

DETERMINAÇÃO DO GRUPO CRÍTICO PARA A INAP: UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Nelson L. D. Ferreira, Orlando Rodrigues Júnior e Peter F. Woiblet Júnior

Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, CTMSP
Caixa Postal 11253
05508-900, São Paulo, SP, Brasil
e-mail: ferreira@net.ipen.br

RESUMO

No presente trabalho é definido, em caráter preliminar, o grupo crítico hipotético para a INAP, que é um reator com potência de 48 MWt, localizado no Centro Experimental Aramar (CEA), no município de Iperó, SP. Para a determinação do grupo crítico foram calculadas as doses equivalentes efetivas anuais para os indivíduos do público que vivem numa área com raio de 10 km, centrada no CEA, após o que determinou-se o grupo de indivíduos que provavelmente receberão as maiores doses. A definição do grupo crítico fornecerá subsídios para que sejam estabelecidos os limites de liberação de efluentes gasosos e líquidos da INAP.

INTRODUÇÃO

Durante a operação normal de instalações nucleares, tais como reatores e instalações do ciclo do combustível, podem ocorrer liberações de materiais radioativos para o meio ambiente devido às descargas dos efluentes radioativos gerados por estas instalações. Estas liberações podem ser consideradas como fontes potenciais para a exposição do homem à radiação.

Contudo, a liberação de efluentes para o meio ambiente deve ser feita de maneira controlada, ou seja, devem ser estabelecidos limites para as liberações de efluentes de uma instalação, de maneira a proteger o homem e o meio ambiente dos possíveis efeitos advindos da radiação. As liberações de radionuclídeos devem ser mantidas dentro de certos limites, de maneira a satisfazer os seguintes princípios básicos de radioproteção adotados internacionalmente [1]:

- a) Qualquer atividade envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade;
- b) Todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, levando-se em conta fatores sociais e econômicos;
- c) As doses equivalentes para indivíduos não devem exceder os limites recomendados para as circunstâncias apropriadas.

Os limites de liberação de efluentes para instalações nucleares são baseados nos limites primários de dose

equivalente para indivíduos do público. Estes limites de dose se aplicam à soma de todas as exposições controladas de um indivíduo provenientes de várias fontes, não devendo, portanto, ser utilizados para controlar a dose proveniente de uma fonte em particular. Desse modo, a ICRP 60 [1] recomenda que os limites de liberação de efluentes para uma fonte em particular sejam definidos com base nas doses em um grupo homogêneo de indivíduos que estejam potencialmente sujeitos à maior exposição resultante daquela fonte. Para este propósito é introduzido o conceito de grupo crítico.

De acordo com norma CNEN-NE-3.01 [2], o termo grupo crítico é definido como "grupo de membros da população cuja exposição é razoavelmente homogênea e típica dos indivíduos que recebem as maiores doses equivalentes ou doses equivalentes efetivas". O grupo crítico deve ser suficientemente pequeno para que seja homogêneo, com respeito à idade, sexo, dieta e todos os aspectos de comportamento que afetam as doses recebidas.

Uma vez definido o grupo crítico para uma instalação, poderão ser estabelecidos os limites de liberação de efluentes para esta instalação, os quais deverão ser definidos com base em avaliação de doses no grupo crítico e em parâmetros específicos locais.

O objetivo do presente trabalho consiste em definir o grupo crítico para a INAP, de maneira a fornecer subsídios para que, em fase posterior, sejam determinados os limites de liberação de efluentes, assim como atender exigências da CNEN quanto ao licenciamento desta instalação.

A INAP (Instalação Nuclear de Água Pressurizada) é um reator nuclear, em fase de projeto, que deverá operar com potência de 48 Mwt, estando localizado no Centro Experimental Aramar (CEA), no município de Iperó, SP.

A INAP, conforme já citado, encontra-se em fase de projeto, sendo que os dados relativos à liberação de radionuclídeos estão em constante revisão. Somando-se a isto, ocorre que a metodologia utilizada para a definição do grupo crítico é relativamente simples, devendo ser aperfeiçoada no futuro, além do que não se dispõe, até o momento, de um maior detalhamento relativo aos dados característicos do local.

Desse modo, o grupo crítico definido no presente trabalho possui um caráter preliminar, devendo ser revisto sistematicamente, e, possivelmente, deverá ser levado em conta a presença de outras instalações projetadas para operarem no CEA.

METODOLOGIA UTILIZADA

Dado que as solicitações da CNEN quanto ao licenciamento da INAP compreendem, entre outras, a definição dos limites de liberação de efluentes, o que deverá ser feito a curto prazo, procurou-se desenvolver uma metodologia simplificada, de fácil utilização, para a definição do grupo crítico.

O método utilizado para a definição do grupo crítico consistiu de três etapas:

- Identificação do termo-fonte radioativo, incluindo a quantidade, composição, frequência, modo e local de liberação e outras características da fonte relevantes para o comportamento do material após sua liberação;
- Avaliação da passagem do material radioativo no meio ambiente, utilizando modelos matemáticos dos caminhos ambientais; e
- Estimativa das doses a partir da concentração de material radioativo encontrado no meio ambiente ou de um campo de radiação externa. Os modelos usados consideram fatores tais como a idade, o sexo e os hábitos ocupacionais e levam em conta a transferência e metabolismo dos materiais radioativos no homem.

Para a definição do grupo crítico da INAP, foram adotadas as seguintes considerações:

- O grupo crítico definido é hipotético, sendo formado por indivíduos da população expostos a todas as vias consideradas críticas. A escolha do grupo crítico foi feita baseada nos cálculos de dose, sendo que o local de maior impacto, se não ocupado, é viável de ser ocupado no futuro.
- Uma vez que se trata de uma primeira avaliação, e não sendo avaliadas as incertezas inerentes aos modelos de cálculo, foram adotadas hipóteses conservativas. Com a evolução do projeto, e à medida em que os dados do local forem sendo mais detalhados, serão feitas reavaliações no sentido de verificar a adequabilidade dos caminhos de exposição e dos parâmetros utilizados.

- Com relação às vias de exposição, o ideal seria considerar os hábitos específicos do grupo que esteja sujeito à maior exposição. Contudo, como trata-se de um grupo crítico hipotético, foram adotados os hábitos médios ou representativos para toda a população da região analisada. Ainda assim, alguns parâmetros tais como ingestão de alimentos, tempo de permanência no local, taxa de irrigação, etc., podem não ser representativos de toda a população.

- Na escolha dos parâmetros empregados nos modelos foi dada prioridade aos parâmetros característicos do local, sendo utilizados valores de referência [4] apenas na ausência de informações locais.

Dados do Local. Para o cálculo das doses, foi considerada como região de interesse a área com 10 km de raio, centrada na torre de aquisição de dados meteorológicos localizada no CEA.

A área correspondente à região de interesse foi dividida em 18 anéis radiais concêntricos, com raios variados, e em 16 setores, cada um com 22,5°, tendo como bissetriz os pontos cardeais. A área correspondente à intersecção de um setor com um anel radial foi denominada elemento de área, sendo que as concentrações de radionuclídeos e as doses equivalentes foram calculadas para as distâncias entre o centro do elemento de área e o centro da grade (ponto de liberação considerado).

Os dados relativos a produção agrícola, produção animal e águas superficiais (água para irrigação, consumo humano e abastecimento do CEA) utilizados foram obtidos de um levantamento de dados do local efetuado junto à órgãos específicos, com o objetivo de identificar os caminhos de exposição existentes. Este levantamento foi realizado para uma área de 10 km de raio, centrada na torre de aquisição de dados meteorológicos do CEA, a qual corresponde à região de interesse.

Os dados de população foram obtidos do Censo Demográfico de 1991, realizado pelo IBGE. Para a presente avaliação, considerou-se o grupo da população constituído por homens adultos, que se constituem nos indivíduos do público residentes na área de interesse.

Assumiu-se ainda que estes indivíduos dispõem de todo o seu tempo no setor em que residem e que todo o alimento consumido é produzido no mesmo local.

Radioatividade no Meio Ambiente. A definição dos termos-fonte compreende a caracterização dos efluentes gasosos e líquidos lançados no meio ambiente e a localização dos pontos de lançamento.

Liberações Gasosas. Os radionuclídeos liberados para a atmosfera são provenientes das liberações de efluentes gasosos gerados em operação normal e nos processos de aquecimento e resfriamento e de troca de combustível.

As liberações resultantes da operação normal da instalação correspondem à atividade liberada pela chaminé para o meio ambiente.

São previstas quatro operações de aquecimento e resfriamento por ano. No presente relatório foi considerada a quantidade total liberada para o meio ambiente em um ano.

Está previsto também um total de dez trocas de elementos combustíveis em trinta anos. No presente relatório considerou-se a quantidade de liberação resultante de uma troca.

Para o cálculo da dispersão atmosférica foram adotadas as seguintes considerações:

- Todas as liberações gasosas foram centradas na torre de aquisição de dados meteorológicos;
- As liberações ocorrem à altura de 75 metros.

Liberações Líquidas. Os radionuclídeos liberados via líquida são provenientes dos lançamentos dos efluentes líquidos no rio Ipanema. Estes efluentes são gerados em operação normal e paradas do reator e no processo de troca de elemento combustível.

Para o cálculo da diluição de radionuclídeos no rio Ipanema foram adotadas as seguintes considerações:

- Não ocorre decaimento radioativo durante o trânsito (ponto de descarga - ponto de coleta);
- Não ocorre decaimento por sedimentação;
- A vazão do efluente é constante;
- A vazão do rio é constante e igual a 1,1 m³/s. Este valor corresponde à vazão mínima do rio Ipanema.

Caminhos de Exposição. Para a avaliação do impacto resultante no homem das liberações de radionuclídeos, foi utilizado um modelo matemático que procura descrever os processos de transferência ambiental conhecido como modelo de compartimentos. Esse modelo relaciona a quantidade do radionuclídeo liberada e a dose equivalente recebida pelos indivíduos, através de parâmetros de transferência ambiental. A metodologia de caminhos de exposição utilizada para a determinação do grupo crítico da INAP é a recomendada pela IAEA [3].

Os caminhos de exposição ambiental representados por compartimentos são mostrados na Fig. 1, e estão divididos em dois grupos: os caminhos de exposição para as liberações gasosas e os caminhos de exposição para as liberações líquidas. A quantidade de material num compartimento j da cadeia pode ser representada matematicamente por:

$$X_j = \sum_i P_{ij} \cdot X_i \quad (1)$$

onde:

X_i e X_j : são as quantidades nos compartimentos i e j respectivamente;

P_{ij} : são os parâmetros de transferência ambiental, que descrevem a passagem dos radionuclídeos do compartimento i para o compartimento j.

A somatória em i é realizada sobre todos os compartimentos de entrada no compartimento j.

Os compartimentos e os parâmetros de transferência ambiental considerados na estimativa das doses, para a definição do grupo crítico, são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O equacionamento completo de cada parâmetro considerado pode ser encontrado em [4,5].

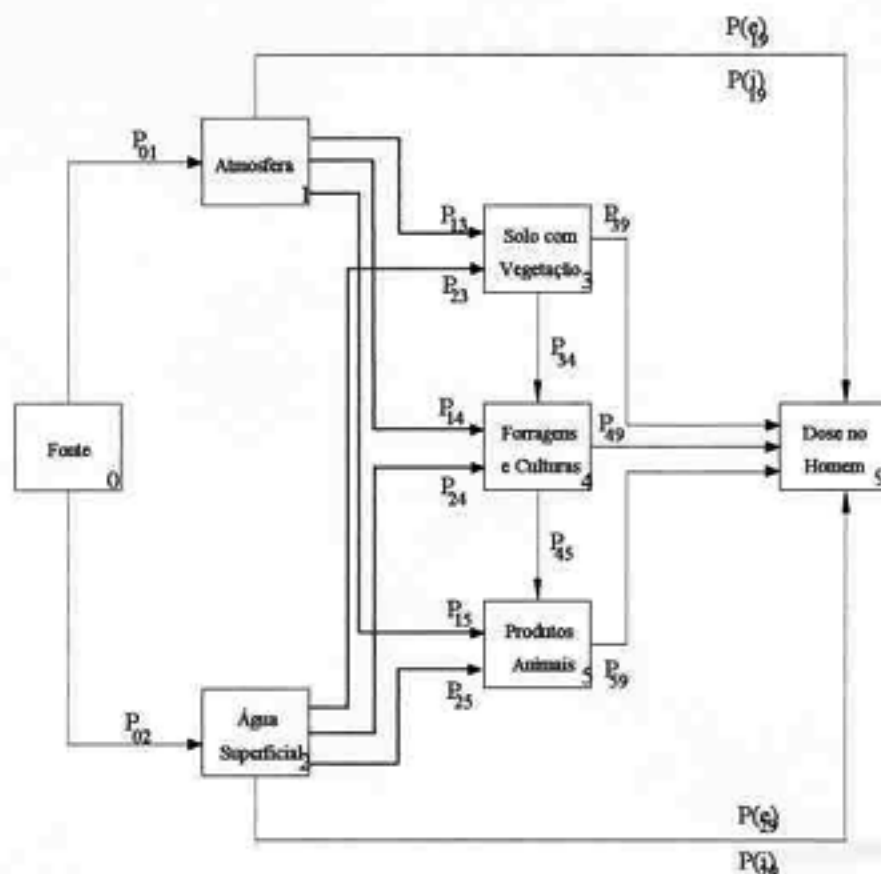


Figura 1. Diagrama Representativo dos Caminhos de Exposição.

TABELA 1. Unidades para os compartimentos de transferência considerados.

Compartimento	Unidade
0 (Fonte)	Bq.s ⁻¹
1 (Atmosfera)	Bq.m ⁻³
2 (Água Superficial)	Bq.m ⁻³
3 (Solo com Vegetação)	Bq.m ⁻²
4 (Forragens e Culturas)	Bq.kg ⁻¹
5 (Produtos Animais)	Bq.kg ⁻¹
9 (Taxa de Dose)	Sv.a ⁻¹

Caminhos de Exposição Para Liberações Gasosas. Na avaliação do transporte atmosférico dos efluentes gasosos liberados pela INAP, mais especificamente para o cálculo de P_{01} , foram utilizadas metodologias apresentadas em [6,7].

No cálculo das doses provenientes das liberações gasosas foram considerados os seguintes caminhos de exposição ambiental:

- 1) Exposição direta devido à imersão na pluma radioativa:

TABELA 2. Unidades dos parâmetros de transferência.

Parâmetros	Compartimentos	Unidades
P ₀₁	Fonte → Atmosfera	s.m ⁻³
P _{(i)19}	Atmosfera → Dose (Inalação)	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . m ³
P _{(e)19}	Atmosfera → Dose (Imersão)	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . m ³
P ₁₃	Atmosfera → Solo Vegetado	m
P ₁₄	Atmosfera → Forragens + Culturas	m ³ .kg ⁻¹
P ₁₅	Atmosfera → Produtos Animais	m ³ .kg ⁻¹
P ₃₄	Solo Vegetado → Forragens + Culturas	m ² .kg ⁻¹
P ₃₉	Solo Vegetado → Dose	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . m ²
P ₄₅	Forragens + Culturas → Produtos Animais	kg.kg ⁻¹
P ₄₉	Forragens + Culturas → Dose	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . kg
P ₅₉	Produtos Animais → Dose	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . kg
P ₀₂	Fonte → Água Superficial	s.L ⁻¹
P ₂₃	Água Superficial → Solo Vegetado	L.m ⁻²
P ₂₄	Água Superficial → Forragens + Culturas	L.kg ⁻¹
P ₂₅	Água Superficial → Produtos Animais	L.kg ⁻¹
P _{(i)29}	Água Superficial → Dose (Ingestão)	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . L
P _{(e)29}	Água Superficial → Dose (Imersão)	Sv.a ⁻¹ .Bq ⁻¹ . L
X _{0(g)}	Taxa de Liberação de Radionuclídeos Para a Atmosfera	Bq/s
X _{0(a)}	Taxa de Liberação de Radionuclídeos na Água	Bq/s

A dose equivalente anual resultante da exposição direta devido à imersão na pluma radioativa, D₁, é dada por [4]:

$$D_1 = X_{0(g)} \cdot P_{01} \cdot P_{(e)19} \quad (2)$$

2) Exposição direta devido ao solo contaminado:

A dose equivalente anual resultante da exposição direta devido ao solo contaminado pelos radionuclídeos liberados para a atmosfera, D₂, é dada por [4]:

$$D_2 = X_{0(g)} \cdot P_{01} \cdot P_{13} \cdot P_{39} \quad (3)$$

3) Inalação:

A dose equivalente anual resultante da inalação de radionuclídeos, D₃, é dada por [4]:

$$D_3 = X_{0(g)} \cdot P_{01} \cdot P_{(i)19} \quad (4)$$

4) Ingestão de produtos vegetais contaminados:

A dose equivalente anual resultante da ingestão de produtos vegetais contaminados pelos radionuclídeos liberados para a atmosfera, D₄, é dada por [4]:

$$D_4 = X_{0(g)} \cdot P_{01} \cdot [P_{13} \cdot P_{34} + P_{14}] \cdot P_{49} \quad (5)$$

5) Ingestão de produtos animais contaminados (carne e leite):

Para a ingestão de carne e leite contaminados, o formalismo dos caminhos de exposição é o mesmo, variando apenas os fatores utilizados no cálculo dos parâmetros de transferência ambiental.

A dose equivalente anual resultante da ingestão de produtos animais contaminados (carne e leite) pelos radionuclídeos liberados para a atmosfera, D₅ e D₆, é dada por [4]:

$$D_5 = D_6 = X_{0(g)} \cdot P_{01} \cdot \{ [P_{13} \cdot P_{34} + P_{14}] \cdot P_{45} + P_{15} \} \cdot P_{59} \quad (6)$$

Caminhos de Exposição Para Liberações Líquidas. Na avaliação do transporte aquático dos efluentes líquidos liberados pela INAP, mais especificamente para o cálculo de P₀₂, foram utilizados modelos apresentados em [8,9,10]. É importante observar que estes modelos são aplicados para liberações contínuas.

No cálculo das doses provenientes das liberações líquidas foram considerados os seguintes caminhos de exposição ambiental:

1) Exposição direta externa por imersão em água contaminada:

A dose equivalente anual resultante da exposição direta por imersão em água contaminada, D₇, é dada por [4]:

$$D_7 = X_{0(a)} \cdot P_{02} \cdot P_{(e)29} \quad (7)$$

2) Ingestão de produtos vegetais contaminados por irrigação:

A dose equivalente anual resultante da ingestão de produtos vegetais irrigados por água contaminada, D₈, é dada por [4]:

$$D_8 = X_{0(a)} \cdot P_{02} \cdot P_{23} \cdot P_{34} \cdot P_{49} \quad (8)$$

3) Ingestão de produtos animais contaminados (carne e leite):

A dose equivalente anual resultante da ingestão de produtos animais (carne e leite) contaminados via ingestão de água pelo gado, D₉ e D₁₀, é dada por [4]:

$$D_9 = D_{10} = X_{0(a)} \cdot P_{02} \cdot \{ [P_{23} \cdot P_{34} + P_{24}] \cdot P_{45} + P_{25} \} \cdot P_{59} \quad (9)$$

4) Ingestão de água contaminada:

A dose equivalente anual resultante da ingestão de água contaminada, D₁₁, é dada por [4]:

$$D_{11} = X_{0(a)} \cdot P_{02} \cdot P_{(i)29} \quad (10)$$

Os parâmetros de transferência ambiental, P_{ij} , são descritos na Tabela 2.

No cálculo de doses devem ser consideradas todas as vias potencialmente críticas. Contudo, devido limitações quanto ao desenvolvimento de metodologias e dificuldades na obtenção de dados detalhados do local, não foram consideradas as seguintes vias críticas:

- A absorção radicular de radionuclídeos presentes no solo, como uma das vias de contaminação de vegetais;
- A retenção de radionuclídeos nos sedimentos de fundo do rio Ipanema; e
- A ingestão de peixe, como uma das vias de exposição interna.

Modelagem Matemática Para as Doses Resultantes da Incorporação de Trítio. Devido ao comportamento diferenciado do trítio no meio ambiente, foi adotado um modelo de transferência ambiental especial, recomendado pela IAEA [6]. Neste modelo, no cálculo das doses anuais resultantes da incorporação de trítio são consideradas as contribuições das liberações gasosas e líquidas, conforme equacionamento a seguir:

$$\text{Dose} = [C_a \cdot f_a + C_w \cdot f_w] \cdot g \quad (11)$$

onde:

- C_a : é a concentração em equilíbrio do trítio nos vapores de água presentes na atmosfera no ponto de interesse resultantes das liberações gasosas (Bq/m^3);
- f_a : é a fração do total de água que um indivíduo fica potencialmente exposto e que é derivada dos vapores de água da atmosfera no ponto de interesse;
- C_w : é a concentração em equilíbrio do trítio na água contaminada no ponto de interesse resultante das liberações líquidas (Bq/m^3);
- f_w : é a fração do total de água que um indivíduo fica potencialmente exposto e que é derivada da água contaminada no ponto de interesse;
- g : é o fator de conversão de dose (Sv/ano por Bq/m^3).

Avaliação de Doses. No cálculo das doses equivalentes efetivas individuais foram considerados os caminhos de exposição descritos anteriormente.

Foram ainda considerados todos os radionuclídeos presentes nos efluentes liberados pela INAP.

As doses equivalentes efetivas foram calculadas para indivíduos adultos residentes na área de interesse, considerando-se uma taxa de ocupação de 100%. Na presente avaliação não foram calculadas as doses para crianças com até 1 ano de idade.

As doses devido a imersão no ar, a imersão na água e a contaminação da superfície do solo foram calculadas utilizando-se fatores de conversão de dose definidos em [11]. Para as doses devido a inalação e a ingestão foram utilizados os fatores de conversão de doses definidos em [12].

DEFINIÇÃO DO GRUPO CRÍTICO

Da avaliação das doses equivalentes efetivas anuais resultantes de todos os caminhos e modos de exposição considerados, incluindo-se também as doses equivalentes efetivas anuais resultantes da incorporação de trítio, resultou que a maior dose ocorre no setor NNE de direção do vento, à distância de 1.000 m do ponto de liberação. Portanto, considera-se que o grupo crítico da INAP é formado pelos indivíduos residentes neste local, cujas características e hábitos ocupacionais são os considerados no presente trabalho.

Convém observar que a dose equivalente efetiva anual estimada para os indivíduos residentes no referido local é de $3,05 \times 10^{-5}$ Sv ($3,05 \times 10^{-2}$ mSv). Esta dose é inferior ao limite de dose para o grupo crítico, que é de 0,3 mSv/ano. Este valor de limite de dose foi adotado com base em recomendação da CNEN, estando de acordo com o item 5.4.4 da norma CNEN-NE-3.01 [2]. Este limite será utilizado até que seja estabelecido o limite autorizado para a instalação.

Na Tabela 3 são apresentadas as doses devido a todos os caminhos e modos de exposição considerados, para os indivíduos do grupo crítico.

Observou-se que as doses provenientes de liberações líquidas contribuíram para a maior parte da dose total recebida, em cerca de 91,6%, enquanto que as contribuições das doses resultantes da liberação gasosa e da incorporação de trítio foram cerca de 1,0% e 7,4%, respectivamente.

Quanto a influência dos diversos caminhos de exposição para a dose total, observou-se que a ingestão de vegetais consistiu na contribuição mais significativa, correspondendo a cerca de 75% da dose total.

Os radionuclídeos críticos, para a ingestão de vegetais, foram: ^{129}I , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{131}I e ^{137}Cs .

TABELA 3. Doses nos Indivíduos do Grupo Crítico.

Caminho de Exposição	Dose Equivalente Efetiva (Sv)	Porcentagem em Relação à Dose Total
Inalação	4,38E-09	0,014
Imersão Pluma	3,17E-09	0,010
Irradiação Solo	3,61E-09	0,012
Ingestão Vegetais	3,06E-07	1,001
Ingestão Leite	0,00E+00	0,000
Ingestão Carne	0,00E+00	0,000
Total Gasoso	3,17E-07	1,037
Imersão Água	6,97E-09	0,023
Ingestão Vegetais	2,26E-05	74,121
Ingestão Leite	0,00E+00	0,000
Ingestão Carne	0,00E+00	0,000
Sedimentos	0,00E+00	0,000
Ingestão Água	5,33E-06	17,457
Total Líquido	2,80E-05	91,601
Tritio	2,25E-06	7,361
Total	3,05E-05	100,000

REFERÊNCIAS

- [1] International Commission on Radiological Protection, **1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**, ICRP-60, Pergamon Press, November 1990.
- [2] Comissão Nacional de Energia Nuclear, **Diretrizes Básicas de Radioproteção**, CNEN-NE-3.01, Novembro 1986.
- [3] International Atomic Energy Agency, **Concept and Approaches Used in Assessing Individual and Collective Doses from Releases of Radioactive Effluents**, IAEA-TECDOC-460, Vienna, 1988.
- [4] Lemire, A.E., **Derived Release Limits for Radionuclides in Airborne and Liquid Effluents for the Whiteshell Nuclear Research Establishment**, AECL-10028, August 1989.
- [5] International Atomic Energy Agency, **The Application of the Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents in the Case of the Mining and Milling of Radioactive Ores**, Safety Series 90, Vienna, 1989.
- [6] International Atomic Energy Agency, **Generic Models and Parameters for Assessing the**

Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Safety Series 57, Vienna, 1982.

- [7] U. S. Nuclear Regulatory Commission, **Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water-Cooled Reactors**, Regulatory Guide 1.111, Rev.1, 1977.
- [8] Codell, R.B., Key, K. T. and Whelan, G., **A Collection of Mathematical Models for Dispersion in Surface Water and Groundwater**, NUREG-868, June 1982.
- [9] International Atomic Energy Agency, **Hydrological Dispersion of Radioactive Material in Relation to Nuclear Power Plant Siting**, Safety Series 50-SG-S6, Vienna, 1985.
- [10] U. S. Nuclear Regulatory Commission, **Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Releases for the Purpose of Implementing Appendix I**, Regulatory Guide 1.113, 1977.
- [11] Kocher, D.C., **Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons**, Health Physics, vol. 45, n° 3, p. 665-686, September 1983.
- [12] Till, J.E. and Meyer, H.R., **Radiological Assessment - A Textbook on Environmental Dose Analysis**, NUREG/CR-3332, September, 1983.

ABSTRACT

The hypothetical critical group from INAP has been defined in this work. INAP is a 48 Mwt reactor in Centro Experimental Aramar (CEA), Iperó, SP, Brazil. The annual effective equivalent doses for members of the public have been estimated to identify the individuals expected to receive the highest doses, the critical group(s). In the dose assessments it has been assumed that the members of the public have been distributed in a 10 km diameter area, centered in CEA. Once the critical group has been identified, it will be possible to calculate the limits for gaseous and liquid effluents releases in the normal operation of INAP.