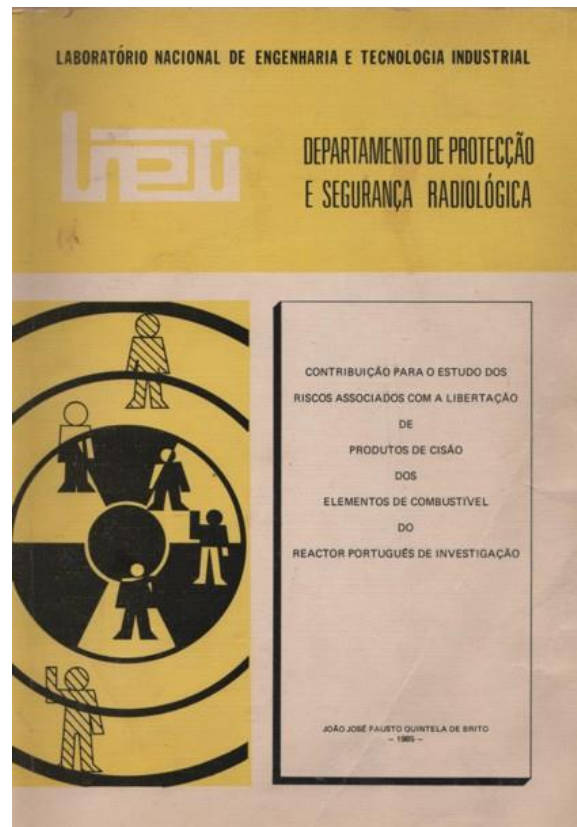


CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DOS RISCOS ASSOCIADOS COM A LIBERTAÇÃO DE PRODUTOS DE CISÃO DOS ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL DO REACTOR PORTUGUÊS DE INVESTIGAÇÃO

João José Fausto Quintela de Brito
1985



ÍNDICE

Introdução

1-Pesquisa bibliográfica

2-Considerações teóricas

2.1 -Inventário dos produtos de cisão no núcleo do reator

2.1.1.-Cisão e transmutação nuclear.

2.1.2.-Obtenção do inventário aproximado dos produtos de cisão.

2.2-Mecanismos de transferência

2.3-Transferência do iodo no interior da piscina.

2.4-Transferência do iodo da piscina para a atmosfera do recinto.

2.5-Transferência do iodo na atmosfera do recinto.

2.6-Diluição devida à renovação do ar do recinto.

3-Objectivo

- 4-Modelo do fenómeno
- 4.1-Fase líquida.
- 4.2-Modelo de equilíbrio fase líquida-fase gasosa.
- 4.3-Modelo de transferência na fase gasosa.

5-Programa de cálculo

6-Análise dos resultados

7-Discussão

8-Revisão e conclusões

9-Sugestões para trabalhos futuros

10-Glossário

Página 3

Apêndices

- 1)-Dedução da equação da difusão em geometria cilíndrica
- 2)-Cálculo das difusividades
- 3)-Dedução da equação da difusão em geometria esférica
- 4)-Programas de cálculo
 - 4.1 -Geometria cilíndrica
 - 4.1.1.- Programa principal..... IRPI
 - 4.1.2.- Subrotina para cálculo de J_0 (Função de Bessel de 1ª espécie e ordem 0)
 - 4.1.3.- Subrotina para cálculo de J_1 (Função de Bessel de 1ª espécie e ordem 1)
 - 4.1.4.- Subrotina para cálculo de zeros de J_1
 - 4.2 - Geometria esférica
 - 4.2.1.- Programa principal EIRPI
 - 4.2.2.- Subrotina para zeros de $x \cot x - 1 = 0$
- 5)-Efeito da ventilação sobre a velocidade de transferência do iodo para a atmosfera do recinto.

Figuras

- Fig.1 Localização do Instituto de Energia
- Fig.2 Planta do RPI
- Fig.3 Núcleo do Reactor Português de Investigação
- Fig.4 Cortes verticais da piscina do RPI
- Fig.5 Elemento de Combustível do RPI

Página 4

- Fig.6 Perfis de concentração do modelo cilíndrico
($t = 0,01; 0,1; 1; 10$ h)
- Fig.7 Perfil de concentração do modelo cilíndrico
($t = 0,001$ h)
- Fig.8 Perfis de concentração do modelo esférico
($t = 0,01; 0,1; 1; 10$ h)
- Fig.9 Perfil de concentração do modelo esférico
($t = 0,001$ h)
- Fig.10 Vista parcial do recinto do reactor onde se evidenciam à direita e em cima

INTRODUÇÃO

O Reactor Português de Investigação (RPI) é um reactor nuclear de tipo piscina de núcleo aberto cuja potência nominal é de 1MW.

Está instalado em Sacavém, no Instituto de Energia e funcionou pela primeira vez em 1961, portanto há já 24 anos.

Assim é lógico admitir-se que uma certa atenção deve ser posta na evolução do núcleo mormente no comportamento das bainhas dos elementos de combustível face a eventuais fenómenos corrosivos que motivem danos nas mesmas.

Caso se verifique rompimento nas bainhas dos elementos de combustível, seguir-se-á uma transferência de produtos de cisão, em quantidade apreciável, para o exterior dos mesmos. Levanta-se então o problema de saber o grau de contaminação a que ficará sujeito o ambiente do recinto do reactor em tais circunstâncias..

Para avaliar o grau de perigo que tal ocorrência poderá significar em termos de respirabilidade do ar do recinto, haverá que quantificar na medida do possível a rapidez da transferência em causa.

Um cálculo muito exacto não se nos afigura viável em virtude de ser bastante complexo. Por essa razão, decidiu-se considerar apenas um cálculo aproximado resultante da adopção de diversas simplificações. Houve, no entanto, a preocupação de encarar sistematicamente a situação que correspondesse à transferência mais drástica.

Consequentemente, os resultados aparecem eivados de forte excesso e são criticados à luz da improbabilidade de ocorrência das hipóteses muito drásticas que foram feitas.

Página 6

1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A escolha do Iodo-131, como nuclido contaminante a considerar.

O interesse do Iodo-131 como contaminante do meio ambiente recebeu um grande impulso depois do relato do seu aparecimento, nas tiróides do gado vaccum e caprino pelos anos de 1954. Em 1956, as medidas efectuadas denunciaram que o lodo radioactivo era também assimilado pela tiróide humana em quantidades facilmente detectáveis aquando de acontecimentos nucleares com repercussões no meio ambiente.

Apareceram numerosos trabalhos de investigação indicando que o Iodo-131 deveria ser considerado ao lado do Césio-137 e do Estrôncio-90 como um poluente radioactivo que criava problemas de Protecção Contra Radiações. (Hazard to man from I-131 in the environment).

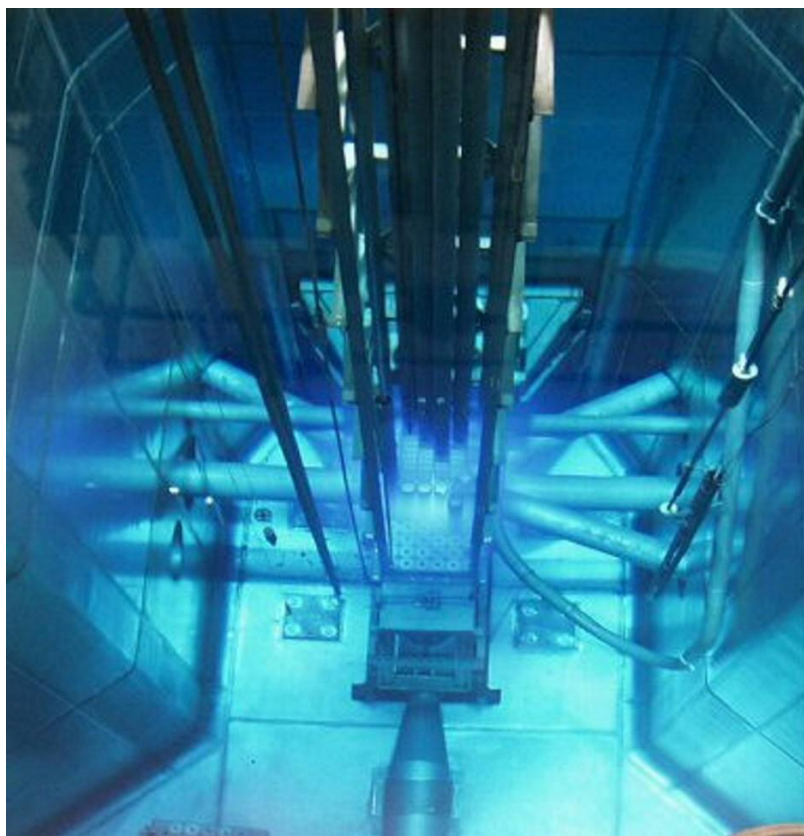
Quando se dá uma reacção de cisão muitos são os isótopos de iodo que em produzem com relativa abundância. Na tabela do quadro 1 indicam-se os rendimentos dos vários isótopos do Iodo em paralelo com os dados relativos ao Cs-137 e Sr-90, no caso da cisão do U-235 e do Pu-239, bem como as suas semi-vidas e actividades específicas.

Podemos referir, considerando os dados da tabela já citada que os iodios 128 e 130, são produzidos em quantidades tão reduzidas que não têm em termos de acção imediata um significado relevante para o homem, relativamente aos outros Isótopos. Os iodios, 134 e 136 ainda que produzidos em quantidades apreciáveis, apresentam todavia um risco pequeno devido às suas semi-vidas bastante curtas.

O Iodo-129 que tem uma semi-vida de $1,7 \cdot 10^7$ anos pode ser também excluído devido à sua actividade específica que é muito baixa e à fraca quantidade produzida. Apesar disso é grande a importância do Iodo-129 no estudo do meio ambiente devido à sua potencial acumulação ao longo do tempo como consequência de actividades nucleares.

O Iodo tem um só isótopo estável, Iodo-127. É abundante na natureza, mas a sua distribuição não é uniforme, principalmente na forma da iodeto e de iodato.

Refere-se que foram identificados vinte e três isótopos radioactivos do Iodo dos quais só o Iodo-129 é natural. Obtém-se por cisão espontânea do Urânio e do Tório nos terrenos e nos oceanos, pela interacção de partículas de energia elevada com o Xenon nas camadas elevadas da atmosfera e também por reacções neutrónicas com o Te-128 e Te-130. Estima-se que a abundância natural do Iodo-129 varia entre 10^{-15} e 10^{-12} átomos de Iodo-129 por átomo de Iodo-127 (Radiation doses from iodine-129 in the enviroment:Health Physics vol.30-janeiro pag.61⁽²⁾



Página 7

**RENDIMENTO DOS PRODUTOS DE CISÃO NA CISÃO
PRODUZIDA POR NEUTRÕES**

Rendimento na cisão (%)
 ^{235}U ^{239}Pu

Isótopo	semi-vida	térmico	rápido	térmico	rápido	Ac.especifica ($\mu\text{Ci.g}^{-1}$)
I-128	25 minutos	0,00003				$5,89 \times 10^{13}$
I-129	$1,7 \times 10^7$ anos	0,8				164
I-130	12,6 horas	0,005				$1,92 \times 10^{12}$
I-131	8,05 dias	3,1	4,3	3,77		$1,25 \times 10^{11}$
I-133	20,8 horas	6,9	5,4	5,2		$1,14 \times 10^{12}$
I-134	52,5 minutos	7,8	5,3			$2,68 \times 10^{13}$
I-135	6,7 horas	6,1	4,5	5,7		$3,47 \times 10^{12}$
I-136	86 segundos	3,1		2,1		$9,66 \times 10^{14}$
Cs-137	26,6 anos	6,15	6,3	6,63	6,9	$9,84 \times 10^7$
Sr-90	27,7 anos	5,77	5,0	2,25	2,2	$1,44 \times 10^8$

Quadro - 1

Os iodios 133 e 135 são, como se pode observar no quadro-1, produzidos em quantidades relevantes. Contudo para o estudo que nos propomos realizar não se revestem de grande importância, por terem semi-vida bastante menor do que o Iodo -131.

Sob certas condições e aquando dum acontecimento grave de índole nuclear, grandes quantidades de Iodo-133 e Iodo-135 podem ser dispersas a baixas altitudes e a inalação directa dará origem a problemas

Página 8

Graves de Protecção Contra Radiações. Felizmente que os atrasos no tempo introduzidos ao longo dos mecanismos, de transferência são suficientemente elevados relativamente às suas semi-vidas, o que minimiza as suas consequências, em termos de cadeia alimentar.

Assim podemos afirmar que é o Iodo-131, dentre as variedades isotópicas que suscita uma atenção muito singular quer por ser produzido em abundância significativa, quer sobretudo por ser dotado duma semi-vida adequada que lhe confere efeitos imediatos e mediatos apreciáveis.

Devido às suas propriedades físicas, o Iodo 131 não oferece grande problema de protecção contra a radiação externa. Todavia e relativamente à radiação interna é, como aliás já foi referido, um dos mais preocupantes

Se considerarmos uma fonte nua de 1 Ci de Iodo-131, o débito de dose de exposição a um metro é da ordem de grandeza de 300mR/hora. Contudo se interpusermos 3cm de Chumbo, entre a fonte e o meio detector, tal débito, sofrendo atenuação, será reduzido para valores da ordem dos 3mR/hora (Manual of isotope Production, Technical Reports Series n-63 pag-236)⁽³⁾

Relativamente à dose de radiação interna, emergente duma contaminação que atinja directa ou indirectamente o interior do homem, o Iodo é particularmente perigoso. Está classificado como pertencendo à classe 2, Toxicidade Elevada (Contribuição para o Estudo de Técnicas de Despoluição do ar de Instalações Nucleares, 1º Congresso Nacional "DEGRADAÇÃO do AMBIENTE OWITUGUES-Combate à Poluição-PORTO 1974)⁽⁴⁾.

A sua semi-vida biológica, tomando-se como referência o corpo inteiro, é de 138 dias, a que corresponde uma semi-vida efectiva de 7,6 dias, sendo a sua semi-vida física de oito dias.

$$Te = \frac{T_p \cdot T_b}{T_p + T_b}$$

Em que Te, Tp e Tb, são respectivamente as semi-vidas efectiva, física e biológica (APPLIED RADIATION PROTECTION AND CONTROL-1^o Volume pag.29).

Página 9

No Technical Reports Series n-152(AIEA) "EVALUATION OF RADIATION AND ACCIDENTS" pag-8, apresenta-se um quadro (tabela- 1) na qual se evidencia que a actividade do Iodo resultante das operações num reator a uma potência de 500MW operando 180 dias, corresponde após um arrefecimento de um dia a mais de 10% da actividade total⁽⁶⁾

PRODUTOS DE CISÃO	ACTIVIDADE (Ci)
Total	4,1x10 ⁸
Voláteis	8,4x10 ⁷
iodo	5x10 ⁷
Gases Nobres	3,4x10 ⁷
Sr-89	1,7x10 ⁷
Sr-90	3x10 ⁵
Ce-144	8x10 ⁶

Tabela - 1

Da bibliografia que fomos recolhendo suscitou-nos muita atenção "Consequências do acidente máximo verosímil do JEN-1", pag.235, no qual o autor relata o inventário dos produtos de cisão no núcleo do reator*com base no pressuposto de que até ao momento dum acidente hipotético, o núcleo trabalhou a potência de 3MW durante 2.700 horas.

O JEN-1 é um reator experimental do tipo piscina. Utiliza-se para a produção de isótopos radioactivos e para o ensino. O combustível é uma liga de alumínio e urânio enriquecido a 20% em U-235. (REACTOR SAFETY AND HAZARDS EVALUATION TECHNIQUES-volume-2-IAEA)⁽⁷⁾.

Apresenta o autor a percentagem estimada e parcial dos diferentes nuclidos radioactivos que se libertam no recinto do reactor quando se dá a fusão do núcleo (quadro - 2) e as quantidades calculadas dos produtos de cisão radiologicamente

Gases Nobres e Bromo.....10%
 Iodo e Telúrio.....2%
 Césio e Ruténio1%
 Estrôncio Bário e Césio... . 0,2%..

Quadro - 2

Página 10

Importantes, contidas na atmosfera do recinto do reactor após a ocorrência da fusão de parte do núcleo. (quadro - 3)

Iodo-131	1000
Iodo-132	1500
Estrôncio-89	120
Estrôncio-90	1.5
Ruténio-106	12
Césio-137	6.5
Cério-144	48.5
Bário-140	210

Quadro - 3

*** Neste quadro figura o ^{132}I , para o qual não tecemos qualquer consideração preliminar.

De salientar que è dotado de uma semi-vida física de 2,3 horas, portanto cerca de 1/80 da do ^{131}I ***

Richard George Cuddihy no seu trabalho "Hazard to man from I-131 in the environment" considera o ^{131}I como um poluente sério, recomendando que deverá ser estudado tanto quanto possível afim de se garantir a protecção de populações. Afetadas.

Também ÖZTAS MANOPULO, no seu trabalho "A Study of fission product tory and doses released by the partial Meltdown of TR-2 Reactor Core, 1977" e fazendo um estudo bastante exaustivo sobre produtos de cisão libertados, não deixa de considerar, como seria óbvio, o ^{131}I , dando-lhe toda a relevância ⁽⁸⁾ Na bibliografia não encontramos nenhum trabalho que focasse a difusão do Iodo na água da piscina dum reactor.

Por essa razão não dispomos de resultados com os quais possamos defrontar as estimativas a que vamos proceder por via teórica.

Página 36

8. REVISÃO E CONCLUSÕES

Neste trabalho partiu-se de uma estimativa do inventário dos produtos de cisão existentes no núcleo do RPI e admitindo uma série de hipóteses muito drásticas procurou acompanhar-se a libertação de um desses produtos de cisão (^{131}I), que teria lugar por motivos de rotura das bainhas do combustível por corrosão.

Adoptaram-se modelos de difusão pura, em geometria cilíndrica e em geometria esférica, para representar o fenómeno da difusão a partir do núcleo da água da piscina, obtendo-se uma indicação da escala de tempo em que o praticamente se completa.

Fez-se uso da lei de Raoult para obter uma estimativa da concentração que seria de esperar do lado do ar na interface ar/água, e usou-se o de difusão a partir da esfera de líquido em ar parado para obter obter a velocidade de transferência aproximada do Iodo da água para o ar.

Em seguida, tendo em conta o caudal de renovação de ar do recinto, calculou-se qual a concentração média do Iodo no ar a que aquela transferência conduziria. Recorrendo às recomendações da ICRP, em termos de

ALI (LIMITE ANUAL DE INCORPORAÇÃO), obteve-se o valor da DAC (CONCENTRAÇÃO NO AR DEDUZIDA DO ALI), isto é, de concentração de ^{131}I no ar que representa ainda uma situação tolerável.

A comparação dos valores de concentração de Iodo acima referidos permite concluir que, se o conjunto de hipóteses drásticas admitidas neste trabalho pudesse efectivamente verificar-se, estar-se-ia perante concentrações na atmosfera do recinto cerca de 20 vezes superior à DAC o que não seria tolerável.

Porém, analisando as hipóteses implícitas em tal valor, concluí-se que de forma nenhuma é plausível a possibilidade de tal situação se vir a verificar em consequência de fenómenos de corrosão, mesmo que esta fosse bastante extensa.

(Recuperado por OCR)

João Quintela de Brito
2010-10-18

<http://www.ventoforte.org/contrirpi.html>