

34.072721



BR0343049



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO CRÍTICA DA
RADIOPROTEÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE
RETROSPECTIVA DAS DOSES ASSOCIADAS AO
TRABALHO COM FONTES NÃO SELADAS
DE IODO-131**

JANETE CRISTINA GONÇALVES GABURO CARNEIRO

**Tese apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências
na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

Orientadora:

Dra. Joyce Landmann Lipsztein

São Paulo

1998

**CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO CRÍTICA DA
RADIOPROTEÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE
RETROSPECTIVA DAS DOSES ASSOCIADAS AO
TRABALHO COM FONTES NÃO SELADAS
DE IODO-131**

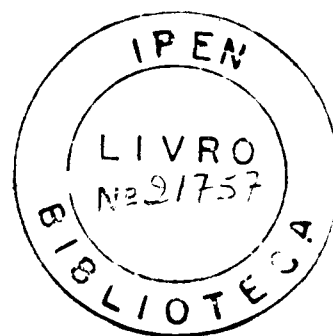
JANETE CRISTINA GONÇALVES GABURO CARNEIRO

**Tese apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do grau de doutor em Ciências
na área de Tecnologia Nuclear- Aplicações.**

Orientadora: Dra. Joyce Landmann Lipsztein

São Paulo

1998



*Aos meus pais, por todo o carinho, incentivo e
apoio nos momentos difíceis.*

Aos meus dois amores, Alvaro e Luíza.

AGRADECIMENTOS

- À Dra. Joyce Landmann Lipsztein, pela orientação da tese, e principalmente pela amizade e confiança demonstrada no decorrer desse trabalho.
- Ao Dr. Gian Maria A. A Sordi, pelo constante apoio, espírito crítico e valiosas sugestões.
- À Dra. Dunstana Rabelo de Melo, pela amizade e contribuição no tratamento estatístico.
- Ao Matias Puga Sanches, supervisor de proteção radiológica do Departamento de Processamento de Material Radioativo, pela constante e inestimável colaboração nas discussões para a realização desse trabalho.
- Ao Francisco Luiz Biazini Filho e Monica Beatriz Mathor pelo apoio ilimitado.
- À Lígia Julião, Adelaide Azeredo, Adriana T. Ramalho, pelo incentivo e apoio e também a todos os colegas do Departamento de Monitoração Individual do IRD-CNEN pela cordialidade e amizade.
- A Dra. Linda V. Caldas, Dra. Letícia por terem proporcionado condições para que pudesse me dedicar a conclusão dessa tese.
- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo, e ao seu superintendente Dr. Claudio Rodrigues, pela oportunidade concedida.
- Aos colegas do Serviço de Calibração e Dosimetria do IPEN, em especial ao Orlando Rodrigues Júnior, ao Alberto Saburo Todo e a todos que de alguma forma colaboraram para o sucesso deste trabalho.

Sumário

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 FINALIDADE E OBJETIVOS	2
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: IODO-131	4
2.1.1 Estudos em Pacientes Portadores de Câncer de Tireóide	5
2.1.2 Estudos em Pacientes Hipertiroideos	5
2.1.3 Estudos em Pacientes com Disfunção Tireoidiana	6
2.1.4 Efeitos do Radioiodo causado por Exposições às Precipitações Radioativas.	7
2.2 PRINCÍPIOS GERAIS PARA A PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	8
2.2.1 Grandezas físicas utilizadas em monitoração individual	9
2.2.1.1 Dose absorvida	9
2.2.1.2 Dose equivalente	9
2.2.1.3 Dose efetiva	10
2.2.1.4 Dose equivalente comprometida , $H_T(\tau)$	10
2.2.1.5 Dose efetiva comprometida , $E(\tau)$	11
2.3 OUTRAS GRANDEZAS FÍSICAS DOSIMÉTRICAS	11
2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES	11
2.4.1 Efeitos Determinísticos ICRP(1991)	11
2.4.2 Efeitos Estocásticos	12
2.5 MODELOS MATEMÁTICO-METABÓLICOS	15
2.5.1 Modelos Biocinéticos para a Monitoração da Contaminação Interna	15
2.5.2 Modelos e Vias de Incorporação	16
2.5.3 Modelo Geral sugerido na publicação 30 da ICRP (1979)	17
2.5.4 Modelo para o Trato Respiratório sugerido na publicação 66 da ICRP (1994)	18
2.5.5 Os novos modelos biocinéticos da ICRP (1990; 1994a; 1995a)	22
2.5.6 Modelo Biocinético para o Iodo Proposto pelas Publicações da ICRP-56 (1990), ICRP-67 (1994a) e ICRP-71 (1995b)	22
2.6 MONITORAÇÃO INDIVIDUAL	25
2.6.1 Bioanálise in vitro	27
2.6.2 Medidas in vivo	27
2.6.3 Monitoração externa	28
2.7 BANCO DE DADOS DO SERVIÇO DE MONITORAÇÃO DO IPEN/CNEN/SP	28

CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	29
3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO DEPARTAMENTO DE PROCESSAMENTO DE MATERIAL RADIOATIVO, DO IPEN/CNEN/SP	30
3.3 SELEÇÃO DO GRUPO DE ESTUDO	31
3.4 CONSULTA AO BANCO DE DADOS DO SERVIÇO DE MONITORAÇÃO INDIVIDUAL DO IPEN	33
3.4.1 Críticas à avaliação da dose retrospectiva utilizando publicações internacionais	34
3.4.2 Análise preliminar das atividades encontradas a partir dos resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina	35
3.4.3 Modelo de incorporação crônica de Iodo-131 pelos trabalhadores	37
3.4.4 Cálculo da incorporação e da dose interna crônica	38
3.4.5 Cálculo da incorporação e da dose aguda referentes à situações anormais	39
3.5 ANÁLISE DE DADOS DOS HISTÓRICOS DE DOSE EXTERNA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS NESTE ESTUDO	41
3.6 ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ADOTADAS	44
3.7 ESTUDO DOS POSSÍVEIS EFEITOS NA SAÚDE.	44
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE URANÁLISE	46
4.1.1 Contribuição da dose interna crônica	46
4.1.2 Contribuição da dose interna aguda	51
4.1.3 Dose interna total (crônica e aguda)	55
4.2 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS EVENTOS QUE CONTRIBUÍRAM PARA A DOSE INTERNA AGUDA RECEBIDA PELOS TRABALHADORES	57
4.3 ANÁLISE DE DADOS DOS HISTÓRICOS DE DOSE EXTERNA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS NESTE ESTUDO	58
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS TESTES ESTATÍSTICOS	58
4.4.1 Doses Internas crônicas e agudas	58
4.4.2 Análise estatística dos resultados de doses relativas ao grupo I	62
4.4.2.1 Dose interna crônica anual	62
4.4.2.2 Dose interna aguda, por ano de trabalho	66
4.4.2.3 Dose externa anual média	66
4.4.3 Análise estatística dos resultados de doses relativas ao grupo II	66
4.4.4 Comparação dos resultados de doses relativas aos grupo I e II	69
4.4.5 Análise estatística dos resultados de doses internas totais	71

4.4.6	Resultados do grupo controle	73
4.4.7	Análise estatística dos resultados de dose em comparação com efeitos observados na tireóide	73
4.7	ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ADOTADAS	74

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES 78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

ANEXO A 85

RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE IODO-131 EM AMOSTRAS DE URINA, REFERENTES ÀS EXPOSIÇÕES CRÔNICAS DOS TRABALHADORES	85
--	----

ANEXO B 99

B1	FRAÇÕES DA ATIVIDADE INCORPORADA PREVISTAS NAS AMOSTRAS DE EXCRETA E EM ÓRGÃOS, PARA INALAÇÃO DE IODO-131	99
B2	TABELA DE CONVERSÃO DE ATIVIDADE EXCRETADA PARA ATIVIDADE INALADA	100

ANEXO C 101

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS 101

C1	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda, dose externa, ano e atividade média manuseada (produção) que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados dos grupos I e II.	102
C1	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	103
C1	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	104
C2	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna crônica que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna aguda; utilizando os dados dos grupos I e II.	105
C2	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	106
C3	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna crônica e dose interna aguda que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa; utilizando os dados dos grupos I e II.	107
C3	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	108

C4	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda, dose externa e tarefa desempenhada (função) que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados do grupo I.	110
C4	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	111
C4	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	112
C5	Análise de regressão múltipla para determinar quais as variáveis independentes, atividade média manuseada (produção) e ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica média anual; utilizando os dados do grupo I.	113
C5	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	114
C6	Aplicação do teste não paramétrico de Spearman, para determinar a correlação entre as variáveis, dose interna crônica média anual para todo o grupo, atividade média manuseada (produção), ano de trabalho e dose interna aguda média para todo o grupo; utilizando os dados do grupo I.	115
C7	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, tarefa desempenhada (função) e dose interna crônica que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna aguda; utilizando os dados do grupo I.	116
C7	Teste de correlação parcial, por passos "stepwise"	117
C8	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna crônica média, ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa média; utilizando os dados do grupo I.	118
C9	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda e dose externa que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados do grupo II.	120
C10	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna aguda média que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica média; utilizando os dados do grupo II.	122
C10	Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"	123
C11	Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna crônica média, ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa média; utilizando os dados do grupo II.	124
C12	Comparação entre as doses internas agudas e as doses internas totais, recebidas pelos grupos I e II, utilizando o teste "t" pareado	126

- C13 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, dose interna total, dose total que estão relacionadas com a variável dependente, sintomas; utilizando os dados dos grupos I e II. 127
- C14 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, soma das doses internas agudas, doses internas crônicas médias, doses externas que estão relacionadas com a variável dependente, sintomas; utilizando os dados dos grupos I e II. 129

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Fatores de ponderação para tecidos ou órgãos, w_T , ICRP (1991).	10
Tabela 2.2	Classificação e Tipos de absorção para gases e vapores dos compostos de Iodo ^(a) , ICRP (1995b)	23
Tabela 2.3	Dados biocinéticos do iodo para adultos, ICRP (1994b).	25
Tabela 3.1	Locais, dispositivos de operação e atividades do Departamento de Processamento de Material Radioativo. – IPEN-CNEN/SP.	30
Tabela 3.2	Relação dos trabalhadores selecionados do grupo I e de suas tarefas.	32
Tabela 3.3	Relação dos trabalhadores selecionados do grupo II e de suas tarefas.	32
Tabela 3.4	Atividades anuais de Iodo-131 manuseadas pelos grupos I e II.	33
Tabela 3.5	Valores previstos na excreção urinária diária (Bq/Bq incorporado) para inalação de Iodo-131, ICRP (1998).	34
Tabela 3.6	Fração da atividade incorporada, ICRP (1988;1998).	35
Tabela 3.7	Fracções da atividade incorporada previstas na excreção urinária diária para inalação de Iodo-131, L. Bertelli (1998).	39
Tabela 3.8	Histórico individual de dose externa do grupo I Dose Acumulada Anual - Dose Equivalente (mSv)	41
Tabela 3.9	Histórico individual de dose externa do grupo II Dose Acumulada Anual - Dose Equivalente (mSv)	42
Tabela 3.10	Exposição do trabalhador a fontes não seladas, resultante das tarefas desempenhadas.	43
Tabela 4.1.a	Resultados do cálculo da concentração média de Iodo-131 em amostras de urina (Bq/l) para cada ano de trabalho do grupo I.	47
Tabela 4.1.b	Resultados do cálculo da incorporação diária média (Bq), para cada ano de trabalho do grupo I.	47
Tabela 4.1.c	Resultados do cálculo das doses médias equivalente e efetiva referentes à exposição crônica do grupo I, recebidas em cada ano de trabalho.	48
Tabela 4.2.a	Resultados do cálculo da concentração média de Iodo-131 em amostras de urina (Bq/l) para cada ano de trabalho do grupo II.	49
Tabela 4.2.b	Resultados do cálculo da soma das incorporações diária média (Bq), para cada ano de trabalho do grupo II.	49
Tabela 4.2.c	Resultados do cálculo das doses médias equivalente e efetiva referentes à exposição crônica do grupo II, recebidas em cada ano de trabalho.	50
Tabela 4.3.a	Resultados do cálculo da soma das incorporações agudas anuais (Bq), para cada trabalhador do grupo I.	51
Tabela 4.3.b	Resultados do cálculo das doses equivalente e efetiva referentes à situações anormais para cada ano de trabalho do grupo I.	52
Tabela 4.4.a	Resultados do cálculo da soma das incorporações agudas anuais (Bq), para cada trabalhador do grupo II.	53
Tabela 4.4.b	Resultados do cálculo das doses equivalente e efetiva referentes à situações anormais para cada ano de trabalho do grupo II.	54
Tabela 4.5	Resultados da dose interna total, contribuições da dose interna crônica e dose interna aguda, recebida pelo grupo I, por ano de trabalho.	55
Tabela 4.6	Resultados da dose interna total, contribuições da dose interna crônica e dose interna aguda, recebida pelo grupo II, por ano de trabalho.	56

Lista de Figuras

Figura 2.1	Curvas esquemáticas de incidência versus dose absorvida ICRP(1991); NCRP (1980).	15
Figura 2.2	Modelos Padrões de Incorporações de Radionuclídeos, L. Bertelli (1990)	17
Figura 2.3	Modelo compartimental que representa o transporte da partícula de cada região do trato respiratório, em função do tempo, ICRP (1994).	21
Figura 2.4	Modelo Biocinético do Iodo, ICRP (1990) no qual e, f, T_a , T_b e T_c estão definidos na Tabela 2.3.	24
Figura 4.1	Dose devido a incorporações crônicas, por ano de trabalho – grupo I	59
Figura 4.2	Dose devido a incorporações crônicas, por ano de trabalho – grupo II	59
Figura 4.3	Dose devido a incorporações agudas, por ano de trabalho – grupo I	60
Figura 4.4	Dose devido a incorporações agudas, por ano de trabalho – grupo II	60
Figura 4.5	Influência da tarefa desempenhada na dose crônica no grupo I.	63
Figura 4.6	Variação da dose interna crônica média com o ano para o grupo I.	65
Figura 4.7	Evolução das doses internas crônicas médias para os trabalhadores do grupo I.	65
Figura 4.8	Evolução das doses internas crônicas médias em diferentes períodos de tempo para o grupo II.	68
Figura 4.9	Evolução das doses internas crônicas médias em diferentes períodos de tempo para o grupo II.	68
Figura 4.10	Doses internas crônicas médias anuais dos grupos I e II.	69
Figura 4.11	Comparação das doses internas agudas, por ano de trabalho, dos grupos I e II.	70
Figura 4.12	Doses externas médias de cada indivíduo dos grupos I e II, no período de 1981 a 1994.	71
Figura 4.13	Doses internas totais por ano de trabalho para o grupo I	72
Figura 4.14	Doses internas totais por ano de trabalho para o grupo II	72
Figura A1	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1982	85
Figura A2	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1983	86
Figura A3	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1984	86
Figura A4	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1985	87
Figura A5	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1986	87
Figura A6	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1987	88
Figura A7	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1988	88
Figura A8	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1989	89
Figura A9	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1990	89
Figura A10	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1991	90

Figura A11	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1992	90
Figura A12	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1993	91
Figura A13	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1994	91
Figura A14	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1981	92
Figura A15	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1982	92
Figura A16	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1983	93
Figura A17	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1984	93
Figura A18	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1985	94
Figura A19	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1986	94
Figura A20	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1987	95
Figura A21	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1988	95
Figura A22	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1989	96
Figura A23	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1990	96
Figura A24	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1991	97
Figura A25	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1992	97
Figura A26	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1993	98
Figura A27	Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1994	98

**CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO CRÍTICA DA RADIOPROTEÇÃO
POR MEIO DA ANÁLISE RETROSPECTIVA DAS DOSES ASSOCIADAS
AO TRABALHO COM FONTES NÃO SELADAS
DE IODO-131**

JANETE CRISTINA GONÇALVES GABURO CARNEIRO

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação e análise das doses retrospectivas recebidas por grupos de trabalhadores expostos ocupacionalmente ao Iodo-131, entre os anos de 1981 e 1994, em uma instalação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, responsável pela produção, distribuição de radioisótopos e marcação de radiofármacos. A reconstrução das doses foi realizada a partir dos resultados de uranálise, da consulta aos arquivos do histórico individual de exposição à radiação dos trabalhadores e dos relatórios do supervisor de radioproteção da área. Com estas medidas foi possível estimar os tipos mais prováveis de exposição aos quais os trabalhadores estavam submetidos, a principal via de incorporação, estabelecer um modelo de incorporação e realizar a avaliação retrospectiva das doses efetivas. Na análise dos resultados de uranálise foi constatado que os trabalhadores, ao longo dos anos, apresentam tanto incorporação crônica como incorporação aguda de Iodo-131. As contribuições de cada tipo de exposição em termos de dose efetiva foram tratadas separadamente e depois somadas para se obter a dose interna total recebida por cada trabalhador. Verificou-se, que as doses internas são diferentes entre os grupos estudados e que a influência dos parâmetros: tarefa desempenhada pelo trabalhador, local de trabalho e atividade manuseada de material radioativo contribuíram para esta diferença. Nas estimativas de doses internas e externas, realizadas para os grupos estudados, não se observaram aumentos do risco para a saúde do trabalhador, durante todos os anos de trabalho.

**CONTRIBUTION TO A CRITICAL EVALUATION OF
RADIOPROTECTION BY MEANS OF RETROSPECTIVE ANALYSIS OF
DOSES ASSOCIATED WITH THE WORK WITH NON-SEALED
IODINE -131 SOURCES**

JANETE CRISTINA GONÇALVES GABURO CARNEIRO

ABSTRACT

The present work consists of the dose reconstruction from internal contamination received by workers occupationally exposed to Iodine-131, along the years 1981 to 1994. The group of workers selected to perform this research work in the Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares which is responsible for irradiated target processing, molecules labeling and distribution of radioactive material. The data analysis was performed using the urinalysis data, historical records of the individual workers exposure to radiation and records from the area radiation protection supervision. This information is used to estimate the main incorporation path, to establish an intake model and to estimate the retrospective effective dose. Using the urinalysis data it was verified that the worker, along the years, is subject to chronic intakes as well as acute intake of iodine-131. The results related to the contribution of each type of exposure were analysed separately and later added to obtain the total effective internal dose received by the worker annually. It was verified that the internal doses are different among the groups. The main factors that contributed for this difference were the task of the worker, local of operation and the amounts of iodine handled by each group. The estimative of the dose to iodine workers have shown no significant increase of thyroid pathologies risk along the years.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O sistema de Proteção Radiológica é baseado nas probabilidades de risco para os efeitos estocásticos e na gravidade do dano biológico acima da dose limiar, para a ocorrência dos efeitos determinísticos.

Os dados sobre os efeitos biológicos determinísticos no homem são provenientes, em sua maioria, de estudos referentes aos sobreviventes das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, no Japão. Provêm também de estudos dos efeitos colaterais da radioterapia, dos efeitos da exposição recebida pelos primeiros radiologistas, e das conseqüências de acidentes graves, alguns na indústria nuclear, entre as quais destacam-se os com fontes radiográficas.

A maioria das estimativas de risco para efeitos estocásticos são baseadas em dados relativos a exposição externa às radiações ionizantes. Atualmente, as três principais fontes de informações sobre efeitos estocásticos são os estudos epidemiológicos com os sobreviventes das bombas nucleares em Hiroshima e Nagasaki, os estudos com pacientes expostos à radiação para tratamento médico, e os estudos com alguns grupos de trabalhadores expostos à radiação ou à substâncias radioativas, durante o trabalho. Tais estudos, em sua maioria, além de serem relativos à exposição externa, também referem-se a taxas de doses elevadas e a exposições agudas, UNSCEAR (1994); ICRP (1991). Entretanto, o sistema de radioproteção para o trabalhador deveria estar baseado nos efeitos e nos riscos provenientes de exposições crônicas, com taxas de doses pequenas.

As avaliações de risco referentes a contaminações internas são muito precárias, havendo poucos estudos sobre o assunto. No entanto, as exposições internas apresentam importância primordial, principalmente quando se consideram os riscos para órgãos específicos de deposição, UNSCEAR (1994).

A Publicação *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, referente a estudos epidemiológicos, publicados pela *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* - UNSCEAR (1994), fez uma compilação de todos os estudos relevantes existentes na literatura mundial. Ela não cita qualquer estudo realizado com profissionais expostos ao Iodo-131. As publicações da UNSCEAR constituem a

base de dados utilizada pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) para o cálculo de riscos associados à radiação ionizante e à limitação de doses, ICRP (1991).

Sabe-se que os danos provocados em um tecido depende das interações entre a radiação e o tecido. Cada um dos eventos de interação entre a radiação e a matéria envolve a transferência de uma quantidade de energia da radiação para o meio. A energia média depositada, por unidade de percurso, é denominada de transferência linear de energia, TLE, da partícula. Assim, uma radiação esparsamente ionizante, que produz poucos eventos por unidade de percurso, é conhecida como radiação de TLE pequena, raios-X ou gama, enquanto que as radiações que produzem ionizações densas ao longo do percurso são conhecidas como radiação de TLE grande, partículas alfa, prótons e núcleos de recuo produzidos pelos nêutrons e íons pesados, ICRP (1991).

O uso de radioisótopos como traçadores, em terapia e em diagnose tem-se ampliado consideravelmente nos últimos anos no Brasil. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN/SP foi responsável pela viabilização e consolidação da medicina nuclear no Brasil. Atualmente, ele supre mais de 360 hospitais e clínicas em todo o país, produzindo e distribuindo uma variedade de radiofármacos, moléculas marcadas e conjuntos reativos liofilizados que possibilitam o atendimento de aproximadamente um milhão e duzentos mil procedimentos médicos por ano, IPEN (1997).

Como o primeiro radioisótopo gerado no IPEN foi o Iodo-131 e com este mesmo radionuclídeo foram marcados os primeiros radiofármacos lá produzidos, optou-se por estudar tal radionuclídeo e fazer a reconstrução das doses recebidas por trabalhadores ocupacionalmente expostos ao Iodo-131 durante longos períodos de tempo.

1.1 FINALIDADE E OBJETIVOS

O presente trabalho tem por finalidade fornecer subsídios para análise de risco de trabalhadores expostos cronicamente ao trabalho com Iodo-131. O objetivo principal é a avaliação e análise das doses retrospectivas recebidas por dois grupos de trabalhadores expostos ocupacionalmente ao Iodo-131, entre os anos de 1981 e 1994, em uma Instalação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares,

IPEN/CNEN/SP, responsável pela produção e distribuição de radioisótopos e marcação de radiofármacos. Este estudo objetiva também a análise dos arquivos médicos daqueles trabalhadores, o que possibilitará a correlação das doses com possíveis danos à saúde e a avaliação das medidas de radioproteção adotadas ao longo dos anos.

Para se alcançar este objetivo será necessário estabelecer algumas metas:

- Interpretação dos resultados de monitoração interna registrados no banco de dados do Serviço de Monitoração Individual do IPEN-CNEN/SP, entre 1981 e 1994. Para que tal interpretação fosse realizada, foi necessário o estabelecimento de um modelo de incorporação específico para os trabalhadores de interesse.
- Avaliação retrospectiva das doses efetivas, utilizando os modelos matemático-metabólicos atuais propostos pela ICRP.
- Possível avaliação do risco radiológico, por meio de uma análise de correlação estatística entre os dados advindos da consulta aos arquivos médicos dos trabalhadores e a exposição à radiação.
- Avaliação crítica das recomendações internacionais para monitoração individual em instalações onde existe exposição ao iodo e em relação à sua aplicabilidade no IPEN.
- Avaliação crítica dos sistemas de radioproteção adotados na instalação do IPEN.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: IODO-131

Um aspecto importante em proteção radiológica, porém ainda não resolvido, é a magnitude do risco de câncer na tireóide devido à exposição interna ao Iodo-131, NCRP (1993). Apesar da associação entre exposições à radiação e o câncer de tireóide já ter sido sugerida desde 1950, poucos estudos sistemáticos relacionados com a contaminação interna foram realizados e se desconhece estudos realizados com a exposição crônica profissional ao Iodo-131. A maioria das pesquisas referentes aos efeitos da exposição interna ao Iodo-131 utilizam-se de dados obtidos com pacientes que receberam o radionuclídeo para tratamento de câncer de tireóide, hipertireoidismo, ou para fins de diagnóstico. Outros estudos referem-se à exposição ao iodo em Cumbria, no Reino Unido, perto do reator de Sellafield; nas Ilhas Marshall, devido à precipitação radioativa, após os testes termonucleares; na Ucrânia, Bielorrússia e Rússia, após o acidente de Chernobyl; em Utah e Nevada após os testes com armas nucleares, UNSCEAR (1994).

As estimativas de risco calculadas através dos procedimentos de diagnóstico referem-se a exposições agudas. Os dados referentes à exposição ao iodo devido a precipitações radioativas também não são apropriados para o cálculo do risco radiológico de exposições crônicas profissionais em pequenas doses. Os dados obtidos após uma precipitação radioativa são influenciados pelas elevadas doses, pela exposição aguda, pela exposição a outros radionuclídeos, pela exposição externa, pelo uso de hormônios profiláticos para a tireóide e pela alimentação, importante via de incorporação de Iodo-131 precipitado, UNSCEAR (1994); Shore (1992).

O Iodo-131 tem sido usado na medicina, numa ampla faixa de dose, para tratamentos de pacientes com diferentes diagnósticos. Para câncer de tireóide, são administrados cerca de 2000 a 5000 MBq de Iodo-131 com a finalidade de destruir a glândula da tireóide ou o tecido metastático. Quantidades menores de 200 a 400 MBq de Iodo-131, são administradas aos pacientes portadores de hipertireoidismo, com a finalidade de diminuir a função tiroideana. Para propósitos

de diagnóstico de enfermidades da tireóide, são administradas quantidades ainda menores, de 0,4 a 4,0 MBq de Iodo-131.

A seguir será discutido os efeitos na saúde provocados por essas diferentes doses e também por exposições às precipitações radioativas, "fallout".

2.1.1 Estudos em Pacientes Portadores de Câncer de Tireóide

O estudo mais completo sobre esse assunto foi realizado na Suécia com 834 pacientes portadores de câncer de tireóide, tratados terapeuticamente com iodo. A quantidade média de Iodo-131 administrada foi de 4550 MBq e o período de acompanhamento daqueles pacientes foi de aproximadamente 14 anos. Para esse grupo foi observado um aumento significativo de câncer das glândulas salivares, dos órgãos genitais femininos, dos rins e de outras glândulas endócrinas que não a tireóide, em relação à população em geral. Entretanto, não houve correlação entre as doses nos diferentes órgãos e o aparecimento de câncer. Pacientes com câncer de tireóide que não receberam iodo como tratamento também mostraram um aumento na incidência de cânceres secundários, o que mostra que a incidência de câncer na população normal não pode ser usada como padrão, UNSCEAR (1994).

2.1.2 Estudos em Pacientes Hipertireoideos

Foi realizado na Suécia um estudo envolvendo 10500 pacientes, com o objetivo de avaliar o risco de câncer na tireóide em relação aos demais órgãos. A quantidade de Iodo-131 administrada aos pacientes portadores de hipertireoidismo foi de 500 MBq e a dose de radiação na tireóide variou de 60 a 100 Gy. A dose nos outros órgãos foi relativamente pequena, isto é, os órgãos: colo, fígado, pâncreas, pulmão, mamas, útero, ovários, testículos, rins e medula óssea receberam em média doses menores que 0,1 Gy. Para a bexiga a dose média foi estimada em 0,14 Gy, para as glândulas salivares 0,20 Gy e para o estômago a dose foi aproximadamente de 0,25 Gy. O período de acompanhamento desses pacientes foi de 15 anos. Não foi observado um aumento significativo de câncer de tireóide. Por outro lado, houve um aumento na incidência de câncer de pulmão, de rins e da glândula paratireóide, UNSCEAR (1994).

Em um outro estudo realizado nos Estados Unidos, Holm (1992) avaliou o aparecimento de câncer em pacientes hipertireoideos. Tal estudo envolveu 36000

pacientes, entre os quais 63% foram tratados com Iodo-131 e 37% foram tratados por cirurgia (remoção da tireóide) ou por medicamentos anti-tireoidianos. A idade média dos pacientes na época do tratamento era de 47 anos; somente 2% das pessoas tinham menos do que 20 anos. Como resultado deste estudo, concluiu-se que o risco de incidência de câncer da tireóide e de leucemia após os tratamentos com Iodo-131, não era significativamente mais elevado do que após outras modalidades terapêuticas.

A publicação *Epidemiological Studies of Radiation Carcinogenesis* da UNSCEAR (1994), cita de forma resumida um trabalho de Hoffman que acompanhou, por um período médio de 15 anos, 1000 mulheres do grupo acima (36000 pacientes), submetidas a iodoterapia, e tratadas na Clínica Mayo, nos EUA. Não houve aumento de risco de câncer desse grupo em relação a um outro grupo de mulheres com semelhante número de indivíduos, mas que haviam sido tratadas cirurgicamente. Inicialmente foi observado um aumento no risco relativo para o câncer de tireóide no grupo que recebeu iodoterapia. Tal resultado foi invalidado, pois os pacientes do grupo tratado cirurgicamente, com a finalidade de se eliminar a malignidade, tiveram a glândula extirpada, apresentando pequeno risco de câncer de tireóide em relação aos pacientes tratados com Iodo-131, os quais mantiveram a glândula, ou seja, o tecido de risco, UNSCEAR (1994).

2.1.3 Estudos em Pacientes com Disfunção Tireoidiana

Na Suécia, um grupo de 35000 pacientes com suspeita de disfunções tireoidianas, foram acompanhados por um período de 20 anos. A quantidade média administrada de Iodo-131 foi de 2 MBq; a dose de radiação na glândula da tireóide foi aproximadamente 0,56 Gy, enquanto que nos outros órgãos foi menor que 10 mGy. No momento do tratamento, a idade média dos pacientes era de 44 anos. Inicialmente, nos primeiros 5 a 9 anos foi detectado um aumento significativo na incidência de câncer de tireóide. Já o acompanhamento por um período de 20 anos não mostrou evidências de um aumento significativo na incidência de câncer de tireóide ou qualquer correlação com a dose. Conclui-se que o aumento detectado nos primeiros 5 a 9 anos era provavelmente resultante da detecção precoce dos tumores decorrente do assíduo acompanhamento médico, UNSCEAR (1994).

2.1.4 Efeitos do Radioiodo causado por Exposições às Precipitações Radioativas.

Foi observado um aumento significativo no número de casos de câncer de tireóide nos sobreviventes dos bombardeios atômicos de Hiroshima e Nagasaki, ocorridos em 1945. Tais sobreviventes haviam recebido doses iguais ou superiores a 0,5 Gy. Ficou evidenciado que existe uma resposta predominantemente linear entre a exposição aos raios gama e a incidência de câncer na tireóide. A relação dose-resposta apresentava-se mais significativamente linear entre as pessoas que tinham menos de 30 anos no momento do bombardeio. Após a normalização das doses, a incidência de câncer de tireóide foi 2 vezes mais elevada nas pessoas que já faziam um controle tireoidiano do que para outras pessoas, Holm (1992).

Vários estudos a respeito dos efeitos do radioiodo advindo de precipitações radioativas de testes nucleares têm sido realizados.

Em 1954, os habitantes das Ilhas de Marshall foram expostos à precipitação radioativa provenientes de testes nucleares, tanto por irradiação externa beta e gama, como por irradiação interna. De acordo com Holm (1992) o Iodo-131 contribuiu com 10 a 15% da dose total na tireóide. Na região de Rongelap, 17 das 22 crianças expostas, as quais tinham menos que 10 anos, desenvolveram nódulos tireoidianos. As mulheres foram mais sensíveis ao câncer de tireóide radioinduzido: ocorreram sete casos de câncer tireoidiano no grupo exposto, composto de 130 mulheres; e dois casos num grupo de 113 homens. O intervalo de dose média de raios gama e radionuclídeos foi estimado em 3 a 52 Gy em crianças e 1,6 a 12 Gy em adultos. Muitos desses indivíduos receberam subsequentemente medicamentos anti-tireoidianos ou foram submetidos a cirurgia da glândula. O coeficiente de risco calculado para o câncer de tireóide foi $1,4 \times 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$, mas esta estimativa é incerta, pelas razões a seguir. As doses, que eram muito altas na tireóide, podem ter resultado na morte das células, causando uma diminuição do número de células de risco para o desenvolvimento de câncer; as cirurgias da tireóide podem ter reduzido o tecido de risco; e a medicação profilática do hormônio da tireóide pode também ter influenciado no risco. Além disso, existe a dificuldade em se distinguir os efeitos da exposição (raios gama) dos efeitos da irradiação interna, UNSCEAR (1994).

Na década de 1950, as crianças que viviam em Utah e Nevada foram expostas ao Iodo-131 devido à precipitação radioativa proveniente de testes atômicos.

Num estudo, comparativo realizado com esse grupo exposto e com um grupo controle, não exposto, residente em Utah e no Arizona, não foram observadas diferenças significativas no aparecimento de enfermidades da tireóide, UNSCEAR (1994).

Após o acidente de Chernobyl, em 1986, observou-se um aumento na incidência de câncer de tireóide em crianças da Bielorrússia e da Ucrânia, que pode ser relacionado ao acidente. A taxa de incidência na região de Gomel (Bielorrússia) passou de $0,5 \times 10^{-6}$, no período de 1981 a 1985, para $96,4 \times 10^{-6}$, no período de 1991 a 1994. Esse aumento substancial de número de casos de câncer de tireóide em crianças foi observado nas regiões mais contaminadas, sendo que 50% de todos os casos registrados foram na região de Gomel. Verificou-se também que 50% dos primeiros cânceres de tireóide em crianças, ocorridos em 1992, pertenciam ao grupo de faixa etária de 1 a 4 anos, na época do acidente. O aumento da incidência de câncer de tireóide não foi limitado só às crianças; foi registrado um grande número de casos em adultos, em Bielorrússia e na Ucrânia, NEA/OECD (1995).

A incidência de câncer foi também estudada na Cumbria, no Reino Unido, perto do sítio nuclear de Sellafield como consequência das descargas, no mar e na atmosfera de ^{129}I e de ^{131}I . Foram analisadas, por necropsia, 130 glândulas de adultos que morreram por diferentes causas na Cumbria, entre novembro de 1984 e setembro de 1987. Foi observado que os níveis de atividade encontrados na glândula diminuía de acordo com a distância das casas dos pacientes com o sítio de Sellafield. Por outro lado, a taxa de registro de câncer de tireóide, específica para a idade de 288 residentes de Cumbria, mostrou uma correlação positiva com a distância de Sellafield, ou seja, uma incidência maior para distâncias maiores, UNSCEAR (1994).

2.2 PRINCÍPIOS GERAIS PARA A PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

O objetivo primordial da proteção radiológica é fornecer um padrão apropriado de proteção aos seres humanos expostos às radiações ionizantes sem contudo limitar os benefícios advindos da utilização das radiações, ICRP (1997). Uma das metas principais da proteção radiológica e da segurança ocupacional é alcançar e manter um nível aceitável de segurança, em um ambiente de trabalho saudável. Esses princípios são direcionados para a proteção dos trabalhadores, prevenindo e

reduzindo a possibilidade de exposições potenciais e mitigando as consequências de acidentes, ICRP (1997).

Para os propósitos de proteção radiológica, os limites recomendados são expressos em termos de dose efetiva e dose equivalente, definidos a seguir.

2.2.1 Grandezas físicas utilizadas em monitoração individual

2.2.1.1 Dose absorvida

A dose absorvida, D , é o quociente de $d\bar{E}$ por dm , onde $d\bar{E}$ é a energia média cedida pela radiação ionizante num elemento de volume, e dm é a massa da matéria naquele elemento de volume, ICRU (1993).

$$D = d\bar{E}/dm$$

A unidade de dose absorvida no Sistema Internacional (SI) é o joule por quilograma que recebe o nome especial gray, Gy.

2.2.1.2 Dose equivalente

A dose equivalente no tecido ou órgão H_T , é definida pela relação:

$$H_T = D_T \cdot w_R$$

onde, D_T é a dose absorvida média no tecido ou órgão T , causada pela radiação R , e w_R é o fator de ponderação da radiação.

Os fatores de ponderação da radiação w_R , foram selecionados pela ICRP para representar os valores da Eficácia Biológica Relativa (EBR) da radiação na indução de efeitos biológicos, em baixas doses. Tais fatores independem do tecido ou órgãos irradiados, ICRP (1991).

Quando o campo de radiação é composto por radiações de diferentes tipos e energias com diferentes valores de w_R , a dose absorvida será subdividida em blocos, cada um com seu próprio valor de w_R , que serão somados para fornecer a dose equivalente total. Neste caso vale a expressão:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

A unidade de dose equivalente no Sistema Internacional, SI, é o joule por quilograma e o nome especial da unidade é o sievert, Sv.

2.2.1.3 Dose efetiva

A dose efetiva, E , é a soma das doses equivalentes ponderadas em todos os tecidos ou órgãos do corpo. É dada pela expressão:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

onde H_T é a dose equivalente no tecido ou órgão T e w_T é o fator de ponderação do tecido T . A unidade de dose efetiva no SI é o joule por quilograma e recebe o nome especial de sievert, Sv, ICRP (1991).

Os fatores de ponderação visam considerar a contribuição relativa dos órgãos ou tecidos para o detrimento total.

Os valores de w_T dos tecidos ou órgãos são independentes do tipo e energia das radiações incidentes no corpo. Estes são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Fatores de ponderação para tecidos ou órgãos, w_T , ICRP (1991).

Tecido ou órgão	w_T
Gônadas	0,20
Medula óssea	0,12
Colo	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,05
Mama	0,05
Fígado	0,05
Esôfago	0,05
Tireoide	0,05
Pele	0,01
Superfície óssea	0,01
Restante*	0,05

*Para fins de cálculo, o restante é composto por glândulas supra-renais, cérebro, intestino grosso, intestino delgado, rins, pâncreas, baço, timo e útero.

2.2.1.4 Dose equivalente comprometida, $H_T(\tau)$

A dose equivalente comprometida é a integral no tempo da taxa de dose equivalente em um certo órgão ou tecido, onde τ é o tempo de integração (em anos) transcorrido após a incorporação. O tempo de integração é 50 anos para os adultos, ICRP (1991).

2.2.1.5 Dose efetiva comprometida , $E(\tau)$

A dose efetiva comprometida é a soma dos produtos das doses equivalentes comprometidas nos órgãos ou tecidos e os fatores de ponderação (w_T) específicos aos órgãos ou tecidos, onde τ é o tempo de integração (em anos) transcorrido após a incorporação. O tempo de integração é 50 anos para os adultos e até 70 anos, para crianças, ICRP (1991).

2.3 OUTRAS GRANDEZAS FÍSICAS DOSIMÉTRICAS

Para um grupo de pessoas expostas ou uma população, as grandezas relevantes são dadas pela dose média, à qual esse grupo foi exposto, multiplicada pelo número de indivíduos do grupo. Essa grandeza é denominada **dose equivalente coletiva**, S_T , para um determinado órgão ou tecido, e **dose efetiva coletiva**, S , para representar o corpo inteiro. A unidade dessas grandezas é o sievert-pessoa, ICRP (1991).

2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

2.4.1 Efeitos Determinísticos ICRP(1991)

Os efeitos determinísticos em seres humanos podem resultar da irradiação geral ou localizada do tecido, causando uma quantidade de destruição de células que não pode ser compensada pela proliferação das células sobreviventes. A perda resultante de células pode causar graves deficiências funcionais em tecido ou órgão , clinicamente detectáveis. Deste modo, pode-se prever que a gravidade do efeito observado depende da dose. Existe um limiar abaixo do qual a perda de células é muito pequena para ser clinicamente detectável como prejudicial às funções dos tecidos ou órgãos.

Nos efeitos determinísticos, a gravidade do dano produzido aumenta com a dose de radiação, a partir do limiar. Se o tecido atingido for vital, e o dano for suficientemente grande, poderá ocorrer a morte do indivíduo.

Alguns efeitos determinísticos são de natureza funcional e podem ser reversíveis, desde que o dano não seja muito grave, tais como os distúrbios glandulares, os efeitos neurológicos e as reações vasculares.

Os limiares de dose são expressos em dose absorvida. A dose equivalente não é a grandeza física mais apropriada para ser relacionada aos efeitos determinísticos, já que os fatores de ponderação foram estabelecidos para efeitos estocásticos. Eles refletem a eficácia biológica relativa (EBR) dos diferentes tipos e energias de radiação para pequenas doses, quando não ocorrem efeitos determinísticos clinicamente detectáveis.

Ainda quanto aos efeitos determinísticos, os dados para radiações de TLE pequena demonstram uma faixa de sensibilidades ampla para diferentes tecidos. No entanto, pode-se concluir que poucos tecidos apresentam danos clinicamente significativos após doses absorvidas agudas, se as mesmas forem menores do que alguns grays.

Os efeitos determinísticos resultantes de exposição a radiações de TLE grande são similares àqueles provocados pelas radiações de TLE pequena, mas sua frequência e gravidade são maiores por unidade de dose absorvida.

2.4.2 Efeitos Estocásticos

Os efeitos estocásticos originam-se de alterações no material genético de células normais, causadas por um evento de radiação ionizante. Dois tipos gerais de efeitos estocásticos são bem reconhecidos. O primeiro ocorre em células somáticas e pode resultar na indução de câncer na pessoa exposta. O segundo ocorre em células de tecidos germinais e pode, teoricamente em seres humanos, ser transmitido aos descendentes do indivíduo exposto.

Os cânceres induzidos pela radiação, com ou sem a contribuição de outros agentes, não se distinguem daqueles que ocorrem por outras causas. Os mecanismos de defesa (enzimas de reparo do DNA e sistema imunológico) provavelmente não são totalmente eficazes, mesmo com pequenas doses, de modo que é pouco provável que eles dêem origem a um limiar na relação dose-resposta. A probabilidade de um câncer resultante da radiação será, pelo menos parcialmente, dependente do número de clones de células inicialmente modificadas, já que este número influenciará a chance de pelo menos uma dessas células mutadas sobreviver e originar um clone de células com a mutação genética inicial. Portanto, a probabilidade de aparecimento de um câncer radioinduzido depende da dose. Quanto maior a dose, maior será o número de células inicialmente alteradas, e maior a chance de pelo menos uma delas

sobreviver. Assim, a probabilidade de malignidade está relacionada à dose, enquanto que a gravidade de um determinado câncer é influenciada somente pelo tipo e localização do tumor, ICRP (1991).

Um dos grandes problemas em proteção radiológica é a falta de informações diretas sobre a incidência de câncer causado pelas radiações de TLE pequena, quando as doses e taxas de doses são pequenas. A Figura 2.1, ICRP(1991); NCRP(1980) ilustra este problema. Os dados existentes referem-se a altas doses e altas taxas de dose, incompatíveis com as doses de interesse para a radioproteção (doses baixas com baixas taxas de dose). A figura em pauta mostra quatro pontos representativos de dados reais, obtidos após doses elevadas e taxas de dose elevadas. Como os dados na região de interesse (doses pequenas) não são suficientes, ou são inexistentes, é necessário estimar o formato da curva e sua inclinação para doses muito pequenas. Uma das soluções é correlacionar os dados, através de uma reta que passa pela origem (curva dose-resposta linear, sem limiar), como pode ser ilustrada pela curva B, Figura 2.1, NCRP (1980).

Entretanto, baseado em estudos experimentais *in vitro* em sistemas biológicos, pode-se generalizar que, para radiações de TLE pequena, mas aplicadas com taxas de dose elevadas, a forma mais característica da relação dose resposta é linear-quadrática. Assim, pode-se supor que a relação entre dose equivalente e probabilidade de câncer radioinduzido deva ser também uma relação linear quadrática, representada na Figura 2.1, pela curva A, ICRP(1991); NCRP(1980).

Para doses pequenas de radiações de TLE pequena, as lesões nas células vão ser formadas por um evento único de ionização, já que a probabilidade de mais do que um fóton incidir no mesmo alvo é muito pequena; assim, em pequenas doses a relação dose-resposta será linear, pois não haverá interação entre as lesões produzidas por diferentes fótons.

Para doses elevadas e taxas de doses elevadas, dois ou mais eventos podem se combinar, produzindo um número total elevado de sublesões por unidade de volume, num intervalo de tempo insuficiente para que os mecanismos de reparo da célula possam reduzir significativamente o número de sublesões. Este efeito é representado pelo termo quadrático da relação dose-resposta. Para doses ainda mais

elevadas, onde a morte celular se torna importante, a curva dose-resposta mostra uma inclinação decrescente, ICRP (1991); NCRP (1980).

Quando a taxa de dose é pequena, independente da dose ser elevada ou não, os mecanismos de reparo têm tempo para atuarem, fazendo com que as lesões originadas por um dado evento de ionização se restaurem, não podendo mais interagir com lesões subsequentes. Para taxas de dose muito pequenas as lesões passam a ser formadas exclusivamente por apenas um evento de ionização; o efeito resultante é uma curva dose-resposta linear, (curva C, Figura 2.1). Quando a taxa de dose for ainda menor, espera-se que a curva dose-resposta coincida com a curva D, Figura 2.1, que é uma extensão da parte linear da curva A, Figura 2.1, NCRP(1980).

Foi definido pelo NCRP (1980) um fator de eficácia de taxa de dose (DREF), que seria a razão entre o coeficiente angular da curva B, Figura 2.1, que é a extrapolação linear da curva dose-resposta para taxas de dose elevadas e o coeficiente angular da curva dose-resposta para taxas de dose pequenas (curvas C e D, mesma figura). De acordo com o NCRP (1980), os valores de DREF nos sistemas experimentais variam entre 2 e 10.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica, ICRP (1991) concluiu que, no contexto da proteção radiológica, há evidências suficientes para justificar quando se interpretam dados para radiação de TLE pequena, que não existe linearidade entre os efeitos de doses elevadas e taxas de doses elevadas e os efeitos a doses pequenas e taxas de doses pequenas. A publicação 60 da ICRP (1991) adotou o fator de redução, chamado de Fator de Eficácia de Dose e de Taxa de Dose, DDREF, igual a 2. Ele é usado para estimar os coeficientes de probabilidade para doses e taxas de dose pequenas a partir dos coeficientes obtidos das observações de doses e taxas de doses elevadas, ICRP (1991).

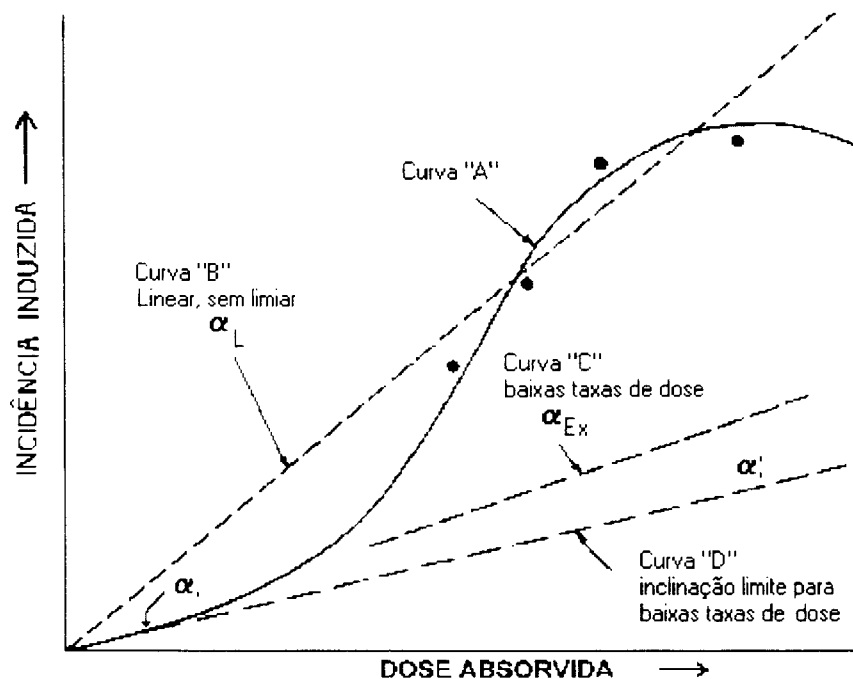


Figura 2.1 Curvas esquemáticas de incidência versus dose absorvida ICRP(1991); NCRP (1980).

Curva A, linha sólida para altas doses e altas taxas de dose. Curva B, correlação de quatro pontos representativos de dados reais, através de uma reta que passa pela origem (curva dose-resposta linear, sem limiar, representado por α_L). A inclinação, α_1 indica a parte essencialmente linear da curva A, para baixas doses. A linha tracejada C, indicada como "baixas taxas de dose", dada pela inclinação, α_{Ex} , representa os dados experimentais de altas doses obtidos para baixas taxas de dose. Para doses muito menores, a "inclinação limite", α_1 , para baixas taxas de dose, é representada pela Curva D, que é uma extensão da parte linear da curva A, α_1 .

2.5 MODELOS MATEMÁTICO-METABÓLICOS

2.5.1 Modelos Biocinéticos para a Monitoração da Contaminação Interna

Quando se trata de exposição ocupacional de indivíduos à radiação externa ao corpo, a dose de radiação pode ser avaliada por intermédio de dosímetros individuais. No caso de exposição à radiação interna, utiliza-se monitorações por técnicas de bioanálise in vitro (medida indireta do material radioativo presente em amostras biológicas, tais como: urina, fezes ou fluidos do corpo) e bioanálise in vivo (medida direta da atividade de radiação presente no corpo de um determinado indivíduo ou em órgãos, utilizando um contador de corpo inteiro ou detectores posicionados sobre os órgãos). Pode-se também utilizar monitoração de ar.

As estimativas de dose para o homem, a partir dos dados de bioanálise, são derivadas de modelos metabólicos matemáticos considerando características anatômicas, fisiológicas e metabólicas específicas. A simulação do comportamento dinâmico do radionuclídeo incorporado, através dos modelos biocinéticos, torna possível a interpretação dos dados de bioanálise.

Para facilitar a interpretação das medidas de bioanálise, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica sugeriu a utilização de modelos biocinéticos que descrevem o organismo sob a forma de compartimentos. Cada órgão ou tecido é representado por um ou mais compartimentos, a partir dos quais o radionuclídeo é transferido para as vias de excreção ou para outros órgãos, numa taxa determinada pelas taxas de transferência entre os compartimentos de acordo com as características do material incorporado e pela constante de desintegração radioativa do radionuclídeo, ICRP (1979).

2.5.2 Modelos e Vias de Incorporação

O manuseio de fontes não seladas pode ocasionar a exposição do ser humano através de irradiação externa ou incorporação de radionuclídeos. As principais vias de incorporação de radionuclídeos no corpo são inalação e ingestão. No entanto, outras formas secundárias de contaminação podem ocorrer, como por exemplo, o transporte do radionuclídeo para a corrente sanguínea através dos poros ou por ferimentos na pele.

Vários são os modelos temporais de incorporação de radionuclídeos. Entre eles pode-se citar: (a) incorporação contínua, durante um certo intervalo de tempo; (b) várias incorporações; e (c) única incorporação. Esses modelos acham-se esquematizados na Figura 2.2, onde $I(t)$ é a taxa de incorporação, como função do tempo. O modelo de incorporação contínua está relacionado a uma exposição contínua e constante com o material radioativo durante um certo intervalo de tempo, como por exemplo o caso de um residente de uma área de alta radioatividade natural. Nesse caso o indivíduo está exposto durante 168 horas por semana, Figura 2.2a. O modelo de várias incorporações está relacionado com exposições periódicas com o material, como por exemplo, para casos ocupacionais onde o regime de incorporação pode abranger um ciclo de trabalho 8 horas por dia, 40 horas por semana e 50 semanas por ano, Figura 2.2b. O modelo de única incorporação pode simular um acidente isolado com radiação, Figura 2.2c.

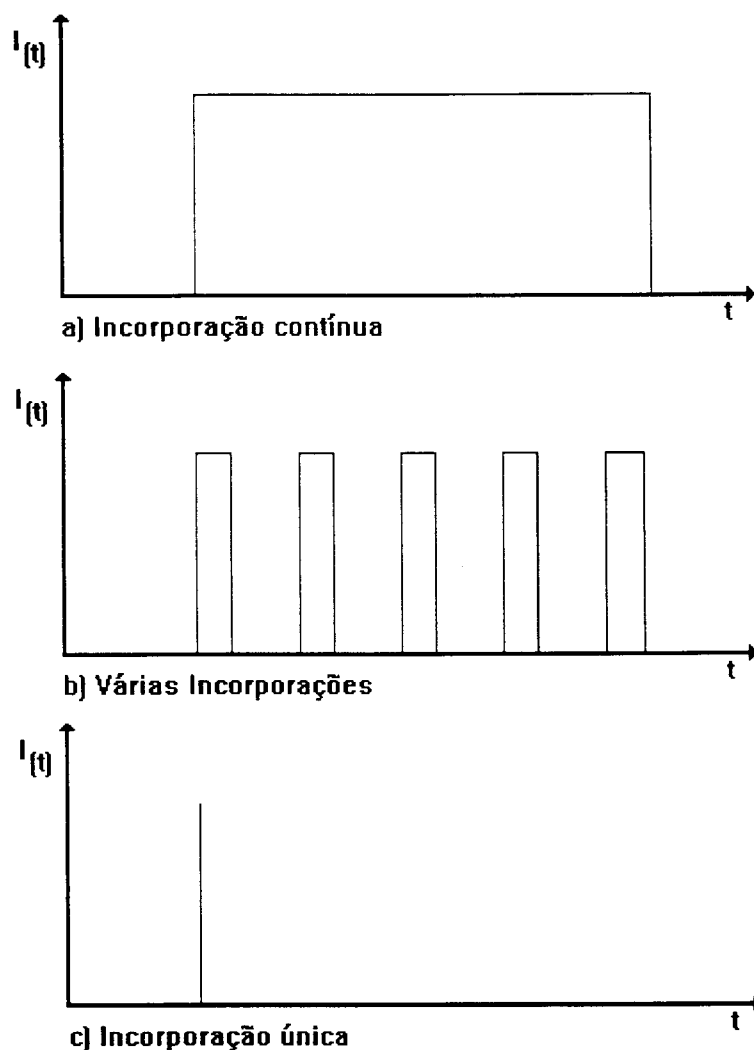


Figura 2.2 Modelos Padrões de Incorporações de Radionuclídeos, L. Bertelli (1990)

2.5.3 Modelo Geral sugerido na publicação 30 da ICRP (1979)

O modelo geral proposto na publicação 30 da ICRP (1979) é baseado nos parâmetros fisiológicos e morfológicos do homem referência, ICRP (1975). O modelo é subdividido em um modelo para o sistema pulmonar, um modelo para o sistema gastrintestinal e modelos sistêmicos que descrevem a distribuição e retenção do radionuclídeo nos órgãos a partir da incorporação no sangue. No modelo proposto, o sistema respiratório é dividido em três regiões: passagem naso-faríngea (N-F), árvore tráqueo bronquial (T-B) e parênquima pulmonar (P) que inclui o sistema linfático.

A deposição de aerossóis nas diversas regiões do sistema respiratório varia com as propriedades aerodinâmicas das partículas, e é descrita pelos três parâmetros D_{N-F} , D_{T-B} e D_P que representam as frações do material inicialmente depositado nas regiões N-F, T-B e P, respectivamente. A taxa de deposição das partículas, em cada

uma das três regiões, está relacionada dentre outros fatores, ao tamanho da partícula inalada. Na ausência de dados sobre o tamanho da partícula inalada, esta publicação recomenda que seja adotado o Diâmetro Aerodinâmico Mediano de Atividade (DAMA) igual a $1\ \mu\text{m}$, e a densidade da partícula igual a 1, ICRP (1979).

Para descrever a transferência dos aerossóis inalados do sistema respiratório para outras partes do corpo, os compostos foram classificados em: D (dias), W (semanas) e Y (anos), de acordo com o tempo de retenção na região pulmonar. Os compostos classificados como D são aqueles que apresentam meias vidas biológicas de liberação do sistema respiratório menores que 10 dias. Os da classe W, na faixa de 10 a 100 dias; os de Y, maiores que 100 dias.

O modelo do sistema gastrointestinal é dividido em quatro compartimentos: estômago (ES), intestino delgado (ID), intestino grosso superior (IGS) e intestino grosso inferior (IGI). O material incorporado pode atingir o trato gastrointestinal diretamente, por ingestão, ou indiretamente, através do sistema respiratório, ICRP (1979). A transferência de material de um compartimento para outro, assim como no caso do sistema respiratório, é regida pela cinética de primeira ordem.

Considera-se também que a absorção pelo fluido extracelular ocorra principalmente no intestino delgado, cuja taxa de transferência λ_s é uma função do fator f_1 . Este último fator representa a fração do elemento estável que alcança o fluido extracelular após a ingestão. Dessa forma, quando f_1 é igual a 1, a absorção para os fluidos é completa. Por outro lado, quanto menor o valor de f_1 , maior a excreção fecal.

2.5.4 Modelo para o Trato Respiratório sugerido na publicação 66 da ICRP (1994)

Um novo modelo pulmonar foi proposto pela ICRP, na sua publicação 66, da ICRP (1994). Este modelo divide o sistema respiratório em duas regiões principais: extratorácica (ET) e torácica. A região extratorácica inclui as passagens respiratórias anteriores, ou seja, o nariz (ET_1) e as passagens respiratórias posteriores nasais, laringe, faringe e boca (ET_2). A região torácica é formada pela região bronquial (BB), que inclui os dutos respiratórios, desde a traquéia até os brônquios; pela região bronquiolar (bb), que inclui os dutos respiratórios até os bronquíolos terminais; e pela região alveolar-intersticial (AI), que inclui os

bronquíolos respiratórios e os sacos alveolares. Todas as regiões contêm tecidos linfáticos: LN_{ET} na região extratorácica e LN_{TH} nas regiões BB, bb e AI.

O modelo de deposição avalia a deposição fracional para uma extensa faixa de tamanhos de aerossóis (0,6 nm a 100 μ m), em cada região do trato respiratório.

Para a região extratorácica as eficiências de deposição são relacionadas aos parâmetros tamanho da partícula e fluxo de ar. Essas eficiências de deposição foram determinadas experimentalmente para homens adultos; são utilizados em escala proporcional para as dimensões anatômicas de mulheres e crianças. Para a região torácica, foi utilizado um modelo teórico no qual as várias regiões são representadas por uma série de filtros. A eficiência de cada filtro é avaliada considerando competitivamente os processos aerodinâmicos de deposição (gravitacional e impacto inercial) e os processos termodinâmicos (difusão browniana). Os valores de deposição regional encontram-se tabelados no anexo F, da publicação 66 da ICRP (1994). Estes são listados em função de: tamanho do aerossol; se o indivíduo é trabalhador ou membro do público; para diferentes tipos de atividade (exercício leve, sentado, dormindo, etc.); e levando em conta se o tipo de respiração é preferencialmente nasal ou oral.

Para gases e vapores, a deposição no trato respiratório é específica para o elemento inalado. Na ausência de informação, a ICRP-66 (1994) atribui à deposição três classes:

Classe SR-0: insolúvel e não reativo com insignificante deposição no trato respiratório;

Classe SR-1: solúvel ou reativo. A deposição pode ocorrer completamente no trato respiratório;

Classe SR-2: altamente solúvel ou reativo com deposição total nas rotas aéreas extratorácicas (ET_2).

A retenção subsequente no trato respiratório e a absorção nos fluidos do corpo são determinadas por propriedades químicas específicas de gás ou vapor.

Os materiais depositados no trato respiratório são liberados por três vias principais: (a) para o sangue, por absorção; (b) para o trato gastrintestinal, via faringe; e (c) para a região dos nódulos linfáticos (LN), via dutos linfáticos.

Os materiais depositados na região ET_1 são removidos principalmente por mecanismos externos. As taxas pelo qual os materiais são liberados por cada via dependem: do local de deposição do material no trato respiratório; da forma físico-química do material; e do tempo transcorrido desde a deposição do material.

No modelo, as diferentes vias e taxas de liberação são representadas por uma combinação de compartimentos. Assume-se que as taxas de liberação são independentes da idade e do sexo, mas podem ser modificadas em caso de enfermidades do trato respiratório ou pelo fumo. Os processos de transporte de particulado nas regiões ET_2 , BB e bb incluem um processo rápido de liberação mucociliar ao sistema gastrointestinal, representado pelos compartimentos ET_2 , BB_1 , e bb_1 da Figura 2.3. Existem ainda outros processos de liberação: (a) um processo de liberação mais lenta, da ordem de semanas para o trato gastrointestinal, proveniente dos compartimentos BB_2 e bb_2 ; e (b) uma liberação extremamente lenta para os nódulos linfáticos, proveniente da retenção dos aerossóis nas paredes dos dutos de ar, representada pelos compartimentos de seqüestro (seq), ET_{seq} , BB_{seq} e bb_{seq} . As frações correspondentes às partículas retidas nos compartimentos ET_{seq} , BB_{seq} e bb_{seq} são pequenas, mas, como o tempo de retenção é grande, a contribuição para a dose é grande.

As retenções dos aerossóis na região AI podem ser representadas por três compartimentos: AI_1 , AI_2 e AI_3 , com diferentes meias vidas de liberação. Na Figura 2.3, os valores junto às setas representam as taxas de remoção dos compartimentos, em d^{-1} , ICRP (1994).

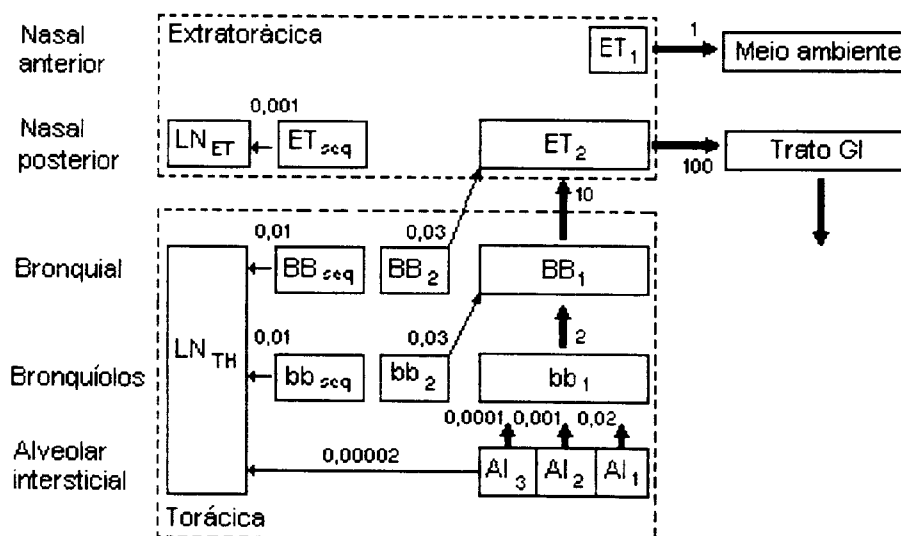


Figura 2.3 Modelo compartimental que representa o transporte da partícula de cada região do trato respiratório, em função do tempo, ICRP (1994).

A absorção no sangue é específica para cada composto e ocorre com a mesma taxa em todas as regiões, exceto em ET_1 . O processo de absorção no sangue compreende dois estágios: (a) a dissociação das partículas em um material que pode ser absorvido pelo sangue e (b) a absorção dos materiais dissolvidos provenientes de partículas ou de compostos depositados na forma solúvel. Uma fração do material é absorvido imediatamente após a dissolução, enquanto que a outra fração do material dissolvido pode ser absorvido mais lentamente, como resultado da ligação do material aos tecidos do trato respiratório.

O modelo pode utilizar taxas de absorção calculadas através de dados experimentais existentes e confiáveis. Quando essas taxas não são conhecidas, os compostos devem ser classificados de acordo com a absorção no sangue: tipo F (*fast*, rápido) para absorção rápida, tipo M (*moderate*, moderado) para absorção moderada e tipo S (*slow*, lento) para absorção lenta, ICRP (1994). Na ausência de dados específicos, os compostos classificados como D, W e Y na publicação 30, ICRP (1979) podem ser reclassificados como tipos F, M e S, respectivamente. A diferença de nomenclatura foi proposta para enfatizar que as classes D, W, e Y se referiam à remoção do sistema pulmonar, enquanto que os tipos F, M, S referem-se somente à absorção no sangue, ICRP (1994).

O cálculo das doses regionais segue a mesma metodologia geral da publicação 30, da ICRP (1979). Com o objetivo de se considerar as diferenças de radiosensibilidade entre os tecidos do trato respiratório, são utilizados os fatores de ponderação, que representam a sensibilidade de cada região relativamente ao órgão como um todo. Considerando-se estas diferenças de sensibilidade de cada região do trato respiratório a ICRP (1994) atribui um fator de ponderação A_i , que representa a radiosensibilidade relativa de cada região em relação ao órgão total. Efetua-se, então, uma soma ponderada para obter as doses equivalentes, nas regiões torácicas e extratorácicas H_{TH} e H_{ET} , respectivamente. Para a região torácica, é então utilizado o fator de ponderação w_T , da Publicação 60, da ICRP (1991), específico para o pulmão, para o cálculo de dose equivalente comprometida. Já a região extratorácica deve ser considerada como um tecido remanescente, ICRP (1994).

2.5.5 Os novos modelos biocinéticos da ICRP (1990; 1994a; 1995a)

As publicações 56, 67 e 69 da ICRP (1990; 1994a; 1995a) sugerem modelos biocinéticos específicos para a idade. Estas publicações introduzem modificações nos modelos biocinéticos derivados para o trabalhador, considerando dados provenientes de publicações recentes sobre a fisiologia e anatomia dos órgãos e tecidos.

Para muitos radionuclídeos os modelos biocinéticos incluem a recirculação, isto é, o material depositado em um determinado compartimento não é excretado diretamente e sim reciclado para o sangue antes de ser excretado. São fornecidas informações sobre as vias de excreção, informações essas necessárias para o cálculo de dose na bexiga e no cólon.

2.5.6 Modelo Biocinético para o Iodo Proposto pelas Publicações da ICRP-56 (1990), ICRP-67 (1994a) e ICRP-71 (1995b)

Estudos realizados sobre a deposição e biocinética do iodo inalado, em voluntários humanos, sugerem que o comportamento do iodo pode variar, dependendo do composto. São listadas duas categorias principais: (a) gás ou vapor e (b) aerossol particulado, ICRP (1995b).

a) Gás ou vapor

- Iodo elementar: Os estudos realizados sobre a deposição e biocinética do iodo inalado, como iodo elementar ICRP (1995b), mostraram que quase toda a atividade inalada é retida. Assumindo-se que o iodo é depositado principalmente nas vias aéreas, a meia-vida de liberação é de aproximadamente 10 minutos. Os estudos mostraram também que grande parte da atividade é absorvida no trato gastrintestinal. O iodo elementar é classificado, então, como SR-1 (100% de deposição) e taxa de absorção no sangue tipo F, (*fast*, rápido), ICRP (1995b).

- Iodeto de metil: CH_3I : A publicação 71 da ICRP (1995b) cita estudos realizados com o iodo na forma de iodeto de metil. Nestes estudos verificou-se uma retenção entre 50 e 90% (média de 70%) e assumiu-se que a maior parte da deposição ocorreu nos alvéolos pulmonares. A absorção no sangue foi muito rápida, com uma meia-vida de 5 segundos. O CH_3I é classificado como SR-1 (70% de deposição) e taxa de absorção no sangue tipo V, (*very fast*, muito rápida), ICRP (1995b).

A Tabela 2.2 mostra a classificação e os Tipos de absorção para gases e vapores dos compostos de Iodo^(a), ICRP (1995b)

Tabela 2.2 Classificação e Tipos de absorção para gases e vapores dos compostos de Iodo^(a), ICRP (1995b)

Forma química	Deposição		Absorção	
	Vapor Classe	Fração depositada (%)	Tipo	$f_1^{(e)}$
Iodo elementar, I_2	SR-1	100 ^(b)	F	1.0
Iodeto de metil, CH_3I	SR-1	70 ^(c)	V	^(d)

(a) quando a forma de gás ou vapor do iodo não está especificada, é recomendado assumir os parâmetros acima, para iodo elementar.

(b) a deposição é de 10% em ET_1 , 40% em ET_2 e 50 % em BB.

(c) a deposição é em ET_2 , e nos pulmões.

(d) não se aplica, uma vez que a atividade depositada no trato respiratório é absorvida imediatamente.

(e) fração do elemento que alcança o fluido extracelular, após a ingestão.

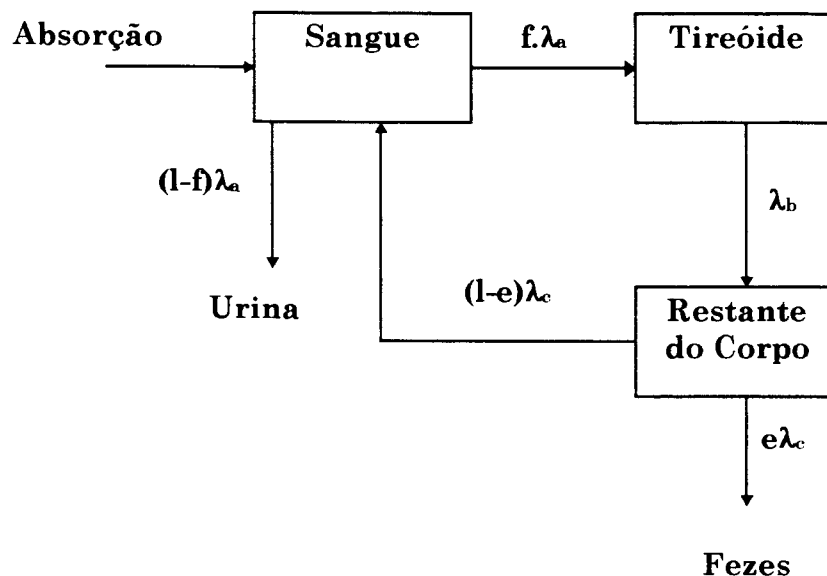
b) Aerossol particulado

O iodo inalado como iodeto de sódio é também rapidamente absorvido no sangue. De acordo com os estudos realizados em animais, a meia-vida foi estimada em 10 minutos. A rápida eliminação do iodo foi compatível ao tipo F, (*fast*, rápido), ICRP (1995b).

Para o modelo sistêmico do iodo, a ICRP adota, em sua publicação 56, o modelo biocinético tri-compartimental, que se baseia no modelo descrito na publicação 30 da ICRP (1990), com modificações conforme é ilustrado na Figura 2.4.

A partir da entrada do iodo no sangue, considera-se que uma fração igual a 30% é depositada na tireóide, onde o iodo é retido com uma meia-vida biológica de 80 dias. A maior parte do iodo orgânico que chega ao sangue advindo da tireóide é metabolizado nos tecidos, retornando ao plasma como iodo inorgânico. Uma fração deste iodo inorgânico vai ser reciclada para a tireóide. Considera-se que o iodo é retido nos tecidos com uma meia-vida de 12 dias. Assume-se que aproximadamente 20% é excretado nas fezes, na forma orgânica, ICRP(1990).

Apesar de se considerar que 30% do iodo são depositados na tireóide de acordo com o modelo, tal captação de iodo pela tireóide varia consideravelmente entre indivíduos, e em diferentes países, dependendo das quantidades de iodo ingeridas na dieta, ICRP (1990).



$$\lambda_a = \frac{0,693}{T_a} d^{-1}$$

$$\lambda_b = \frac{0,693}{T_b} d^{-1}$$

$$\lambda_c = \frac{0,693}{T_c} d^{-1}$$

Figura 2.4 Modelo Biocinético do Iodo, ICRP (1990) no qual e, f, T_a , T_b e T_c estão definidos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Dados biocinéticos do iodo para adultos, ICRP (1994b).

Idade	f _i	Distribuição (%)			Meia vida biológica (dias)		
		Absorção pela tireóide	Excreção urinária ⁽¹⁾	Excreção fecal ⁽²⁾	Sangue	Tireóide	Resto do corpo
		(f)	(1-f)	(e)	T _a	T _b	T _c
Adulto	1	30	70	20	0.25	80	12

⁽¹⁾ fração imediatamente excretada na urina a partir da incorporação.

⁽²⁾ fração excretada nas fezes vinda do resto do corpo.

2.6 MONITORAÇÃO INDIVIDUAL

Os objetivos principais de um programa de monitoração rotineira individual, ICRP (1998), podem ser resumidos como:

(a) obter uma avaliação da dose efetiva comprometida e, quando apropriado, a dose equivalente comprometida nos tecidos significativamente expostos, para demonstrar obediência às normas administrativas e às exigências regulamentadoras;

(b) contribuir no controle das operações e ao plano de proteção radiológica da instalação; e

(c) no caso de exposição anormal, fornecer subsídios para a iniciação e apoio de qualquer acompanhamento médico, para fins de tratamento.

A monitoração através de técnicas de bioanálise pode ser definida como um conjunto de procedimentos usados para a determinação da quantidade, localização e da retenção do radionuclídeo no corpo.

A única publicação onde existe uma tentativa de interpretação de dados de bioanálise é a da ICRP em sua publicação 54, ICRP (1988), e em sua versão atualizada, publicação 78, ICRP (1998) já aprovada, e em processo de publicação. Apesar da bioanálise ser recomendada no controle da contaminação interna, não existem normas para interpretação destes dados. As normas nacionais não mencionam como fazer isto e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), mesmo após a publicação do SS-115 (1996), também não orienta como analisar os dados de bioanálise. No entanto não faz sentido fazer medidas de bioanálise e não interpretá-las em termos dos limites vigentes nacionais e internacionais.

A publicação 54 da ICRP (1988), utiliza os modelos da publicação 30 da ICRP (1979), onde não são consideradas a recirculação e as vias de excreção distintas. Por isto os modelos utilizados foram revisados para se adequarem aos resultados experimentais e muitas vezes não refletem a verdadeira excreção do radionuclídeo. Durante este ano, 1998, a publicação 54 (1988) está sendo atualizada como publicação 78, onde os modelos foram aperfeiçoados de modo a permitir uma análise mais realista dos dados de monitoração.

Os dados de monitoração existentes no IPEN desde 1981, não foram interpretados em termos de dose, apesar de ter sido realizada uma tentativa de análise em 1994, utilizando a publicação 54 da ICRP (1988).

No presente trabalho, foi feita uma análise retrospectiva das doses dos trabalhadores utilizando os modelos mais modernos da publicação da ICRP (1998) e adequados à situação.

A técnica de medida para o Iodo-131, recomendada na publicação 54 da ICRP, e na atualização dessa publicação (publicação 78), é a análise por espectrometria gama da concentração do radionuclídeo presente na tireóide e/ou excretada na urina. O limite de detecção, ICRP (1998), para a técnica de monitoração da tireóide é 100 Bq e para a concentração excretada na urina, é 1,0 Bq/l. De acordo com a publicação 78 da ICRP (1998), a monitoração da tireóide é o método de escolha quando não se conhece a data exata da incorporação. Isto se deve ao declínio acentuado nos primeiros dias referente à excreção urinária de Iodo-131 (meia-vida biológica curta). A partir daí a excreção passa a ser regida pela liberação associada a tireóide. As medidas de corpo inteiro refletem a retenção associada a tireóide, que possui uma meia vida efetiva de aproximadamente sete dias e meio, L.Bertelli (1990).

A frequência das monitorações é estabelecida com o propósito de reduzir as incertezas provenientes da falta de conhecimento da data da incorporação do nuclídeo. Para isto a Comissão Internacional de Proteção Radiológica, estabelece para os programas de rotina, intervalos de monitoração, tais que a dose não seja subestimada por um fator maior do que três, mesmo quando a data da incorporação é desconhecida. Quando a incorporação ocorre num período imediatamente anterior a coleta da amostra, a incorporação pode ser superestimada por um fator maior do que

três. No caso do Iodo-131, pode chegar a ser da ordem de 10^3 , ICRP (1988; 1998). Para o Iodo-131 são propostos, nas publicações 54 e 78 do ICRP, intervalos de monitoração para análise de urina de 7, 14 e 30 dias e para a monitoração da tireóide de 7 e 14 dias.

A seguir é apresentada uma breve descrição das técnicas de medidas utilizadas presentemente no programa de monitoração individual para o Iodo-131, do IPEN.

2.6.1 Bioanálise in vitro

O método utilizado no Laboratório de Radiotoxicologia do IPEN/CNEN/SP para a determinação da concentração de Iodo-131 em urina, baseia-se na detecção da radiação gama emitida pelo Iodo-131 presente na amostra. Como a quantidade de iodo existente na urina é pequena, é realizada uma concentração prévia da amostra, por meio de precipitação. A medida da radiação é contada em um cintilador de NaI (Tl), de 7,6x7,6 cm, tipo poço. Esse método é de execução simples, rápida e é seletivo, apresentando um rendimento de separação em torno de 95%. O limite mínimo de detecção da técnica é 2,0 Bq/l, para um tempo de contagem de 2 minutos, Tomida (1978); IPEN/ND-007 (1996).

O procedimento para a coleta de urina dos indivíduos, adotado no Laboratório de Radiotoxicologia do IPEN, refere-se à excreção de oito horas de trabalho (durante a jornada de trabalho), a cada duas semanas. As coletas são realizadas em frascos de polietileno com capacidade para um litro. Após a coleta as amostras são enviadas ao Laboratório para a análise.

2.6.2 Medidas in vivo

O laboratório de medidas in vivo do IPEN, utiliza um contador de corpo inteiro que está equipado com vários sistemas de medida, entre os quais um detetor de NaI (Tl) de 20 cm de diâmetro e 8 cm de altura. Esse sistema se encontra dentro de uma cela blindada medindo 3m x 3m x 3m com uma espessura de aço de 12 cm, revestido de chumbo (8 mm) e acoplado a um analisador multicanal.

Existe também um outro sistema com um cristal de NaI (Tl) de 7,6 cm x 7,6 cm, que é usado para medidas sobre o órgão, (tireóide). O tempo de cada medida para o corpo inteiro e para a tireóide é de 10 e 5 minutos, respectivamente. O

limite de detecção para a tireóide é de 74 Bq. Todas as medidas são realizadas em geometria de cadeira reclinável, com sistema multicanal de aquisição de dados, IPEN/ND-052 (1996).

2.6.3 Monitoração externa

A Monitoração externa é realizada por meio da técnica de dosimetria fotográfica. Esse controle é feito mensalmente e o limite mínimo de detecção do filme é de 0,2 mSv que é também considerado como o nível de registro, IPEN/ND-001 (1996).

2.7 BANCO DE DADOS DO SERVIÇO DE MONITORAÇÃO DO IPEN/CNEN/SP

De acordo com as normas nacionais, o serviço de monitoração individual do IPEN mantém todos os históricos de dose externa dos trabalhadores, assim como os dados de monitoração de urina e de contador de corpo inteiro. Tais dados foram utilizados no desenvolvimento do presente trabalho.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Os trabalhadores selecionados para o presente estudo são lotados no Departamento de Processamento de Material Radioativo, do IPEN-CNEN/SP, onde são produzidos atualmente cerca de 370 GBq/semana de Iodo-131, entre outros radionuclídeos. Esses trabalhadores realizam suas atividades em áreas onde existe risco de contaminação interna, conforme os resultados provenientes da monitoração da contaminação de superfície e de ar. Os trabalhadores selecionados para este estudo tem sido periodicamente monitorados por meio de técnicas de bioanálise in vitro, isto é, medidas da atividade excretada em urina. Tais profissionais, na época da realização do estudo, foram também monitorados esporadicamente por meio de medidas realizadas no corpo inteiro.

Uma das etapas mais importantes deste trabalho consistiu na reconstrução das doses recebidas pelos trabalhadores selecionados, resultantes da exposição crônica ao Iodo-131.

Para a avaliação da dose interna dos trabalhadores foram utilizados os resultados obtidos nas monitorações rotineiras, que são feitas para o controle ocupacional das incorporações e das doses daqueles trabalhadores. Apesar da instalação operar desde 1959, os trabalhadores começaram a ser monitorados através de técnicas de bioanálise in vitro a partir de meados de 1981, quando foi estabelecido o método de determinação de Iodo-131 em urina.

Por meio de modelos biocinéticos atuais e adequados à situação, foi realizada a avaliação retrospectiva das doses internas efetivas, entre 1981 e 1994, ano este escolhido para finalizar o presente estudo.

Para realizar a avaliação retrospectiva das doses efetivas foi necessário:

- (a) conhecer a instalação, sua evolução ao longo do tempo e as condições de trabalho do ponto de vista radiológico;
- (b) verificar os procedimentos de monitoração interna estabelecidos e
- (c) analisar os resultados obtidos nestas monitorações, existentes no banco de dados já mencionado no Capítulo 2, item 2.7.

3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO DEPARTAMENTO DE PROCESSAMENTO DE MATERIAL RADIOATIVO, DO IPEN/CNEN/SP

O Departamento de Processamento de Material Radioativo do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear - IPEN-CNEN/SP, é a instalação responsável por aproximadamente 90% da produção e distribuição de radionuclídeos para aplicações médicas, no território nacional. Atualmente conta com 15 celas blindadas para processamento, marcação e distribuição de radioisótopos e com 3 caixas com luvas para marcação e distribuição do material radioativo.

Na Tabela 3.1 são apresentados os locais, principais dispositivos de operação e as atividades desenvolvidas nas instalações do Departamento de Processamento de Material Radioativo - IPEN-CNEN/SP.

Tabela 3.1 Locais, dispositivos de operação e atividades do Departamento de Processamento de Material Radioativo. - IPEN-CNEN/SP.

LOCAL	DISPOSITIVO DE OPERAÇÃO	TIPO DE ATIVIDADE
a	3 celas blindadas	Processamento de ^{131}I - Via seca Processamento de ^{131}I - via úmida. Distribuição de ^{131}I - Iodeto de Sódio.
b	3 celas blindadas	Distribuição de ^{99}Mo - fissão. Distribuição de ^{201}Tl - Cloreto de Tálcio. Cela em manutenção.
c	3 celas blindadas	Cela multiuso - abertura de alvos e fracionamento de ^{24}Na . Processamento, marcação e distribuição de ^{153}Sm - EDTMP. Processamento de ^{123}I - via seca, Iodeto de Sódio.
d	2 celas blindadas	Processamento e distribuição de ^{35}S - Ácido Sulfúrico. Processamento e distribuição de ^{67}Ga - Citrato de Gálio.
e	1 cela blindada	Distribuição do molibdato de sódio - ^{99}Mo - fissão. Lavagem do gerador de $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Montagem do gerador de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, Pertecnetato de Sódio. Eluição do Gerador de $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
f	2 caixas com luvas	Distribuição do ^{32}P - Ácido Fosfórico, Fosfato de Sódio. Distribuição do ^{51}Cr - Cloreto de crômio, Cromato de Sódio.
g	1 capela radioquímica	- Distribuição de ^{45}Ca .
h	3 celas blindadas	Marcação dos compostos com ^{131}I Marcação dos compostos com ^{123}I . ^{18}F FDG-Fluorodeoxiglucose.
i	1 caixa com luvas	Marcação dos compostos com ^{51}Cr .

a, b, c, d, e, g, h, i = laboratórios

f = setor de manutenção de celas, que é uma área controlada.

Além das atividades apresentadas na Tabela 3.1, são realizadas pesquisas com moléculas marcadas, desenvolvimento e controle de qualidade de radiofármacos.

Nos processos de marcação de moléculas com Iodo-131, os parâmetros de variação de temperatura, controle de pH e tempo de reação são fundamentais. Tais parâmetros influenciam na determinação do percentual de marcação e pureza radioquímica do produto, o qual é encaminhado à Supervisão de Controle de Qualidade para validação do produto final. A Supervisão de Controle de Qualidade documenta as características específicas da matéria-prima, do radioisótopo, e do radiofármaco, através dos controles químico, físico e biológico, e emite a aprovação para o seu consumo.

3.3 *SELEÇÃO DO GRUPO DE ESTUDO*

Para o desenvolvimento desta tese foi necessário avaliar grupos de trabalhadores do IPEN-CNEN/SP. O primeiro grupo é composto por indivíduos não ocupacionalmente expostos e o segundo grupo, que é o de interesse, composto por indivíduos expostos à contaminação interna devido ao trabalho com Iodo-131. A seguir são descritas as características de cada grupo.

- **Trabalhadores não-ocupacionalmente expostos**

Este grupo de trabalhadores foi chamado de grupo controle. Foi constituído por 10 indivíduos que não têm contato com material radioativo, como por exemplo secretárias, pessoal administrativo, etc. Esses indivíduos voluntariamente coletaram amostras de urina a cada 15 dias, durante um ano. Os procedimentos para a coleta e o processamento das amostras de urina foram os rotineiramente adotados no Laboratório de Análises Radiotoxicológicas do IPEN, ND-007 (1996).

- **Trabalhadores ocupacionalmente expostos**

De um total de 45 trabalhadores distribuídos nos diversos setores do TP, foram selecionados 20, os quais, por indicação do supervisor de proteção radiológica, realizavam controle periódico da contaminação interna, através da monitoração da atividade de Iodo-131 excretada em urina. Esses 20 trabalhadores foram classificados em dois grupos, I e II, em função do local de trabalho ou da atividade ocupacional desempenhada. Cada grupo foi composto por 10 trabalhadores, com diferentes tempos de trabalho no IPEN. Todos desempenham funções ligadas diretamente ao manuseio do Iodo-131, ou seja, o processamento do alvo irradiado, a marcação de moléculas e a sua distribuição (fracionamento). As Tabelas 3.2 e 3.3

apresentam, respectivamente para os grupos I e II, uma relação codificada dos trabalhadores selecionados, o local de operação, principal tarefa, início do trabalho com material radioativo no IPEN e início da monitoração por bioanálise de urina.

Tabela 3.2 Relação dos trabalhadores selecionados do grupo I e de suas tarefas.

Código do Trabalhador	Local de operação	Principal Tarefa	Início do trabalho (Ano)	Início da bioanálise (Ano)
689	h	Marcação	1987	1987
697	h	Marcação	1982	1982
699	g	Controle de Qualidade	1977	1982
716	h	Marcação	1986	1986
730	g	Controle Biológico	1978	1982
731	i	Desenvolvimento de Radiofármacos	1982	1982
732	g	Controle de Qualidade	1974	1988
744	h	Marcação	1972	1983
745	g,h	Controle de Qualidade e Marcação	1979	1985
751	g	Controle de Qualidade	1984	1987

Tabela 3.3 Relação dos trabalhadores selecionados do grupo II e de suas tarefas.

Código do trabalhador	Local de operação	Principais tarefas	Início do trabalho (Ano)	Início da bioanálise (Ano)
688	d,f	Distribuição e Processamento	1976	1983
703	a,b	Distribuição e Processamento	1977	1982
708	e,g	Distribuição	1971	1982
714	a,b,c,d,e,f,g,h	Manutenção de sistemas	1976	1986
719	a,b	Distribuição e Processamento	1975	1981
722	a,b,e,g	Distribuição e Processamento	1983	1983
723	a,b,c,d,e,f,g,h	Manutenção de sistemas	1980	1981
741	a,b,g	Distribuição e Processamento	1980	1981
742	a,b	Distribuição e Processamento	1983	1983
754	g	Manutenção de sistemas	1980	1983

Observação: vide Tabela 3.1, para conhecimento da instalação e das atividades exercidas.

A Tabela 3.4 mostra as atividades de Iodo-131 manuseadas pelos grupos I e II, por ano, desde 1981 até 1994.

Tabela 3.4 Atividades anuais de Iodo-131 manuseadas pelos grupos I e II.

	Grupo I	Grupo II
ANO	GBq	GBq
1981	629	6327
1982	333	6993
1983	370	7992
1984	370	8621
1985	370	8991
1986	407	9176
1987	407	9176
1988	407	14504
1989	407	14245
1990	407	11877
1991	407	13209
1992	407	14208
1993	666	15355
1994	481	14060

3.4 CONSULTA AO BANCO DE DADOS DO SERVIÇO DE MONITORAÇÃO INDIVIDUAL DO IPEN

Numa análise preliminar do banco de dados do serviço de monitoração individual do IPEN, verificou-se que as monitorações de urina dos trabalhadores foram realizadas rotineiramente a partir de 1981, e as monitorações em contador de corpo inteiro realizadas a partir de 1984, sem frequência regular. O intervalo de monitoração entre as medidas através das técnicas de bioanálise in vitro e medidas in vivo não foi congruente, não apresentando harmonia, o que dificultou uma comparação entre as medidas. A análise dos dados foi então realizada a partir dos resultados de uranálise, da consulta aos arquivos do histórico individual de exposição à radiação dos trabalhadores e dos relatórios do supervisor de proteção radiológica da área. Com essas medidas foi possível simular os tipos mais prováveis de exposição aos quais os trabalhadores estavam submetidos, identificar a principal via de incorporação, estabelecer um modelo de incorporação e realizar a avaliação retrospectiva das doses efetivas.

3.4.1 Críticas à avaliação da dose retrospectiva utilizando publicações internacionais

O primeiro problema encontrado para a avaliação da dose retrospectiva é a dificuldade em se interpretar os resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina, provenientes de monitoração rotineira. As maiores fontes de incertezas estão no desconhecimento do tempo em que a incorporação ocorreu, do modo de incorporação e na variação de retenção e excreção entre indivíduos.

Com a finalidade de contornar estas dificuldades e somando-se à necessidade de proporcionar um tratamento eminentemente prático para o controle de exposições, as publicações 54 e 78 da ICRP (1988; 1998) recomendam que se assuma que toda a incorporação tenha ocorrido de forma única, ou seja, na metade do período de monitoração.

Conforme pode-se observar na Tabela 3.5, reproduzida da publicação 78, da ICRP (1998) a quantidade de iodo excretada na urina decai aproximadamente uma ordem de grandeza por dia, até o quarto dia após a incorporação. Portanto, um erro no dia da incorporação pode levar a interpretações de dose que variam em até 10^3 na ordem de grandeza e erros desta magnitude são muito significativos em termos de proteção radiológica. Por isto foi necessário de maneira inédita, estabelecer um modelo real para as incorporações dos trabalhadores, inclusive fazendo distinção entre incorporações agudas e incorporações crônicas.

Tabela 3.5 Valores previstos na excreção urinária diária (Bq/Bq incorporado) para inalação de Iodo-131, ICRP (1998).

Tempo (dias)	Excreção urinária diária
1	5,3E-01
2	4,3E-02
3	2,5E-03
4	2,7E-04
5	1,7E-04
6	1,8E-04
7	1,9E-04
8	2,0E-04
9	2,1E-04
10	2,1E-04

Um segundo problema consistiu na escolha do modelo a ser utilizado para o iodo. A publicação 54 da ICRP (1988), utiliza os modelos do sistema respiratório e do sistema gastrointestinal da publicação 30 ICRP (1979), que também é utilizado pelas normas nacionais, CNEN (1988), considera o iodo como um composto da classe D. Na publicação 78 da ICRP (1998), o iodo pode ser tratado como um gás, para estudos de incorporações (classe SR-01, tipo F). Como o iodo é volátil, o mais provável é que o mesmo esteja sendo inalado pelos trabalhadores incluídos nesta pesquisa, na forma de gás do que na forma de partículas. Verifica-se que as frações da atividade incorporada excretadas na urina são diferentes nas publicações 54 e 78 da ICRP (1988; 1998). A Tabela 3.6 mostra as principais diferenças ocorridas a partir do terceiro, quarto e quinto dia após a incorporação, isto é, cerca de uma ordem de grandeza.

Tabela 3.6 Fração da atividade incorporada, ICRP (1988;1998).

Iodo-131	3° dia	4° dia	5° dia
ICRP-54 Classe D; DAMA igual a $1\mu\text{m}$	1,6 E-02	4,3E-03	1,3E-03
ICRP-78 Classe SR-1, Tipo F	2,5E-03	2,7E-04	1,7E-04

A diferença de uma ordem de grandeza na fração excretada implica em aproximadamente uma ordem de grandeza na dose.

Os procedimentos para o cálculo da dose retrospectiva dos trabalhadores envolveram as etapas a seguir:

3.4.2 Análise preliminar das atividades encontradas a partir dos resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina

Após a consulta ao banco de dados e a classificação dos trabalhadores que manuseiam Iodo-131 nos grupos I e II, foi realizada uma análise cuidadosa dos resultados das atividades de Iodo-131 encontradas nas amostras de urina. Tal estudo tinha como objetivo avaliar os prováveis tipos de exposição, ou seja, verificar quando e como ocorriam possíveis incorporações, identificadas através da eliminação do

nuclídeo pela urina. Nessa análise, observou-se tanto a ocorrência de atividades esporádicas e significativas de Iodo-131 na urina, indicadoras de incorporações agudas, como a presença regular de pequenas quantidades na urina sugestivas de exposição crônica.

Em princípio, foram considerados as concentrações isoladas de Iodo-131 em amostras de urina acima de 100 Bq/l como advindas de acidentes onde haviam ocorrido incorporações agudas. Para o Iodo-131 na forma de vapor, a concentração de 100 Bq/l em amostras de urina, realizadas 15 dias após a incorporação, corresponde aproximadamente a uma dose de 15 mSv, ICRP-78 (1998). Para arbitrar a concentração acima da qual se considerou a possibilidade de uma situação anormal, considerou-se o nível de investigação em vigência no Brasil (norma CNEN NE 3.01/88) e monitorações realizadas 15 dias após a incorporação. Como as monitorações eram irregulares nos anos 80, considerou-se o período de 15 dias com base no intervalo de monitoração atual. É preciso esclarecer que cada um dos casos considerados para investigação foi analisado individualmente, avaliando-se retrospectivamente o histórico de dados e o calendário para se estimar a data mais provável da incorporação.

O critério de 100 Bq/l não foi o único a ser considerado para identificar uma situação anormal. Foram também analisadas: (a) as ocorrências de atividades na urina que, visualmente, chamavam a atenção nas tabelas dos resultados de monitoração, por serem bem maiores que as atividades encontradas nas outras monitorações realizadas num certo ano; (b) os resultados consecutivos de monitorações com uma frequência maior do que a normal, indicativos de uma ocorrência anormal ou de um maior cuidado na monitoração; e (c) os resultados relativamente elevados de atividades de Iodo-131 na urina para mais de um trabalhador, na mesma data.

As monitorações realizadas após a obtenção de um resultado considerado como incorporação aguda foram analisadas para verificar se elas podiam ser consideradas como consequência do acidente ou se deviam ser tratadas independentemente. Desta forma, as incorporações agudas foram tratadas separadamente, como eventos independentes das exposições crônicas. Posteriormente, foram calculadas em separado as doses devidas às exposições

internas crônicas, denominadas "doses internas crônicas"; as doses provenientes das exposições internas agudas foram denominadas "doses internas agudas".

3.4.3 Modelo de incorporação crônica de Iodo-131 pelos trabalhadores

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados obtidos nas monitorações de urina, foram analisados, através de representação gráfica, no Anexo A, todos os resultados relativos às concentrações de Iodo-131 em amostras de urina, referentes às exposições crônicas dos trabalhadores cadastrados no banco de dados do IPEN, ao longo do tempo, em atividade por unidade de volume (Bq/l), a partir da primeira coleta registrada, para cada ano de trabalho. O limite de detecção do método radioquímico, LD, é 2,0 Bq/l. Todos os resultados iguais ou menores ao LD foram normalizados para um valor numérico igual a 1, que representa a metade do LD, conforme sugestão de Gilbert e Kinnison (1981).

A partir das Figuras do Anexo A (Figura A1 a A27) é possível identificar claramente que existe incorporação crônica de Iodo-131, caracterizada pela elevada frequência de amostras de urina que apresentam concentrações detectáveis do nuclídeo.

A interpretação de dados de bioanálise para Iodo-131 requer um modelo matemático que relacione a incorporação com as concentrações do isótopo em amostras de urina. Inicialmente, fez-se uma avaliação da relação entre o tipo e a frequência de manuseio pelas pessoas, dias da semana de manuseio e as informações contidas nas Tabelas 3.2 e 3.3, com a finalidade de se estabelecer um modelo de incorporação para o trabalhador.

Apesar das tarefas principais serem pré-estabelecidas, os trabalhadores também circulam pelas áreas restritas, o que pode resultar em uma incorporação indevida pelo fato do Iodo-131 ser bastante volátil e de fácil absorção.

Baseado nos dados de monitorações existentes, que além de tudo são muito irregulares, é impossível derivar um modelo de incorporação crônica real para cada trabalhador. Como o problema das pequenas incorporações é constante, optou-se por tratar os dados através de um modelo que supõe, para cada ano de trabalho, incorporações crônicas constantes, durante cinco dias por semana, por inalação de iodo na forma de gás.

Para estimar as incorporações crônicas foi utilizado o modelo descrito na publicação 56 da ICRP (1990), com as considerações para gases e vapores da publicação 66 da ICRP (1994), na qual o Iodo-131 é tratado como iodo elementar, com as características de deposição classe SR-1, e tipo F (*fast*, rápido) para absorção, ICRP (1994a; 1995b; 1998). A partir desses parâmetros foram derivadas as tabelas que fornecem a fração de retenção de incorporação (FRI), ou seja, a fração da atividade incorporada presente nos diferentes órgãos do corpo e em excreta, após um ano de trabalho, considerando a incorporação de uma unidade de atividade (1 Bq) por dia, durante 5 dias por semana, 8 horas por dia de trabalho. As FRIs para excreção urinária diária, para o Iodo-131, geradas por L. Bertelli (1998), estão apresentadas no Anexo B (B1), para todos os dias da última semana de trabalho do ano. Como pode ser visto pelas tabelas geradas, existe dependência entre as quantidades presentes nos órgãos e na excreta com o dia da semana em que é feita a medida. Desse modo, medidas na urina podem ser convertidas em estimativas de incorporação. Como a meia-vida radioativa do Iodo-131 é de apenas 8,0 dias, as tabelas são as mesmas independente do número de anos de trabalho.

3.4.4 Cálculo da incorporação e da dose interna crônica

As doses internas crônicas foram calculadas para cada trabalhador, para cada ano de trabalho. Para os trabalhadores divididos nos grupos I e II, foi calculada a média da excreção urinária de iodo em Bq/l para cada indivíduo de cada grupo, para cada ano de trabalho, tendo-se o cuidado de utilizar somente os dados de indivíduos que apresentavam um número de coletas igual ou maior do que cinco por ano.

Para o cálculo da incorporação diária média de iodo em Bq/l, por ano de trabalho, utilizou-se o valor encontrado na excreção média para cada ano de trabalho dividido pela fração de retenção incorporada, FRI, correspondente ao dia da coleta.

Para os trabalhadores do grupo I que exercem atividades de marcação, fracionamento e limpeza das celas, às segundas, terças, quartas, quintas e sextas-feiras, a coleta de urina ocorre às segundas-feiras, a cada duas semanas. O grupo II abrange os trabalhadores que efetuam o processamento dos alvos irradiados, fracionamento e distribuição, além da limpeza das celas, às sextas, segundas e terças-feiras, sendo que a coleta de urina ocorre às quartas-feiras, também a cada

duas semanas. As FRIs, utilizadas no cálculo para os grupos I e II foram $3,79 \times 10^{-1}$ e $4,21 \times 10^{-1}$, respectivamente. Tais valores foram obtidos da Tabela 3.7, abaixo, baseados nos valores das Tabelas apresentadas no Anexo B1, e corrigindo-se a excreção urinária de 24 horas (1,4 l) para 1 litro.

Tabela 3.7 Frações da atividade incorporada previstas na excreção urinária diária para inalação de Iodo-131, L. Bertelli (1998).

MODELO: I - ICRP-56;71 (1990;1995b) ISÓTOPO: I-131
 INCORPORAÇÃO: INALAÇÃO , TRABALHADOR
 ATIVIDADE INICIAL OU DIÁRIA: 1.000E+00 Bq
 MODELO PULMONAR ICRP-66(1994): SR-1 TIPO:F

DIAS DA SEMANA	Fração da atividade incorporada URINA (24-HORAS)
Segunda-feira	5,31E-01
Terça-feira	5,85E-01
Quarta-feira	5,88E-01
Quinta-feira	5,89E-01
Sexta-feira	5,89E-01
Sábado	6,64E-02
Domingo	1,13E-03
Segunda-feira	5,31E-01

Foi verificado que, na prática, a frequência de coleta estabelecida (a cada duas semanas) não foi tão rigorosa, ocorrendo na realidade, um número de coletas menor do que o esperado no ano, que seria entre 22 e 23 coletas. No cálculo da incorporação só foram considerados os indivíduos que efetuaram no mínimo cinco coletas de urina por ano. Cabe ressaltar que, no presente estudo, foi considerado um ano de trabalho igual a 220 dias, que é o número médio de dias de trabalho por ano.

Para o cálculo da dose crônica interna, utilizou-se o valor estimado da incorporação diária média para cada ano de trabalho, multiplicado por 220 dias e pelo fator de conversão de dose (FCD). Tal fator de dose para a tireóide é $3,90 \times 10^{-7}$ Sv/Bq; para a dose efetiva, é $2,00 \times 10^{-8}$ Sv/Bq, de acordo com a publicação 71 da ICRP (1995b).

3.4.5 Cálculo da incorporação e da dose aguda referentes à situações anormais

Para a estimativa da incorporação aguda foi feita uma análise retrospectiva no calendário, para se obter uma melhor precisão da data em que

ocorreu a incorporação. Além dos parâmetros considerados no item 3.4.2 foi verificada a possibilidade de ter ocorrido exposição indevida. Também foi feita uma análise para verificar se no mesmo evento houve incorporação por parte de um indivíduo ou mais, ou ainda do grupo todo. Por fim, consultou-se o supervisor de radioproteção da área, com a finalidade de se constatar alguma anormalidade naquela data e local de trabalho que justificasse a incorporação. Com base nestes dados foi estabelecida a data mais provável da incorporação.

No Anexo B (B2) são apresentadas as FRIs em excreta, geradas por L. Bertelli (1998), em diferentes intervalos de tempo após a incorporação única de 1 Bq de Iodo-131. Essa Tabela de conversão da atividade excretada por unidade de atividade inalada foi utilizada na estimativa de cálculo da incorporação aguda.

Para o cálculo da dose aguda, utilizou-se o valor estimado da incorporação multiplicado pelo fator de conversão de dose, mencionado no item 3.4.4.

3.5 ANÁLISE DE DADOS DOS HISTÓRICOS DE DOSE EXTERNA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS NESTE ESTUDO

Essa análise incluiu a dose externa devido à exposição concomitante a outras fontes externas de radiação, além do Iodo-131.

Para o controle da dose externa os trabalhadores utilizam filmes fotográficos portados sobre o corpo, os quais são avaliados mensalmente, desde o início do trabalho com material radioativo.

As Tabelas 3.8 e 3.9 mostram para os grupos I e II respectivamente, os resultados das doses externas acumuladas anuais, no período em estudo.

Tabela 3.8 Histórico individual de dose externa do grupo I
Dose Acumulada Anual - Dose Equivalente (mSv)

ANO COD	689	697	699	716	730	731	732	744	745	751
1981			1,1		2,1		1,8	1,2	1,2	
1982		8,6	1,7		17,3		1,4	2,6		
1983		3,1	2,3		1,5	1,5	5,7	4,3	1,3	
1984		3,3	2,4		2,0	1,7	2,7	2,3	2,3	
1985		1,9	1,5		1,4	2,0	1,2	1,2	1,2	
1986	0,0	2,0	1,3	9,9	1,2	1,5	1,2	1,2	0,9	
1987	0,6	0,5	0,0	0,8	0,0	1,2	0,3	0,3	0,3	
1988	1,5	0,7	0,6	1,6	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0	
1989	0,3	1,0	1,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1990	1,0	1,5	0,0	1,4	0,0	1,7	0,0	0,3	0,0	
1991	1,8	1,3	2,5	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
1992	3,9	3,7	1,6	1,5	1,1	0,3	0,3	0,6	0,3	5,6
1993	2,8	4,1	8,5	1,4	3,2	0,0	1,5	1,9	0,0	1,1
1994	0,6	0,8	1,3	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0

COD: Código do Trabalhador

Limite máximo anual é de 50 mSv de acordo com a Resolução CNEN 12/88, publicada no Diário Oficial da União em 01/08/88.

Limite mínimo de detecção do filme é de 0,2 mSv, considerado como o nível de registro.

Toda a dose abaixo do nível de registro é considerada ZERO.

Tabela 3.9 Histórico individual de dose externa do grupo II
Dose Acumulada Anual - Dose Equivalente (mSv)

ANO/COD	688	703	708	714	719	722	723	741	742	754
1981	2,0	2,7	6,3	1,2	1,5		2,6	1,2	4,0	5,7
1982	4,9	2,7	6,3	14,1	3,5		2,8	2,5	5,4	1,9
1983	4,5	4,1	7,1	14,4	2,1	6,8	3,5	2,0	7,2	2,3
1984	5,6	4,4	7,1	16,0	2,8	3,0	6,7	3,7	13,8	5,1
1985	15,6	3,3	7,1	20,4	2,5	6,8	4,0	2,7	19,8	2,5
1986	4,0	2,4	8,8	19,4	2,1	13,5	4,3	2,5	23,5	2,5
1987	9,4	1,2	13,5	18,0	0,0	10,0	3,6	0,0	15,6	0,3
1988	5,0	3,4	12,1	31,1	1,0	10,7	7,2	1,4	13,9	0,6
1989	5,8	1,0	7,7	14,0	0,7	2,8	5,4	0,9	18,0	3,0
1990	6,7	2,1	5,6	19,3	1,6	3,8	8,3	0,8	9,9	3,6
1991	3,2	0,5	4,2	22,6	2,3	2,3	7,8	0,0	9,3	3,3
1992	3,3	2,4	5,1	19,9	4,3	12,8	13,3	8,1	12,4	6,0
1993	4,3	2,3	7,8	16,3	2,7	11,4	15,2	9,9	19,8	7,7
1994	1,9	0,0	2,8	11,3	0,4	8,2	19,3	0,7	2,2	9,6

COD: Código do Trabalhador

Limite máximo anual é de 50 mSv de acordo com a Resolução CNEN 12/88, publicada no Diário Oficial da União em 01/08/88.

Limite mínimo de detecção do filme é de 0,2 mSv, considerado como o nível de registro.

Toda a dose abaixo do nível de registro é considerada ZERO.

A Tabela 3.10 apresenta as fontes não-seladas às quais os trabalhadores estão expostos.

Tabela 3.10 Exposição do trabalhador a fontes não seladas, resultante das tarefas desempenhadas.

FONTES DE EXPOSIÇÃO					
COD	SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA
689	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{131}_{51}\text{Cr}, ^{153}\text{Sm}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	LC $^{131}_{51}\text{Cr}$
697	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF ^{153}Sm	MF $^{123}_{131}\text{I}$	LC $^{131}_{131}\text{I}$
699	CA $^{131}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{131}\text{I}$
716	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{131}_{51}\text{Cr}, ^{153}\text{Sm}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	LC $^{131}_{131}\text{I}$
730	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
731	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$
732	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
744	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF ^{153}Sm	MF $^{123}_{131}\text{I}$	LC $^{131}_{131}\text{I}$
745	MF $^{131}_{51}\text{Cr}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF ^{153}Sm	MF $^{123}_{131}\text{I}$	LC $^{131}_{131}\text{I}$
751	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
688	ME $^{201}_{81}\text{Tl}$	MF; ME $^{123}_{35}\text{S}, ^{24}\text{Na}$	LC $^{67}_{31}\text{Ga}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{67}_{31}\text{Ga}$
703	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
708	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc};$ ME; $^{45}_{20}\text{Ca}$	MF ^{153}Sm	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$
714	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$
719	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
722	MF $^{131}_{201}\text{Tl}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	MF $^{123}_{131}\text{I}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$
723	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$
741	MF $^{131}_{131}\text{I}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	LC $^{99}_{42}\text{Mo}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$
742	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$
754	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	CA $^{131}_{99\text{m}}\text{Tc}$	MF $^{99}_{42}\text{Mo}$

COD: Código do Trabalhador

MF - Manuseio frequente, todos os dias da semana

ME - Manuseio Eventual

LC - Limpeza de "celas quentes", onde se processa o material radioativo e das caixas com luvas

CA - Circulação nas áreas de produção e distribuição de radioisótopos.

Todos os trabalhadores, além da tarefa principal com o manuseio dos radionuclídeos, também circulam nos locais de controle, produção de radiofármacos e distribuição de radioisótopos, estando submetidos, eventualmente, à irradiação, em todos os dias da semana, pelos seguintes radionuclídeos: ^{51}Cr ; ^{67}Ga ; ^{123}I ; ^{131}I ; ^{99}Mo ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$; ^{201}Tl ; ^{35}S ; ^{45}Ca ; ^{24}Na ; ^{153}Sm e outros.

3.6 ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ADOTADAS

Para a análise das medidas de proteção radiológica, foram considerados os relatórios de proteção radiológica da instalação, e as entrevistas efetuadas com os supervisores de proteção radiológica e com os inspetores da CNEN que visitaram as instalações.

3.7 ESTUDO DOS POSSÍVEIS EFEITOS NA SAÚDE.

As células da tireóide possuem a propriedade de concentrar seletivamente iodo inorgânico circulante. Elas sintetizam e secretam para os folículos uma grande molécula de glicoproteína, a tireoglobulina, principal componente do colóide. Além disso, as células glandulares são também responsáveis pela síntese de outras enzimas e substâncias necessárias à organificação do iodo e à síntese de hormônios.

Os hormônios secretados pela tireóide como a tiroxina (T4) e a triiodotironina (T3) exercem intenso efeito na taxa metabólica do organismo. Todas as etapas que levam à produção e secreção dos hormônios tireoidianos ocorre conforme a demanda dos tecidos periféricos e são regulados em parte pela adeno-hipófise, através da secreção do hormônio estimulante da tireóide (thyroid-stimulating hormone – TSH), também chamado de tireotropina, Nascimento (1996).

A tireóide pode apresentar diferentes disfunções ou doenças, avaliada por parâmetros como: variação do metabolismo e atividade glandular, níveis de hormônio circulante ou captação do iodo. Dentre estas anormalidades destacam-se hipertireoidismo, hipotireoidismo e câncer de tireóide. Além da radiação ionizante, características hereditárias e distúrbios imunológicos podem estar associados à estas enfermidades.

No caso da radiação ionizante, em virtude do conhecimento destes danos biológicos, as normas nacionais emitidas pela CNEN, obrigam que seja realizado um acompanhamento clínico do trabalhador durante a sua vida laboral e em alguns casos, inclusive após cessar todo o trabalho em presença de radiação ionizante. Transcreve-se aqui o artigo número 6.1.3.6 na íntegra, da norma nacional, CNEN-NE-3.01 (1988):

6.1.3.6 A supervisão médica deve abranger os seguintes exames:

- a) exame pré-ocupacional, para verificar se o trabalhador está em condições de saúde física e mental para iniciar a sua ocupação, incluindo uma análise do seu histórico médico e radiológico contendo todas as informações sobre exposições anteriores;
- b) exame periódico, de acordo com a natureza da Instalação e com as doses recebidas pelo trabalhador;
- c) exames especiais, em trabalhadores que tenham recebido doses superiores aos limites estabelecidos em normas da CNEN, ou sempre que o médico ou o supervisor de radioproteção julgar necessário; e
- d) exame pós-ocupacional, imediatamente após o término da ocupação no emprego.

Com relação ao item b, para os trabalhadores do Departamento de Processamento de Material Radioativo efetua-se também os seguintes exames laboratoriais: dosagens de hormônios tireoidianos T4, T3 e TSH.

Com o auxílio do Serviço Médico do IPEN, foram compilados os dados clínicos e anamnese tanto dos trabalhadores expostos ao Iodo-131 quanto dos do grupo controle.

Foi realizada uma análise de correlação estatística entre as alterações tireoideanas detectadas e as doses recebidas, considerando-se o tipo de exposição, os anos de trabalho e as medidas de proteção radiológica adotadas ao longo dos anos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 *INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE URANÁLISE*

Na análise dos resultados de uranálise foi constatado que o trabalhador, ao longo dos anos, apresenta tanto incorporação crônica como incorporação aguda por Iodo-131. As exposições consideradas crônicas ocorrem com uma certa periodicidade, enquanto que as exposições agudas ocorrem esporadicamente. Os resultados referentes às contribuições de cada tipo de exposição em termos de dose efetiva foram tratados separadamente e depois somados para se obter a dose interna total recebida pelo trabalhador.

4.1.1 *Contribuição da dose interna crônica*

Com o objetivo de verificar a contribuição da dose interna crônica recebida pelos trabalhadores dos grupos I e II foi realizada uma análise individual e coletiva dos resultados obtidos.

As Tabela 4.1 e 4.2 apresentam os resultados relativos aos trabalhadores dos grupos I e II, respectivamente. As Tabelas "a" apresentam os resultados do cálculo das excreções médias crônicas por ano, para cada trabalhador; as Tabelas "b" apresentam os resultados do cálculo das estimativas de incorporação diária média, por ano de trabalho. Foi considerado para o grupo I, monitorações realizadas nas segundas-feiras e para o grupo II, monitorações realizadas nas quartas-feiras. Nas Tabelas "c" são mostrados os resultados do cálculo das doses médias anuais individuais na tireóide e a dose média efetiva para os indivíduos dos grupos I e II.

Tabela 4.1.a Resultados do cálculo da concentração média de Iodo-131 em amostras de urina (Bq/l) para cada ano de trabalho do grupo I.

ANO COD	689	697	699	716	730	731	732	744	745	751
1981										
1982		2,23	2,66		1,00	8,33	7,80			
1983		4,67	3,50		1,00	3,17	1,00	37,18		
1984		3,19				3,00		2,86		
1985		2,47						1,45	8,10	
1986		7,61		8,31				2,58		
1987	2,49	5,00	3,72	3,54		9,75		3,33		6,80
1988	2,81	3,58	3,66	2,77	1,22	9,59	1,65	5,17		1,81
1989	8,03	6,32	6,47	3,33	4,05	7,63	2,31	10,14		2,13
1990	11,60	1,00	2,40	6,75	1,38	2,65	5,60	1,00		1,00
1991	6,78	11,65	4,42	8,93	6,44	16,32	5,33	6,50		6,41
1992	24,91	15,98		6,86	5,05	10,88	2,99			0,90
1993	5,25	11,09	2,05	4,21	2,98	4,09	1,16	1,00	1,00	2,40
1994	10,04	7,39	3,07	6,81	2,62	8,19	3,57		5,53	7,32

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.1.b Resultados do cálculo da incorporação diária média (Bq), para cada ano de trabalho do grupo I.

ANO COD	689	697	699	716	730	731	732	744	745	751
1981										
1982					2,64					
1983		12,32			2,64	8,36	2,64			
1984		8,42				7,92		7,55		
1985		6,52						3,83		
1986		20,10		21,93				6,81		
1987	6,57	13,19	9,82	9,34		25,73		8,79		
1988	7,41	9,45	9,66	7,31	3,22	25,30	4,35	13,64		4,77
1989	21,19	16,68	17,07	8,79	10,69	20,13	6,09			
1990	11,60		6,33		3,64		14,78			
1991	17,89	30,74	11,66	23,56	16,99	43,06	14,06	17,15		16,91
1992	65,73	42,16		18,10	13,32	28,71	7,89			2,37
1993	13,85	29,26	5,41	11,11	7,86	10,79	3,06			6,33
1994	26,49	19,50	8,10	17,97	6,91	21,61	9,42		14,59	19,31

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.1.c Resultados do cálculo das doses médias equivalente e efetiva referentes à exposição crônica do grupo I, recebidas em cada ano de trabalho.

COD	669		697		699		716		730	
	Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)	
ANO	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1981										
1982									2,27E-04	1,16E-05
1983			1,06E-03	5,42E-05					2,27E-04	1,16E-05
1984			7,22E-04	3,70E-05						
1985			5,59E-04	2,87E-05						
1986			1,72E-03	8,84E-05			1,88E-03	9,65E-05		
1987	5,64E-04	2,89E-05	1,13E-03	5,80E-05	8,43E-04	4,32E-05	8,01E-04	4,11E-05		
1988	6,36E-04	3,26E-05	8,11E-04	4,16E-05	8,29E-04	4,25E-05	6,27E-04	3,22E-05	2,76E-04	1,42E-05
1989	1,82E-03	9,32E-05	1,43E-03	7,34E-05	1,46E-03	7,51E-05	7,54E-04	3,87E-05	9,17E-04	4,70E-05
1990	9,95E-04	5,10E-05			5,43E-04	2,79E-05			3,12E-04	1,60E-05
1991	1,53E-03	7,87E-05	2,64E-03	1,35E-04	1,00E-03	5,13E-05	2,02E-03	1,04E-04	1,46E-03	7,48E-05
1992	5,64E-03	2,89E-04	3,62E-03	1,86E-04			1,55E-03	7,96E-05	1,14E-03	5,86E-05
1993	1,19E-03	6,09E-05	2,51E-03	1,29E-04	4,64E-04	2,38E-05	9,53E-04	4,89E-05	6,74E-04	3,46E-05
1994	2,27E-03	1,17E-04	1,67E-03	8,58E-05	6,95E-04	3,56E-05	1,54E-03	7,91E-05	5,93E-04	3,04E-05

COD	731		732		744		745		751	
	Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)	
ANO	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1987										
1988										
1989	7,17E-04	3,68E-05	2,27E-04	1,16E-05						
1990	6,80E-04	3,48E-05			6,48E-04	3,32E-05				
1991					3,29E-04	1,69E-05				
1992					5,84E-04	3,00E-05				
1993	2,21E-03	1,13E-04			7,54E-04	3,87E-05				
1994	2,17E-03	1,11E-04	3,73E-04	1,91E-05	1,17E-03	6,00E-05			4,09E-04	2,10E-05
1995	1,73E-03	8,86E-05	5,23E-04	2,68E-05						
1996			1,27E-03	6,50E-05						
1997	3,69E-03	1,89E-04	1,21E-03	6,19E-05	1,47E-03	7,55E-05			1,45E-03	7,44E-05
1998	2,46E-03	1,26E-04	6,77E-04	3,47E-05					2,03E-04	1,04E-05
1999	9,26E-04	4,75E-05	2,63E-04	1,35E-05					5,43E-04	2,79E-05
1994	1,85E-03	9,51E-05	8,08E-04	4,14E-05			1,25E-03	6,42E-05	1,66E-03	8,50E-05

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.2.a Resultados do cálculo da concentração média de Iodo-131 em amostras de urina (Bq/l) para cada ano de trabalho do grupo II.

ANO COD	688	703	706	714	719	722	723	741	742	754
1981					4,85		6,27	9,53		
1982		1,00	1,00	1,00	11,42		9,17	5,78		
1983	1,78	2,22	5,27	7,36	6,09	2,10	6,64	5,56	5,75	5,82
1984	1,15	7,18	2,90	1,77	1,00	6,09	6,41	5,38	1,72	9,30
1985	4,62	1,71	3,58	8,84	2,31	5,97	5,00	8,63	8,56	
1986	1,85	1,20	4,58	5,80	2,50	8,87	6,31	2,83	4,77	
1987	2,98	8,39	2,57	7,26	1,33	9,28	5,21	2,13	7,23	
1988	5,80	2,18	1,36	4,08	3,07	9,99	2,93	3,22	4,02	
1989		4,66	3,51	3,30	1,73	5,12	1,27	1,47	1,00	2,41
1990		4,64	2,75	2,73	5,20	10,28	2,33	2,74	1,22	4,18
1991	5,30	1,44	4,99	3,27	6,98	7,56	0,86	2,69	4,16	6,17
1992		1,00		2,15	3,50	4,70	2,22	2,08	1,00	
1993	1,31	1,74	1,00	1,00	1,10	3,51	2,20	1,51	2,20	
1994	1,00		1,00	1,00	1,23	3,13	1,20	1,80	1,57	2,99

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.2.b Resultados do cálculo da soma das incorporações diária média (Bq), para cada ano de trabalho do grupo II.

ANO COD	688	703	706	714	719	722	723	741	742	754
1981					11,52		14,89	22,64		
1982					27,13		21,78	13,73		
1983	4,23	5,27	12,51	17,48	14,47	4,99	15,77	13,21		
1984	2,73	17,05	6,89	4,20		14,47	15,23	12,78	4,08	
1985	10,97	4,06	8,50	21,00	5,49	14,18	11,88	20,50	20,33	
1986		2,85	10,88	13,77	5,94	21,07	14,99	6,72	11,33	
1987	7,08	19,93	6,10	17,24	3,16	22,04	12,38		17,17	
1988		5,18	3,23	9,69	7,29	23,73	6,96	7,64	9,55	
1989		11,07	8,34	7,84	4,11	12,16	3,02	3,49		
1990		11,02	6,53	6,48	12,35		5,34	6,51	2,90	9,93
1991	12,59	3,42	11,85	7,77	16,58	17,96	2,04	6,39	9,88	14,66
1992		2,38				11,16	5,27	4,94		
1993	3,11	4,13		2,38	2,61	8,34	5,23	3,59		
1994			2,38		2,92	7,43	2,85	4,28	3,73	7,10

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.2.c Resultados do cálculo das doses médias equivalente e efetiva referentes à exposição crônica do grupo II, recebidas em cada ano de trabalho.

COD	688		703		708		714		719	
	Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)	
ANO	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva
1981									9,88E-04	5,07E-05
1982									2,33E-03	1,19E-04
1983	3,63E-04	1,86E-05	4,52E-04	2,32E-05	1,07E-03	5,50E-05	1,50E-03	7,69E-05	1,24E-03	6,37E-05
1984	2,34E-04	1,20E-05	1,46E-03	7,50E-05	5,91E-04	3,03E-05	3,60E-04	1,85E-05		
1985	9,41E-04	4,83E-05	3,48E-04	1,79E-05	7,29E-04	3,74E-05	1,80E-03	9,24E-05	4,71E-04	2,42E-05
1986			2,45E-04	1,25E-05	9,34E-04	4,79E-05	1,18E-03	6,06E-05	5,10E-04	2,61E-05
1987	6,07E-04	3,12E-05	1,71E-03	8,77E-05	5,23E-04	2,68E-05	1,48E-03	7,59E-05	2,71E-04	1,39E-05
1988			4,44E-04	2,28E-05	2,77E-04	1,42E-05	8,31E-04	4,26E-05	6,25E-04	3,21E-05
1989			9,50E-04	4,87E-05	7,16E-04	3,67E-05	6,73E-04	3,45E-05	3,53E-04	1,81E-05
1990			9,46E-04	4,85E-05	5,60E-04	2,87E-05	5,56E-04	2,85E-05	1,06E-03	5,43E-05
1991	1,08E-03	5,54E-05	2,93E-04	1,50E-05	1,02E-03	5,21E-05	6,67E-04	3,42E-05	1,42E-03	7,30E-05
1992			2,04E-04	1,05E-05						
1993	2,67E-04	1,37E-05	3,54E-04	1,82E-05			2,04E-04	1,05E-05	2,24E-04	1,15E-05
1994					2,04E-04	1,05E-05			2,51E-04	1,28E-05

COD	722		723		741		742		754	
	Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)		Dose (Sv/a)	
ANO	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva	Tireóide	Efetiva
1981			1,28E-03	6,55E-05	1,94E-03	9,96E-05				
1982			1,87E-03	9,58E-05	1,18E-03	6,04E-05				
1983	4,28E-04	2,20E-05	1,35E-03	6,94E-05	1,13E-03	5,81E-05				
1984	1,24E-03	6,37E-05	1,31E-03	6,70E-05	1,10E-03	5,62E-05	3,50E-04	1,80E-05		
1985	1,22E-03	6,24E-05	1,02E-03	5,23E-05	1,76E-03	9,02E-05	1,74E-03	8,95E-05		
1986	1,81E-03	9,27E-05	1,29E-03	6,60E-05	5,77E-04	2,96E-05	9,72E-04	4,99E-05		
1987	1,89E-03	9,70E-05	1,06E-03	5,45E-05			1,47E-03	7,55E-05		
1988	2,04E-03	1,04E-04	5,97E-04	3,06E-05	6,56E-04	3,36E-05	8,19E-04	4,20E-05		
1989	1,04E-03	5,35E-05	2,59E-04	1,33E-05	2,99E-04	1,54E-05				
1990			4,58E-04	2,35E-05	5,59E-04	2,86E-05	2,49E-04	1,28E-05	8,52E-04	4,37E-05
1991	1,54E-03	7,90E-05	1,75E-04	8,98E-06	5,48E-04	2,81E-05	8,48E-04	4,35E-05	1,26E-03	6,45E-05
1992	9,58E-04	4,91E-05	4,52E-04	2,32E-05	4,24E-04	2,17E-05				
1993	7,16E-04	3,67E-05	4,49E-04	2,30E-05	3,08E-04	1,58E-05				
1994	6,37E-04	3,27E-05	2,45E-04	1,25E-05	3,67E-04	1,88E-05	3,20E-04	1,64E-05	6,09E-04	3,12E-05

COD = Código do trabalhador

4.1.2 Contribuição da dose interna aguda

A detecção e a confirmação dos eventos sugestivos de incorporações agudas anuais (Bq), para cada trabalhador dos grupos I e II estão apresentadas, nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente. As Tabelas "a" mostram os resultados do cálculo da soma das incorporações agudas anuais e as Tabelas "b" apresentam os resultados do cálculo das doses equivalente e efetivas dos respectivos grupos. Como mencionado anteriormente, estes eventos foram reconhecidos tanto pela atividade significativa encontrada na urina, como pelas medidas seriadas das urinas ou investigando o grupo para verificar a ocorrência da incorporação coletiva. Na suspeita de uma situação anormal de trabalho, foi fundamental a confirmação do resultado encontrado com o relatório do supervisor de proteção radiológica da instalação. Na análise verificou-se muitas vezes que alguns trabalhadores apresentavam incorporações isoladas, existindo também contaminações generalizadas no grupo de estudo.

Tabela 4.3.a Resultados do cálculo da soma das incorporações agudas anuais (Bq), para cada trabalhador do grupo I.

	689	697	699	716	730	731	732	744	745	751
1991										
1992										
1993		7,91E+05						5,34E+06		
1994										
1995										
1996				2,94E+03						
1997										
1998	3,17E+05	4,04E+05			7,35E+02	6,94E+02	1,61E+02			2,42E+03
1999	5,29E+03	1,49E+03		3,16E+02			1,82E+03			4,52E+01
2000	1,65E+04	2,32E+04	1,48E+06	2,46E+04						
2001	2,96E+05	9,77E+05		3,78E+05		4,58E+06	1,47E+06			
2002	3,45E+04	1,01E+03		1,21E+03		5,36E+03				
2003	1,41E+04	5,50E+04	1,17E+04	5,01E+02		2,95E+03	5,37E+02			
2004	1,71E+03	1,44E+05	4,92E+02	1,58E+06	1,73E+02	5,07E+04	1,52E+04			1,44E+06

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.3.b Resultados do cálculo das doses equivalente e efetiva referentes à situações anormais para cada ano de trabalho do grupo I.

COD	679		697		699		710		712	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
At. T	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1981										
1982										
1983			3,08E-01	1,58E-02						
1984										
1985										
1986							1,15E-03	5,88E-05		
1987										
1988	1,24E-01	6,35E-03	1,57E-01	8,08E-03					2,86E-04	1,47E-05
1989	2,06E-03	1,06E-04	5,82E-04	2,98E-05			1,23E-04	6,32E-06		
1990	6,42E-03	3,29E-04	9,04E-03	4,63E-04	5,75E-01	2,95E-02	9,58E-03	4,91E-04		
1991	1,15E-01	5,92E-03	3,81E-01	1,95E-02			1,47E-01	7,56E-03		
1992	1,34E-02	6,90E-04	3,92E-04	2,01E-05			4,74E-04	2,43E-05		
1993	5,50E-03	2,82E-04	2,14E-02	1,10E-03	4,57E-03	2,34E-04	1,96E-04	1,00E-05		
1994	6,68E-04	3,43E-05	5,62E-02	2,88E-03	1,92E-04	9,83E-06	6,14E-01	3,15E-02	6,73E-05	3,45E-06

COD	721		732		744		748		751	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
At. T	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1987										
1988										
1989					2,08E+00	1,07E-01				
1990										
1991										
1992										
1993	2,71E-04	1,39E-05	6,28E-05	3,22E-06					9,43E-04	4,84E-05
1994			7,09E-04	3,63E-05					1,76E-05	9,03E-07
1995										
1996	1,79E+00	9,17E-02	5,75E-01	2,95E-02						
1997	2,09E-03	1,07E-04								
1998	1,15E-03	5,90E-05	2,10E-04	1,07E-05						
1999	1,98E-02	1,01E-03	5,93E-03	3,04E-04					5,63E-01	2,89E-02

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.4.a Resultados do cálculo da soma das incorporações agudas anuais (Bq), para cada trabalhador do grupo II.

ANO COD	633	703	708	714	719	721	724	741	742	714
1981							6,46E+02			
1982										
1983				1,24E+02	2,35E+03		4,77E+03	3,33E+03		
1984	3,59E+02		8,95E+03	8,69E+02			5,70E+01		1,26E+03	
1985	1,25E+03	3,55E+02	8,73E+02	4,02E+03	8,40E+03		1,15E+05	2,11E+04		
1986		1,13E+03	1,23E+04	2,88E+04	2,41E+04	1,56E+04	6,03E+05	1,43E+04	1,29E+04	
1987			7,75E+02			5,79E+04	1,53E+05		2,77E+03	
1988			4,24E+05	6,39E+03	5,81E+02	2,09E+05	1,33E+05		1,61E+03	
1989					5,41E+02			5,19E+02		
1990	5,98E+05	2,82E+05	7,16E+05	2,35E+05	2,65E+04	1,35E+05	4,27E+03	5,61E+03		5,40E+05
1991					6,35E+04					
1992					2,55E+02	1,92E+03				
1993				3,09E+03	1,40E+03	5,84E+03	2,60E+03	5,93E+03		
1994			1,75E+03		5,57E+02		1,13E+03	4,43E+03	2,08E+04	8,13E+02

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.4.b Resultados do cálculo das doses equivalente e efetiva referentes à situações anormais para cada ano de trabalho do grupo II.

COD	815		703		705		714		715	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
ANO	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva
1981										
1982										
1983							4,84E-05	2,48E-06	9,18E-04	4,71E-05
1984	1,40E-04	7,19E-06			3,49E-03	1,79E-04	3,39E-04	1,74E-05		
1985	4,89E-04	2,51E-05	1,38E-04	7,10E-06	3,40E-04	1,75E-05	1,57E-03	8,04E-05	3,28E-03	1,68E-04
1986			4,42E-04	2,27E-05	4,80E-03	2,46E-04	1,12E-02	5,76E-04	9,39E-03	4,82E-04
1987					3,02E-04	1,55E-05				
1988					1,65E-01	8,47E-03	2,49E-03	1,28E-04	2,27E-04	1,16E-05
1989									2,11E-04	1,08E-05
1990	2,33E-01	1,20E-02	1,10E-01	5,64E-03	2,79E-01	1,43E-02	9,17E-02	4,70E-03	1,03E-02	5,29E-04
1991									2,48E-02	1,27E-03
1992									9,93E-05	5,09E-06
1993							1,21E-03	6,18E-05	5,47E-04	2,81E-05
1994					6,81E-04	3,49E-05			2,17E-04	1,11E-05

COD	722		723		741		742		714	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
ANO	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva	Tireorde	Efetiva
1981			2,52E-04	1,29E-05						
1982										
1983			1,86E-03	9,54E-05	1,30E-03	6,66E-05				
1984			2,22E-05	1,14E-06			4,91E-04	2,52E-05		
1985			4,49E-02	2,30E-03	8,23E-03	4,22E-04				
1986	6,08E-03	3,12E-04	2,35E-01	1,21E-02	5,58E-03	2,86E-04	5,03E-03	2,58E-04		
1987	2,26E-02	1,16E-03	5,97E-02	3,06E-03			1,08E-03	5,54E-05		
1988	8,15E-02	4,18E-03	5,19E-02	2,66E-03			6,28E-04	3,22E-05		
1989					2,02E-04	1,04E-05				
1990	5,27E-02	2,70E-03	1,67E-03	8,54E-05	2,19E-03	1,12E-04			2,11E-01	1,08E-02
1991										
1992	7,49E-04	3,84E-05								
1993	2,28E-03	1,17E-04	1,01E-03	5,20E-05	2,31E-03	1,19E-04				
1994			4,41E-04	2,26E-05	1,73E-03	8,86E-05	8,11E-03	4,16E-04	3,17E-04	1,63E-05

COD = Código do trabalhador

4.1.3 Dose interna total (crônica e aguda)

Os resultados das doses internas totais, crônica mais aguda, recebidas em cada ano de trabalho, pelos grupos I e II podem ser observados nas Tabelas 4.5 e 4.6 respectivamente.

Tabela 4.5 Resultados da dose interna total, contribuições da dose interna crônica e dose interna aguda, recebida pelo grupo I, por ano de trabalho.

COD	669		687		699		716		730	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
Atividade	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1941										
1942									2,27E-04	1,16E-05
1943			3,09E-01	1,59E-02					2,27E-04	1,16E-05
1944			7,22E-04	3,70E-05						
1945			5,59E-04	2,87E-05						
1946			1,72E-03	8,84E-05			3,03E-03	1,55E-04		
1947	5,64E-04	2,89E-05	1,13E-03	5,80E-05	8,43E-04	4,32E-05	8,01E-04	4,11E-05		
1948	1,24E-01	6,38E-03	1,58E-01	8,12E-03	8,29E-04	4,25E-05	6,27E-04	3,22E-05	5,63E-04	2,89E-05
1949	3,88E-03	1,99E-04	2,01E-03	1,03E-04	1,46E-03	7,51E-05	8,77E-04	4,50E-05	9,17E-04	4,70E-05
1950	7,41E-03	3,80E-04	9,04E-03	4,63E-04	5,76E-01	2,95E-02	9,58E-03	4,91E-04	3,12E-04	1,60E-05
1951	1,17E-01	6,00E-03	3,84E-01	1,97E-02	1,00E-03	5,13E-05	1,49E-01	7,66E-03	1,46E-03	7,48E-05
1952	1,91E-02	9,79E-04	4,01E-03	2,06E-04			2,03E-03	1,04E-04	1,14E-03	5,86E-05
1953	6,69E-03	3,43E-04	2,39E-02	1,23E-03	5,04E-03	2,58E-04	1,15E-03	5,89E-05	6,74E-04	3,46E-05
1954	2,94E-03	1,51E-04	5,78E-02	2,97E-03	8,87E-04	4,55E-05	6,16E-01	3,16E-02	6,60E-04	3,39E-05

COD	731		732		733		734		735	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
Atividade	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva	Tireoide	Efetiva
1941										
1942										
1943	7,17E-04	3,68E-05	2,27E-04	1,16E-05	2,08E+00	1,07E-01				
1944	6,80E-04	3,48E-05			6,48E-04	3,32E-05				
1945					3,29E-04	1,69E-05				
1946					5,84E-04	3,00E-05				
1947	2,21E-03	1,13E-04			7,54E-04	3,87E-05				
1948	2,44E-03	1,25E-04	4,36E-04	2,24E-05					1,35E-03	6,93E-05
1949	1,73E-03	8,86E-05	1,23E-03	6,31E-05					1,76E-05	9,03E-07
1950			1,27E-03	6,50E-05						
1951	1,79E+00	9,19E-02	5,76E-01	2,95E-02	1,47E-03	7,55E-05			1,45E-03	7,44E-05
1952	4,55E-03	2,33E-04	6,77E-04	3,47E-05					2,03E-04	1,04E-05
1953	2,08E-03	1,06E-04	4,72E-04	2,42E-05					5,43E-04	2,79E-05
1954	2,16E-02	1,11E-03	6,74E-03	3,46E-04			1,25E-03	6,42E-05	5,64E-01	2,89E-02

COD = Código do trabalhador

Tabela 4.6 Resultados da dose interna total, contribuições da dose interna crônica e dose interna aguda, recebida pelo grupo II, por ano de trabalho.

COD	666		703		708		714		719	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
ANO	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta
1981									9,88E-04	5,07E-05
1982									2,33E-03	1,19E-04
1983	3,63E-04	1,86E-05	4,52E-04	2,32E-05	1,07E-03	5,50E-05	1,55E-03	7,94E-05	2,16E-03	1,11E-04
1984	3,74E-04	1,92E-05	1,46E-03	7,50E-05	4,08E-03	2,09E-04	6,99E-04	3,59E-05		
1985	1,43E-03	7,33E-05	4,87E-04	2,50E-05	1,07E-03	5,49E-05	3,37E-03	1,73E-04	3,75E-03	1,92E-04
1986			6,86E-04	3,52E-05	5,74E-03	2,94E-04	1,24E-02	6,37E-04	9,90E-03	5,08E-04
1987	6,07E-04	3,12E-05	1,71E-03	8,77E-05	8,26E-04	4,23E-05	1,48E-03	7,59E-05	2,71E-04	1,39E-05
1988			4,44E-04	2,28E-05	1,65E-01	8,49E-03	3,32E-03	1,70E-04	8,52E-04	4,37E-05
1989			9,50E-04	4,87E-05	7,16E-04	3,67E-05	6,73E-04	3,45E-05	5,64E-04	2,89E-05
1990	2,33E-01	1,20E-02	1,11E-01	5,69E-03	2,80E-01	1,43E-02	9,23E-02	4,73E-03	1,14E-02	5,83E-04
1991	1,08E-03	5,54E-05	2,93E-04	1,50E-05	1,02E-03	5,21E-05	6,67E-04	3,42E-05	2,62E-02	1,34E-03
1992			2,04E-04	1,05E-05					9,93E-05	5,09E-06
1993	2,67E-04	1,37E-05	3,54E-04	1,82E-05			1,41E-03	7,23E-05	7,71E-04	3,95E-05
1994					8,85E-04	4,54E-05			4,68E-04	2,40E-05

COD	722		723		741		742		764	
	Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)		Dose (S. a.)	
ANO	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta	Tireóide	Efêrta
1981			1,53E-03	7,84E-05	1,94E-03	9,96E-05				
1982			1,87E-03	9,58E-05	1,18E-03	6,04E-05				
1983	4,28E-04	2,20E-05	3,21E-03	1,65E-04	2,43E-03	1,25E-04				
1984	1,24E-03	6,37E-05	1,33E-03	6,82E-05	1,10E-03	5,62E-05	8,41E-04	4,32E-05		
1985	1,22E-03	6,24E-05	4,59E-02	2,35E-03	9,99E-03	5,12E-04	1,74E-03	8,95E-05		
1986	7,89E-03	4,05E-04	2,36E-01	1,21E-02	6,15E-03	3,16E-04	6,00E-03	3,08E-04		
1987	2,45E-02	1,25E-03	6,07E-02	3,11E-03			2,55E-03	1,31E-04		
1988	8,35E-02	4,28E-03	5,25E-02	2,69E-03	6,56E-04	3,36E-05	1,45E-03	7,42E-05		
1989	1,04E-03	5,35E-05	2,59E-04	1,33E-05	5,02E-04	2,57E-05				
1990	5,27E-02	2,70E-03	2,12E-03	1,09E-04	2,75E-03	1,41E-04	2,49E-04	1,28E-05	2,11E-01	1,08E-02
1991	1,54E-03	7,90E-05	1,75E-04	8,98E-06	5,48E-04	2,81E-05	8,48E-04	4,35E-05	1,26E-03	6,45E-05
1992	1,71E-03	8,75E-05	4,52E-04	2,32E-05	4,24E-04	2,17E-05				
1993	2,99E-03	1,53E-04	1,46E-03	7,50E-05	2,62E-03	1,34E-04				
1994	6,37E-04	3,27E-05	6,85E-04	3,51E-05	2,09E-03	1,07E-04	8,43E-03	4,32E-04	9,26E-04	4,75E-05

COD = Código do trabalhador

4.2 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS EVENTOS QUE CONTRIBUÍRAM PARA A DOSE INTERNA AGUDA RECEBIDA PELOS TRABALHADORES

Em 1983 um acidente envolveu os trabalhadores do grupo I, codificados como 744 e 697, sendo que as doses efetivas foram estimadas em 107,0 mSv e 15,8 mSv respectivamente. Foi constatada uma falha de procedimento operacional e administrativo por parte do trabalhador 744, durante o processo de marcação de moléculas com o Iodo. A operação foi realizada sem os procedimentos adequados de segurança individual e com a volatilização do Iodo-131 durante o processo, por aquecimento, houve escape para o ambiente contaminando também o trabalhador 697.

Em 1988 vários eventos contribuíram para a dose aguda dos trabalhadores do grupo I, sendo que o mais expressivo foi em novembro, por causa da saturação dos filtros de carvão ativo e filtros absolutos, contaminando quase o grupo todo.

Os eventos continuaram ao longo dos anos, sendo que os mais expressivos aconteceram em 1990, 1991 e 1994 contaminando quase todo o grupo. Na maioria dos casos as incorporações ocorreram devido à falha de procedimento nas operações, como por exemplo: na marcação de moléculas onde qualquer alteração nos parâmetros de controle de temperatura, pH, e tempo de reação podem ocasionar a volatilização de Iodo-131. A maioria das marcações são realizadas em pH alcalino pois o iodo se volatiliza em pH ácido. Quando ocorre falha num destes parâmetros, que influenciam diretamente no percentual de marcação e na pureza radioquímica há escape de Iodo-131 saturando o sistema de filtração, e com isto contaminando o ambiente. Além disso, as operações de controle de qualidade eram efetuadas em bancada aberta e, existindo falha no sistema de extração de ar, consequentemente ocorriam incorporações no grupo todo. As falhas no sistema de exaustão podem ocorrer por problemas mecânicos ou elétricos acarretando escape do material sem passar pelos filtros, uma vez que existe vazamento através dos orifícios da cela.

Para o grupo II, verifica-se que os eventos que mais contribuíram para a incorporação aguda de iodo aconteceram em 1986 e 1990, envolvendo quase todo o grupo. Os trabalhadores codificados como 723, 688, 708 e 754 foram os que receberam as maiores doses. As incorporações ocorreram decorrente, na sua maioria, à falha no sistema de segurança da instalação, principalmente pela fadiga dos

materiais estruturais da cela de processamento de material radioativo, isto é, desgaste natural da cela, provocando o rompimento da contenção e a perda de estanqueidade da cela.

4.3 ANÁLISE DE DADOS DOS HISTÓRICOS DE DOSE EXTERNA DOS TRABALHADORES ENVOLVIDOS NESTE ESTUDO

O maior contribuinte da dose externa para o grupo II é o processo que envolve a montagem do gerador de Tecnécio-99m, que teve ao longo dos anos um incremento na atividade distribuída. Atualmente são distribuídas 170 unidades de geradores com atividades máximas de 74 GBq. Estima-se que a contribuição do Iodo-131 na dose externa é uma fração de 10% da exposição total à fontes não seladas, apresentadas na Tabela 3.10. Esta estimativa provém das monitorações operacionais, isto é, monitoração de área, a partir dos níveis de radiação no ambiente de trabalho e do tempo de permanência do trabalhador naquele ambiente assim como a monitoração individual através do uso de dosímetros de alerta, (comunicação do supervisor de proteção radiológica da área).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS TESTES ESTATÍSTICOS

4.4.1 Doses Internas crônicas e agudas

Nas Figuras 4.1 e 4.2, são mostrados os resultados do cálculo das doses efetivas internas individuais por ano de trabalho, recebida pelos trabalhadores dos grupos I e II respectivamente, devido às exposições consideradas crônicas. Nas Figuras 4.3 e 4.4 são apresentados os resultados das doses consideradas agudas, para os trabalhadores dos grupos I e II respectivamente, por ano de trabalho.

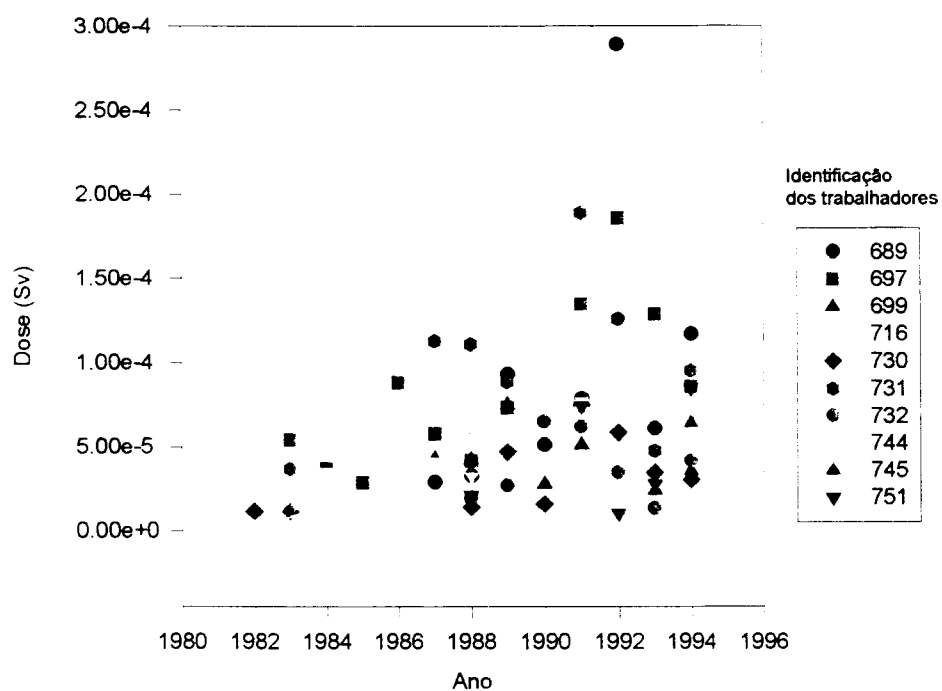


Figura 4.1 Dose devido a incorporações crônicas, por ano de trabalho – grupo I

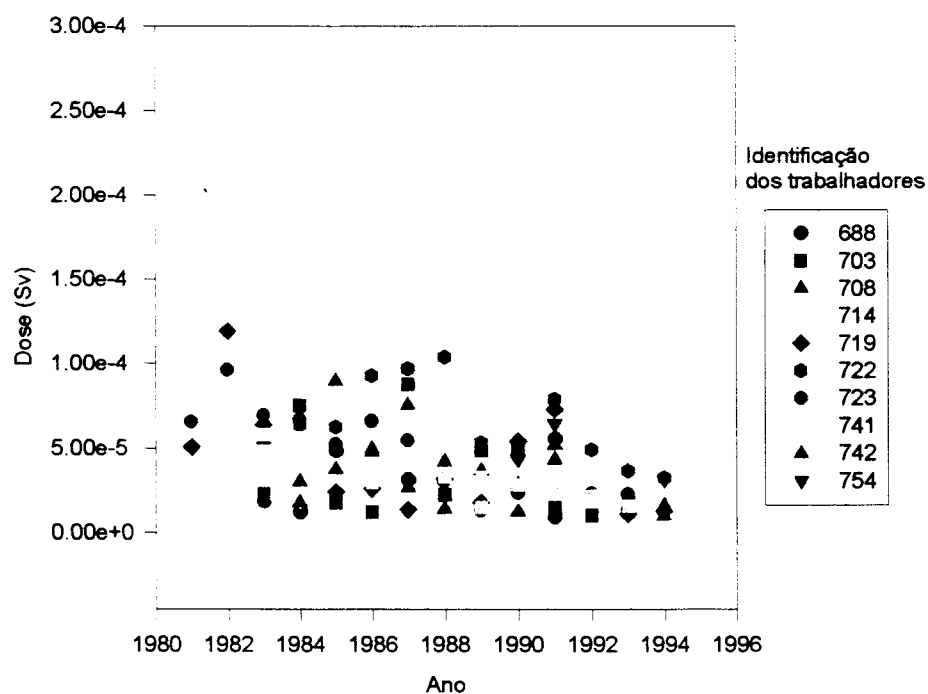


Figura 4.2 Dose devido a incorporações crônicas, por ano de trabalho – grupo II

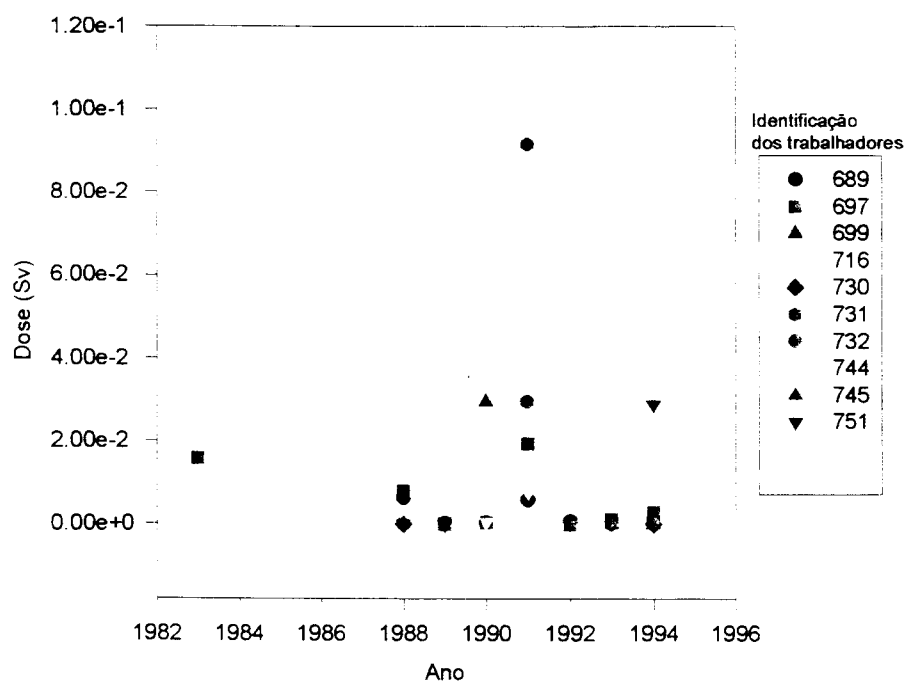


Figura 4.3 Dose devido a incorporações agudas, por ano de trabalho – grupo I

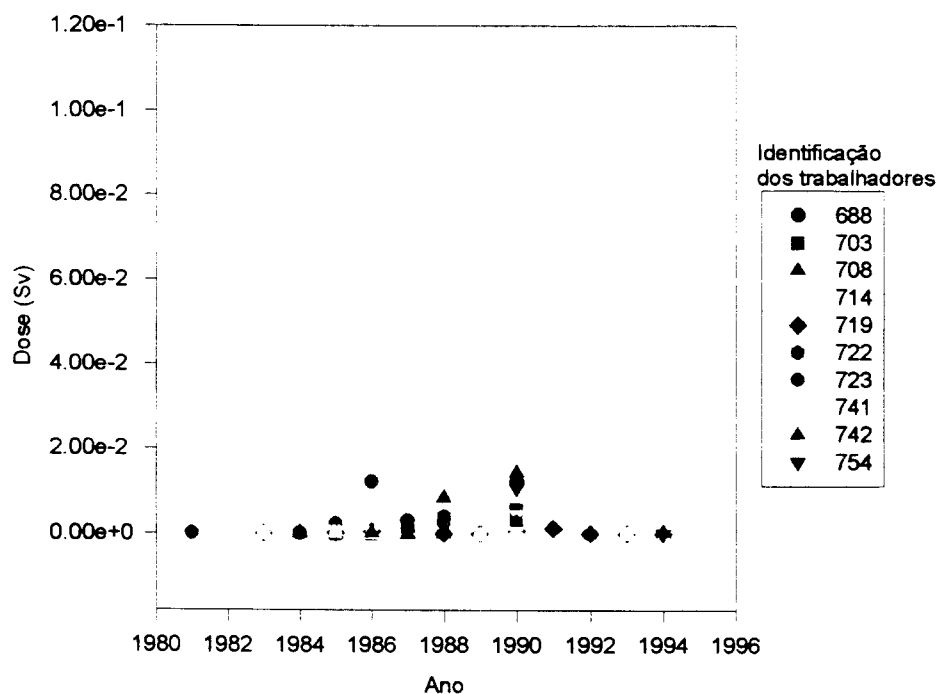


Figura 4.4 Dose devido a incorporações agudas, por ano de trabalho – grupo II

Foi realizada uma análise de regressão múltipla, por pares, considerando todos os indivíduos dos grupos I e II, tendo como variáveis: dose interna crônica, dose interna aguda, dose externa, ano, atividade média anual de iodo manuseada pelo grupo de trabalho. A matriz de correlação mostra que as variáveis dose interna crônica, dose interna aguda e dose externa estão todas correlacionadas com as atividades médias de Iodo-131 manuseadas por ano pelo grupo de trabalho. O resultado desta análise significa que as doses são diferentes entre os grupos uma vez que existe grande diferença entre as quantidades de iodo manuseadas por cada grupo. Para o grupo I as atividades médias anuais manuseadas variaram de 333 GBq a 666 GBq e para o grupo II de 6327 GBq a 15355 GBq, como foi mostrado no Capítulo 3, Tabela 3.4.

Na análise por regressão múltipla por passos, "stepwise", tendo a dose interna crônica como variável dependente e os demais parâmetros como variáveis independentes, as variáveis incluídas no modelo de regressão são: atividade média de Iodo-131 manuseada por ano e a dose aguda interna. Esta análise, apresentada no Anexo C1, mostra que somente 27% da variância total da dose crônica é explicada conjuntamente pelos efeitos das variáveis incluídas no modelo. Nenhuma das outras variáveis mostrou efeito parcial significativo após a inclusão das referidas acima. Conclui-se que a variância da dose interna crônica é proveniente de outros fatores não analisados ou é inerente da unidade experimental estudada. Observa-se também que a dose interna crônica é inversamente correlacionada com a atividade média de Iodo-131 manuseada por ano pelo grupo de trabalho. Isto pode ser devido à proteção intrínseca da instalação, pois o manuseio do iodo pelo grupo II é realizado em celas blindadas e em caixas com luvas ("glove box"). O manuseio do iodo pelo grupo I é feito em capelas, em caixas com luvas ou bancadas abertas.

Na análise da dose interna aguda como variável dependente e os demais parâmetros como variáveis independentes, observa-se que as variáveis independentes dose interna crônica e atividades médias de Iodo-131 manuseadas por ano apresentam correlação estatisticamente significativa com a dose aguda interna. Na análise por regressão múltipla por passos, "stepwise", a única variável incluída no modelo de regressão é a dose crônica interna. Esta análise, apresentada no Anexo C2, mostra que somente 8% da variância total da dose aguda é explicada pelo efeito da variável incluída no modelo. Nenhuma das outras variáveis mostrou efeito parcial

significativo após a inclusão da mesma. Conclui-se que a variância da dose interna aguda é proveniente de outros fatores não analisados ou é inerente da unidade experimental estudada.

Na análise da dose externa como variável dependente, observa-se a existência de correlação somente com a variável independente atividade média de Iodo-131 manuseada por ano ($p < 0,05$), conforme mostrado no Anexo C3.

Os dados foram então analisados separadamente em dois grupos.

4.4.2 Análise estatística dos resultados de doses relativas ao grupo I

Foi feita uma análise de regressão múltipla tendo como variáveis a dose interna crônica, a dose interna aguda, a dose externa e a tarefa desempenhada. Entre os trabalhadores pertencentes ao grupo I, destacam-se as atividades laborais de marcação de moléculas e do controle de qualidade dos radiofármacos, conforme apresentado no Capítulo 3, Tabela 3.2. A análise de regressão múltipla foi feita por pares, e na correlação das doses com a tarefa somente os dados dos indivíduos codificados como 689, 697, 699, 716, 730, 732, 744 e 751 da Tabela 3.2 foram utilizados. Os dados do trabalhador codificado como 745 não foram utilizados, pois o mesmo trabalha em ambas as atividades estudadas e só foi monitorado no ano de 1994.

4.4.2.1 Dose interna crônica anual

Na análise por regressão múltipla por passos, "stepwise", tendo a dose interna crônica como variável dependente e os demais parâmetros como variáveis independentes, as variáveis incluídas no modelo de regressão são: tarefa desempenhada e a dose interna aguda. Esta análise, apresentada no Anexo C4, mostra que 24% da variância total da dose crônica é explicada conjuntamente pelos efeitos das variáveis incluídas no modelo.

A partir de 1987, foram calculadas as médias anuais das doses internas crônicas para os trabalhadores responsáveis pela marcação de moléculas e para os trabalhadores responsáveis pelo controle de qualidade dos radiofármacos. A influência da tarefa desempenhada na dose crônica é visualizada na Figura 4.5, onde verifica-se claramente que as doses crônicas médias anuais provenientes da marcação de moléculas, são maiores que as doses provenientes do controle de

qualidade dos radiofármacos. Estes resultados foram confirmados através de um teste "t" ($p < 0,05$).

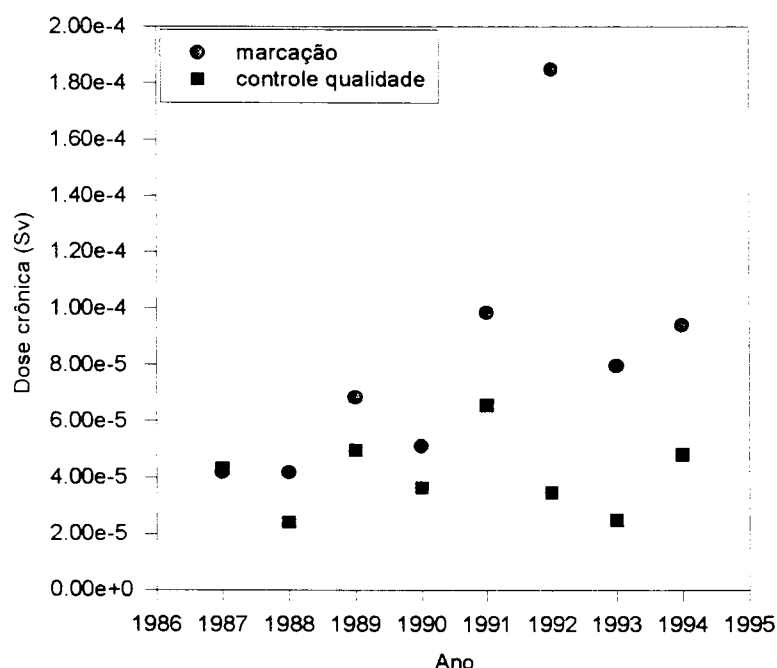


Figura 4.5 Influência da tarefa desempenhada na dose crônica no grupo I.

Foi realizado, em seguida um estudo com as doses internas crônicas e agudas médias anuais do grupo, como um todo. Para o cálculo das doses internas crônicas médias anuais do grupo, a soma das doses internas crônicas anuais, de todos os trabalhadores que apresentavam resultados foi dividida pelo número de resultados. No cálculo das doses internas agudas médias, a soma dos resultados anuais de dose interna aguda dos trabalhadores foi dividida pelo número total de trabalhadores monitorados por métodos in vitro de bioanálise, ou seja pelo mesmo divisor utilizado no cálculo da dose interna crônica média.

Foi feita uma análise de regressão múltipla, por passos, tendo como variável dependente a dose interna crônica média para todo o grupo I, por ano de trabalho, entre 1982 e 1994 e como variáveis independentes o ano e a atividade manuseada anualmente pelo grupo. O ano é a única variável incluída no modelo de regressão. Esta análise, apresentada no Anexo C5, mostra que 47% da variância total da dose interna crônica é explicada pelo efeito da variável incluída no modelo.

Por meio do teste não paramétrico de Spearman, Snedecor e Cochran (1967); Rosner (1990), verificou-se que, para as variáveis dose interna crônica média anual para todo o grupo, atividade média anual manuseada, ano de trabalho e dose interna aguda média para todo o grupo, a variável dose interna crônica média apresenta correlação com o ano de trabalho e com a atividade manuseada, Anexo C6. Como analisado anteriormente, quando os dados dos trabalhadores são analisados individualmente, existe correlação entre as doses internas crônica e aguda. Uma explicação possível é que existe relação entre a ocorrência de acidentes e o grau de contaminação da tarefa desempenhada e também do local de operação e do indivíduo.

A correlação com o ano é positiva apesar da quantidade de iodo manuseada ao longo dos anos não ter tido aumentos significativos. Este parâmetro deve ser investigado pela supervisor de proteção radiológica da instalação. A variação da dose interna crônica média com o ano pode ser observada na Figura 4.6. Como a ICRP (1990), recomenda que as doses sejam avaliadas por um período de 5 anos, é apresentado ainda, na mesma figura, a evolução das doses médias crônicas nos períodos de 1981 a 1985, 1986 a 1990 e 1991 a 1994. Para estes mesmos intervalos de tempo, as doses médias dos trabalhadores e do grupo são comparadas na Figura 4.7. Com exceção de um único trabalhador, todos apresentaram doses crescentes com o tempo. Três trabalhadores, dois deles envolvidos com a atividade de marcação, apresentaram doses crônicas médias nitidamente superiores aos seus pares.

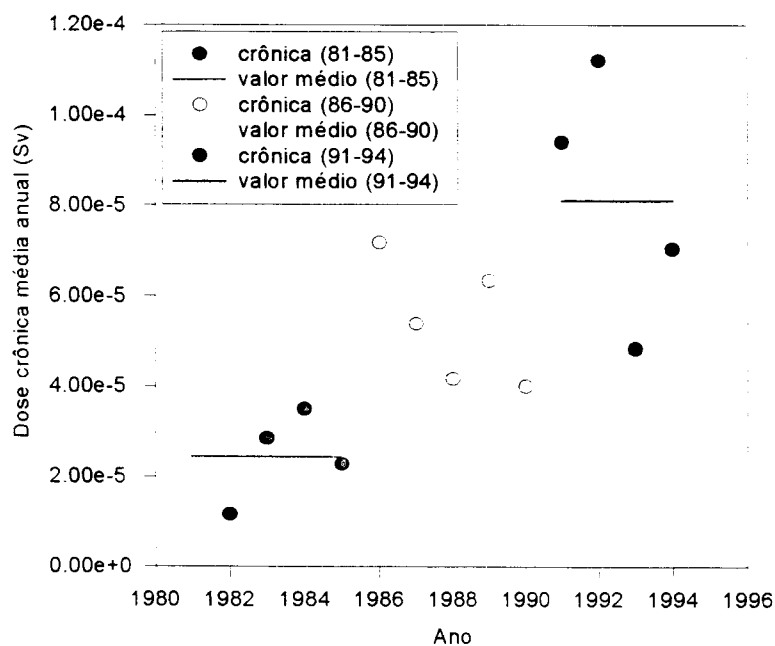


Figura 4.6 Variação da dose interna crônica média com o ano para o grupo I.

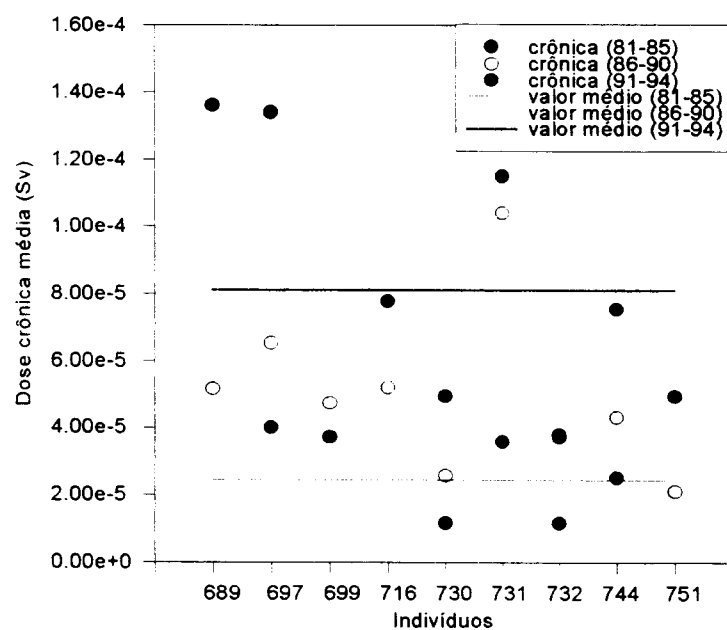


Figura 4.7 Evolução das doses internas crônicas médias para os trabalhadores do grupo I.

4.4.2.2 Dose interna aguda, por ano de trabalho

Foi feita uma análise de regressão múltipla por passos tendo como variável dependente a dose interna aguda individual e como variáveis independentes a dose interna crônica individual, a dose externa individual e a tarefa desempenhada. Foi observado, que somente existe correlação entre a dose interna aguda e a dose interna crônica. Esta análise, apresentada no Anexo C7, mostra que somente 10% da variância total da dose interna aguda é explicada pelo efeito da variável incluída no modelo. A Figura 4.3, mostra que, com exceção de um trabalhador, todos os trabalhadores do grupo, se envolveram em algum evento que ocasionou dose interna aguda.

4.4.2.3 Dose externa anual média

A dose externa média anual do grupo foi calculada pela soma das doses externas anuais de todos os trabalhadores que apresentavam resultados dividida pelo número de resultados. Na análise de regressão múltipla não foi encontrada correlação entre a dose externa anual média do grupo e as variáveis ano e dose interna crônica média anual do grupo, conforme apresentado no Anexo C8.

4.4.3 Análise estatística dos resultados de doses relativas ao grupo II

Foi feita uma análise de regressão múltipla, apresentada no Anexo C9, tendo como variáveis a dose interna crônica anual individual, a dose externa anual individual e a dose interna aguda individual, por ano de trabalho. A análise, mostra que não existe correlação entre as variáveis.

Foi realizado, em seguida um estudo com as doses internas crônicas e agudas médias anuais do grupo, como um todo. Para o cálculo das doses internas crônicas médias, a soma das doses internas crônicas anuais de todos os trabalhadores que apresentavam resultados foi dividida pelo número de resultados. No cálculo das doses internas agudas médias, a soma dos resultados anuais de dose interna aguda dos trabalhadores foi dividida pelo número total de trabalhadores monitorados por métodos in vitro de bioanálise, ou seja pelo mesmo divisor utilizado no cálculo da dose crônica média.

Foi feita uma análise de regressão múltipla por passos tendo como variável dependente a dose interna crônica média anual para todo o grupo II, entre 1982 e

1994 e como variáveis independentes o ano, a atividade manuseada anualmente pelo grupo e a dose interna aguda média anual para todo o grupo. Foi verificado que a dose interna crônica média apresenta uma forte correlação com o ano e com as atividades médias de iodo manuseadas por ano. Na análise por passos, "stepwise", somente a variável ano foi incluída no modelo de regressão. A variável ano é fortemente correlacionada com a atividade manuseada anualmente e por isto a influência da atividade manuseada anualmente aparece através da correlação com o ano. Esta análise, apresentada no Anexo C10, mostra que 71% da variância total da dose interna crônica média é explicada pelo efeito da variável incluída no modelo. A correlação com o ano é negativa, ou seja, a dose média do grupo devido à exposição crônica vem diminuindo gradativamente. A quantidade de iodo manuseada ao longo dos anos teve aumentos significativos e as melhorias na proteção radiológica, como por exemplo a troca da cela de processamento de material radioativo em 1985, são provavelmente responsáveis pela diminuição da dose devido às exposições crônicas ao longo dos anos.

A diminuição da dose interna crônica média ao longo dos anos pode ser observada na Figura 4.8. Como a ICRP (1990) recomenda que as doses sejam avaliadas por um período de 5 anos, é apresentado ainda, na mesma figura, a evolução das doses internas crônicas médias nos períodos de 1981 a 1985, 1986 a 1990 e 1991 a 1994. Para estes mesmos intervalos de tempo, as doses médias dos trabalhadores e do grupo são comparadas na Figura 4.9. Verifica-se que dois trabalhadores apresentam resultados bem acima da média do grupo, provavelmente devido a uma maior frequência das tarefas desenvolvidas por eles.

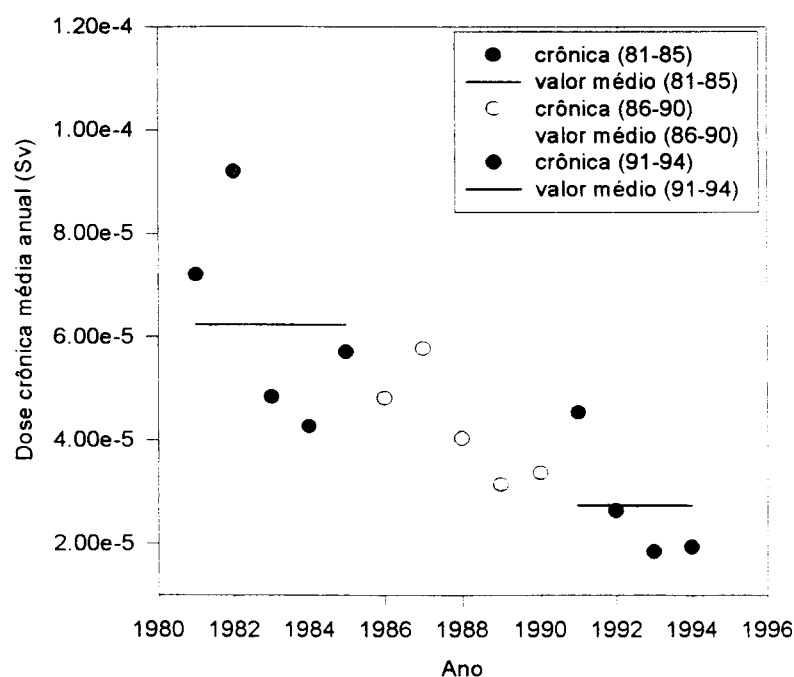


Figura 4.8 Evolução das doses internas crônicas médias em diferentes períodos de tempo para o grupo II.

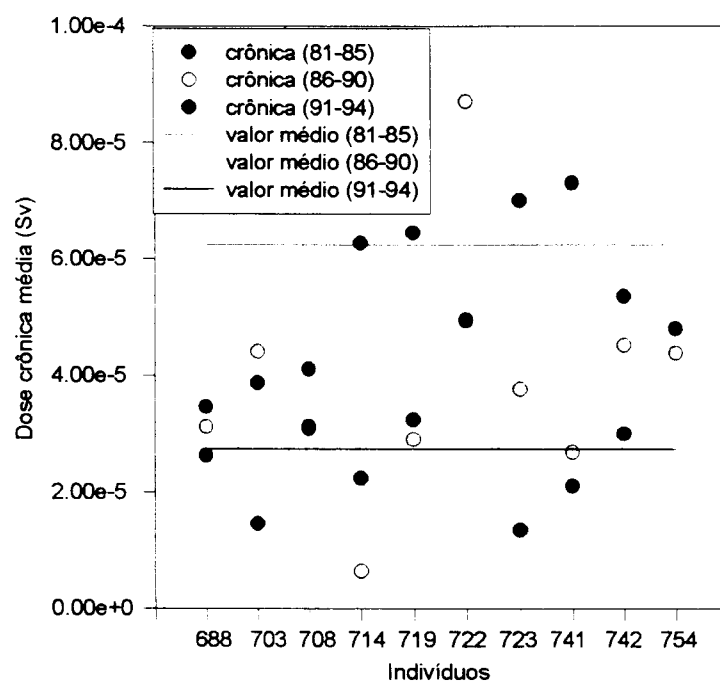


Figura 4.9 Evolução das doses internas crônicas médias em diferentes períodos de tempo para o grupo II.

Utilizando as mesmas variáveis, foi realizada uma análise de regressão múltipla tendo como variável dependente a dose interna aguda. Não há correlação entre a dose interna aguda e qualquer variável. Verifica-se que todos os trabalhadores do grupo se envolveram em algum acidente que ocasionou dose interna aguda.

A dose externa média anual do grupo foi calculada pela soma das doses anuais externas de todos os trabalhadores que apresentavam resultados dividida pelo número de resultados. Na análise de regressão múltipla não foi encontrada correlação entre a dose externa média anual do grupo e as variáveis ano e dose interna crônica média anual do grupo, conforme apresentado no Anexo C11.

4.4.4 Comparação dos resultados de doses relativas aos grupo I e II

As doses internas crônicas médias anuais dos dois grupos foram comparadas, através da Figura 4.10 (combinação das Figuras 4.6 e 4.8) e pode-se observar as tendências diferentes das doses dos dois grupos ao longo do tempo, e os valores significativamente maiores das doses do grupo I relativos ao grupo II, nos últimos anos.

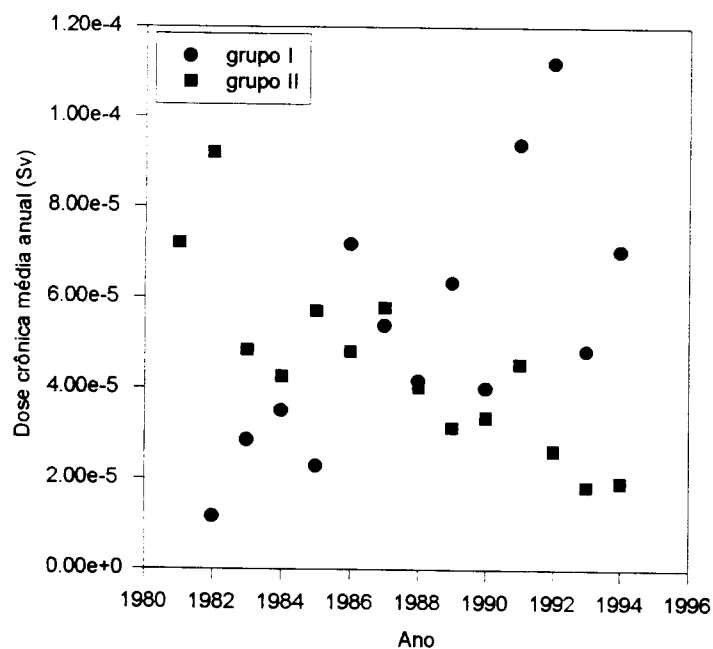


Figura 4.10 Doses internas crônicas médias anuais dos grupos I e II.

As doses internas agudas para os dois grupos podem ser comparadas através das Figuras 4.3 e 4.4. Pode-se observar que as doses provenientes de um grande número de eventos que ocasionaram incorporação aguda nos trabalhadores do grupo I são significativamente maiores que as doses que ocorrem no grupo II. Para cada grupo foram calculadas anualmente as doses internas agudas coletivas. A Figura 4.11 ilustra estes dados, mostrando novamente que as doses internas agudas para o grupo I alcançam níveis bem mais elevados do que as doses do grupo II.

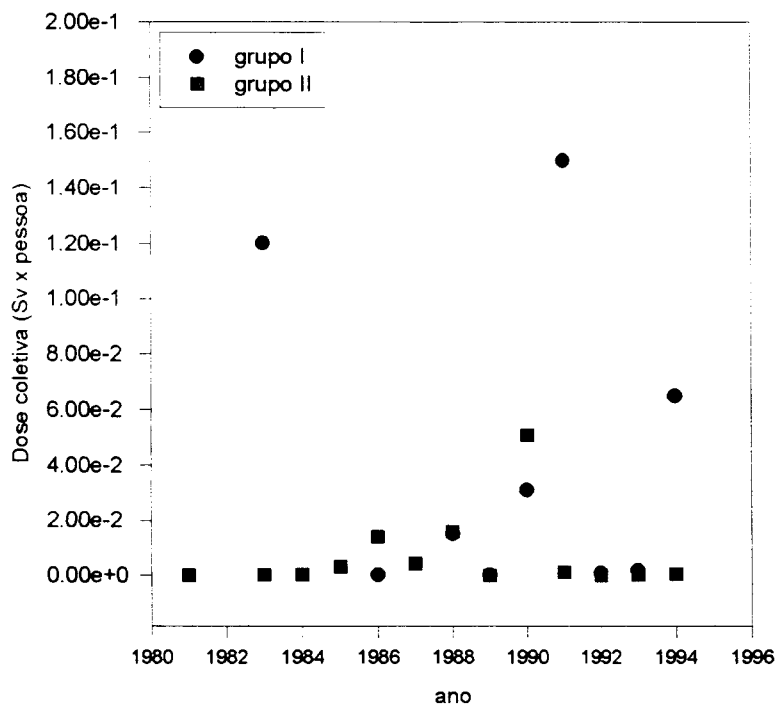


Figura 4.11 Comparação das doses internas agudas, por ano de trabalho, dos grupos I e II.

As doses externas médias para os trabalhadores dos dois grupos, no período de 1981 a 1994 podem ser comparadas através da Figura 4.12. Observa-se, que ao contrário do que acontece com as doses internas crônicas, as doses externas dos trabalhadores do grupo II são maiores do que as doses do grupo I.

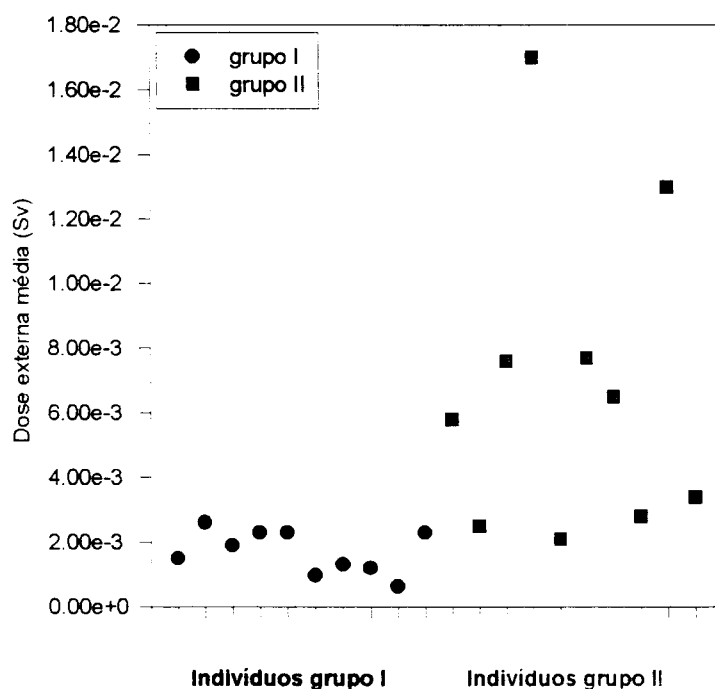


Figura 4.12 Doses externas médias de cada indivíduo dos grupos I e II, no período de 1981 a 1994.

4.4.5 Análise estatística dos resultados de doses internas totais

As doses internas totais por ano de trabalho são apresentadas nas Figuras 4.13 e 4.14, para os grupos I e II respectivamente. Em geral as doses internas agudas são relativamente altas, e são as principais contribuintes para a dose interna total, embora o teste estatístico t-pareado (Anexo C12) mostre que as doses internas totais são significativamente maiores do que as doses internas agudas ($p < 0,05$).

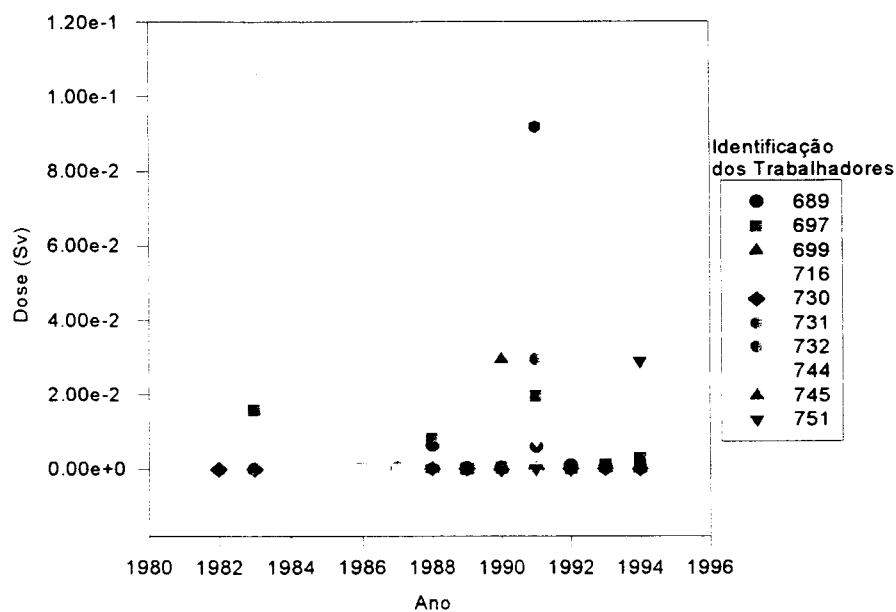


Figura 4.13 Doses internas totais por ano de trabalho para o grupo I

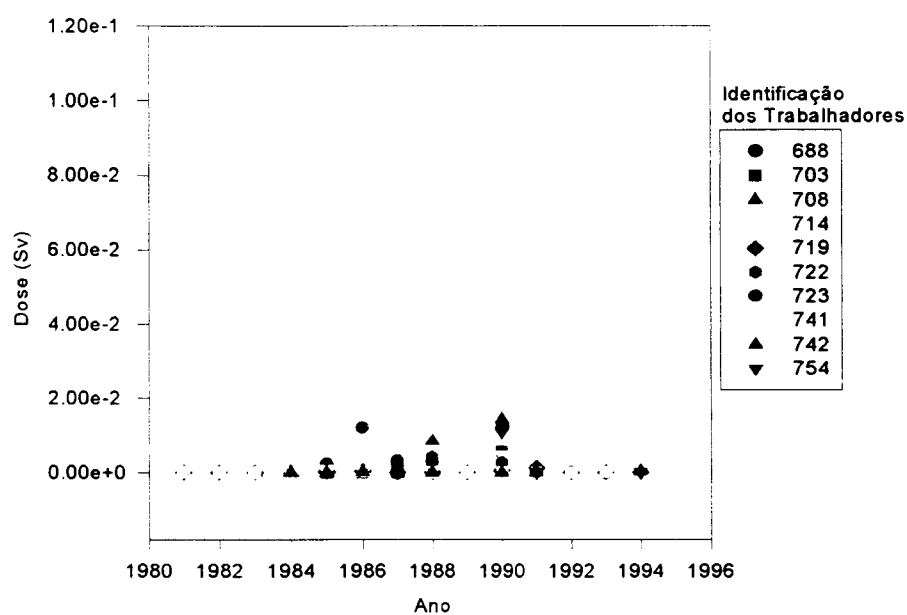


Figura 4.14 Doses internas totais por ano de trabalho para o grupo II

4.4.6 Resultados do grupo controle

Os resultados das uranálises do grupo controle apresentam valores menores do que o limite de detecção do método, IPEN/ND-007 (1996). Os resultados obtidos do grupo controle foram então utilizados como "branco" das amostras de urina (parâmetro de excreção normal advinda do ambiente natural ou da cadeia alimentar) ou como o nível de decisão adotado na análise, para as exposições crônicas.

4.4.7 Análise estatística dos resultados de dose em comparação com efeitos observados na tireóide

Consultando os arquivos médicos da instalação verificou-se que alguns funcionários apresentavam indícios de possíveis anormalidades na tireóide, detectados através de exames médicos realizados em janeiro de 1993. Estes indícios nem sempre são conclusivos e seria necessário comprová-los com melhor acompanhamento médico e novos exames complementares, na época da detecção. Estes exames, entretanto nunca foram realizados, ou se o foram, não constam nos arquivos médicos da instituição. Os funcionários com alterações nos exames laboratoriais ou clínico foram procurados individualmente mas o resultado desta pesquisa também não foi suficiente para comprovar definitivamente a existência de anormalidades na tireóide. Estes fatos enfraqueceram o estudo de riscos associados ao trabalho com fontes de iodo. Ainda assim foi feito um estudo estatístico, utilizando os dados disponíveis do prontuário médico da instituição, ou seja, os funcionários foram classificados em dois grupos: a) os que apresentaram alterações clínico e ou laboratoriais que poderiam ser indícios de problemas tireoidianos, de acordo com o relatório do médico, da Instituição, em 1993, e b) os sem alterações.

Foi realizado uma análise de regressão múltipla, por pares, considerando todos os indivíduos dos grupos I e II, tendo como variáveis: dose total interna anual, dose externa anual, dose anual total (externa acrescida da interna) e os sintomas apresentados pelo trabalhador. Não foi encontrada correlação estatisticamente significativa entre as variáveis, conforme apresentado no Anexo C13.

As doses externa média e interna crônica média para cada trabalhador, no período de 1981 a 1993, foram calculadas. As doses internas agudas para cada

trabalhador foram somadas para o período de 1981 a 1993. Foi feita uma análise de regressão múltipla tendo como variável dependente o aparecimento de sintomas e como variáveis independentes as doses interna crônica média e externa média de cada trabalhador e a soma das doses internas agudas. Não foi encontrada correlação estatisticamente significativa entre as variáveis, conforme apresentado no Anexo C14.

4.7 ANÁLISE DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ADOTADAS

Analizando os relatórios do supervisor de proteção radiológica da área e comparando com os resultados das doses obtidos verificou-se uma relação direta da situação anormal de trabalho com a incorporação de Iodo-131 pelos trabalhadores. Foram constatadas algumas falhas no sistema de proteção radiológica que podem ter provocado estas incorporações.

Em 1985, em virtude do vencimento da vida útil da cela, ocorreu o rompimento do sistema de contenção, provocado pela fadiga mecânica; simultaneamente, ocorreu o rompimento de tubulações para drenagem dos efluentes líquidos. Estes dois fatos ocasionaram contaminações no ambiente de trabalho provocando incorporações pelo trabalhador.

Em 1988 constatou-se a saturação dos filtros de carvão ativo e filtros absolutos.

Em 1990 houve falha no sistema de rejeito sólido e rejeito líquido e em 1991 no sistema de drenagem dos gases. Além destes problemas intrínsecos da instalação foi constatado também falhas operacionais.

Após a constatação das incorporações, foram tomadas as medidas elementares de proteção ao trabalhador. As medidas de proteção ao trabalhador foram as seguintes:

- A conscientização dos trabalhadores dos grupos I e II para a utilização de equipamentos de proteção individual, como máscaras adequadas, luvas, assim como treinamentos de forma a minimizar a contaminação.
- A troca da cela de processamento de Iodo-131 em 1986 reduzindo as incorporações do grupo II.

- A substituição dos filtros de carvão ativo e filtros absolutos executada em 1988 nas instalações referentes aos grupos I e II. Foi estabelecida uma troca a cada cinco anos, para evitar a sua saturação.
- Em 1990 foi feita a substituição e a otimização do sistema de coleta de rejeitos líquidos e sólidos, e implementação de um programa rotineiro de acompanhamento da qualidade do ar nas instalações ocupadas pelos grupos I e II.
- No sistema de drenagem dos gases foi introduzido um frasco de lavagem com solução tampão, para evitar a volatilização do iodo. O procedimento de troca é efetuado durante a limpeza dos sistemas de processamento de material radioativo. Esta medida foi adotada a partir de 1991 para ambas as instalações.
- Verificou-se que apesar da implementação de algumas medidas de radioproteção efetuadas a partir de 1986, os níveis de dose para o grupo II só apresentaram queda mais acentuada a partir de 1989, isto é, quando a maior parte das medidas adotadas para o processo de otimização da instalação foram complementadas, como mencionado anteriormente.
- Em 1991 foram implementadas novas medidas de radioproteção nas instalações ocupadas pelo grupo II causando uma melhora substancial nos níveis de dose, e comprovadas a partir de 1992.
- Para o grupo I, observou-se um aumento da dose ao longo dos anos, principalmente para os trabalhadores com atividades de marcação. Apesar da atividade total de iodo-131 manuseada não ter sido alterada, houve uma redução no volume de moléculas marcadas para as doses diagnósticas e um aumento da demanda de moléculas marcadas para doses terapêuticas (doses maiores), o que ocasionou maior volatilização do iodo nos ambientes de trabalho. Em 1993 observou-se uma queda considerável nos níveis de dose em virtude da introdução de uma nova medida de radioproteção: após a colocação do frasco contendo a solução tampão, foi colocado um segundo frasco, contendo sílica gel, seguido de filtros de carvão ativo. Tal procedimento, é para evitar a saturação dos filtros existentes sobre as celas de marcação. As doses observadas no grupo de controle de qualidade apresentaram-se menores devido às operações serem feitas em ambientes segregados porém compartilhados com o mesmo sistema de exaustão.

Verificou-se que, sempre que o sistema de filtração geral apresentava-se saturado, as doses relativas ao grupo de controle de qualidade aumentavam.

- Observa-se que, em geral, as medidas de proteção intrínseca não apresentaram influência no comportamento das doses do grupo I, o que comprova que as maiores falhas observadas no desenvolvimento das tarefas são oriundas da falta de treinamento do indivíduo e por ignorar os procedimentos operacionais.
- No relatório do supervisor observou-se também que foram realizadas medidas de controle de área, por meio da técnica de amostragem dos níveis de contaminação de ar e de superfícies. A verificação dos níveis de contaminação de superfície foi realizada por meio da técnica de esfregação após o término das atividades semanais. A média dos valores encontrados foi cerca de 200 Bq/cm^2 para o corredor de manutenção (g) e de 10 Bq/cm^2 para o corredor externo. O primeiro valor, quando comparado com o limite derivado recomendado na norma CNEN NE 3.01 (1988), indica a presença de contaminação cerca de 7 vezes superior ao valor admissível no corredor de manutenção, (g), desde que, 200 Bq/cm^2 sejam mantidos durante 2000 horas por ano. De acordo com a Tabela 3.3 do Capítulo 3, trabalham na área (g) os trabalhadores codificados como 708, 714, 723, 741, sendo que o trabalhador codificado 754, só trabalha nesta área, e apresenta a dose crônica média, acima dos outros indivíduos que trabalham no local (g), como é mostrado na Figura 4.9. Na mesma figura, verifica-se claramente que o trabalhador codificado como 722, apresenta dose crônica média acima dos demais do grupo. A explicação para os dois trabalhadores referenciados, deve-se aos trabalhos de manutenção de sistemas e limpeza de celas executadas com maior frequência pelos mesmos.
- Os resultados referentes à monitoração rotineira da contaminação do ar registrados no período de estudo indicaram taxas menores que a concentração derivada no ar, o que confirma os resultados das doses obtidas nas exposições crônicas dos dois grupos.
- Os fatores relacionados que mais contribuíram para a exposição crônica do grupo I estão relacionados principalmente à proteção relativa ao trabalhador, necessitando de uma melhor conscientização, para que haja a redução das doses. Para os trabalhadores do grupo II, a dose proveniente da exposição crônica tem

diminuído gradativamente e está relacionada diretamente com a proteção intrínseca da instalação.

- De uma maneira geral, entretanto, verifica-se que a atuação da proteção radiológica se mostrou eficaz ao longo dos anos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos neste trabalho são de grande valia não só para o cálculo das doses retrospectivas, como também porque podem ser utilizados como subsídio para análise de risco de trabalhadores expostos cronicamente ao manuseio com Iodo-131.
- O modelo utilizado para a interpretação dos dados de bioanálise dos trabalhadores do IPEN não seguiu as recomendações contidas nas publicações 54 e 78 da ICRP (1988; 1998). A utilização destas recomendações teria como consequência a superestimativa das doses internas efetivas em um fator de 10^3 .
- As recomendações internacionais não fazem referência a interpretação de dados de bioanálise devido a incorporações crônicas. Para a interpretação correta dos dados é necessário utilizar um modelo característico para este tipo de incorporação, levando-se em consideração o descanso semanal dos trabalhadores e o dia da semana em que a amostra de urina é coletada.
- Para evitar a superestimativa das doses internas agudas, é necessário realizar um estudo realista para determinar a data mais provável da incorporação.
- Para avaliação da dose retrospectiva foi necessário analisar o tipo e frequência de trabalho dos indivíduos, dias da semana de operação e possíveis fontes de exposição ao iodo. Com base nesta avaliação concluiu-se que o modelo de incorporação que melhor se adaptava para os trabalhadores consistia de um modelo que agregava incorporações crônicas pequenas, constantes, durante cinco dias por semana, por inalação de iodo na forma de gás e incorporações agudas de maior valor, eventuais.
- Verificou-se estatisticamente que as doses internas (crônica e aguda) são diferentes entre os grupos estudados I, e II. Para o grupo I, as quantidades de iodo manipuladas anualmente não tiveram um aumento significativo, mas as doses aumentaram ao longo dos anos. As medidas de proteção intrínseca na instalação, implementadas pela supervisão não contribuíram à redução das doses internas crônicas, que foram sempre crescentes ao longo dos anos. Tal fato pode estar relacionado principalmente às falhas de procedimento operacional

como por exemplo, o manuseio de quantidades de material radioativo além do permitido pelos procedimentos em caixas com luvas e em capelas radioquímicas. Isto reflete, a falta de conscientização do indivíduo.

- Na análise estatística das doses médias internas crônicas anuais do grupo I, constatou-se a influência da tarefa desempenhada entre os componentes do grupo. Os trabalhadores responsáveis pela marcação de moléculas apresentaram doses maiores em relação aos trabalhadores do controle de qualidade de radiofármacos.
- Para o grupo II verificou-se que a dose interna crônica média apresentou uma forte correlação com o ano. Apesar da quantidade de iodo manuseada ter tido aumentos significativos a exposição crônica vem diminuindo gradativamente devido principalmente à melhorias na proteção intrínseca da instalação.
- Verificou-se que todos os trabalhadores dos grupos I e II, se envolveram em algum evento que ocasionou dose interna aguda. Foi observado também, que as doses internas agudas relativas ao grupo I são significativamente maiores que as doses do grupo II. Em geral, as doses internas agudas foram as principais contribuintes para a dose interna total.
- A análise de regressão múltipla mostrou não haver correlação entre a dose externa e as variáveis estudadas, para ambos os grupos I e II. Na comparação dos resultados das doses externas médias para os trabalhadores dos dois grupos, observou-se que as doses externas do grupo II são maiores do que as doses do grupo I. Tal fato se deve às diferenças de quantidades de material radioativo manuseadas, sempre crescentes e significativamente maiores. O maior contribuinte da dose externa para o grupo II é o processo que envolve a montagem do gerador de Tecnécio-99m, que teve ao longo dos anos um incremento na atividade distribuída.
- Os fatores relacionados que mais contribuíram para à exposição crônica do grupo I estão relacionados principalmente à proteção relativa ao trabalhador, necessitando de uma melhor conscientização, para que haja a redução das doses.
- Foi feita uma avaliação entre os resultados de dose e as possíveis anomalias observadas em alguns trabalhadores dos grupos. Não foi encontrada correlação

estatisticamente significativa entre as variáveis estudadas. Nas estimativas de doses internas e externas, realizadas para os grupos estudados, não se observaram aumentos do risco de patologia tireoideana, durante todos os anos de trabalho.

- É necessário que a norma CNEN-NE 3.01 seja atualizada, em função das revisões internacionais que foram feitas ao longo dos últimos vinte anos. Para o caso da exposição ao iodo, deve ser considerada a inalação do composto, na forma de gás. No entanto, as normas da CNEN só consideram a incorporação do nuclídeo na forma de partículas.
- As publicações, sobre interpretações de medidas de bioanálise, são escassas e incompletas. É necessário que, urgentemente, se façam normas no país, relativas a estas interpretações, para que os resultados de dose a partir das medidas de bioanálise sejam adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTELLI, L. N. **Proposta para otimização na interpretação de dados de bioanálise para trabalhadores expostos à contaminação interna.** Rio de Janeiro, 1990. (Tese de doutoramento Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chaga Filho).
- BERTELLI, L. N. Tabelas de conversão de atividade incorporada em amostras de excreta e em órgãos. Rio de Janeiro, 1998. (Comunicação pessoal).
- BERTELLI, L.; LOURENÇO M.C.; OLIVEIRA C.A.N.; LIPSZTEIN J.L. An analytical mathematical method to calculate activity in body organs and excreta. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY . **Application of computer technology to radiation protection: Proceedings of an international seminar, held in Yugoslavia, 1987.** Vienna, 1988.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de radioproteção.** Rio de Janeiro, 1988. (CNEN-NE-3.01-88).
- GILBERT, RICHARD O.; KINNISON, ROBERT R. Statistical Methods for Estimating the Mean and Variance from Radionuclide Data Sets Containing Negative, Unreported or Less-Than Values. **Health Phys.**, 40: 377-390, 1981.
- HOLM, L. E. Risque cancérigène après irradiation interne et externe de la thyroïde. Irradiation par l'iode radioactif. **EDF-Comité de Radioprotection**, 7: 28-34, 1992.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Procedimento administrativo do laboratório de dosimetria fotográfica.** São Paulo, 1996. (IPEN/ND – 001, versão 01).
- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Procedimento administrativo do laboratório de análises radiotoxicológicas.** São Paulo, 1996. (IPEN/ND – 007, versão 01).
- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Procedimento administrativo do laboratório de medidas in vivo.** São Paulo, 1996. (IPEN/ND – 052, versão 01).

- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **IPEN - Relatório anual de 1997.** São Paulo, 1997.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources.** Vienna, 1996. (IAEA-SS-115).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. **Quantities and units in radiation protection dosimetry.** Bethesda, MD, 1993. (ICRU-51).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Report of the task group on reference man.** Oxford, Pergamon, 1975. (ICRP-23).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Limits for intakes of radionuclides by workers.** Oxford, Pergamon, 1979. (ICRP-30, part 1).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers.** Oxford, Pergamon, 1988. (ICRP-54).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides.** Oxford, Pergamon, 1990. (ICRP-56, part 1).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** Oxford, Pergamon, 1991. (ICRP-60).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Human respiratory tract model for radiological protection.** Oxford, Pergamon, 1994. (ICRP-66).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides.** Oxford, Pergamon, 1994a. (ICRP-67, part 2).

- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers.** Oxford, Pergamon, 1995. (ICRP-68).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides.** Oxford, Pergamon, 1995a. (ICRP-69, part 3.).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides** Oxford, Pergamon, 1995b. (ICRP-71, part 4).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **General principles for the radiation protection of workers.** Oxford, Pergamon, 1997. (ICRP-75).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Individual monitoring for internal exposure of workers.** Oxford, Pergamon, 1998. (ICRP-78).
- NASCIMENTO, A.C.H. **Análise biocinética do iodo-131 e dosimetria citogenética em pacientes, após a administração do radionuclídeo para o tratamento de câncer de tireóide.** Rio de Janeiro, 1996. (Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro).
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. **Influence of dose and its distribution in time on dose-response relationships for low- let radiations.** Washington, D.C., 1980. (NCRP-64).
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION. **Induction of thyroid cancer by ionizing radiation.** Bethesda, MD, 1985. (NCRP-80).
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. **Research Needs for Radiation Protection.** Bethesda, MD, 1993. (NCRP-117).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Radiation dose reconstruction for epidemiologic uses.** Washington, D.C., National Academy, 1995.

- NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Chernobyl Ten Years on Radiological and Health Impact.** Paris, France, 1995. (OECD/NEA).
- RAABE, OTTO G. **Internal Radiation Dosimetry.** Madison, Medical Physics Pub., 1994.
- ROSNER, B. **Fundamentals of biostatistics.** 3.ed Massachusetts, Pws-Kent Pub., 1990.
- SHORE, R. E. Issues and epidemiological evidence regarding radiation induced thyroid cancer. **Radiat. Res.**, 131: 98-111, 1992.
- SNEDECOR, G.W. ; COCHRAN, W.G. **Statistical methods.** 6.ed Iowa, University Pr., 1967.
- SPSS for Windows, version 6.0 (1993). Statistical package for the social science.
- TOMIDA, M. R. **Determinação de iodo-131 e tório em urina.** São Paulo, 1978. (Dissertação de mestrado, Instituto de Energia Atômica).
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). **Sources and effects of Ionizing Radiation: report to the general assembly.** New York, 1994.

ANEXO A

RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES DE IODO-131 EM AMOSTRAS DE URINA, REFERENTES ÀS EXPOSIÇÕES CRÔNICAS DOS TRABALHADORES

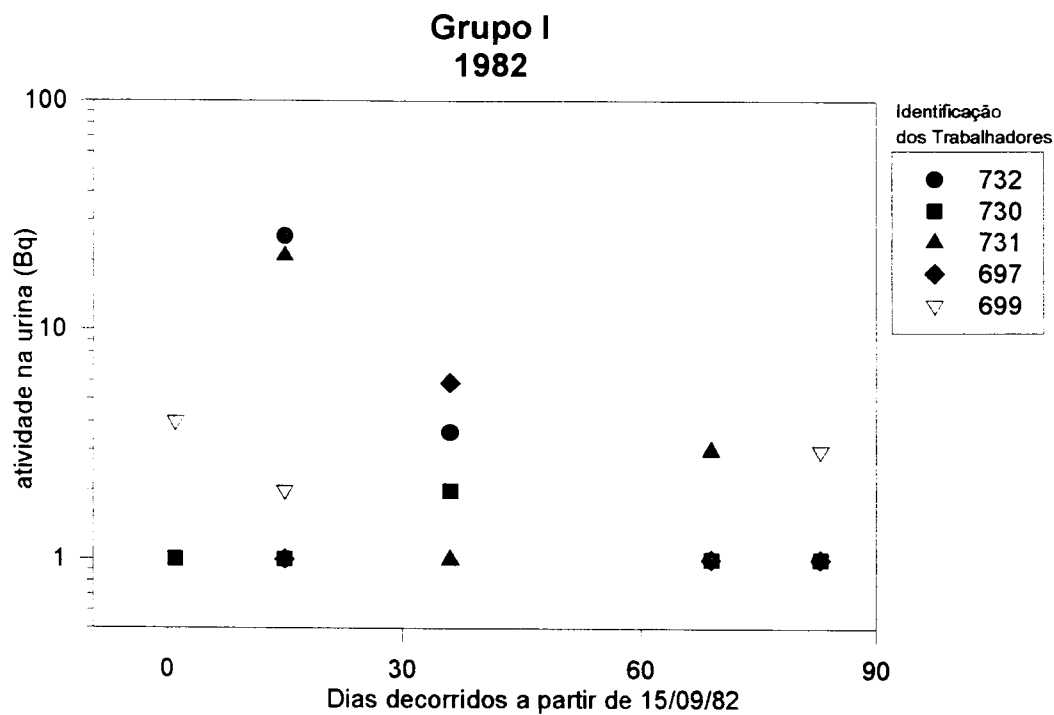


Figura A1 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1982

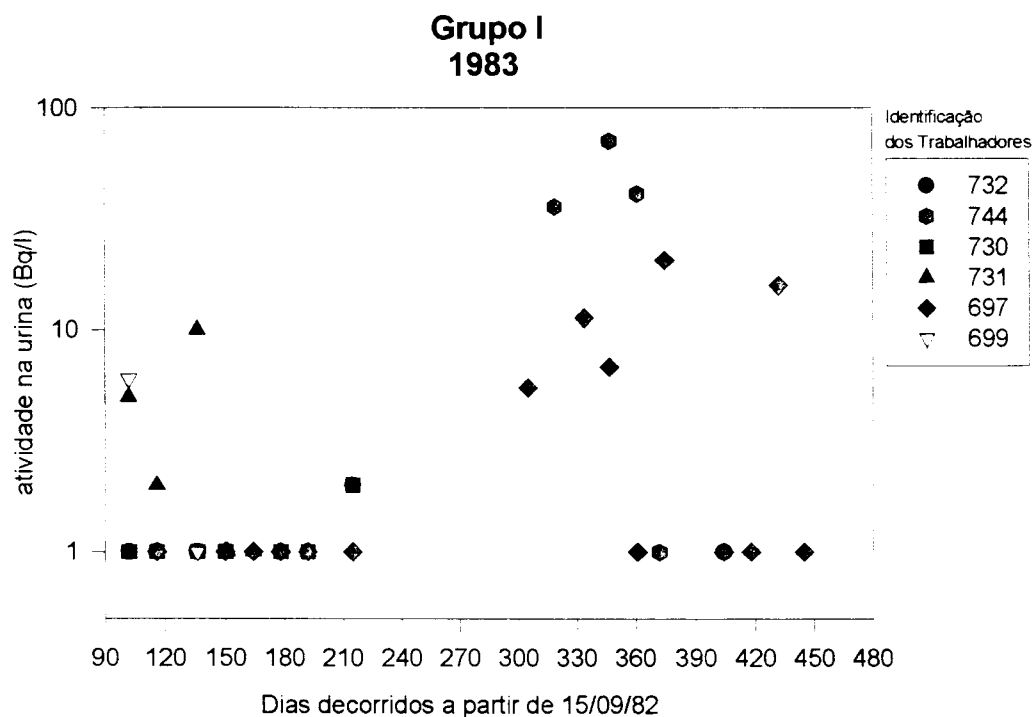


Figura A2 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1983

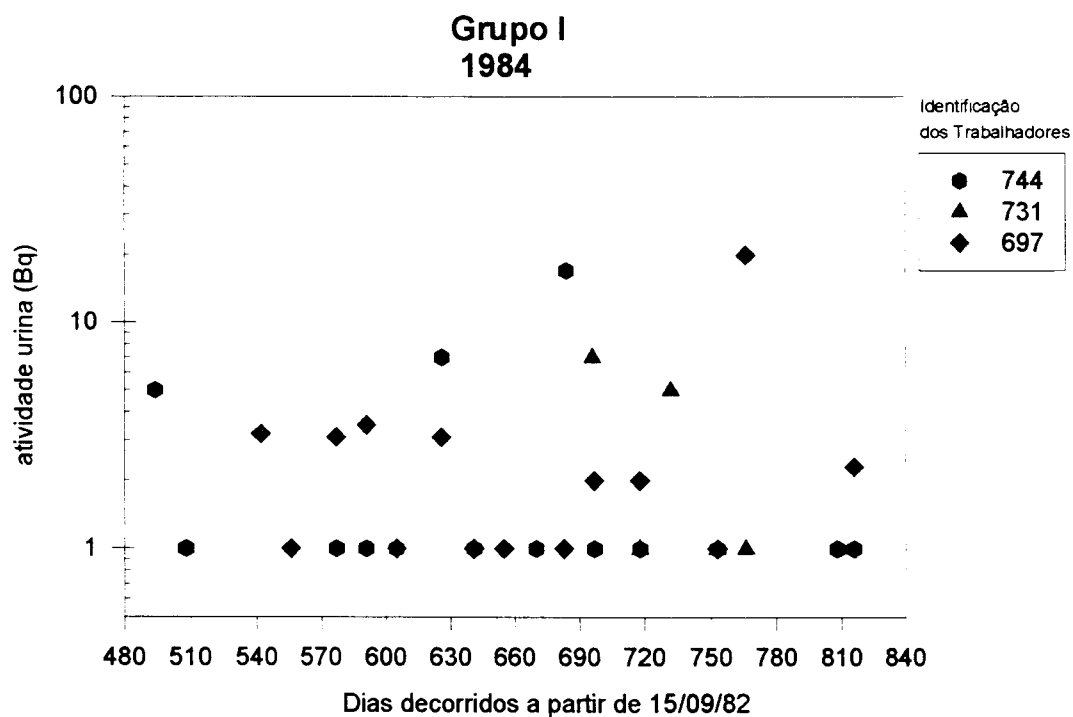


Figura A3 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1984

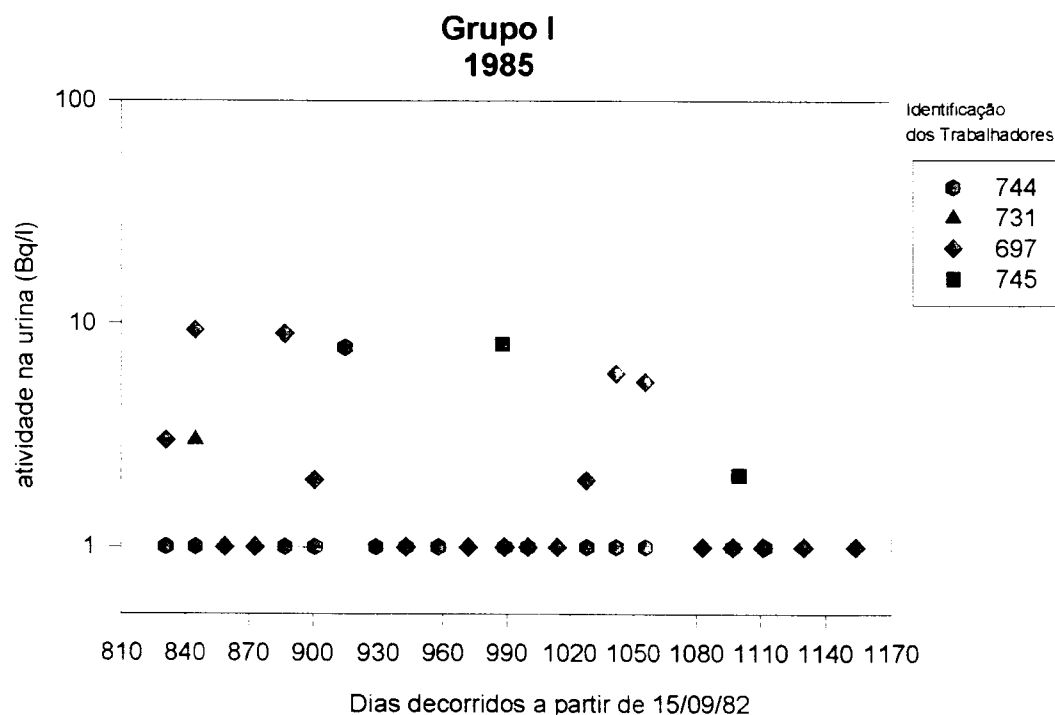


Figura A4 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1985

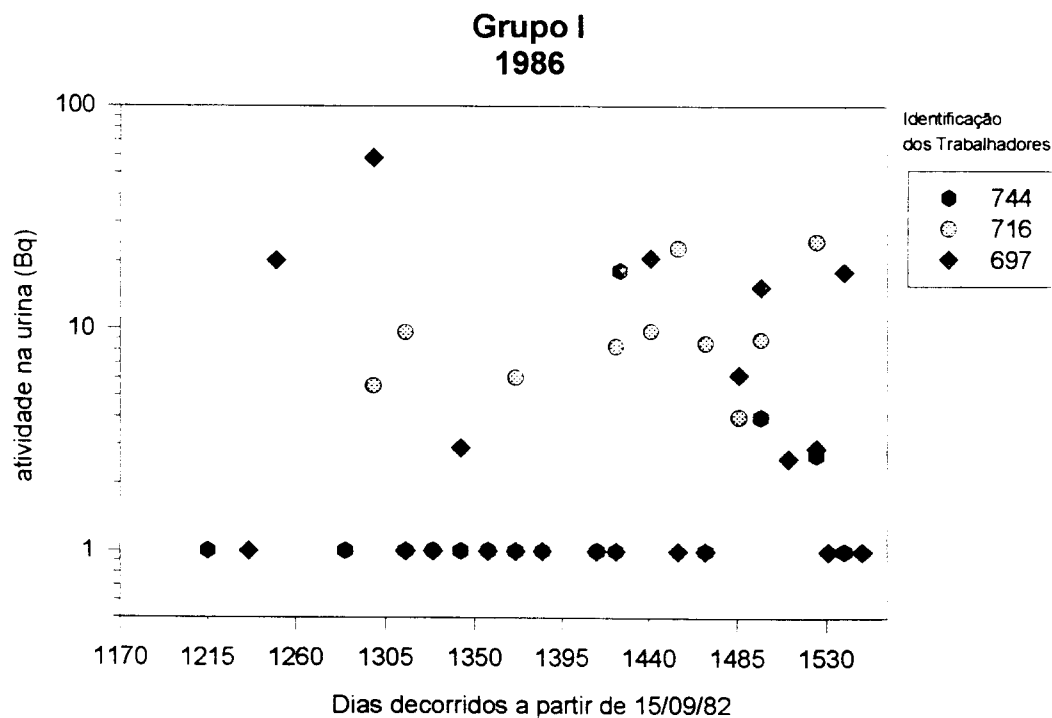


Figura A5 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1986

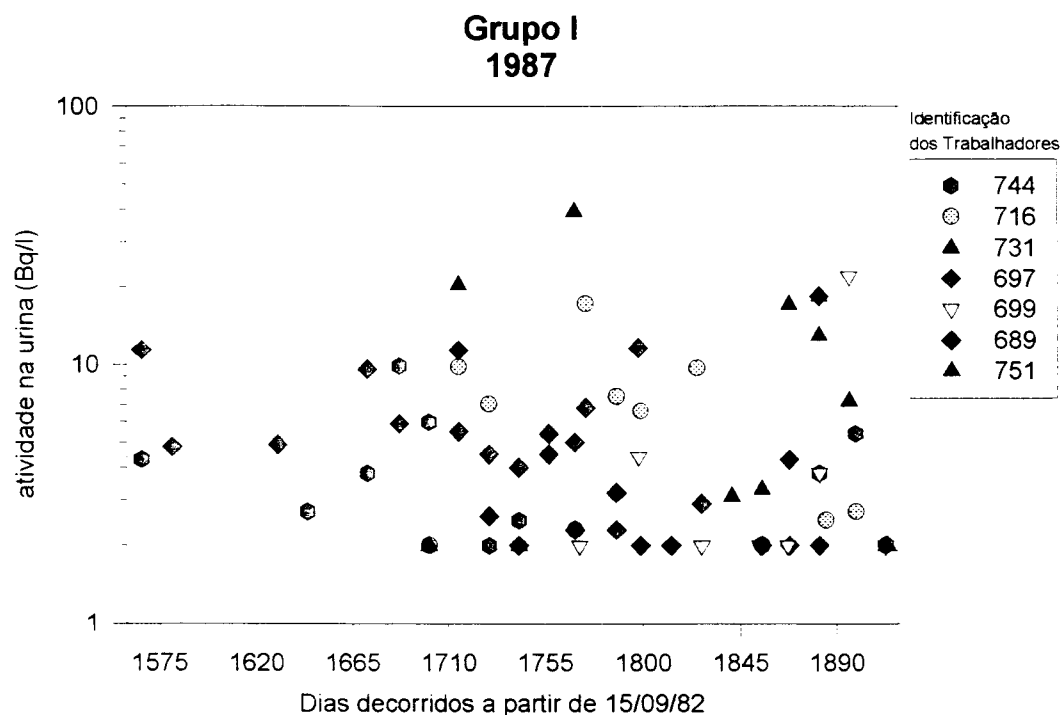


Figura A6 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1987

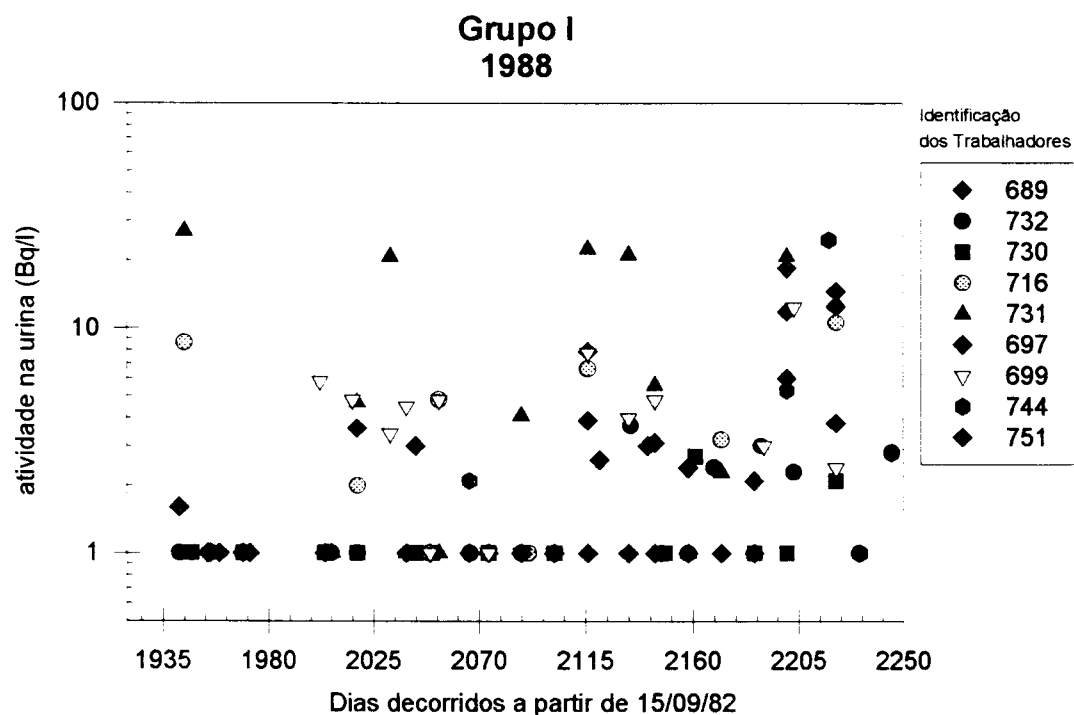


Figura A7 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1988

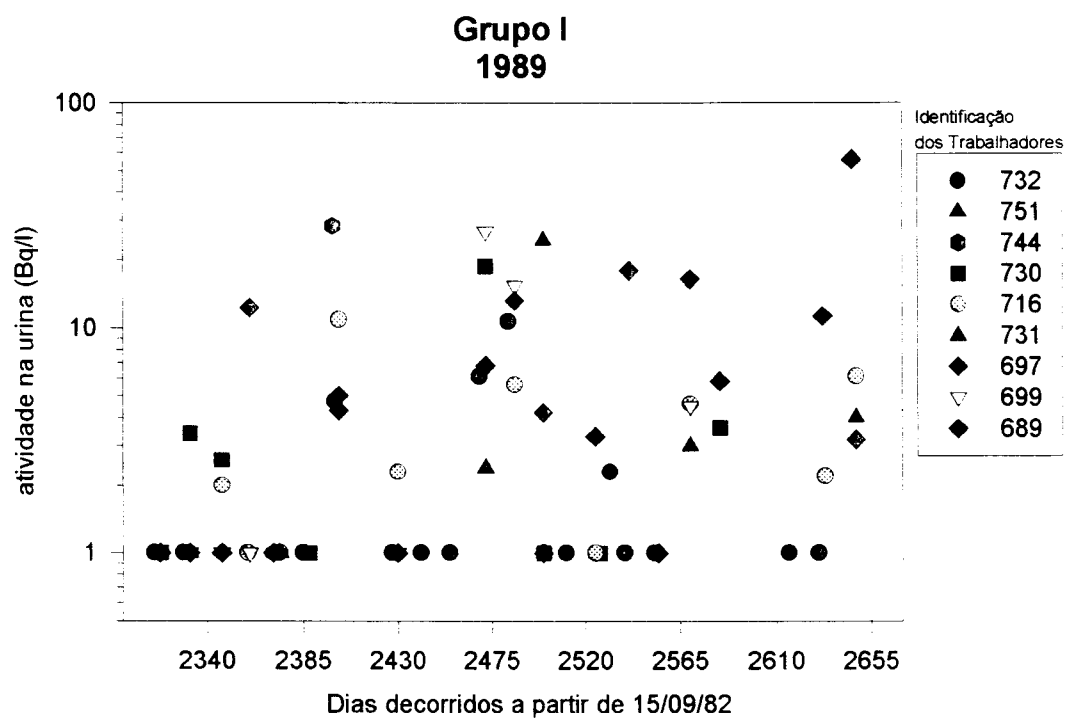


Figura A8 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1989

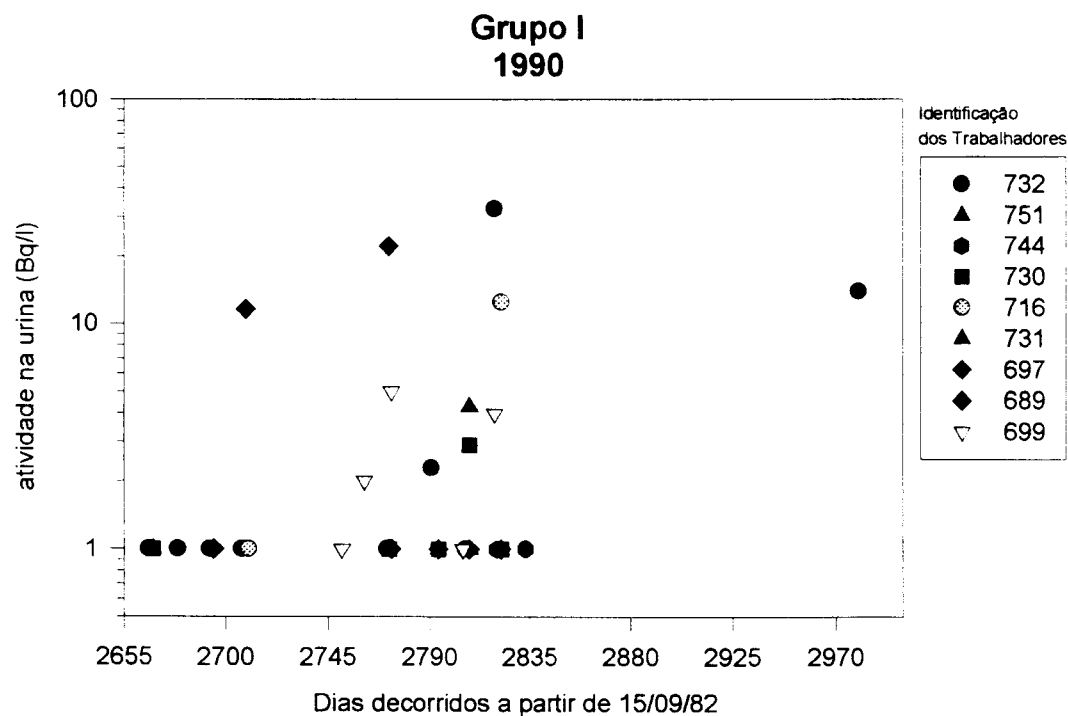


Figura A9 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1990

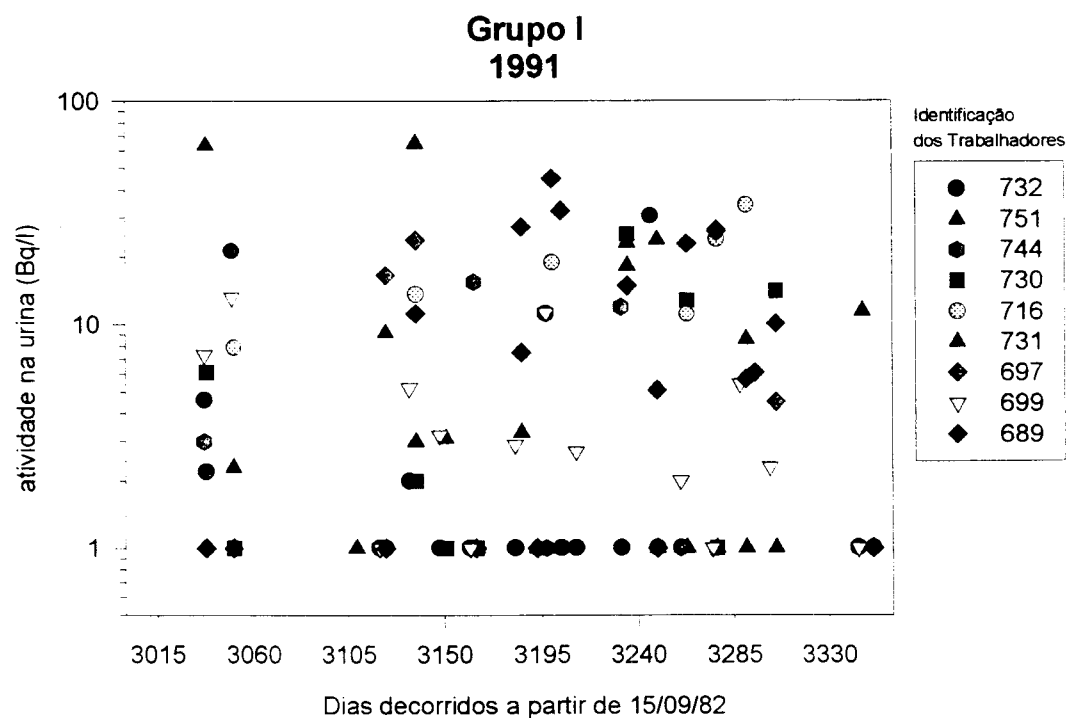


Figura A10 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1991

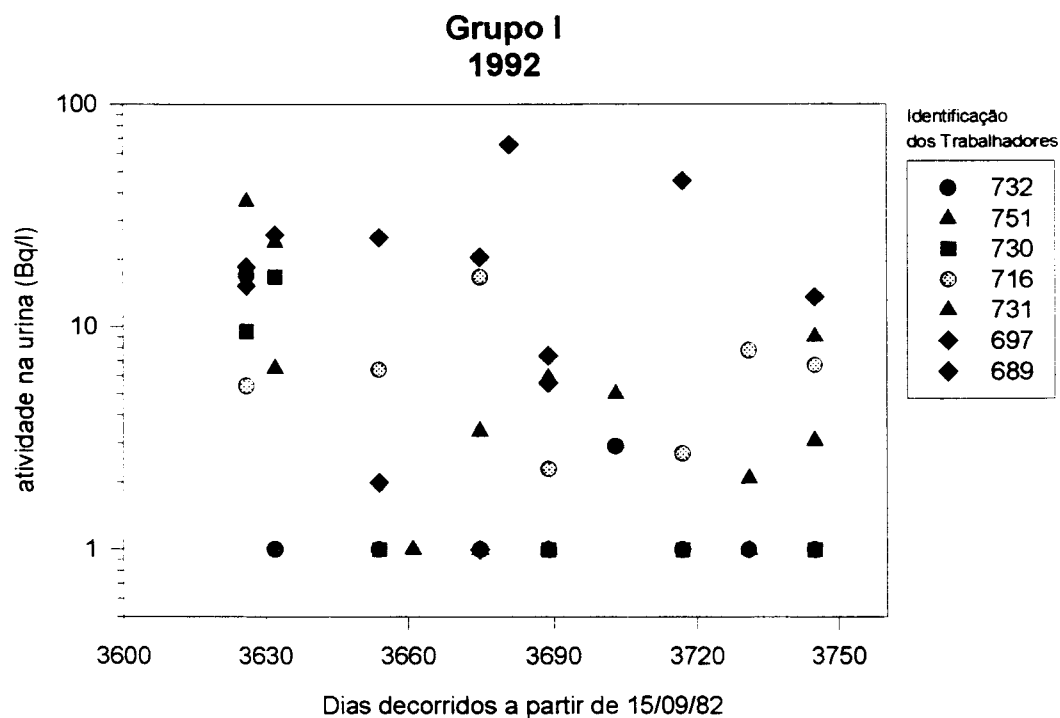


Figura A11 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1992

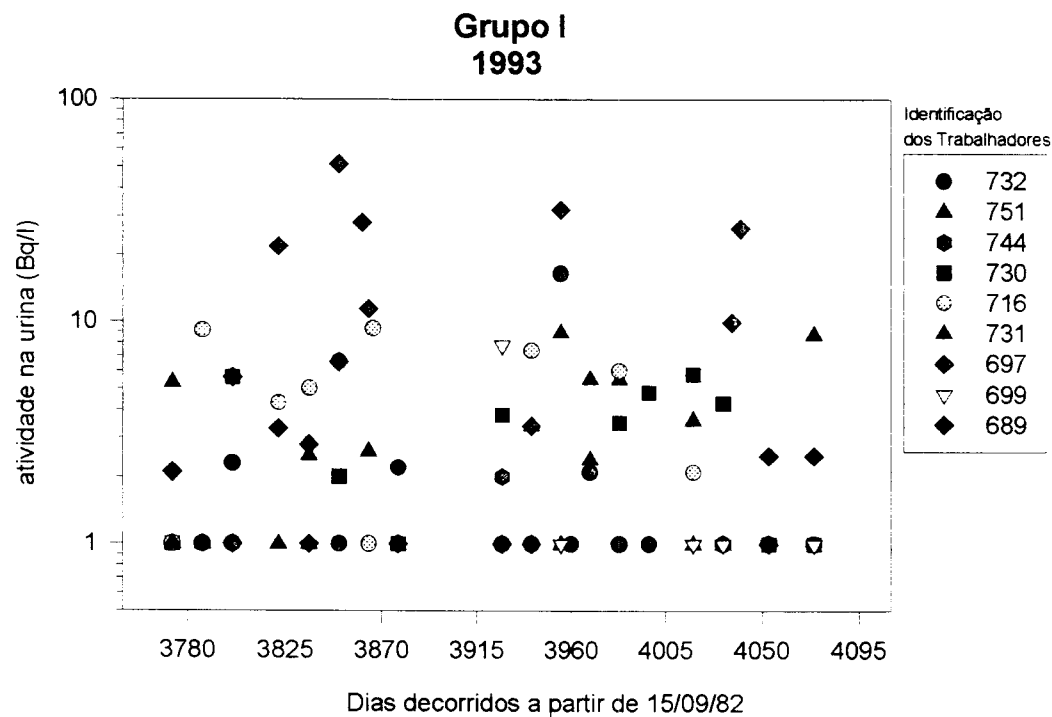


Figura A12 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1993

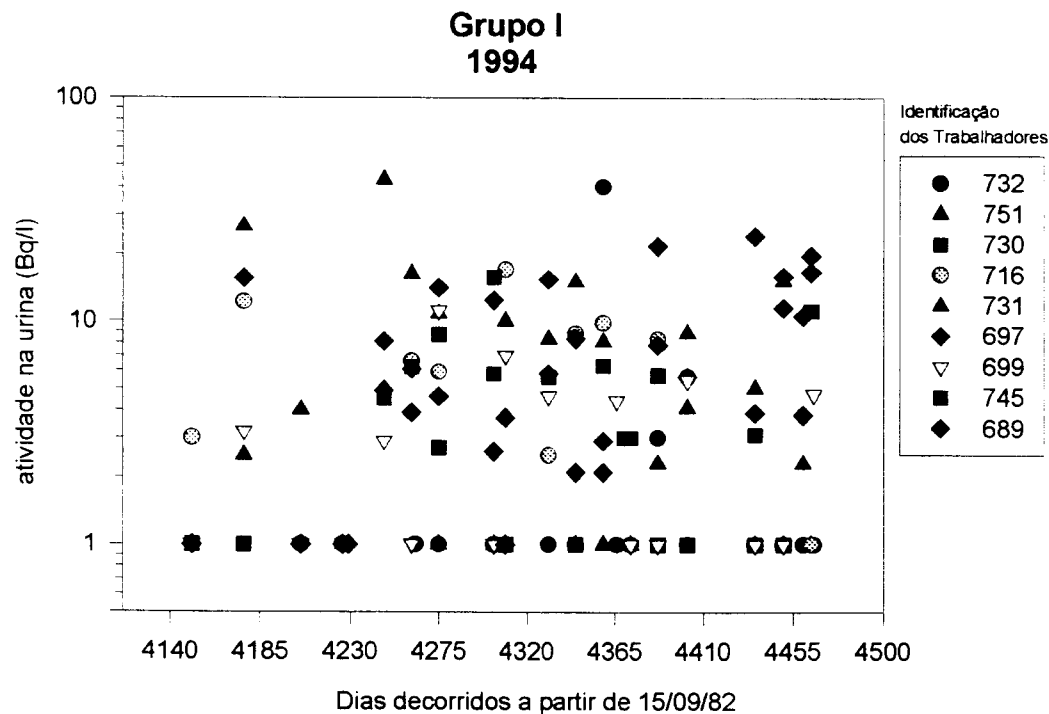


Figura A13 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo I referentes ao ano de 1994

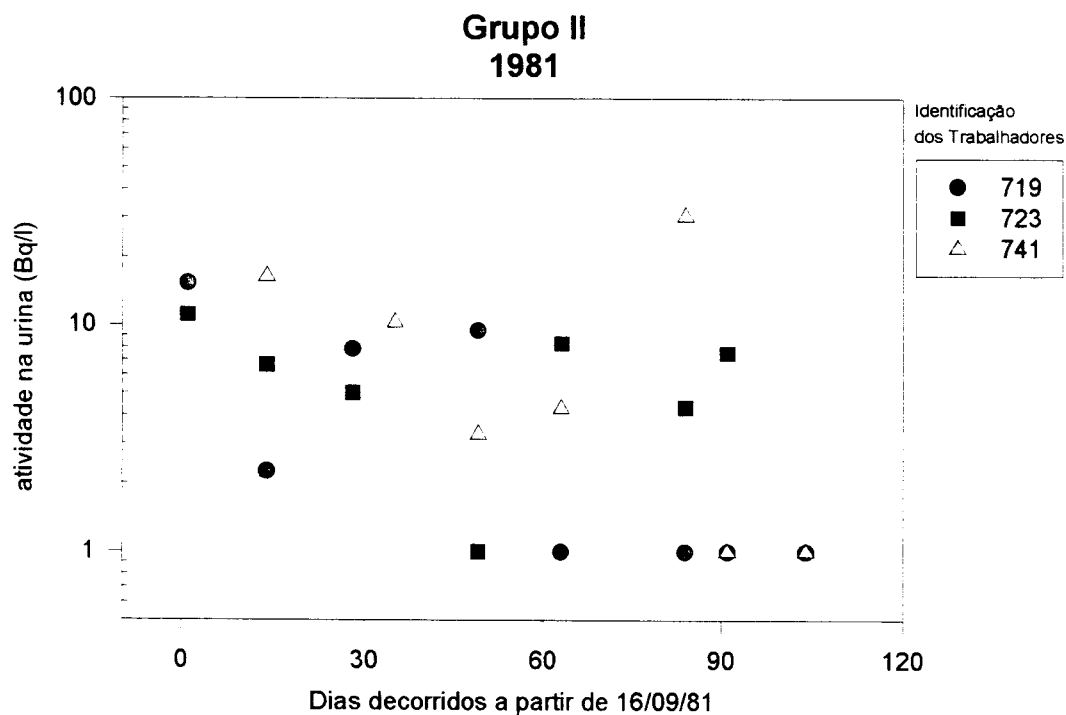


Figura A14 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1981

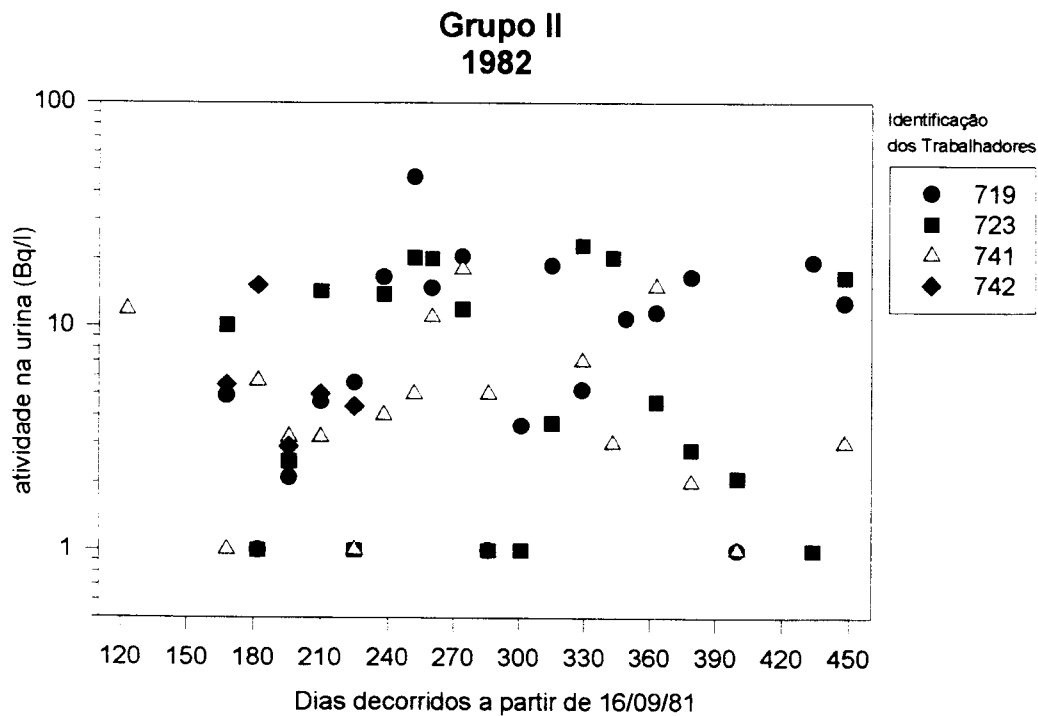


Figura A15 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1982

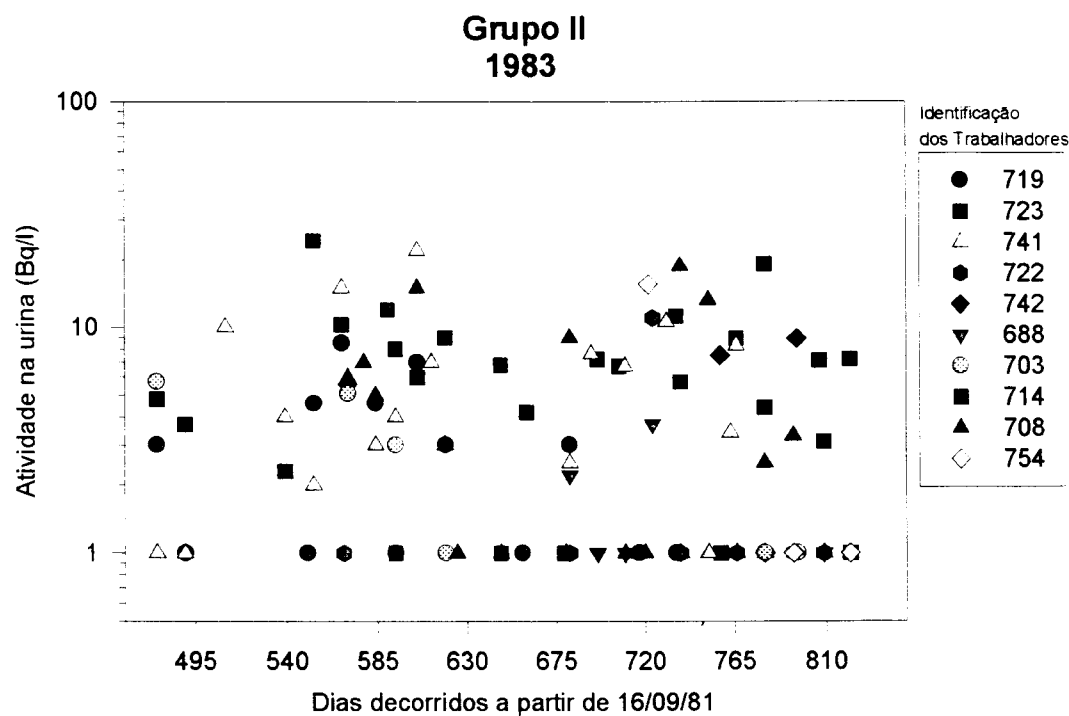


Figura A16 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1983

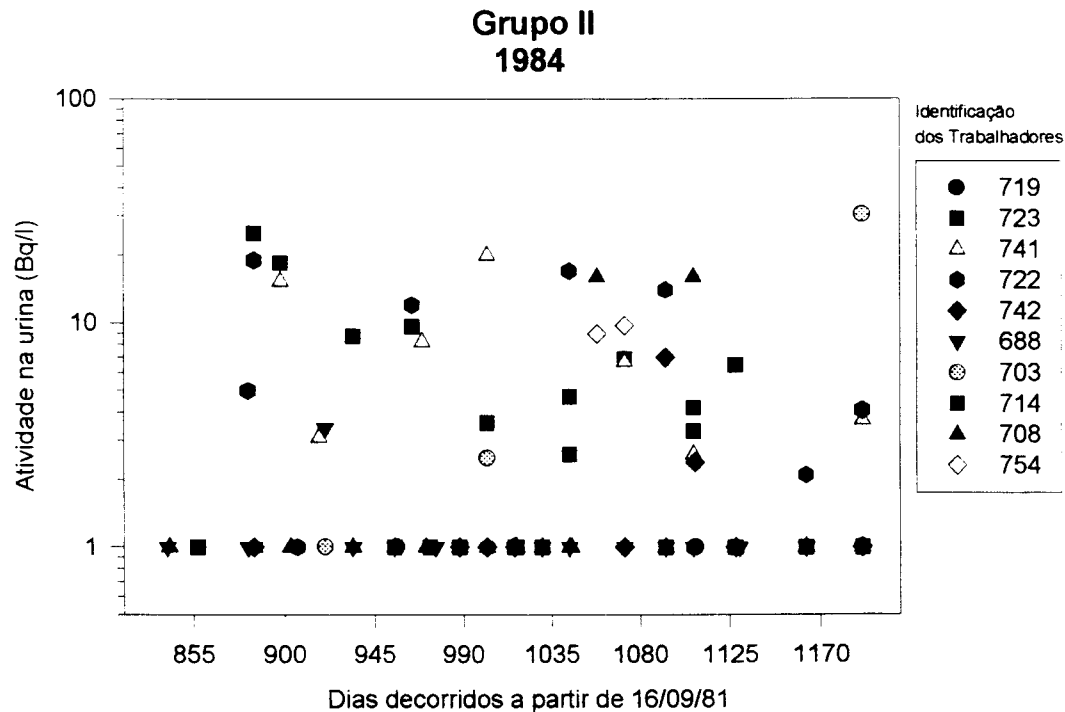


Figura A17 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1984

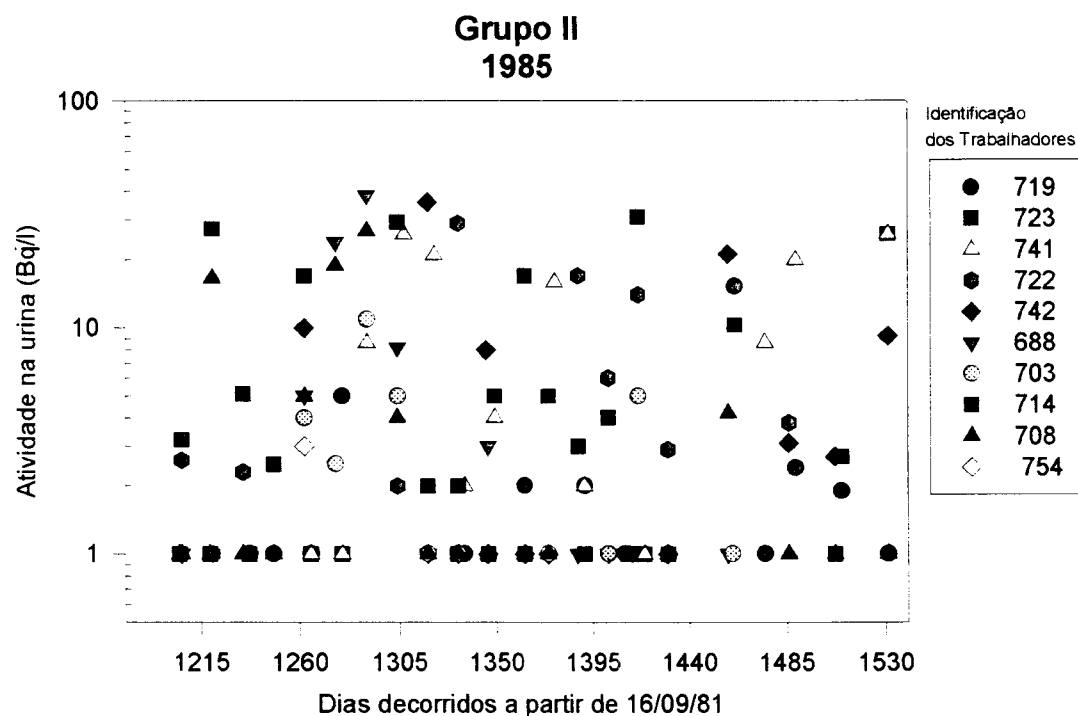


Figura A18 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1985

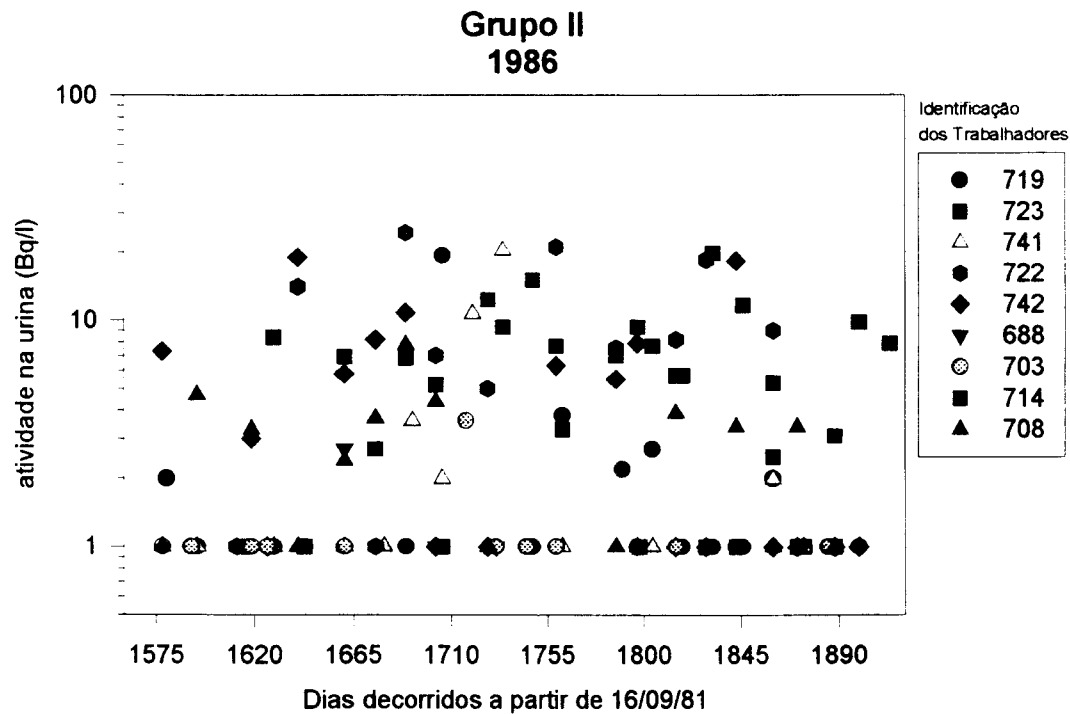


Figura A19 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1986

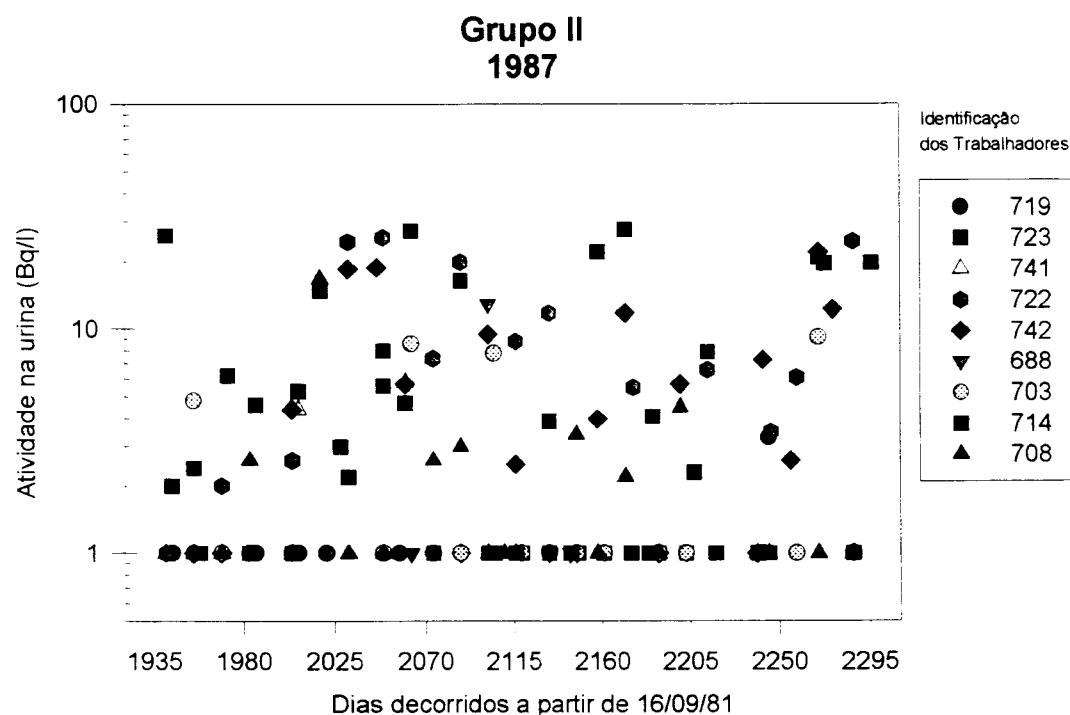


Figura A20 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1987

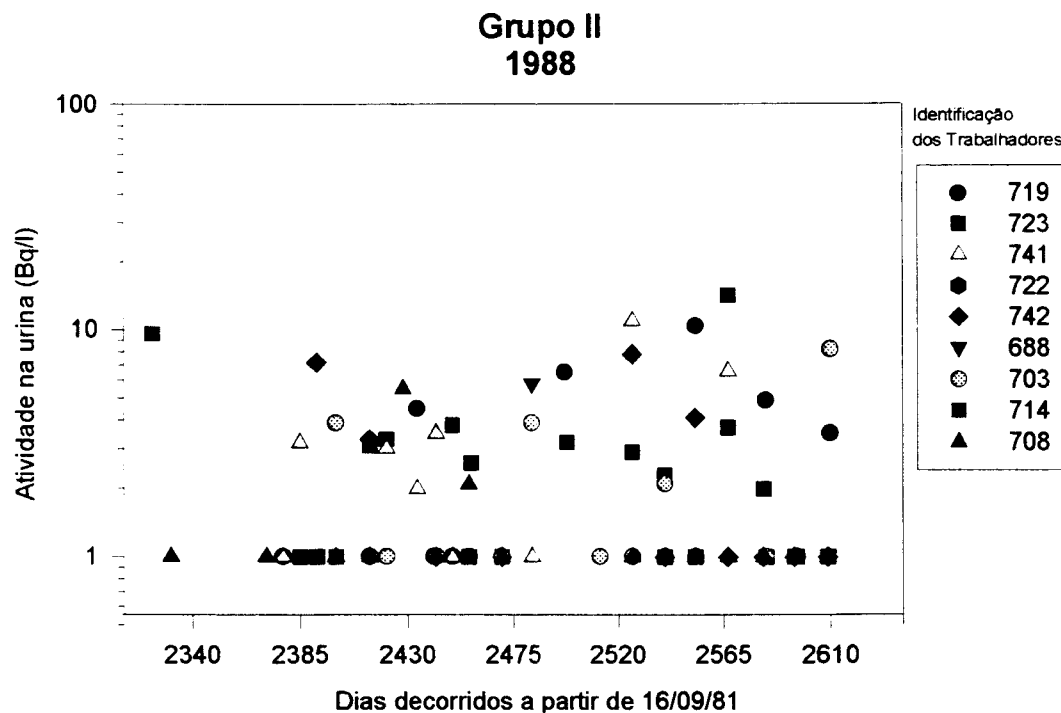


Figura A21 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1988

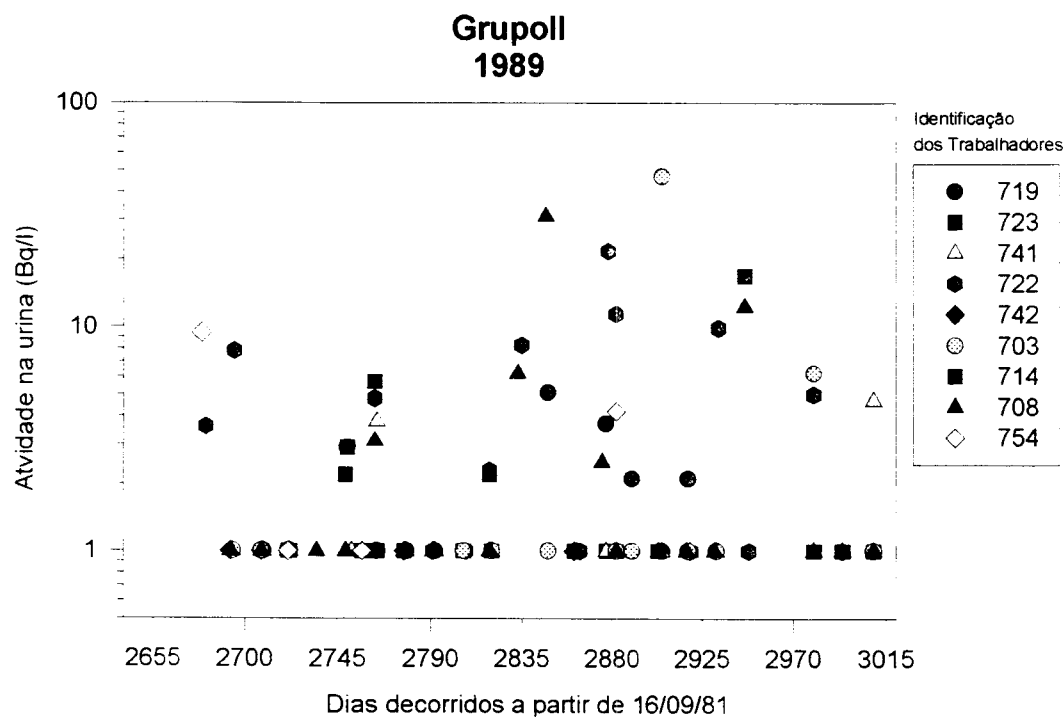


Figura A22 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1989

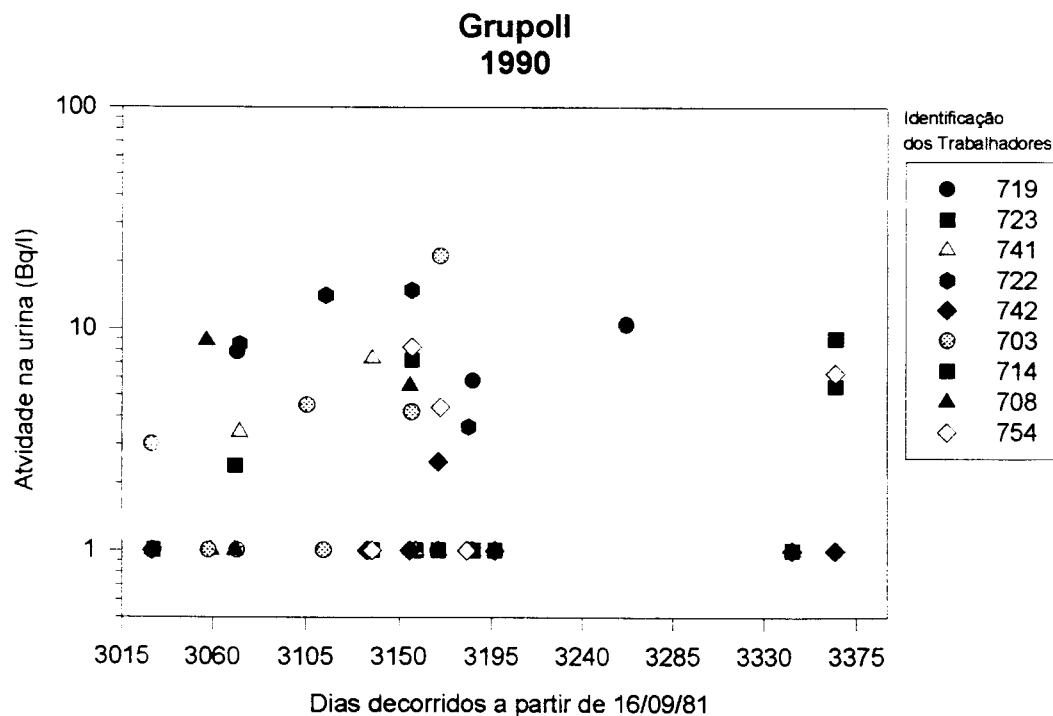


Figura A23 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1990

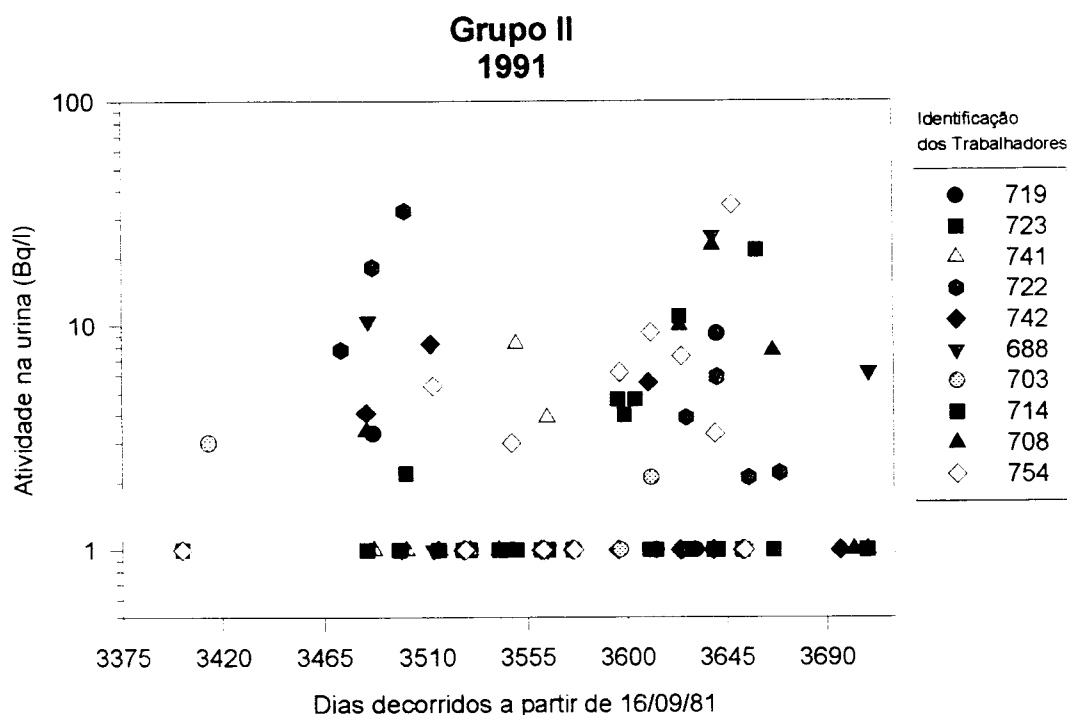


Figura A24 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1991

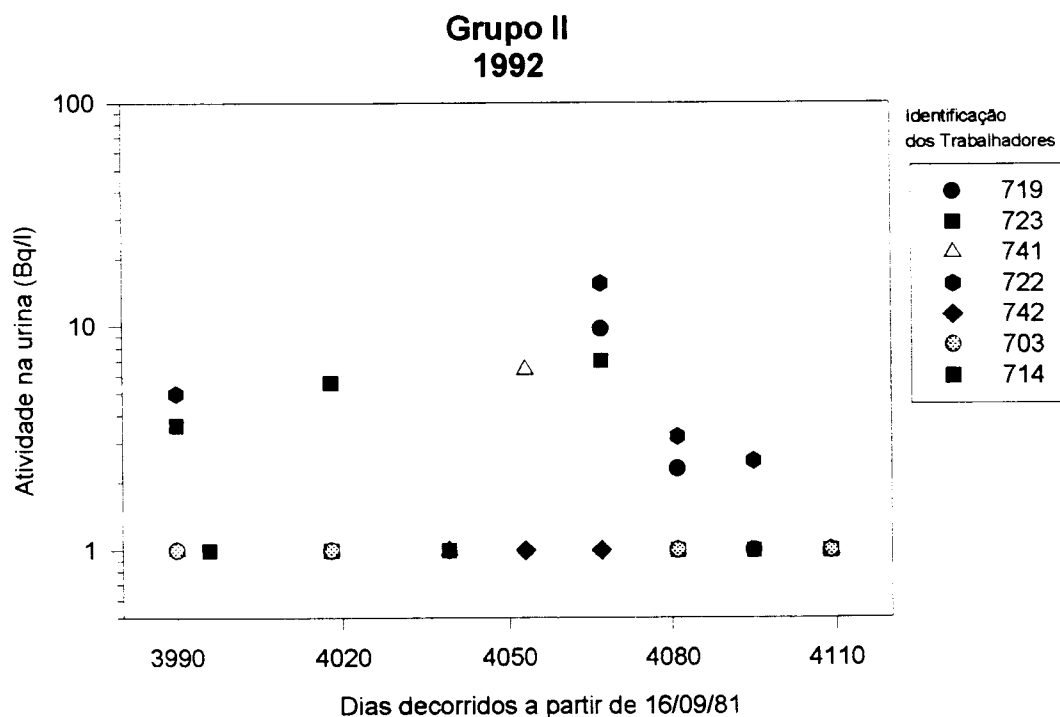


Figura A25 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1992

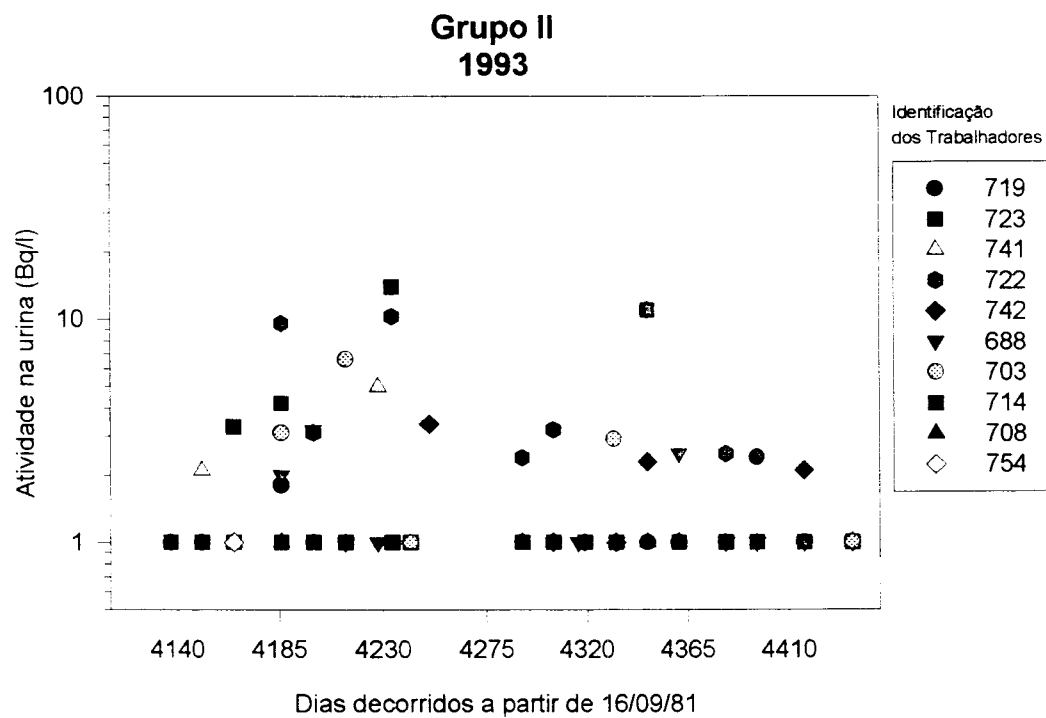


Figura A26 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1993

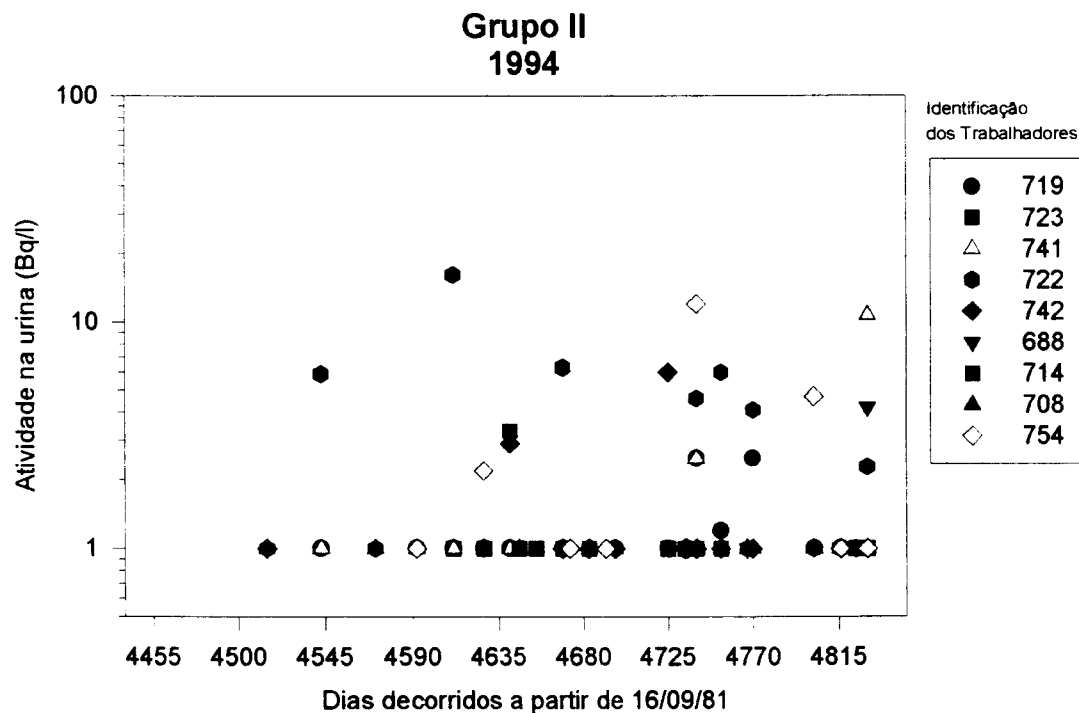


Figura A27 Resultados das concentrações de Iodo-131 em amostras de urina do grupo II referentes ao ano de 1994

ANEXO B

B1 FRAÇÕES DA ATIVIDADE INCORPORADA PREVISTAS NAS AMOSTRAS DE EXCRETA E EM ÓRGÃOS, PARA INALAÇÃO DE IODO-131

Considerando:

- Sistema respiratório: ICRP-66 (1994), Iodo elementar
- Classe SR-01, para deposição; Tipo F, para absorção
- Modelo Sistêmico: Iodo – ICRP-56 (1990); ICRP-71 (1995b)
- Incorporação: via inalação (5 dias por semana, 8 horas /dia, com folga semanal de 2 dias (sábado e domingo).

DIA DA SEMANA	FRAÇÃO DA ATIVIDADE INCORPORADA	
	URINA	FEZES
	24-HORAS	24-HORAS
Segunda-feira	5.310E-01	1.334E-03
Terça-feira	5.857E-01	1.324E-03
Quarta-feira	5.889E-01	1.324E-03
Quinta-feira	5.893E-01	1.330E-03
Sexta-feira	5.894E-01	1.341E-03
Sábado	6.642E-02	1.352E-03
Domingo	1.135E-02	1.348E-03
Segunda-feira	5.310E-01	1.334E-03

Dia da semana	FRAÇÃO DA ATIVIDADE INCORPORADA				
	TIREÓIDE	OUTROS	PLASMA	SISTÊMICO	CORPO TODO
Segunda-feira	1.860E+00	1.188E-01	9.281E-02	2.071E+00	2.114E+00
Terça-feira	1.939E+00	1.184E-01	9.799E-02	2.156E+00	2.211E+00
Quarta-feira	2.013E+00	1.186E-01	9.829E-02	2.230E+00	2.289E+00
Quinta-feira	2.080E+00	1.194E-01	9.832E-02	2.298E+00	2.358E+00
Sexta-feira	2.141E+00	1.206E-01	9.834E-02	2.360E+00	2.421E+00
Sábado	1.973E+00	1.210E-01	7.482E-03	2.102E+00	2.123E+00
Domingo	1.798E+00	1.200E-01	2.263E-03	1.920E+00	1.927E+00
Segunda-feira	1.860E+00	1.188E-01	9.281E-02	2.071E+00	2.114E+00

B2 TABELA DE CONVERSÃO DE ATIVIDADE EXCRETADA PARA ATIVIDADE INALADA

Considerando:

- Sistema respiratório: ICRP-66 (1994), Iodo elementar
- Classe SR-01, para deposição; Tipo F, para absorção
- Modelo Sistêmico: Iodo – ICRP-56 (1990); ICRP-71 (1995b)
- Incorporação: via inalação, ÚNICA

TEMPO Após a incorporação Dias	Fração da Atividade Incorporada na URINA (24-HORAS)
1.000	5.285E-01
2.000	4.259E-02
3.000	2.529E-03
4.000	2.684E-04
5.000	1.656E-04
6.000	1.792E-04
7.000	1.932E-04
8.000	2.021E-04
9.000	2.069E-04
10.000	2.080E-04
11.000	2.065E-04
12.000	2.028E-04
13.000	1.974E-04
14.000	1.908E-04
15.000	1.833E-04

ANEXO C

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Neste anexo estão apresentados alguns testes estatísticos realizados:

Uma das análises mais utilizadas foi a de regressão múltipla para variáveis dependentes, (Snedecor e Cochran, 1967; Rosner, 1990). Esta é uma análise de regressão, através do método dos mínimos quadrados, na qual existe mais que uma variável independente (x) e uma variável dependente (y). Nesta análise é possível avaliar a relação entre cada uma das variáveis independentes ($x_1, \dots, x_k$) com a variável dependente (y), levando-se em consideração as variáveis independentes restantes.

Para a aplicação das análises de regressão múltipla do presente estudo foram realizadas utilizando o código estatístico "SPSS for Windows" (Statistical Package for the Social Science), versão 6,0 (1993). Os testes de correlação parcial foram realizados utilizando um procedimento de regressão por passos "stepwise", com nível de significância de 0,05 para inclusão de variáveis. O procedimento por passos, "stepwise" é um dos métodos freqüentemente utilizado na escolha de variáveis independentes ($x_1, \dots, x_k$) para a construção de um modelo de regressão múltipla

Foi utilizado também um teste não paramétrico de Spearman. Tal teste é baseado na ordenação das variáveis, e é equivalente ao teste paramétrico de regressão múltipla. (Snedecor e Cochran, 1967; Rosner, 1990).

C1 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda, dose externa, ano e atividade média manuseada (produção) que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados dos grupos I e II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Devi	Cases	Label
CRÔNICA	.000	.000	170	
AGUDA	.003	.012	176	
DOSE EXTENA	.004	.005	254	
ANO	1987.500	4.038	280	
PRODUÇÃO	5742.929	5741.735	280	

Minimum Pairwise N of Cases = 169

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	CRÔNICA	AGUDA	EXTERNA	ANO	PRODUÇÃO
CRÔNICA	1.000	.294	-.102	.012	-.322
	.	.000	.094	.436	.000
	170	169	169	170	170
AGUDA	.294	1.000	-.098	.016	-.168
	.000	.	.098	.418	.013
	169	176	174	176	176
EXTERNA	-.102	-.098	1.000	-.014	.493
	.094	.098	.	.414	.000
	169	174	254	254	254
ANO	.012	.016	-.014	1.000	.246
	.436	.418	.414	.	.000
	170	176	254	280	280
PRODUÇÃO	-.322	-.168	.493	.246	1.000
	.000	.013	.000	.000	.
	170	176	254	280	280

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística dos coeficientes de correlação entre a dose interna crônica e a dose interna aguda, e a produção (atividade média de iodo-131 manuseada por ano) são inferiores a 0,05 (valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação), mostrando que há correlação entre a dose crônica e estas variáveis, a um nível de significância de 0,05.

C1 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA

Descriptive Statistics are printed on Page 1

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
AGUDA DOSE EXTERNA ANO PRODUÇÃOVariable(s) Entered on Step Number
1.. PRODUÇÃOMultiple R .32247
R Square .10399
Adjusted R Square .09862
Standard Error 3.57943E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00000	.00000
Residual	167	.00000	.00000

F = 19.38175 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PRODUÇÃO	-2.11745E-09	4.8097E-10	-.322474	-4.402	.0000
(Constant)	6.30661E-05	3.4936E-06		18.052	.0000

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
AGUDA	.246549	.256746	.971658	3.423	.0008
EXTERNA	.075156	.069090	.757209	.892	.3735
ANO	.097665	.100011	.939573	1.295	.1971

C1 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA

Variable(s) Entered on Step Number

2.. AGUDA

Multiple R .40380
 R Square .16305
 Adjusted R Square .15297
 Standard Error 3.46985E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	.00000	.00000
Residual	166	.00000	.00000

F = 16.16997 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
AGUDA	7.98033E-04	2.3316E-04	.246549	3.423	.0008
PRODUÇÃO	-1.84491E-09	4.7299E-10	-.280968	-3.900	.0001
(Constant)	5.93227E-05	3.5589E-06		16.669	.0000

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
EXTERNA	.080175	.076248	.742688	.982	.3274
ANO	.082993	.087778	.909913	1.132	.2593

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

A análise de regressão parcial, por passos, mostra que as variáveis independentes (produção e dose interna aguda) foram as variáveis incluídas no modelo de regressão.

C2 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna crônica que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna aguda; utilizando os dados dos grupos I e II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Devi	Cases	Label
AGUDA	.003	.012	176	
DOSE EXTERNA	.004	.005	254	
ANO	1987.500	4.038	280	
PRODUÇÃO	5742.929	5741.735	280	
CRÔNICA	.000	.000	170	

Minimum Pairwise N of Cases = 169

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	AGUDA	EXTERNA	ANO	PRODUÇÃO	CRÔNICA
AGUDA	1.000 . 176	-.098 .098 174	.016 .418 176	-.168 .013 176	.294 .000 169
EXTERNA	-.098 .098 174	1.000 . 254	-.014 .414 254	.493 .000 254	-.102 .094 169
ANO	.016 .418 176	-.014 .414 254	1.000 . 280	.246 .000 280	.012 .436 170
PRODUÇÃO	-.168 .013 176	.493 .000 254	.246 .000 280	1.000 . 280	-.322 .000 170
CRÔNICA	.294 .000 169	-.102 .094 169	.012 .436 170	-.322 .000 170	1.000 . 170

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística dos coeficientes de correlação entre a dose aguda, e a produção (atividade média de iodo-131 manuseada por ano) e a dose crônica são inferiores a 0,05 (valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação), mostrando que há correlação entre a dose aguda e estas variáveis, a um nível de significância de 0,05.

C2 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. AGUDA

Descriptive Statistics are printed on Page 6

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
DOSE EXTERNA ANO PRODUÇÃO CRÔNICAVariable(s) Entered on Step Number
1.. CRÔNICAMultiple R .29385
R Square .08635
Adjusted R Square .08088
Standard Error .01117

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00197	.00197
Residual	167	.02082	.00012

F = 15.78289 Signif F = .0001

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
CRÔNICA	90.783717	22.851503	.293850	3.973	.0001
(Constant)	-.001892	.001341		-1.411	.1602

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
EXTERNA	-.069037	-.071849	.989599	-.928	.3547
ANO	.011985	.012538	.999844	.162	.8719
PRODUÇÃO	-.082132	-.081335	.896010	-1.051	.2946

- A dose interna crônica é a única variável independente incluída no modelo de regressão ao nível de significância de 0,05.

C3 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna crônica e dose interna aguda que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa; utilizando os dados dos grupos I e II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Devi	Cases	Label
DOSE EXTERNA	.004	.005	254	
ANO	1987.500	4.038	280	
PRODUÇÃO	5742.929	5741.735	280	
CRÔNICA	.000	.000	170	
AGUDA	.003	.012	176	

Minimum Pairwise N of Cases = 169

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	EXTERNA	ANO	PRODUÇÃO	CRÔNICA	AGUDA
EXTERNA	1.000	-.014	.493	-.102	-.098
	.414	.000	.094	.098	
	254	254	254	169	174
ANO	-.014	1.000	.246	.012	.016
	.414	.000	.436	.418	
	254	280	280	170	176
PRODUÇÃO	.493	.246	1.000	-.322	-.168
	.000	.000	.000	.013	
	254	280	280	170	176
CRÔNICA	-.102	.012	-.322	1.000	.294
	.094	.436	.000	.000	
	169	170	170	170	169
AGUDA	-.098	.016	-.168	.294	1.000
	.098	.418	.013	.000	
	174	176	176	169	176

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, a produção (atividade média de Iodo-131 manuseada por ano) é a única variável independente que apresenta correlação estatisticamente significativa, com a variável dependente dose externa ($p < 0,05$ - valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação).

C3 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. DOSE EXTERNA

Descriptive Statistics are printed on Page 8

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
ANO PRODUÇÃO CRÔNICA AGUDA

Variable(s) Entered on Step Number
1.. PRODUÇÃO

Multiple R .49274
R Square .24279
Adjusted R Square .23826
Standard Error 4.71674E-03

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00119	.00119
Residual	167	.00372	.00002

F = 53.54685 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PRODUÇÃO	4.63779E-07	6.3379E-08	.492739	7.318	.0000
(Constant)	.001729	4.6037E-04		3.755	.0002

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
ANO	-.143479	-.159826	.939573	-2.086	.0385
CRÔNICA	.063514	.069090	.896010	.892	.3735
AGUDA	-.015783	-.017879	.971658	-.230	.8181

- A Análise de regressão parcial, por passos, "stepwise", inclui as variáveis independentes produção e ano, no modelo de regressão. Porém a variável independente produção é a única que apresenta correlação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) com a variável dependente dose externa. A inclusão da variável independente ano, no modelo, é devido a forte correlação entre produção e ano.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. DOSE EXTERNA

Variable(s) Entered on Step Number

2.. ANO

Multiple R .51199
 R Square .26213
 Adjusted R Square .25324
 Standard Error 4.67011E-03

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	.00129	.00064
Residual	166	.00362	.00002

F = 29.48649 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ANO	-1.92010E-04	9.2046E-05	-.143479	-2.086	.0385
PRODUÇÃO	4.96976E-07	6.4739E-08	.528009	7.677	.0000
(Constant)	.383157	.182850		2.095	.0376

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
CRÔNICA	.078998	.086617	.833576	1.117	.2657
AGUDA	-.007387	-.008461	.909913	-.109	.9136

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

C4 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda, dose externa e tarefa desempenhada (função) que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados do grupo I.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
CRÔNICA	.000	.000	72	
AGUDA	.005	.017	75	
DOSE EXTERNA	.002	.002	116	
FUNÇÃO	1.500	.502	112	

Minimum Pairwise N of Cases = 62

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	CRÔNICA	AGUDA	EXTERNA	FUNÇÃO
CRÔNICA	1.000 . 72	.316 .004 71	-.049 .343 71	-.402 .001 62
AGUDA	.316 .004 71	1.000 . 75	-.024 .420 73	-.091 .236 65
EXTERNA	-.049 .343 71	-.024 .420 73	1.000 . 116	.000 .499 91
FUNÇÃO	-.402 .001 62	-.091 .236 65	.000 .499 91	1.000 . 112

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística dos coeficientes de correlação entre a variável dependente (dose interna crônica) e as variáveis independentes (função e dose interna aguda) são inferiores a 0,05 (valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação), mostrando que há correlação entre a dose interna crônica e estas variáveis, a um nível de significância de 0,05.

C4 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA

Descriptive Statistics are printed on Page 15

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
AGUDA DOSE EXTERNA FUNÇÃO

Variable(s) Entered on Step Number
1.. FUNÇÃO

Multiple R .40189
R Square .16151
Adjusted R Square .14754
Standard Error 4.33942E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00000	.00000
Residual	60	.00000	.00000

F = 11.55758 Signif F = .0012

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
FUNÇÃO	-3.76082E-05	1.1062E-05	-.401889	-3.400	.0012
(Constant)	1.18075E-04	1.7206E-05		6.862	.0000

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
AGUDA	.282167	.306873	.991743	2.477	.0161
EXTERNA	-.048976	-.053485	1.000000	-.411	.6823

C4 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA

Variable(s) Entered on Step Number
2.. AGUDAMultiple R .49038
R Square .24048
Adjusted R Square .21473
Standard Error 4.16490E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	.00000	.00000
Residual	59	.00000	.00000

F = 9.34008 Signif F = .0003

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
AGUDA	7.64968E-04	3.0887E-04	.282167	2.477	.0161
FUNÇÃO	-3.52088E-05	1.0662E-05	-.376248	-3.302	.0016
(Constant)	1.10501E-04	1.6795E-05		6.580	.0000

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
EXTERNA	-.042246	-.048460	.991170	-.369	.7131

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

A análise de regressão parcial, por passos, mostra que as variáveis independentes (função e dose interna aguda) são as únicas variáveis a serem incluídas no modelo de regressão.

C5 Análise de regressão múltipla para determinar quais as variáveis independentes, atividade média manuseada (produção) e ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica média anual; utilizando os dados do grupo I.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Listwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Label
CRÔNICA MÉDIA	.000	.000	
PRODUÇÃO	418.385	81.882	
ANO	1988.000	3.894	

N of Cases = 13

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig:

	CRÔNICA	PRODUÇÃO	ANO
CRÔNICA	1.000	.206	.689
	.	.250	.005
PRODUÇÃO	.206	1.000	.687
	.250	.	.005
ANO	.689	.687	1.000
	.005	.005	.

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, o ano é a única variável independente que se apresenta correlação estatisticamente significativa com a dose interna crônica média ($p < 0.05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação).

C5 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. DOSE INTERNA CRÔNICA MÉDIA

Descriptive Statistics are printed on Page 26

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
PRODUÇÃO ANO

Variable(s) Entered on Step Number

1.. ANO

Multiple R .68854
R Square .47408
Adjusted R Square .42627
Standard Error 2.16234E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00000	.00000
Residual	11	.00000	.00000

F = 9.91590 Signif F = .0093

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ANO	5.04725E-06	1.6028E-06	.688538	3.149	.0093
(Constant)	-.009981	.003186		-3.132	.0095

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
PRODUÇÃO	-.504776	-.506111	.528702	-1.856	.0932

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

C6 Aplicação do teste não paramétrico de Spearman, para determinar a correlação entre as variáveis, dose interna crônica média anual para todo o grupo, atividade média manuseada (produção), ano de trabalho e dose interna aguda média para todo o grupo; utilizando os dados do grupo I.

- - - S P E A R M A N C O R R E L A T I O N C O E F F I C I E N T S - - -

- Matriz de correlação

ANO	.7088		
	N(13)		
	Sig .007		
PRODUÇÃO	.6854	.5543	
	N(13)	N(14)	
	Sig .010	Sig .040	
AGUDA	-.2667	.1333	-.1584
	N(9)	N(9)	N(9)
	Sig .488	Sig .732	Sig .684
	CRÔNICA	ANO	PRODUÇÃO

(Coefficient / (Cases) / 2-tailed Significance)

" . " is printed if a coefficient cannot be computed

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística (Sig) dos coeficientes de correlação entre a dose interna crônica média e a produção e o ano são inferiores a 0,05. A análise mostra que há correlação estatisticamente significativa entre a dose interna crônica média e estas variáveis.

C7 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, tarefa desempenhada (função) e dose interna crônica que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna aguda; utilizando os dados do grupo I.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
AGUDA	.005	.017	75	
DOSE EXTERNA	.002	.002	116	
FUNÇÃO	1.500	.502	112	
CRÔNICA	.000	.009	72	

Minimum Pairwise N of Cases = 62

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	AGUDA	EXTERNA	FUNÇÃO	CRÔNICA
AGUDA	1.000	-.024	-.091	.316
	.	.420	.236	.004
	75	73	65	71
EXTERNA	-.024	1.000	.000	-.049
	.420	.	.499	.343
	73	116	91	71
FUNÇÃO	-.091	.000	1.000	-.402
	.236	.499	.	.001
	65	91	112	62
CRÔNICA	.316	-.049	-.402	1.000
	.004	.343	.001	.
	71	71	62	72

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, a dose interna crônica é a única variável independente que se correlaciona com a variável dependente dose interna aguda ($p < 0.05$ - valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação).

C7 Teste de correlação parcial, por passos "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. AGUDA

Descriptive Statistics are printed on Page 15

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
DOSE EXTERNA FUNÇÃO CRÔNICA

Variable(s) Entered on Step Number

1.. CRÔNICA

Multiple R .31636
R Square .10008
Adjusted R Square .08508
Standard Error .01658

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00183	.00183
Residual	60	.01650	.00027

F = 6.67271 Signif F = .0122

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
CRÔNICA	116.691784	45.174055	.316357	2.583	.0122
(Constant)	-.002000	.003283		-.609	.5448

----- Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
EXTERNA	-.008473	-.008921	.997611	-.069	.9456
FUNÇÃO	.043257	.041755	.838486	.321	.7493

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

A significância estatística é testada através da significância do F. O resultado acima mostra que existe correlação entre a variável dependente dose interna aguda e a variável independente dose interna crônica, a um nível de significância inferior a 0.05.

C8 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna crônica média, ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa média; utilizando os dados do grupo I.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
EXTERNA MÉDIA	.002	.002	14	
CRÔNICA MÉDIA	.000	.000	12	
ANO	1987.500	4.183	14	

Minimum Pairwise N of Cases = 12

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	EXTERNA MÉDIA	CRÔNICA MÉDIA	ANO
EXTERNA MED	1.000	-.448	-.507
		.072	.032
	14	12	14
CRÔNICA MED	-.448	1.000	.695
	.072	.	.006
	12	12	12
ANO	-.507	.695	1.000
	.032	.006	.
	14	12	14

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, a variável independente, ano, apresenta uma correlação aparente com a variável dependente dose externa média ($p < 0,05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação). O teste de correlação parcial utilizando um procedimento de regressão por passos, “stepwise”, mostra que esta correlação não é estatisticamente significativa para a inclusão de variáveis no modelo de regressão.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. DOSE EXTERNA MÉDIA

Descriptive Statistics are printed on Page 1

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
CRÔNICA MÉDIA ANO

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.
No variables entered/removed for this block.

C9 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna aguda e dose externa que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica; utilizando os dados do grupo II.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
CRÔNICA	.000	.000	98	
AGUDA	.001	.003	101	
EXTERNA	.007	.006	138	

Minimum Pairwise N of Cases = 98

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	CRÔNICA	AGUDA	EXTERNA
CRÔNICA	1.000	.031	.064
	.	.380	.264
	98	98	98
AGUDA	.031	1.000	-.024
	.380	.	.405
	98	101	101
EXTERNA	.064	-.024	1.000
	.264	.405	.
	98	101	138

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística dos coeficientes de correlação entre a variável dependente (dose interna crônica) e as variáveis independentes (dose interna aguda e dose externa) são superiores a 0,05 (valores escritos abaixo dos coeficientes de correlação), mostrando que não há correlação entre a dose interna crônica e estas variáveis, a um nível de significância de 0,05.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA

Descriptive Statistics are printed on Page 22

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
AGUDA DOSE EXTERNA

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.
No variables entered/removed for this block.

C10 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, ano, atividade média manuseada (produção), dose interna aguda média que estão relacionadas com a variável dependente, dose interna crônica média; utilizando os dados do grupo II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Devi	Cases	Label
CRÔNICA MÉDIA	.000	.000	14	
ANO	1987.500	4.183	14	
PRODUÇÃO	11052.429	3166.288	14	
AGUDA	.007	.014	13	

Minimum Pairwise N of Cases = 13

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	CRÔNICA MED	ANO	PRODUÇÃO	AGUDA
CRÔNICA MED	1.000	-.844	-.836	-.088
	.000	.000	.000	.388
	14	14	14	13
ANO	-.844	1.000	.916	.109
	.000	.	.000	.362
	14	14	14	13
PRODUÇÃO	-.836	.916	1.000	.064
	.000	.000	.	.418
	14	14	14	13
AGUDA	-.088	.109	.064	1.000
	.388	.362	.418	.
	13	13	13	13

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, as variáveis independentes (ano e produção) se correlacionam fortemente com a variável dependente, a um nível de significância de 0,05 ($p < 0,05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação).

C10 Teste de correlação parcial, por passos, "stepwise"

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. CRÔNICA MÉDIA

Descriptive Statistics are printed on Page 17

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
ANO PRODUÇÃO AGUDA COLETIVA

Variable(s) Entered on Step Number
1.. ANO

Multiple R .84418
R Square .71264
Adjusted R Square .68652
Standard Error 1.13365E-05

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.00000	.00000
Residual	11	.00000	.00000

F = 27.27990 Signif F = .0003

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ANO	-4.08593E-06	7.8229E-07	-.844182	-5.223	.0003
(Constant)	.008166	.001555		5.252	.0003

----- - Variables not in the Equation -----

Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
PRODUÇÃO	-.388922	-.290678	.160517	-.961	.3594
AGUDA COL	.004109	.007620	.988137	.024	.9812

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.

O teste de correlação parcial utilizando um procedimento de regressão por passos "stepwise", mostra que a única variável independente a entrar no modelo de regressão é o ano. A influência da produção aparece através da correlação com o ano.

C11 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose interna crônica média, ano que estão relacionadas com a variável dependente, dose externa média; utilizando os dados do grupo II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
EXTERNA MÉDIA	.007	.002	14	
CRÔNICA MÉDIA	.000	.000	14	
ANO	1987.500	4.183	14	

Minimum Pairwise N of Cases = 14

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	EXTERNA MED	CRÔNICA MED	ANO
EXTERNA MED	1.000	-.492	.454
	.	.037	.051
	14	14	14
CRÔNICA MED	-.492	1.000	-.844
	.037	.	.000
	14	14	14
ANO	.454	-.844	1.000
	.051	.000	.
	14	14	14

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, a dose interna crônica média é a única variável independente que se correlaciona com a variável dependente dose externa média ($p < 0,05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação), porém não foi incluída no modelo.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. DOSE EXTERNA MÉDIA

Descriptive Statistics are printed on Page 7

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
CRÔNICA MED ANO

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.
No variables entered/removed for this block.

C12 Comparação entre as doses internas agudas e as doses internas totais, recebidas pelos grupos I e II, utilizando o teste "t" pareado

GRUPO I

- - - t-tests for paired samples - - -

Variable	Number of pairs	Corr	2-tail Sig	Mean	SD	SE of Mean
DOSE INTERNA AGUDA	41	1.000	.000	.0095	.023	.004
DOSE INTERNA TOTAL				.0096	.023	.004

Paired Differences						
Mean	SD	SE of Mean	"	t-value	df	2-tail Sig
-.0001	.000	.000	"	-7.53	40	.000
95% CI (.000, .000)			"			

GRUPO II

- - - t-tests for paired samples - - -

Variable	Number of pairs	Corr	2-tail Sig	Mean	SD	SE of Mean
DOSE INTERNA AGUDA	59	1.000	.000	.0015	.003	.000
DOSE INTERNA TOTAL				.0015	.003	.000

Paired Differences						
Mean	SD	SE of Mean	"	t-value	df	2-tail Sig
.0000	.000	.000	"	-11.70	58	.000
95% CI (.000, .000)			"			

Foi aplicado um *teste t-pareado* para comparar as doses internas agudas e as doses internas totais entre os grupos I e II; verificou-se que as doses internas totais são significativamente maiores que as doses agudas internas para ambos os grupos. ($p < 0,05$)

C13 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, dose externa, dose interna total, dose total que estão relacionadas com a variável dependente, sintomas; utilizando os dados dos grupos I e II.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Variáveis independentes:

Dose interna total = dose interna crônica + dose interna aguda

Dose total = dose interna total + dose externa

Váriável dependente: sintomas (apresentação de sintomas pelo trabalhador)

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
SINTOMAS	1.350	.478	280	
DOSE EXTERNA	.004	.005	254	
DOSE INTERNA TOTAL	.003	.012	176	
DOSE TOTAL	.008	.013	174	

Minimum Pairwise N of Cases = 174

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	SINTOMAS	EXTERNA	DOSE INTERNA TOTAL	DOSE TOTAL
SINTOMAS	1.000	-.115	.047	-.032
		.034	.268	.336
	280	254	176	174
DOSE EXTERNA	-.115	1.000	-.097	.371
	.034	.	.101	.000
	254	254	174	174
DOSE INTERNA TOTAL	.047	-.097	1.000	.888
	.268	.101	.	.000
	176	174	176	174
DOSE TOTAL	-.032	.371	.888	1.000
	.336	.000	.000	.
	174	174	174	174

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, a dose externa média apresenta uma aparente correlação com a variável sintomas ($p < 0,05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação). O teste de correlação parcial utilizando um procedimento de regressão por passos "stepwise", mostra que esta correlação não é estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para inclusão de variáveis no modelo de regressão.

* * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. SINTOMAS

Descriptive Statistics are printed on Page 23

Block Number 1.	Method: Stepwise	Criteria	PIN .0500	POUT .1000
DOSE EXTERNA	DOSE INERNA TOTAL	DOSE TOTAL		

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.
No variables entered/removed for this block.

C14 Análise de regressão múltipla, por pares, para determinar quais as variáveis independentes, soma das doses internas agudas, doses internas crônicas médias, doses externas que estão relacionadas com a variável dependente, sintomas; utilizando os dados dos grupos I e II.

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Pairwise Deletion of Missing Data

	Mean	Std Dev	Cases	Label
SINTOMAS	.350	.489	20	
AGUDA SOMA1	.412	.585	20	
CRÔNICA MED1	.001	.000	20	
EXTERNA	.004	.004	20	

Minimum Pairwise N of Cases = 20

- Matriz de correlação

Correlation, 1-tailed Sig, N of Cases:

	SINTOMAS	AGUDA SOMA1	CRÔNICA MÉD1	EXTERNA
SINTOMAS	1.000	-.001	-.299	-.129
	.	.498	.100	.293
	20	20	20	20
AGUDA SOMA1	-.001	1.000	.333	-.288
	.498	.	.076	.109
	20	20	20	20
CRÔNICA MÉD1	-.299	.333	1.000	-.219
	.100	.076	.	.177
	20	20	20	20
EXTERNA	-.129	-.288	-.219	1.000
	.293	.109	.177	.
	20	20	20	20

Como pode ser visto na coluna 1 da matriz de correlação acima, os valores de significância estatística dos coeficientes de correlação entre a variável dependente sintomas (apresentação de sintomas pelo trabalhador) e as variáveis independentes são superiores a 0,05 ($p > 0,05$ – valores escritos abaixo dos valores dos coeficientes de correlação). A análise mostra, que não há correlação entre a variável dependente (sintomas) e estas variáveis, a um nível de significância de 0,05.

* * * * * M U L T I P L E R E G R E S S I O N * * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. SINTOMAS

Descriptive Statistics are printed on Page 1

Block Number 1. Method: Stepwise Criteria PIN .0500 POUT .1000
AGUDA SOMA1 CRÔNICA MÉD1 EXTERNA

End Block Number 1 PIN = .050 Limits reached.
No variables entered/removed for this block.



M21757



comissão nacional de energia nuclear
instituto de pesquisas energéticas e nucleares

Travessa "R" nº 400 - Cidade Universitária - CEP 05508-900

SÃO PAULO - São Paulo - Brasil

Fone (011) 816-9000 - Fax (011) 212-3546

O Ipen é uma autarquia vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, gerida técnica, administrativa e financeiramente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República e associada à Universidade de São Paulo para fins de ensino de pós-graduação.