OPERAÇÕES EXECUTADAS DURANTE A MONITORAÇÃO DE AR

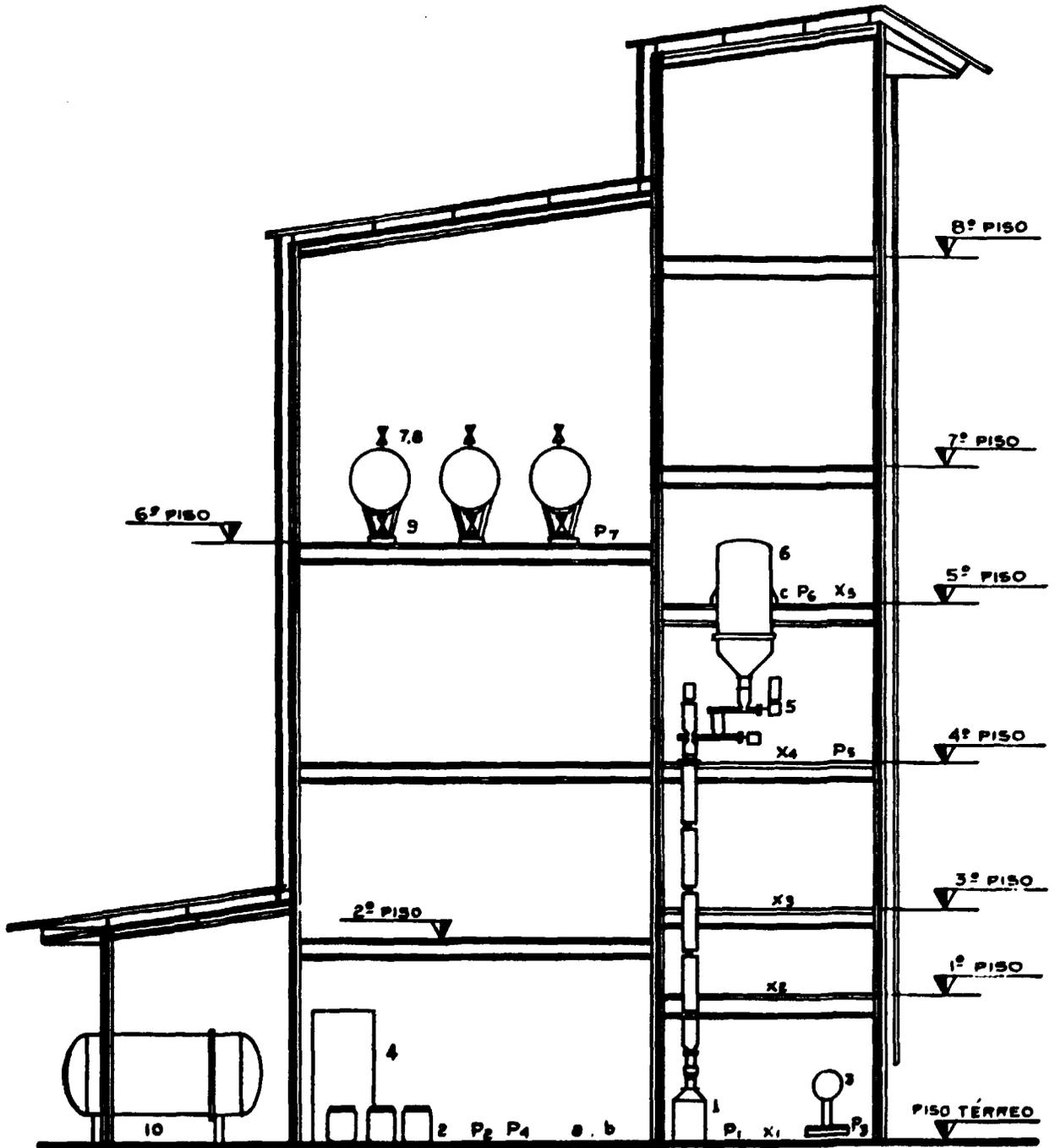


FIG. 3.11

- 7 Válvula de entrada de UF₆ no cristalizador
- 8 Válvula de saída de gases de UF₆ para a coluna "Spray" (borrifador)
- 9 Válvula de descarga de UF₆
- 10 Tanque de estocagem 48Y

3.4.1 Monitorações Diretas e Indiretas

Os equipamentos relacionados a seguir foram monitorados vinte e oito vezes. Os resultados acham-se na tabela 3.41. Mantivemos o mesmo número de colunas e dizeres conforme as tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 3.41 - Taxa de exposição média na Unidade de Produção de UF₆.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Encostado μC/kg (mR/h)	Coluna 4 1 metro de distância μC/kg (mR/h)
1	Colhedor de cinza	0,45±0,20 (1,75±0,78)	0,15±0,04 (0,58±0,16)
2	Barricas contendo UF ₄	2,01±0,95 (7,80±3,69)	0,43±0,16 (1,67±0,62)
3	Balança	0,55±0,70 (2,13±2,72)	0,19±0,20 (0,74±0,78)
4	Estufa	0,11±0,09 (0,43±0,35)	0,09±0,05 (0,35±0,19)
5	"Cabeça" do Reator de Chama	0,05±0,02 (0,19±0,08)	0,03±0,01 (0,12±0,04)
6	Silo de Alimentação UF ₄	0,21±0,12 (0,81±0,47)	0,07±0,03 (0,27±0,12)
7	Válvula de Entrada de UF ₆ no cristalizador	0,04±0,03 (0,16±0,12)	0,02±0,01 (0,08±0,04)
8	Válvula de Saída de gases de UF ₆ para a coluna "Spray"	0,08±0,05 (0,31±0,19)	0,05±0,03 (0,19±0,12)
9	Válvula de descarga de UF ₆	0,10±0,02 (0,39±0,08)	0,04±0,02 (0,16±0,08)
10	Tanque de Estocagem 48Y	0,25±0,09 (0,97±0,35)	0,09±0,03 (0,35±0,12)

A faixa de exposição média encontra-se entre $0,04 \pm 0,03$ a $2,01 \pm 0,95 \mu C/kg$.

A monitoração indireta foi realizada para os equipamentos representados pelos números 1 a 6 da figura 3.11. Para os demais equipamentos não registramos os resultados dos esfregaços feitos porque estavam em nível de Radiação de Fundo.

Tabela 3.42 - Esfregaços feitos na Unidade de UF₆ para os equipamentos.

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Equipamentos Amostrados	Coluna 3 Esfregaço cpm	Coluna 4 Esfregaço cpm	Coluna 5 Esfregaço cpm	Coluna 6 Esfregaço cpm	Coluna 7 Esfregaço cpm	Coluna 8 Velor Máximo Bq/cm ²
$\bar{R}P$	-	12	12	12	12	12	-
1	Colhedor de Cinza	760	6682	2335	2415	4218	1623,35
2	Barricas com UF ₄	5201	3098	878	1149	7945	1925,02
3	Balança	449	5712	2403	308	1566	1391,31
4	Estufa	426	1011	757	200	136	257,03
5	"Cabeça" do Reator de Chama	4145	273	398	4473	3100	1094,35
6	Silo de Alimentação de UF ₄	1059	1904	3582	366	233	880,25

Tabela 3,43 - Esfregaços feitos na Unidade de UF₆ para o piso.

Na coluna 1, a letra P seguida de um algarismo, ver figura 3.11, indica o ponto onde foi executado o esfregaço.

A coluna 2 especifica onde o esfregaço foi realizado.

As colunas 3 a 8 mantêm os mesmos dizeres da tabela 3.4

Coluna 1 Locais de Amostragem	Coluna 2 Piso Amostrado	Coluna 3 Esfregação cpm	Coluna 4 Esfregação cpm	Coluna 5 Esfregação cpm	Coluna 6 Esfregação cpm	Coluna 7 Esfregação cpm	Coluna 8 Valor Máximo Bq/cm ²
$\bar{R}\bar{F}$	-	12	12	12	12	12	-
P1	Piso próximo do colhedor de cinza	1307	4682	5392	1317	3898	1314,68
P2	Piso próximo à barrica de UF ₄	987	1094	279	392	1026	277,41
P3	Piso próximo à balança	827	938	638	970	1398	351,80
P4	Piso próximo à estufa	987	1049	1894	2626	1569	649,79
P5	Piso próximo à "Cabeça" do Reator de Chama	1313	4068	1683	2767	1925	997,09
P6	Piso próximo ao Silo de Alimentação de UF ₄	1983	4767	2673	1711	1217	1164,88
P7	Piso próximo ao cristaliza dor	103	161	269	467	307	122,22

Os resultados apresentados na coluna 8 de ambas as tabelas mantiveram-se muito acima dos limites derivados adotados. Confirmando a necessidade da introdução de um programa de descontaminação da instalação.

3.4.2 Monitorações de Ar Feitas na Torre de UF₆

A torre de produção de UF₆ foi projetada para operar automaticamente, mas como não foi concluída há necessidade de manusear pó de UF₄ dentro dela nas operações seguintes:

a) Transferência do material UF₄ para as bandejas, a fim de ser

colocado em estufa para retirar a umidade do material;

b) Retirada do material das bandejas guardadas em estufa para as bombonas de 50kg;

c) Adição manual de UF_4 seco ao silo de alimentação.

As operações a,b são executadas no piso térreo da torre , enquanto a operação c é realizada no quinto piso da torre.

Os resultados das monitorações do ar elaboradas em cada operação encontram-se na tabela 3.44.

A coluna 1 identifica o técnico que executou a operação , este está representado por números arábicos de 1 a 6. A letra do alfabeto que acompanha o número representa o tipo de operação que está sendo executada.

As colunas 3 a 7 representam os mesmos dizeres já mencionados na tabela 3.6, como também as colunas 8 a 10 representam os mesmos dizeres da tabela 3.7.

Para melhor analisar os resultados agrupamos as monitorações executadas para a mesma operação.

Para o primeiro agrupamento referente à operação a observamos as monitorações de ar durante o trabalho executado por três técnicos diferentes. Durante o trabalho do primeiro e terceiro técnico usamos o mesmo tipo de filtro SS3,0micra.

Tabela 3.44 - Monitorações de ar realizada na Torre de Produção de Hexafluoreto de Urânio (UF₆)

Coluna 1 Identificação do Trabalhador e do Tipo de Operação	Coluna 3 Tipo de Filtro	Coluna 4 Urânio µg	Coluna 5 Volume de Ar m ³	Coluna 6 Concentração µg/m ³	Coluna 7 Concentração Bq/m ³	Coluna 8 Tempo de Monitoração	Coluna 9 N.I. Ado- tado Bq/m ³	Coluna 10 N.I. con- centração
1a	SS3,0	0,15	0,24	0,62	0,01	10min	144	14400
1a	AA0,8	0,31	0,23	1,35	0,03	9min	160	5333
2a	pH0,3	112,00	0,62	180,64	4,52	26min	55	12
3a	SS3,0	40,50	0,33	122,73	3,07	15min	96	31
1b	pH0,3	1,25	0,15	8,33	0,21	7min	206	980
1b	AA0,8	4,80	0,25	19,20	0,48	11min	131	273
1b	Sc8,0	1,30	0,18	7,22	0,18	7min	206	1144
2b	pH0,3	16,00	0,24	66,66	1,66	12min	120	72
4b	pH0,3	3,00	0,18	16,66	0,41	8min	180	439
4b	AA0,8	460,00	0,19	2421,05	60,52	8min	180	3
5b	pH0,3	1300,00	0,25	5200,00	130,00	11min	131	N.I.
5b	AA0,8	127,00	0,13	956,92	24,42	8min	180	7
1c	SS3,0	1,00	0,12	8,33	0,21	12min	120	571
1c	pH0,3	1,00	0,26	3,85	0,10	12min	120	1200
2c	AA0,8	560,00	0,30	1866,67	46,67	10min	144	3
2c	SS3,0	90,00	0,30	300,00	7,50	10min	144	19
2c	Sc8,0	132,00	0,28	471,43	11,48	10min	144	12
3c	SS3,0	55,80	0,28	199,28	4,98	12min	120	24
4c	SS3,0	620,00	0,18	3444,44	86,11	8min	180	2
4c	Sc8,0	840,00	0,25	3360,00	84,00	10min	144	2
5c	SS3,0	170,00	0,20	850,00	21,85	10min	144	6
5c	Sc8,0	100,00	0,25	400,00	10,00	8min	180	18
5c	pH0,3	310,00	0,22	1409,10	35,22	9min	160	4
5c	AA0,8	103,00	0,17	605,88	15,15	8min	180	12
6c	Sc8,0	113,90	0,22	517,73	12,94	9min	160	12

Isto mostra que o terceiro técnico ocasionou uma dispersão de pó de UF₄ no piso térreo da torre cerca de 307 vezes acima da concentração dispersa pelo primeiro técnico.

Para as monitorações de ar feitas durante a operação identificada por b, temos o trabalho de quatro técnicos diferentes.

As três primeiras monitorações deste agrupamento representam o trabalho feito pelo mesmo técnico que apresenta os dois primeiros resultados para o agrupamento a. Isso permite concluir que o trabalho deve ser feito meticulosamente e que este técnico continua sendo o melhor operador também nesta operação. Logo será necessário treinar os trabalhadores para que desenvolvam um serviço mais a favor dos menores níveis de radiação.

3.4.3 Resultados da Análise de Urina dos Trabalhadores que Executam Serviços na Torre de UF₆

É mantido o mesmo número de colunas da tabela 3.36.

A letra A representa os trabalhadores que executaram as operações a,b,c mencionada nas páginas 164 e 165. A letra B representa os trabalhadores do Setor de Manutenção.

O resultado apresentado pelo técnico número 2 em 13/09/86 é justificado, pois no dia anterior este servidor ajudou na operação de alimentação do silo, ver figura 3.11 número 6, sem estar utilizando o E.P.I. adequado.

Uma vez que o exame de urina foi feito em menos de 24 ho

ras da incorporação observou-se o pico de eliminação que como se sabe, ver capítulo 2, é de 70% dentro das primeiras 24 horas.

Tabela 3.45 - Resultados de análise de urina para urânio dos trabalhadores da unidade de UF₆

Coluna 1 Número do Servidor Analisado	Coluna 2 Data da Colheita	Coluna 3 Amostra µg/l	Coluna 4 N.I. µg/l	Coluna 5 Identificação das Tarefas Realizadas pelos Servidores
1	02.06.86	10	30	B
2	02.06.86	06	30	A
3	02.06.86	16	30	A
4	28.06.86	12	30	A
2	29.06.86	07	30	A
5	29.06.86	07	30	B
2	13.09.86	49	30	A
6	13.09.86	11	30	A
2	21.09.86	< 5	30	A
5	18.11.86	8	30	B

Conforme pode ser observado em 21.09.86 realizou-se outra colheita de urina deste servidor e não apresentou mais contaminação interna; tendo como resultado concentrações de urânio inferiores ao limite de detecção do método fluorimétrico. Os demais servidores desta Unidade apresentam resultados abaixo do limite de detecção.

É necessário conscientizar o trabalhador que durante a alimentação do silo se faz necessário o uso do escafandro para a pessoa que executa a operação e para o ajudante o uso de máscara facial.

3.4.4 Procedimentos a Serem Introduzidos na Unidade de UF₆

A) As operações mencionadas em a, b, c envolvem o manuseio de pó de UF₄, logo ao executá-las os técnicos devem estar usando E.P.I.

B) Durante a operação a o técnico deverá usar avental de PVC, luvas de cano longo, máscara facial.

Dois técnicos deverão executar a operação sendo que um deles posicionará a trompa de sucção, de forma adequada, a fim de captar o pó que se forma durante a operação.

C) Para execução da operação b e c o técnico deverá usar escafandro, pois neste caso teremos UF₄ seco sendo manuseado.

Durante a operação b um técnico auxiliar deverá posicionar corretamente a trompa de sucção, e para a operação c o silo de alimentação deverá estar tampado adequadamente e a trompa de sucção estar adaptada a ele a fim de succionar o pó que se forma durante a operação c.

D) Após a execução das operações a, b, c o local deverá ser limpo.

E) Os E.P.I. deverão ser limpos e guardados em locais apropriados.

C A P Í T U L O 4

PLANEJAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA PARA DESENVOLVIMENTO DO
TRABALHO EM SEGURANÇA.

4.1 Classificação das Áreas na Unidade de Purificação

As monitorações diretas efetuadas no item 3.2.1 evidenciam que o setor de dissolução onde se encontram os pontos de 1 a 5' não existem áreas livres do ponto de vista de exposição direta à irradiação. A não ser os pontos representados por 3', 3'' e 3''' na figura 3.5, onde se localizam os tanques de água desionizada, lavagem e ácido nítrico que seriam considerados como área supervisionada, os demais locais já são áreas controladas; razão pela qual deverão ser usados dosímetros individuais para exposição externa.

No setor contíguo encontra-se os pontos 8, 14, 15 localizados no P.I. e o ponto 6,7 no p.s. indicando que se enquadram dentro do limite de exposição pertencente à área controlada (taxa de exposição maior do que $0,18\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$), os demais pontos estão dentro do limite de área supervisionada, sendo os pontos 11 e 12 considerados como área livre.

Quanto ao item 3.2.3 ao examinar-se os mesmos pontos referentes à contaminação superficial verificamos que os limites de rivados foram muitas vezes ultrapassados. Logo, determina-se para esses locais área controlada.

Ainda para os pontos 1 e 3 do setor de pesagem e ~~dissolução respectivamente existe a possibilidade de situações anormais~~

de contaminação por manusearem o pó do concentrado de urânio. Pe los itens 3.2.5.1 e 3.2.5.5 (Ver tabela 3.6 e 3.13) os pontos 1 e 3 devem ser considerados novamente controlados; sendo o ponto 1 controlado tanto por exposição externa, contaminação interna e contaminação do local e o ponto 3 por possível contaminação in terna e do local.

4.2 Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Puri ficação.

No que diz respeito à exposição externa os pontos a serem considerados são 1, 3, 4, 4', 5 e 5'.

No ponto 1 os trabalhadores recebem exposição média entre os valores apresentados na tabela 3.3 coluna C3 e permanecem no máximo 1 hora por dia, logo o técnico receberá no total uma expo sição de $294\mu\text{C}/\text{ano}$ ($1141\text{mR}/\text{ano}$).

Supondo que no ponto 3 permaneça o mesmo tempo e conside rando o maior nível de exposição $0,18\mu\text{C}/\text{kg h}$ ($0,74\text{mR}/\text{h}$) represen tado na tabela 3.3 coluna C3 receberá $46,25\mu\text{C}/\text{ano}$ ($179,45\text{mR}/\text{ano}$).

Novamente, supondo que permaneça 1 hora nos pontos 4 e 4' junto ao F 101 - F 101A (4,4') receberá uma exposição de $49\mu\text{C}/\text{ano}$ ($190\text{mR}/\text{ano}$).

$$49 \times 10^{-6} \text{ C} = 190 \times 10^{-3} \text{ R} = 1 \text{ R} = 2,580 \times 10^{-4} \text{ C}$$

$1 \text{ C} = 3878 \times 10^3 \text{ R}$

Nos pontos 5 e 5', por tratar-se de tanques de estocagem de N.U .I., iremos supor uma permanência mínima de 10 minutos por dia dando uma exposição anual de $14,75\mu\text{C}/\text{ano}$ ($57,23\text{mR}/\text{ano}$).

Somando as exposições o trabalhador receberá **404 $\mu\text{C}/\text{ano}$**

(1567mR/ano). Desta maneira, para efeito de exposição externa o trabalhador estará operando em condições de trabalho A⁽²¹⁾.

Os pontos 1 e 3 por serem locais de fácil contaminação, como foi mostrado nos ítems 3.2.5.1 e 3.2.5.5, quando tratamos de situações anormais o técnico deverá executar suas tarefas com equipamento de proteção individual adequado a saber: escafandro, calça, luvas de PVC e botas.

Examinando as monitorações de ar, levando em conta os tempos de permanência nos pontos 1 e 3 que é de 1 hora por dia, e com auxílio das tabelas 3.7, 3.8 e 3.14, observamos que a concentração de material radioativo no ar é inferior ao N.I. e portanto o trabalhador estará operando em condições de trabalho B⁽²¹⁾. Ele não necessitará, portanto, de uma monitoração individual interna.

Ocorre, porém, como mostramos no item 3.2.5.4 que existe a possibilidade com muita freqüência, de ocorrência de situações anormais e encontrarmos nestes locais níveis superiores ao de investigação; razão pela qual necessitaria de uma monitoração individual interna para esses casos.

Como no momento dispomos unicamente da monitoração do ar e análise de urina para avaliarmos as possíveis doses recebidas pelo trabalhador torna-se obrigatório a manutenção da monitoração individual interna por análise de urina.

Por esse motivo, o N.I. só será excedido uma vez ou outra, quando ocorrer uma situação anormal.

4.3 Soluções Propostas para Diminuir os Níveis de Radiação no Setor de Dissolução.

Para evitar a dispersão de pó no ponto 3, ao alimentar o reator R 101, existe um projeto no MT onde após a pesagem do concentrado de urânio ele será suspenso em água e por meio de bomba centrífuga, a suspensão será transportada para o reator R 101⁽¹³⁾.

O controle dessa operação será feito por meio de válvula, sem o contato do técnico com o pó de urânio. Desta maneira só teremos pó dentro do setor de pesagem.

Nos itens 3.2.5.3, 3.2.5.5 mencionou-se que quando adicionávamos concentrado de urânio ao R 101 ocorria desprendimento de uma nuvem gasosa de cor amarela ou alaranjada de cheiro irritante dependendo dos diferentes tipos de concentrados.

O dispositivo instalado, identificado como "demyster" que mencionamos no item 1.3.1.2 não está em uso logo sugerimos a adaptação de uma trompa "Spray" a fim de captar e lavar os gases que se formavam durante a dissolução.

Não tendo sido possível esta solução adaptou-se uma linha em aço inox de 28,10mm saindo do bocal onde estava instalado o "demyster" e um ventilador para provocar a sucção dos gases que se formavam durante a dissolução. Esta linha acaba em uma chaminé instalada sobre o prédio da purificação do bloco 30.

O problema de dispersão dos gases dentro do setor de dissolução foi solucionado, mas tivemos que passar a monitorar essa

chaminê, uma vez que o urânio poderia estar saindo como efluente gasoso⁽⁴⁶⁾ juntamente com os gases nitrosos formados na fase de dissolução.

Colocou-se no bocal de saída da chaminê filtro de carvão ativado⁽⁷⁾ durante o tempo de três horas, tempo necessário para a digestão nítrica.

Após esse tempo, o filtro foi retirado e enviado para a divisão MEC do departamento ME a fim de ser analisado pelo método de polarografia gasosa⁽⁴⁴⁾.

Para calcular os valores apresentados na coluna 6 da tabela 4.1 usamos um anemômetro patrimônio IPEN nº 10372GESP para medir a velocidade do ar na saída da chaminê, cujo valor foi de 0,92m/seg.

O filtro de carvão ativado possui 0,09m de diâmetro. O volume de ar que passa por essa chaminê a cada dissolução realizada, de 3 horas de duração é de 63,17m³.

Apresentamos na tabela 4.1 os resultados.

A coluna 1 enumera a seqüência de monitorações realizadas;

A coluna 2 representa os valores em microgramas de urânio (μgU) encontradas no filtro de carvão ativado usado como branco ($\mu\text{gU}/\text{filtro}$);

A coluna 3 representa os valores em microgramas de urânio encontradas no filtro de carvão ativado usado durante a fase de dissolução do concentrado de urânio, valores expressos em $\mu\text{gU}/\text{filtro}$;

A coluna 4 representa as microgramas de urânio para cada monito

ração realizada. Estas μg foram encontradas subtraindo-se os resultados da coluna 3 da coluna 2;

A coluna 5 evidencia o tipo de material utilizado para a realização da dissolução;

A coluna 6 expressa a concentração de urânio em $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

A coluna 7 expressa a concentração de urânio em Bq/m^3 .

Para as duas primeiras monitorações observou-se uma dispersão gasosa de cor alaranjada intensa que saia do bocal da chaminé.

Isto ocorreu porque a dissolução foi realizada com óxidos de urânio calcinado.

Para as duas últimas monitorações representadas pelos números 5 e 6 da primeira coluna a nuvem gasosa que saia do bocal da chaminé era imperceptível uma vez que trabalhávamos com concentrado de urânio amarelo intenso, vindo de Poços de Caldas.

Tabela 4.1 - Monitorações de ar executadas na chaminé da Unidade de Purificação no setor de dissolução.

Coluna 1 Representa a Sequência de Monitora ções Realiza das	Coluna 2 Urânio μg	Coluna 3 Urânio μg	Coluna 4 C3 - C2	Coluna 5 Tipo de Material Utilizado	Coluna 6 Concentra ção $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coluna 7 Concentra ção Bq/m^3
1	8,30	44,90	36,60	Óxidos de U	0,58	0,01
2	10,80	38,90	28,10	Óxidos de U	0,44	0,01
3	10,40	81,00	70,60	Concentrado de U mais UO_2	1,12	0,03
4	8,64	26,60	17,96	UO_3	0,28	0,01
5	2,80	12,40	9,60	Concentrado de U	0,15	-
6	3 40	4 30	0 90	Concentrado de U	0 01	-

Os valores encontrados na coluna 7 foram comparados com a C.D.A., para o indivíduo do público.

Sabendo-se que a C.D.A. para a classe W é de 10Bq/m^3 ^(9,17) e que o homem respira 2500m^3 de ar por ano de trabalho, determinamos uma atividade para o indivíduo do público de um décimo da C.D.A. para 2000 horas de trabalho, logo de 25000Bq/ano reduz-se a 2500Bq/ano .

Sendo de 250 dias de trabalho no ano com três cargas despejadas por dia pela chaminé ocorre 750 despejos de gases por ano referentes às dissoluções que foram feitas. Logo a concentração para o indivíduo do público foi de $3,33\text{Bq/despejo}$. Como em cada despejo, há um volume de ar de $63,17\text{m}^3$ que passou pelo filtro durante o tempo de monitoração chega-se a uma concentração na saída da chaminé para o máximo admissível ao indivíduo do público de $0,05\text{Bq/m}^3$.

Ao compararmos este valor com o encontrado na coluna 7, observa-se que as concentrações de urânio despejadas ao meio ambiente estão abaixo da C.D.A. para o indivíduo do público. De um fator 5 para as monitorações representadas na coluna 1 pelos números 1, 2, 4 e de um fator 2 para a monitoração representada na coluna 1 pelo número 3, logo não acarretando em danos.

4.4 Bloco 31

No bloco 31 encontra-se a Unidade de Precipitação do DUA, o Forno de Calcinação e a Unidade de Produção de UF_4 . Por se tratar de ambientes de trabalho diferentes serão examinados separadamente.

4.4.1 Classificação da Área na Unidade de Precipitação do DUA.

Observando a tabela 3.17 e a figura 3.6 verifica-se que o ambiente de trabalho é o mesmo embora existam três andares com chão metálico perfurado.

Por esse motivo tomamos o valor médio das exposições li das na coluna 3 apresentada na tabela 3.17 de $0,11 \pm 0,05$ a $0,50 \pm 0,15$. Taxa essa que enquadra este ambiente de trabalho dentro de um limiar de área supervisionada e controlada sob o ponto de vista de irradiação externa.

Quanto à contaminação superficial ao examinarmos os pon tos referentes aos equipamentos deste local e seus respectivos pisos observou-se a partir dos resultados das monitorações indi retas valores acima dos limites derivados vigentes no País⁽⁶⁾. O esfregaço realizado entre os tanques V 119B-V 119C representados por 1-2 na coluna 1 da tabela 3.19 excede o limite derivado de $200\text{Bq}/\text{cm}^2$ por nós adotado, ver capítulo 3 item 3.1.4, em quase 10 vezes. Logo, sob o ponto de vista de contaminação superficial esta Unidade é classificada como controlada.

4.4.2 Classificação da Área para o Setor do Forno de Calcinação

As monitorações diretas efetuadas no item 3.3.2 eviden ciam que não há uma área livre neste espaço físico. Os pontos es colhidos para monitoração direta que são a entrada e a saída do Forno de Calcinação representam exposições que se enquadram den tro do limite de área controlada.

Quanto à contaminação superficial os esfregaços realiza

dos para o piso ao redor do Forno de Calcinação apresentam resultados acima dos limites derivados vigentes no País⁽⁶⁾ e dos calculados por nós.

Assim sendo classificamos este setor como área controlada em função da taxa de exposição e da contaminação superficial e interna. Pois de acordo com a tabela 3.2 5 o valor médio das monitorações de ar efetuadas excederam os três décimos da C.D.A. , evidenciando $5,5\text{Bq/m}^3$ para uma concentração máxima admissível de 10Bq/m^3 .

4.4.3 Classificação das Áreas para a Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio (UF_4).

As monitorações diretas realizadas no item 3.3.3 evidenciam que não há áreas livres. Os pontos monitorados demonstraram estar dentro da faixa de exposição para a área supervisionada.

Quanto à contaminação superficial realizada no piso térreo e no segundo piso da torre de produção de UF_4 encontramos para o ponto de maior contaminação uma atividade de 904Bq/cm^2 . Valor este acima dos limites derivados considerados neste trabalho. Logo, classifica-se esta unidade como área controlada em relação a contaminação superficial.

Para contaminação interna é uma área livre em situações normais de trabalho; porém no caso de entupimento do reator, situação anormal, passa-se a considerar uma área controlada.

4.5 Classificação das Condições de Trabalho no Bloco 31.

Como se vê no item 4.4, mantivemos a mesma subdivisão por serem ambientes de trabalho diferentes.

4.5.1 Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Precipitação do DUA.

De acordo com a figura 3.6, o trabalhador está em contato contínuo uma hora por dia para cada ponto representado na coluna 1 da tabela 3.17. Logo, considerando a exposição média encontrada para esse local chega-se a um valor de $57\mu\text{C}/\text{ano}$ ($221\text{mR}/\text{ano}$), razão pela qual, podemos considerar o trabalhador submetido a condição de trabalho B.

4.5.2 Classificação das Condições de Trabalho no Setor do Forno de Calcinação.

No que diz respeito à exposição externa os pontos considerados são os apresentados na tabela 3.20, coluna 3. O técnico permanece no máximo 1 hora por dia de trabalho em cada local. Dessa forma, estará submetido a uma exposição média de $80\mu\text{C}/\text{ano}$ ($310\text{mR}/\text{ano}$), significando uma condição de trabalho B para exposição externa.

Para contaminação interna vemos pela tabela 3.36 que no máximo medimos uma concentração de material radioativo no ar três vezes abaixo do nível de investigação, portanto, típico de uma Condição de Trabalho B⁽²¹⁾.

4.5.3 Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Produção de UF₄.

Quanto à exposição externa encontrada nos pontos 1 e 2 da tabela 3.23 coluna 3, temos a considerar que o tempo de permanência do técnico nestes pontos por dia são respectivamente uma hora, logo ele estará submetido a uma exposição anual de 38 μ C/ano (147mR/ano) para o ponto 1 e de 36 μ C/ano (139mR/ano) para o ponto 2. Essas exposições apresentam condições de Trabalho B para essa unidade.

Quanto à situação anormal, tal como, o entupimento do reator de leito móvel, vê-se pela tabela 3.39 que as concentrações estão bem abaixo dos níveis de investigações reais, razão pela qual apresenta uma condição de Trabalho B⁽²¹⁾.

4.6 Soluções Propostas para o Bloco 31.

De acordo com a figura 3.6 ponto 7 verifica-se ser inapropriado utilizar este local para carregamento de bandejas.

Sugerimos que seja utilizado um local fechado a fim de melhorar as condições de trabalho sob o ponto de vista de radioproteção.

Quanto à alimentação do silo do reator de leito móvel ver figura 1.8 ponto 1 dever-se-á fixar uma tampa rosqueada ao balde de aço inox que acondiciona o material a ser despejado no silo. Este procedimento é um fator de segurança, pois em caso de queda pode-se evitar uma dispersão do material radioativo.

Quanto ao despejo de fumaça esbranquiçada pela saída da exaustão do forno de calcinação, no pátio da instalação há muita controvérsia, pois os trabalhadores do setor de manutenção sen tem-se prejudicados alegando estarem inalando fumaça contendo u rânio.

Por causa dessa questão realizamos monitorações de ar na saída da exaustão do forno de calcinação (F.C.).

Selecionamos o maior valor encontrado entre as monitorações realizadas.

Utilizamos uma bomba Millipore para fazer a sucção com va zão de 33l/min. A fumaça que deixava o sistema de exaustão foi dirigida para dois vidros contendo água. Após um espaço de tempo de 185 minutos desligamos a bomba de vácuo e enviamos as amo stras ao laboratório de Bioanálise do Departamento de Proteção Ra diológica.

Pelo método fluorimétrico⁽⁴⁰⁾ detectou-se a massa de urânio liberada nesse período.

O vidro 1 continha 180 μ g de urânio, o vidro 2 continha 46 μ g de urânio; para um volume de água isento da absorção dessa fuma ça de 17 μ g de urânio (branco da amostra).

Calculou-se a eficiência de retenção fazendo a diferença en tre os resultados encontrados para o vidro 1 e 2 dividindo pelo resultado encontrado no vidro 1 e multiplicando-se por 100%. Ob tivemos 82% de eficiência.

Dividindo-se as quantidades de urânio encontradas no vidro 1 pela eficiência calculada chegamos a 220µg de urânio. O volume de ar que passou pela bomba de vácuo durante o tempo de monitoração foi de 6,1m³, correspondendo a uma concentração de 36µg de urânio/m³ equivalente a 0,9Bq/m³.

Para o exaustor do f.c. calculou-se a vazão liberada por dia, considerando um diâmetro de 30cm e uma velocidade de 52m/min.

Dessa forma, o exaustor descarrega por dia 5.290m³ de fumaça correspondendo a 4.761Bq/dia.

Sabendo-se que o Indivíduo do público respira 7.300m³ de ar durante o ano e que a instalação trabalha 250 dias no ano teremos o Indivíduo do público respirando 5.000m³ de ar em 250 dias ou 20m³ de ar por dia.

A C.D.A. para urânio natural classe W é de 10Bq/m³ logo para o Indivíduo do público ter-se-á 1/10 desta concentração portanto 1Bq/m³.

Considerando-se o volume de ar respirado pelo Indivíduo do público com a C.D.A. para ele chega-se a 20Bq/dia. Logo, a fumaça que é descarregada pela exaustão do forno de calcinação deve ser diluída em um volume que não permita que o indivíduo do público inale acima de 20Bq/dia.

Logo,
$$\frac{\text{Atividade liberada}}{\text{Volume de diluição da fumaça}} = 20\text{Bq/dia.}$$

Este volume é de 238m³. A partir desse volume calculou-se a distância que o indivíduo do público deveria ficar para que não inalasse essa atividade de 20Bq/dia.

Considerou-se o indivíduo do público na mesma altura do ponto de descarga.

$$\frac{4}{3} \left(\frac{5 R^3}{2} \right) = 238$$

A distância que o indivíduo do público deveria estar seria de 4,85m. Esta distância enfatiza que nenhum indivíduo do público está sujeito a qualquer contaminação em virtude da descarga da exaustão do forno de calcinação.

Para o trabalhador sabemos que ele respira 2.500m³ de ar durante o ano de trabalho para 250 dias de trabalho; logo este respira 10m³ de ar/dia podendo inalar 100Bq/dia, pois a C.D.A. para urânio natural classe W é de 10Bq/m³ conforme já relatamos.

Para esta atividade de 100Bq/dia o volume de dispersão da fumaça que deixa o forno de calcinação está reduzido de um fator 5 quando comparado com o volume calculado para o indivíduo do público. Para um volume de 47,61m³ o trabalhador deveria se situar a 2,8m a fim de não inalar a fumaça liberada no pátio da instalação.

Tal fato vai de encontro à segurança, pois na realidade há essa descarga a uma altura de 3m do Trabalhador.

Como os trabalhadores do setor de manutenção encontram-se a

22m do ponto de descarga conclui-se que a inalação de urânio é desprezível.

4.7 Classificação das Áreas na Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio.

Examinando a tabela 3.41 e a figura 3.11 pode-se verificar que o piso térreo da torre e o local de armazenagem dos vasos 48Y são classificados como área controlada, enquanto que o piso referente ao setor dos cristalizadores primários especificamente suas válvulas é considerado como área supervisionada. Os demais pisos são considerados área livre.

Quanto à contaminação superficial podemos verificar pelas tabelas 3.42, 3.43 ser área controlada. Relativamente à contaminação do ar ver tabela 3.44 considera-se os pisos térreo e quinto como áreas controladas, os demais como áreas livres.

4.8 Classificação das Condições de Trabalho na Unidade de Produção de UF₆.

De acordo com a tabela 3.41 os pontos 1, 2, 3, 6 e 10 são considerados áreas controladas. Os trabalhadores permanecem 20, 30 e 15 minutos diariamente, nos pontos 1, 2, 3; uma hora por dia no ponto 6 e uma hora duas vezes por mês no ponto 10. Assim, os trabalhadores submetem-se a uma exposição média anual de 80µC/ano (310mR/ano).

Para essa faixa de exposição enquadramos esses pontos dentro de uma condição de trabalho B.

Quanto às monitorações de ar executadas no piso térreo e quinto, os níveis de investigação apresentam-se bem abaixo dos N.I. reais, portanto mostrando uma condição de Trabalho B⁽²¹⁾.

4.9 Soluções Propostas para a Torre de UF₆

Deve-se melhorar os procedimentos de carregamento, descarregamento de bandejas e silo de alimentação pois estas tarefas obrigam o trabalhador a manusear pó de UF₄ dentro da torre de UF₆.

A solução é fazer uso do projeto básico da torre que utiliza uma peneira vibratória que separa o pó de UF₄ de acordo com as condições de processo e alimenta o silo de UF₄ automaticamente.

4.10 Vestiário

Apresentamos nos itens 3.1.1 e 3.1.2 os respectivos vestiários A e B por onde o trabalhador é o usuário.

Pelas tabelas 3.1 e 3.2 apresentadas para o vestiário A e B respectivamente encontramos os pontos E₅ e E₆ do vestiário A duas vezes contaminados e para o vestiário B os pontos E₁₁, E₁₂ três vezes contaminados, E₅, E₇, E₉ e E₁₃ duas vezes e os pontos E₃, E₈, E₁₀, E₁₄ e E₁₅ uma vez contaminado. O que chama atenção é o fato que para o vestiário A o ponto E₆ representa o local de entrada do vestiário quando regressamos da usina ver figura 3.1, já para o vestiário B o mesmo se repete para os pontos E₁₁ e E₁₂.

Sendo o ponto E_3 do vestiário B ver figura 3.3 uma exceção, pois apresenta-se contaminado dentro do setor de área inativa. Isto faz com que percebamos a importância da monitoração em pontos específicos nos vestiários, pois a partir dessas monitorações poderemos detectar as situações anormais que tenham ocorrido nas instalações e que não foram detectadas in loco. Sugerimos então que o ponto E_6 do vestiário A e o ponto E_{12} do vestiário B sejam monitorados a cada mudança de turno, pois serão os primeiros a ser contaminados em caso de uma situação anormal não detectada "in loco".

Deverá haver uma monitoração completa dos vestiários nos pontos enumerados nas figuras 3.1 e 3.3, uma vez detectada contaminação nesses dois pontos.

Neste caso proceder-se-á também a monitoração das botas dos servidores daquele turno para que seja detectado qual delas provocou a contaminação dos pontos E_6 ou E_{12} . Uma vez detectada a bota procura-se o usuário e traça-se o perfil de onde esteve prestando serviço durante o turno. Desta maneira faremos monitorações em todos os locais onde essa pessoa passou a fim de descobrirmos o foco que provocou a contaminação na entrada dos vestiários. A seguir far-se-á um estudo de como poderá ser modificada a monitoração para que seja detectada "in loco" e evitada outra situação anormal análoga.

Deste modo a monitoração completa dos dois vestiários não necessita ser frequente. Basta que seja feita, semanalmente, com objetivo único de evitar casos excepcionais como aquele detectado no ponto E_3 do vestiário B.

4.11 Programa de Monitoração

Com a finalidade de escolher os pontos de monitoração das diferentes unidades que integram as instalações do MT e MH, montamos as tabelas 4.2 a 4.6 onde estão resumidos os resultados discutidos nos itens 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7 e 4.8 deste capítulo. A partir de cada tabela discutiremos a montagem de um programa de monitoração.

Quanto à tabela 4.2 esclarecemos que os locais selecionados para a monitoração para exposição externa são: a capela de pesagem, o setor de dissolução, os filtros de vácuo, o conjunto de válvulas, os tanques contendo N.U.I., a coluna de extração, a lavagem e reextração, o tanque de armazenagem de NUP representados pelos pontos localizados no piso inferior, os tanques contendo N.U.I., o tanque de estocagem da fase aquosa provinda da coluna de extração, o reator de precipitação R 102, o tanque de estocagem da fase aquosa provinda da coluna de lavagem representados pelos pontos localizados no piso superior.

A frequência da monitoração será diária para a capela de pesagem, os filtros de vácuo, os tanques contendo N.U.I., a coluna de extração; o setor de dissolução será monitorado todas as vezes que estiver fazendo carga no R 101. Os demais equipamentos serão monitorados semanalmente por representarem áreas supervisionadas e provavelmente de situação anormal desprezível.

A frequência de monitoração do local de trabalho para contaminação superficial será quinzenal. Objetivando reduzir os níveis de contaminação para esta unidade. Introduziremos um programa de descontaminação baseado nos resultados dos esfregos feitos.

Tabela 4.2 - Unidade de Purificação - Bloco 30

	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
	*Especificação dos Locais	Classificação da Área	Condições de Trabalho	Monitoração Individual	E.P.I.
Monitoração do local de Trabalho para exposição externa	. capela de pesagem	Área Controlada	A	Externa	Dosímetro
	. setor de dissolução				
	. filtro de vácuo				
	. conjunto de válvulas				
	. tanque com N.U.I.	Área Supervisionada	B	-	-
. Coluna de extração					
. coluna de lavagem					
. coluna de reextração	Área Livre	-	-	-	
. R 102					
. tanques com N.U.P.					
Monitoração do local de Trabalho para contaminação de superfície.	Todos os equipamentos e respectivos pisos representados esquematicamente na figura 3.5	Área Controlada para o setor de pesagem, dissolução e colunas	B	Pele	Luvas
Monitoração do local de Trabalho para contaminação do ar	Setor de pesagem Setor de dissolução	Área supervisionada exceção para situações anormais	B	Interna**	Escafandro, calça, luvas PVC

* Os pontos de monitoração dos locais especificados encontram-se representados na figura 3.5

Para a monitoração do local de trabalho para contaminação do ar monitoraremos quando estiverem executando as tarefas de pesagem ou de alimentação do R 101. Para os demais locais não haverá monitoração do ar.

A coluna 3 da tabela 4.2 mostra uma condição de trabalho B para o caso de monitoração do ar e portanto não haverá a necessidade de uma monitoração individual interna como foi colocada na coluna 4.

Tomamos essa atitude em virtude da freqüência de situações anormais que ocorrem, por exemplo, no item 4.2.

A freqüência de análise de urina para os trabalhadores será feita uma vez por mês.

Tabela 4.3 - Unidade de Precipitação do DUA. Bloco 31.

	Especificação dos Locais	Classificação da Área	Condição de Trabalho	Monitoração Individual	E.P.I.
Monitoração do local de trabalho para exposição externa	1º e 2º andares	Área Controlada	B	-	-
Monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície	1º e 2º andares	Área Controlada	B	-	Luvas, óculos de proteção

Quanto à tabela 4.3 os primeiro e segundo pisos são moni
torados para o local de trabalho quanto a exposição externa se
manalmente, pois de acordo com o item 47 da C.I.P.R. (30) podem
ser caracterizados como locais em que os campos de radiação não
são sujeitos a variações exceto como resultado de alterações nos
processos efetuados no local de trabalho.

Neste caso a monitoração de rotina só é necessária para pro
pósitos de comprovação.

A monitoração do local de trabalho para contaminação de su
perfície será numa frequência quinzenal.

Neste local não temos necessidade de fazer a monitoração do
local de trabalho para contaminação do ar, uma vez que o mate
rial N.U.P. se encontra na forma líquida e o DUA precipitado na
forma de um sólido úmido (filtro rotativo). Portanto, não há a
necessidade de monitoração individual interna.

Tabela 4.4 - Forno de calcinação. Bloco 31.

	Especificação dos Locais	Classificação da Área	Condição de Trabalho	Monitoração Individual	E.P.I.
Monitoração do local de trabalho para exposição externa	Entrada e saída do forno	Controlada	B	-	-
Monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície	Entrada e saída do forno	Controlada	B	Pele	Óculos de segurança, máscara semifacial, luvas
Monitoração do local de trabalho para contaminação do ar	Entrada e saída do forno	Controlada	B	Interna*	Máscara facial, semifacial, óculos, luvas

* Pela tabela 3.25 alcançamos níveis superiores do N.I. em situações normais de trabalho, e portanto, por medida de segurança, é aconselhável fazer a monitoração individual interna.

A monitoração do local de trabalho para exposição externa neste local terá uma frequência semanal para a entrada e saída do forno. Pelos mesmos motivos apresentados quando discutimos a tabela 4.3, item 47 do C.I.P.R. (30).

Para a monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície os locais escolhidos são os representados pelos números de 1 a 8 na figura 3.7 para monitoração do piso. A frequência da monitoração superficial será quinzenal pelos mesmos motivos apresentados no item 56 da C.I.P.R. (30).

Uma vez que o local de carregamento de bandejas é feito sob a unidade de precipitação do D.U.A. (ver figura 3.6) e a descarga de bandejas na saída do forno de calcinação correspondendo ao ponto 2 (Ver figura 3.7) selecionamos esses dois locais para monitoração uma vez em cada turno, isto é, sempre que estiverem operando.

Como no caso mencionado na discussão da tabela 4.2, faz-se monitoração individual interna por análise de urina aos trabalhadores destes locais, pois como foi mostrado na tabela 3.25 pode-se alcançar níveis superiores ao N.I. em situações normais de trabalho.

Tabela 4.5 - Unidade de Produção de Tetrafluoreto de Urânio UF₄ . Bloco 31.

	Especificação dos Locais	Classificação da Área	Condição de Trabalho	Monitoração Individual	E.P.I.
Monitoração do local para exposição externa	Piso térreo 2º piso	Supervisionada	B	-	-
Monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície	Piso térreo 2º piso	Controlada	B	Pele	Luvas, óculos de segurança
Monitoração do local de trabalho para contaminação do ar	Piso térreo 2º piso	Controlada*	B	Interna	Escafandro Máscara facial Semifacial Luvas

* Só é controlada na situação anormal de entupimento do reator de leito móvel caso contrário é livre.

As monitorações do local de trabalho para radiação externa para os pisos da torre de UF4 serão feitas numa frequência semanal, salvo ocorra algum fato excepcional.

Novamente estamos na mesma situação anteriormente mencionada pelo item 47 da C.I.P.R. (30).

A monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície será realizada quinzenal.

Quanto à monitoração do local de trabalho para contaminação do ar devemos informar que como mostrado na tabela 3.36 a área é livre porém na situação anormal de entupimento do reator de leito móvel torna-se uma área controlada; razão pela qual a monitoração do ar é necessária nesta situação.

Dentro deste contexto também justificamos a monitoração individual interna, após o término do trabalho ainda que seja uma condição de trabalho B, como medida de segurança.

Tabela 4.6 - Unidade de Produção de UF₆

	Especificação dos Locais	Classificação das Áreas	Condição de Trabalho	Monitoração Individual	E.P.I.
Monitoração do local de trabalho para exposição externa	. Térreo	Controlada	B	-	Dosímetro
	. Setor de armazenagem dos vasos 48Y				
	. 5º andar	Livre			
	. Demais andares da torre				
Monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície	Pisos da torre	Controlada	B	Pele	Luvas Óculos de Segurança
Monitoração do local de trabalho para contaminação do ar	. Térreo	Controlada	B	Interna	Escafandro, calça, luva de pvc, máscara facial, semifacial
	. 5º andar				
	. Demais andares da torre	Livre			

A monitoração do local de trabalho para radiação externa no andar térreo será feita em duas vezes por semana, a fim de verificar quanto as barricas de UF_4 ou cinzas, depositadas neste local, estão irradiando.

O local de armazenagem dos vasos 48Y serão monitorados semanalmente, e também após descargas. Para o quinto andar faremos monitorações durante a alimentação do silo. Caso não seja possível acompanharmos a alimentação este local será monitorado a posteriori.

Quanto à monitoração do local de trabalho para contaminação de superfície, faremos para esses locais especificados na tabela 4.6 monitorações numa frequência quinzenal.

As monitorações do local de trabalho para contaminação do ar serão realizadas sempre que tivermos o manuseio de pó de UF_4 ou cinzas pelos trabalhadores na torre.

A frequência será determinada de acordo com a execução das tarefas. Razão pela qual a monitoração introduzida é do tipo operacional conforme definição no parágrafo 33 da C.I.P.R. (30)

Exames de urina desses trabalhadores serão feitos mensalmente ou após o aparecimento de situação anormal.

Ainda que não justificada para uma condição de trabalho B por medida de segurança a faremos durante um período de seis meses ou um ano.

Este programa de monitoração em condições normais de operação será reavaliado a cada seis meses.

Após esse período serão discutidos os resultados, verificando se as classificações dos locais de trabalho, condições de trabalho e pontos escolhidos para as monitorações bem como o tipo de monitoração e suas frequências permanecerão ou deverão se feitas novas programações.

C A P Í T U L O 5

AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS SITUAÇÕES ANORMAIS

Neste capítulo descreveremos as principais situações anormais que possam ocorrer no MT, MH e avaliar entre elas quais poderiam ser caracterizadas como acidentes radiológicos.

5.1 Descrição das Possíveis Situações Anormais

Inicialmente, verificaremos os locais onde possam ocorrer situações anormais mantendo o mesmo esquema do capítulo 3 e 4. Começaremos pelo bloco 30.

5.1.1 Unidade de Purificação

Para este local encontramos três situações que podem levar a situações anormais em relação ao pó do concentrado de urânio manuseado na instalação.

Para o ponto 1 da figura 3.5, capela de pesagem, podemos verificar que caso o técnico não obedeça os procedimentos de pesagem pode ocorrer uma situação anormal.

Encontramos situações que ao contrário do técnico utilizar um acondicionamento apropriado para conter o concentrado de urânio durante a pesagem, ele utiliza um saco plástico. Por causa dessa displicência ao manusear o material ocorre rompimento do recipiente dando origem a uma contaminação do local de trabalho e das vestimentas do técnico.

Para o setor de dissolução, já encontramos técnicos realizando a tarefa de alimentação do R 101 sem o domínio da situação.

Isto foi observado durante as monitorações de ar apresentadas na tabela 3.9, onde os comentários aparecem nas discussões das tabelas 3.11 e 3.12 do capítulo 3.

Entre o período de pesagem e dissolução existe a tarefa de transportar a bombona para o setor de dissolução. Os técnicos quase nunca fecham a bombona durante o pequeno trajeto do ponto 1 ao ponto 3 (ver figura 3.5). Este simples fato pode dar origem a uma situação anormal.

Dentro desta unidade apenas os pontos 1 e 3 causariam situações anormais envolvendo o pó do concentrado de urânio.

Quanto à parte líquida há pontos na Unidade de Purificação que levarão a situações anormais, por exemplo, o transbordamento do R 101 e vazamentos em tanques.

Caso o técnico manuseie um concentrado de urânio calcinado haverá necessidade de adicionar o pó vagorosamente ao reator, pois senão poderemos ter um transbordamento dele já na forma de solução de nitrato de urânio impuro. Neste caso não haverá problemas de inalação do pó, mas ocorrerá contaminação superficial do local de trabalho.

Os tanques que contêm solução de nitrato de urânio impuro, por exemplo, V 107 - V 108 representados pelos pontos 5 e 5' p.I., V 121 - V 109 representados pelo ponto 6 da figura 3.5;

os tanques que contêm solução de nitrato de urânio puro V T01, V 119 e V 120 p.I. representados pelos pontos 11, 12 e 16 da mesma figura 3.5 podem transbordar caso os técnicos da unidade não executem suas funções adequadamente.

Um caso pior poderá ocorrer se houver rompimento em algum ponto de soldagem dos tanques, especialmente perto de válvulas.

Este tipo de situação anormal é evitado realizando-se inspeção periódica pela equipe de manutenção do local. O serviço de proteção radiológica local é encarregado de fiscalizar as inspeções periódicas e realizar algumas com a finalidade de ter certeza de que não houve alteração no sistema de segurança.

Em dezembro de 1986 ocorreu um derrame de nitrato de uranilo puro do V 120 por causa do rompimento inesperado de uma soldagem antes da válvula deste tanque.

O técnico tentou parar o vazamento mas não teve como estancá-lo. A solução foi recolher o material em bombonas, o mais rapidamente possível.

O técnico mesmo usando óculos de proteção, teve os olhos irritados, pois a solução de N.U.P. respingou para dentro do visor do óculos de segurança, atingindo seu olho. Esta solução estava fracamente acidulada. O uniforme do técnico ficou todo contaminado com a solução N.U.P.

Ainda quanto à situação anormal referente a parte líquida há os vazamentos que ocorrem no filtro coalescedor (ver figu

ra 1.5) entre as colunas de extração e lavagem.

Quanto ao problema de gases no capítulo 1 item 1.3.2.1 , mostramos que havia desprendimento de gases durante a fase de dissolução e no capítulo 4 item 4.3 está a solução adotada; razão pela qual dificilmente ocorrerão situações anormais referentes ao escape de gases para essa unidade.

5.1.2 Bloco 31

5.1.2.1 Unidade de Precipitação do DUA

Para esta unidade, no que diz respeito a situações anormais por espalhamento de pó, pode-se afirmar que no processo de precipitação do DUA não há dispersão desse material. Entretanto, na Unidade de Precipitação do DUA encontramos os técnicos carregando bandejas com DUA seco para serem colocadas na entrada do forno para calcinação e conseqüentemente existe a possibilidade de dispersão de pó caso haja derramamento da bandeja (ver figura 3.6 ponto 7).

Quanto à parte líquida podem ocorrer derrames durante a transferência do N.U.P. para os tanques V 119B - V 119C localizados no segundo piso da torre da Unidade de Precipitação (ver figura 3.6). Existe a possibilidade de um transbordamento destes , caso os técnicos não estejam atentos na execução desta tarefa.

No período de filtração em vácuo do D.U.A. é necessário verificar o nível da bacia deste filtro que retém o filtrado precipitado do DUA, a fim de que não ocorra transbordamento deg

ta água, pois contém alguma quantidade de urânio e consequentemente dar origem a uma contaminação superficial no piso da instalação.

5.1.2.2 Forno de Calcinação

Na entrada e saída do Forno trabalha-se com o material DUA seco e UO_3 calcinado.

O UO_3 calcinado sai em bandejas e o técnico o transfere para um balde de aço inox de capacidade para 20 quilos dentro da capela do forno correspondendo ao ponto 2 da figura 3.8.

Todo esse manuseio do UO_3 em forma de pequenas plaquetas deve ser cuidadosamente executado, pois caso ocorra algum derrame desse material haverá dispersão de pó por esta região.

5.1.2.3 Torre de Produção de UF_4

Para esta unidade temos as plaquetas de UO_3 sendo descarregadas no silo de alimentação localizado no segundo piso da torre (ver figura 3.9). Caso ocorra um entupimento do reator de leito móvel estaremos dentro de uma situação anormal, pois teremos que descarregar o reator pela Rosca Transportadora ou via silo de Alimentação.

5.1.3 Torre de Produção de UF_6

Ocorrerá uma situação anormal caso haja derramamento de bombonas contendo cinza ou pó de UF_4 no piso térreo da torre.

No caso das cinzas a situação anormal pode ocorrer durante a retirada do colhedor do reator de chama (ver figura 1.9) e no caso do UF_4 durante a tarefa de transferência para o quinto piso onde está localizado o silo de alimentação.

Poderá ocorrer vazamento de gases de UF_6 na região dos cristalizadores localizados no sexto piso da torre. Entretanto, logo após o escape o UF_6 transformar-se-á em fluoreto de urânio na forma de um pó amarelo denso, seguido de liberação de ácido fluorídrico.

Neste caso, para efeito de contaminação do trabalhador, consideraremos a contaminação interna, tendo em vista o pó de urânio que se depositará na região de vazamento.

5.2 Detecção das Situações Anormais

Para cada unidade descrita no item 5.1, informamos que em todas elas a detecção da situação anormal é feita primeiramente por visualização simples e direta, englobando o pó, o líquido e o gás.

Em segundo lugar pelo programa de monitoração elaborado para cada unidade ou setor, qualquer alteração nos níveis de trabalho possibilitará a detecção de um evento anormal não observado visualmente.

As monitorações de contaminação de superfície indicarão se os limites derivados de trabalho estão sendo mantidos ou excedidos. Quando excedidos um levantamento da situação deverá ser realizada.

Nas monitorações de ar, que estão abrangendo pontos críticos do processo em relação à liberação de aerossóis, um resultado acima do N.I. para uma situação normal indicará uma alteração nos níveis de radiação que vinham sendo encontrados até então, e portanto, uma caracterização de uma situação anormal.

Conseqüentemente, os exames de urina que são realizados em determinados períodos (ver tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 do item 4.11 no capítulo 4) revelarão as alterações que possam estar ocorrendo durante as fases do processamento químico do concentrado de urânio nos trabalhadores das referidas unidades e setores, e portanto, caracterizar situações anormais. Como quarta alternativa de detecção de uma situação anormal, existe a monitoração operacional introduzida nos vestiários como é mostrado no item 4.10 do capítulo 4.

5.3 Caracterização de uma Situação Acidental

Caracteriza-se uma situação acidental, em proteção radiológica, quando os níveis de radiação alcançam ou prevê-se alcançar valores superiores aos níveis do LAMA em um único evento. Trabalhar com os níveis do LAMA é difícil do ponto de vista prático. Por este motivo pode-se dizer que caracterizamos uma situação de acidente quando o valor excede o índice de dose equivalente, limite anual para irradiações externas ou o LIA para irradiações internas ou uma combinação de ambos.

Dessa maneira, nem toda situação anormal caracteriza uma situação acidental em proteção radiológica. Partindo dessa definição, neste item procuraremos verificar dentre as possíveis situações anormais enumeradas no item 5.1 quais poderão ser caract

terizadas como situações acidentais.

Para as Unidades de Purificação, Precipitação do DUA, Produção de UF_4 e Produção de UF_6 , a situação acidental que podem ser encontradas são referentes ao derramamento de bombonas, bandejas e baldes para cada unidade acima apresentada contendo pó de urânio. Examinaremos, cada uma delas, separadamente.

5.3.1 Discussão da Situação Acidental na Unidade de Purificação

Para essa unidade existe uma possibilidade de haver derrame da bombona contendo concentrado de urânio, isto pode ocorrer durante o transporte da bombona do ponto 1 para o ponto 3 (ver figura 3.5), uma vez que o técnico tem de subir um lance de escada até alcançar o ponto 3 do setor de dissolução.

O maior risco está justamente em subir os degraus pois existe a possibilidade do derrame de material. Geralmente, dois técnicos transportam a bombona. Como nem todas as bombonas possuem alças laterais pode ocorrer alguma dificuldade em seu manuseio.

Para nossa análise compararemos o material que os técnicos poderiam inalar durante um derrame da bombona para uma massa correspondente ao limite de incorporação anual, LIA, em um ano de trabalho.

O valor do LIA para o concentrado de urânio classe W é de $3.10^4 \text{ Bq}^{(9,17)}$ que equivalem a 1,2 gramas em massa, pois uma micrograma de urânio natural corresponde a $2,5.10^{-2} \text{ Bq}^{(42)}$.

A bombona contém 50 quilos de concentrado de urânio, porém ao derramar não será toda essa massa ressuspensa. Por isso adotaremos que 10% dessa massa se difunda pela unidade.

O volume foi calculado considerando uma difusão da nuvem de aerossóis de $9m^3$, considerando o trabalhador envolto por essa nuvem e ele não esteja usando máscara respiratória.

A MAZ PÁGINA 207A

5.3.2 Discussão de Situação Acidental no Bloco 31

5.3.2.1 Unidade de Precipitação do D.U.A. (Ver Figura 3.6 ponto 7

Para esse local o técnico carrega bandejas com D.U.A. seco para serem calcinadas no forno de calcinação.

Uma bandeja carregada pesa 5.800gramas, ela vazia pesa 3.650gramas, logo, em média o técnico coloca 2.150gramas de material para ser calcinado.

Se ocorrer algum derrame da bandeja haverá dispersão do material. Considerando a pior hipótese que seria a queda de todas as bandejas carregadas, o volume atingido seria de $8m^3$ considerando a área de maior probabilidade de difusão do pó $4m^2$ para uma altura acima da zona de respiração do trabalhador, logo 2m de altura.

O técnico ao carregar as bandejas está usando a máscara semifacial; logo ele não incorporaria o pó que se dispersaria.

Por ser o carregamento em local não fechado teríamos

uma concentração de aerossóis a se dispersarem pelo local de trabalho.

Admitindo que 10% dessa massa se difunda chegaríamos a ter uma concentração no ar correspondente à massa de uma bandeja carregada, logo $268,75 \cdot 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que corresponde a $6,72 \cdot 10^5 \text{Bq}$

Por não estarmos considerando o LIA, uma vez que o trabalhador usa máscara para essa tarefa, compararemos este valor a C.D.A. para o urânio natural classe W que é de $10 \text{Bq}/\text{m}^3$ para 2000 horas de trabalho^(9,17). Para a atividade encontrada em virtude do derrame da bandeja enquadramo-nos dentro do nível de interrupção que corresponde a $20.000 \text{Bq}/\text{m}^3$ de acordo com as normas internacionais e $10.000 \text{Bq}/\text{m}^3$ para as normas vigentes no Brasil.

Relacionando a atividade correspondente à concentração no ar, em virtude do derrame das bandejas com a atividade correspondente ao nível de interrupção, encontramos um valor 3 36 vezes acima do nível de interrupção. Este resultado caracteriza uma situação acidental que se difundiria pela instalação, isto é, precipitação do DUA, início do forno de calcinação e corredor do bloco 31.

5.3.2.2 Forno de Calcinação

Qualquer derrame de bandeja na saída do forno de calcinação (ver figura 3.7) estaria em área confinada, isto é, não se propagaria pela instalação.

Portanto, se esses cinco quilos forem uniformemente espalhados sobre o volume de ar considerado ter-se-á uma concentração de material radioativo correspondente a $5,55.10^8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sabendo-se que o homem referência ⁽²⁷⁾ respira 20 litros de ar por minuto, podemos calcular quantos litros de ar o trabalhador respiraria para um determinado tempo. Fizemos alguns ensaios junto ao trabalhador e observamos que para uma situação acidental ele gastaria de 3 a 4 segundos para escapar da nuvem de aerossóis.

Os próprios técnicos concordam com esse tempo, porém por sermos mais a favor da segurança estabelecemos um tempo de 10 segundos para o técnico deixar a nuvem radioativa. Para esse tempo o técnico respira 3,33 litros ou $3,33.10^{-3} \text{ m}^3$ de ar. Logo, a fração da concentração dispersa no ambiente de trabalho que o trabalhador inalaria seria de $1,85.10^6$ microgramas de urânio ou seja $4,6.10^4$ Bq em atividade.

Ao compararmos esse resultado com o valor tabelado para o LIA detectamos uma situação acidental para a unidade de purificação em virtude do derramamento da bombona contendo o concentrado de urânio.

Durante a alimentação do silo (ver ponto 1 da figura 1.8) com o material UO₃ calcinado existe a possibilidade de uma situação acidental, uma vez que o técnico tem de subir escadas com um balde contendo em média 12 quilos de UO₃, até o segundo piso da torre.

Os técnicos executam esta tarefa quatro a cinco vezes por turno, admitindo estarmos trabalhando em condições ótimas de processo.

Supondo haver um derrame do balde à altura de 3 metros a dispersão do pó atingiria aproximadamente um volume de 12m³.

Sendo os patamares das escadas perfuradas ao derramar o balde o material UO₃ atingiria o piso térreo da unidade e envolveria alguns trabalhadores que estivessem circulando pelo local.

Logo, a concentração dispersa no ambiente de trabalho seria de 1.10^9 µg/m³. Supondo as mesmas condições apresentadas no item 5.3.1 o trabalhador incorporaria uma massa de urânio equivalente a 3,33 gramas correspondendo a $8,32.10^4$ Bq. Valor este que se comparado ao LIA esta quase três vezes acima evidenciando uma situação acidental.

5.3.3 Torre de Produção de UF₆

Nesta unidade, os técnicos transportam bombonas contendo UF₄ com capacidade de 50 quilos cada do piso térreo até o quinto

piso sempre que há necessidade de alimentar o silo.

Na tabela 5.1 resumimos os dados por nós encontrados:

A coluna 1 localiza os possíveis pontos onde poderá haver derrame da bombona. Ver figura 3.11;

A coluna 2 representa o provável volume ocupado pelos aerossóis após o derrame da bombona, considerando uma área de dispersão mínima de $4m^2$;

A coluna 3 evidencia a concentração encontrada em cada ponto. Expressa em microgramas por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

A coluna 4 registra a fração da concentração dispersa que o trabalhador inalaria. Expressa em micrograma.

A coluna 5 representa a atividade expressa em Bq correspondente a cada fração inalada apresentada na coluna 4.

Tabela 5.1 - Dados calculados para uma situação de acidente na torre de UF_6 .

Coluna 1 Possíveis Pontos de Derrame da Bombona	Coluna 2 Volume Ocupado pelos Aerossóis Dispersos m^3	Coluna 3 Concentração $\mu g/m^3$	Coluna 4 Fração de Aerossóis Dispersa μg	Coluna 5 Atividade Bq Correspondente a cada Fração Inalada
X_1	9,20	$5,43.10^8$	$1,81.10^6$	$4,52.10^4$
X_2	5,60	$8,92.10^8$	$2,97.10^6$	$7,42.10^4$
X_3	9,20	$5,43.10^8$	$1,81.10^5$	$4,52.10^4$
X_4	10,00	$5,00.10^8$	$1,66.10^6$	$4,15.10^4$
X_5	8,80	$5,68.10^8$	$1,89.10^6$	$4,73.10^4$

Comparando os resultados apresentados na coluna 5 com LIA encontramos uma situação de acidente para o derrame da bombona

5.4 Intervenção nas Situações Anormais a fim de Restabelecer as Situações Normais

Voltando ao item 5.1, onde examinamos todas as possíveis situações anormais, decreveremos neste item como será feita a intervenção com a finalidade de reestabelecer a condição normal de trabalho.

Neste procedimento trataremos das situações anormais causadas por pó ou líquido independente de onde ele ocorreu pois o procedimento para o retorno à situação normal é o mesmo. Começaremos pelas situações anormais provocadas por derrame de pó.

5.4.1 Situações Anormais Provocadas por Derrame de Pó

No caso de um derrame de pó o procedimento para o trabalhador segue os itens seguintes:

- a) O trabalhador deverá dirigir-se ao vestiário para tomar um banho completo e ao mesmo tempo alguém avisa a proteção radiológica. Um técnico da proteção radiológica se dirige ao vestiário para efetuar as monitorações e recolher o dosímetro de corpo inteiro para sua leitura;
- b) O uniforme deverá ser trocado e enviado ao laboratório de descontaminação;
- c) Após o banho o indivíduo será monitorado a fim de verificar se ainda persiste alguma contaminação superficial;
- d) Solicitação de exame de urina para o trabalhador envolvido na

*A urina deverá ser coletada por ^o 1^o hora
do período período correspondente*

situação anormal e aos demais trabalhadores que caso tenham inalado algum pó;

e) O supervisor de proteção radiológica do local deverá questionar junto ao trabalhador as causas que o levaram a situação anormal;

f) Colocar este trabalhador na agenda da monitoração do corpo inteiro que atualmente vem sendo adotado no IPEN-CNEN/SP;

g) Encaminhar o indivíduo para o serviço médico caso seja necessário fazer alguma inalação.

Procedimentos para a descontaminação do local de trabalho:

a) O serviço de Proteção Radiológica deverá isolar a área contaminada e evitar que alguém circule por ela;

b) Caso haja vento fechar a porta da unidade a fim de evitar ressuspenção do pó de urânio e alastramento da contaminação;

c) O pó de urânio derramado deverá ser recolhido com pá ou aspirador de pó e posto no interior de um saco plástico e este dentro de uma bombona estando o trabalhador usando o seu E.P.I.; este recolhimento do pó deverá ser executado não muito rápido, para evitar propagação do pó;

d) O técnico da Proteção Radiológica deverá rotular a bombona e indicar a taxa de exposição;

e) Os próprios trabalhadores da unidade deverão proceder à descontaminação, munidos de máscara facial, avental de pvc e luvas de cano longo sob a supervisão da Proteção Radiológica;

*esta, de acordo com o relatório, não deve ser feita a
após 24 horas do acidente, pois a partir daí os
de contaminação de partículas e a área de
Vp*

1) O chão deverá ser limpo esfregando-se com um pano úmido e utilizando-se uma solução de ácido nítrico 1 molar ou uma solução de carbonato de sódio 1 molar;

g) Outro pano umedecido com essa solução deverá ser passado pelos equipamentos e estruturas da instalação;

h) Os panos utilizados durante a descontaminação devem ser lavados em bombonas para tratamento posterior;

i) O serviço de Proteção Radiológica deverá estar executando a monitoração do ar desde a fase de acondicionamento do pó derramado até a fase de descontaminação do local;

j) Após a descontaminação do local, o técnico de proteção fará um "croquis" da área delimitando a contaminação para ser registrado em relatório;

k) Deve-se realizar esfregaços para confirmar que a área está descontaminada;

l) Os nomes dos trabalhadores envolvidos na descontaminação do local deverão ser registrados pelo técnico de proteção;

m) O técnico de Proteção Radiológica após monitoração da área onde ocorreu a situação anormal encontrando-a dentro dos níveis normais de exposição e descontaminação liberará a área para retorno as atividades normais.

5.4.2 Situações Anormais Provocadas por Derrame de Líquido Contendo Urânio

No caso de um derrame de líquido, o procedimento para o trabalhador segue os seguintes itens a, b, c, e mencionados no

item 5.4.1.

Caso os olhos do trabalhador tenham sido afetados fa
zer de imediato uma lavagem e em seguida encaminhar o servidor
ao Serviço Médico do IPEN/CNEN-SP.

Procedimentos para a descontaminação do local de traba
lho:

- a) O serviço de Proteção Radiológica deverá isolar a área;
- b) Tomar cuidado para que o líquido não escoe para a linha de esgoto;
- c) O líquido derramado deverá ser absorvido em panos e acondicionado em bombonas, seguido do rótulo indicando a taxa de exposi
ção;
- d) Os próprios técnicos da instalação sob a supervisão da prote
ção Radiológica procederão a descontaminação usando para isso lu
vas de pvc e óculos de proteção;
- e) Os itens f, g, h do item 5.4.1 deverão ser executados;
- f) Mantemos os itens j, k, l, m do item 5.4.1.

5.5 Principais Conclusões do Trabalho

Este trabalho levou-nos a várias conclusões entre as quais destacamos:

a) Monitorar a entrada dos vestiários, Lado Ativo, é um excelente ponto de referência para detectarmos contaminações de superfícies em situações anormais.

Caso detectemos contaminações nesse local o procedimento será investigar as botas de trabalho e determinar a rota de transferência da contaminação;

b) Dentro dos conceitos da nova filosofia é interessante termos os resultados das monitorações sempre em níveis de dose abaixo do N.I. ;

c) Esse trabalho será base para implementação do programa de monitoração a ser submetido à aprovação da CNEN.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

19 Determinação do D.A.M.A. nas diferentes fases do processo de conversão do urânio. Com a finalidade de determinar a C.D.A. máxima admissível mais precisamente e portanto menos restritiva do que aquela assumida neste trabalho.

29 Determinar os fatores de ressuspensão no ar do pó gerado nas diferentes fases do processo de conversão do urânio. Com a finalidade de se obter doses mais precisas recebidas pelos trabalhadores.

39 Reavaliação do programa de monitoração.

Efetuar análise crítica dos resultados apresentados após um ano da adoção do sistema de monitoração sugerido no presente trabalho. Com a finalidade de avaliar os pontos de monitoração quanto a sua necessidade afim de otimizar o sistema rotineiro; aplicando o conceito de proteção radiológica que diz: A monitoração deve ser eficaz e econômica.

Os pontos que apresentarem doses inferiores aos limites dos indivíduos do público não serão monitorados. Os demais pontos devem ser justificados pelas doses recebidas pelos trabalhadores e, portanto, devem ser representativos dos locais de permanência dos trabalhadores.

49 Reavaliação dos pontos fracos sob o ponto de vista de Proteção Radiológica e como saná-los.

Uma vez adotadas as sugestões relativas à segurança apresentadas no presente trabalho e feito o programa de reavaliação aparecerão novos pontos fracos que deverão ser estudados e sanados.

Em poucas palavras, neste trabalho são identificados os bons e maus aspectos dos procedimentos de operação no processo de conversão do urânio em relação à Proteção Radiológica.

1. ABRÃO, A. & FRANÇA JR, J.M. Usina piloto de purificação de urânio por troca iônica em funcionamento no Instituto de Energia Atômica. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, ag. 1970. (Publicação IEA 219).
2. ABRÃO, A. ; IKUTA, A. ; WIRKNER, F.M. ; SILVA, F.P. Produção de flúor elementar no IPEN. Situação atual no Brasil e perspectivas futuras. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, abr. 1981. (Informação IPEN 6).
3. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE Packaging of uranium hexafluoride for transport. Broadway, New York, N.Y., 1982. (ANSI.N. 14.1-1982).
4. BERGERET, M. Usine chimique de Pierrelatte: fabrication du fluor. Énergie Nucléaire. 7 : 93-99, 1965.
5. BIANCO, A. Comunicação pessoal.
6. BRASIL . COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. DEPARTAMENTO DE FISCALIZAÇÃO DO MATERIAL RADIOATIVO. Normas básicas de proteção radiológica. 19 set. 1973. (CNEN-06-73) (Publicado no D.O. nº 180, Brasília, seção I, Pt. II).
7. BRESLIN, A.J. Guidance for air sampling at nuclear facilities. New York, N.Y., Health and safety Lab., 1976. (HASL-312).

8. **CLAYTON, R.F.** Monitoring of radioactive contamination on surfaces. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1970. (Technical report series, 120).

9. **COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES.** Council Directive of 3 September 1984 laying down basic measures for the radiation protection of persons undergoing medical examination or treatment. Council Directive of 3 September 1984 amending Directive 80/836/ EURATOM as regards the basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation. Luxembourg, 1985. (EUR- 9728 en). p.L 265/73.

10. **DETECTION and analysis of particulate contamination.**
Millipore-Filter Characteristics, 26,29,31. October, 1966.
(Catalogo comercial).

11. **FRANÇA JR., J.M.** Unidade piloto de tetrafluoreto de urânio pelo processo de "leito móvel" em operação no IEA. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, jan. 1975. (Publicação IEA 381).

12. **FRANÇA JR., J.M.** Usina piloto de purificação de urânio pelo processo de coluna pulsadas em operação no Instituto de Energia Atômica. São Paulo, Instituto de Energia Atômica , 1972. (Publicação IEA 277).

13. **FREITAS, C.O** Comunicação pessoal.

14. GALKIN, N.P. Production and processing of uranium hexafluoride. In: GALKIN, N.P. & SUDARIKOV, B.N. eds. Technology of uranium. Jerusalem, Israel Program for scientific Translations, 1966. P. 332-36.
15. HIRAYAMA, T. Estimativa da carga corporal de urânio e dose equivalente concomitada a partir dos resultados de análises radiotoxicológicas de urina. São Paulo, 1978. (Dissertação de mestrado, Instituto de Energia Atômica).
16. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic safety standards for radiation protection. Vienna, 1967. (Safety series , 9).
17. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic safety standards for radiation protection. Vienna, 1982. (Safety series , 9).
18. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. The basic requirements for personal monitoring. Vienna, 1980. (Safety series,14).
19. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Manual on safety aspects of the design and equipment of hot laboratories. Vienna, 1981. (Safety series, 30).
20. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiological surveillance of Airbone contaminats in the working enviroment. Vienna , 1979. (Safety series, 49).
21. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic principles for

- occupational radiation monitoring. Vienna, 1987. (Safety series, 84).
22. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Report of Committee II on permissible dose for internal radiation. Oxford, Pergamon, 1959. (ICRP-2).
23. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford, Pergamon, 1966. (ICRP-9).
24. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Report of Committee IV on evaluation of radiation doses to body tissues from internal contamination due to occupational exposure. Oxford, Pergamon, 1968. (ICRP-10).
25. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. III The assessment of internal contamination resulting from recurrent or prolonged uptakes. Oxford, Pergamon, 1969. (ICRP-10A).
26. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Implications of Commission recommendations that doses be kept as low as readily achievable. Oxford, Pergamon, 1973. (ICRP-22).
27. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Report of the task group on reference man. Oxford, Pergamon, 1975. (ICRP-23).

28. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford, Pergamon, 1977. (ICRP-26).
29. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Limits for intakes of radionuclides by workers. Oxford, Pergamon, 1978. (ICRP-30, part I).
30. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. General principles of monitoring for radiation protection of workers. Oxford, Pergamon, 1982. (ICRP-35).
31. ISSA, I.M.; ISSA, R.M.; SHALABY, L.A. Polarographic analysis II. Polarography of uranium in sulphate solutions. Z.-- analyt. Chem., 176 250-56, 1960.
32. JACOBI, W. Internal dosimetry and radiotoxicity of long-lived uranium isotopes. Muenchem, Germany, F.R., Gesells - chaft fuer strahlenschutz, 1980. (GSP-S-686).
33. JAMMET, H. Effets biologiques des radiations ionisantes. In: INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNIQUES NUCLÉAIRES Genie atomique. Saday, 1960. (Bibliothèque des sciences et techniques nucléaires, 1). p.1-10.
34. LEDERER, C.M.; HOLLANDER, J.M.; PERLMAN, I. eds. Table of isotopes. 6. ed. New York, N.Y., Willey, 1967.
35. LEVEL, A. Pierrelatte, préparation on l'hexafluorure d'uranium. Energie Nucléaire, 6 (4): 225-232, 1964.

36. LIPPMANN, M. Filter media for air sampling. In: AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants. 5.3d. 1978. p.N-8.
37. MCGUIRE, S.A. The NRC's limit on intake of uranium ore dust. Washington, D.C., Nuclear Regulatory Commission, Apr. 1983. (NUREG-0941).
38. NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD. Derived limits for surface contamination. Harwell, Nov. 1979. (NRPB-DL2).
39. NUCLEBRÁS. Qualidade de produto exportado. jun. 1987, lote 01/86. (Documento interno).
40. PASSARELI, M.M. Determinação de urânio e trítio em urina de trabalhadores. São Paulo, 1977. (Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêutica, Univ. São Paulo).
41. RADIATION safety. Apostila de curso da Cryovac. Documento interno).
42. Radiological health handbook. Washington D.C. Bureau of Radiological Health, 1970 p. 370.
43. RAMALHO, A.T. Contaminação interna por urânio natural: monitoração pela análise da excreção urinária de pessoal exposto por inalação ocupacional. Rio de Janeiro, 1982. (Dissertação de mestrado, Centro Biomédico, Univ. do Estado do Rio de Janeiro).

44. SEQUEIRA, F.M.C. & ABRÃO, A. Determinação de urânio em materiais fosfatados por polarografia de gota pendente. In: ANAIIS do 39 simpósio brasileiro de eletroquímica e eletroanalítica, São Carlos, 4-7 abril de 1982. São Carlos, S.P. , p. 251-59.
45. STOETZEL, G.A. & FISHER, D.R. Occupational exposures to uranium: processes, hazards and regulations. Richland , Washington, Batelle Pacific Northwest Labs., 1981. (PNL-3341).
46. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Environmental analysis of the uranium fuel cycle. Part 1. Fuel supply. Washington, D.C., Oct. 1973. (EPA-520-9-73-3-8).
47. UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. Applications of bioassay for uranium. Washington, D.C., June 1974. (Regulatory Guide 8.11-74).