

CÁLCULO DE DOSES EQUIVALENTES NAS PROXIMIDADES DE UMA CENTRAL NUCLEAR

W.G. Hübschmann [KfK (Kernforschungszentrum Karlsruhe)/Universität Karlsruhe]/

A.M. Sacramento [CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear), Belo Horizonte]

O cálculo de doses equivalentes nas proximidades de uma central nuclear, devido às substâncias radioativas libertadas para a atmosfera, é importante tanto no processo de licenciamento como também durante o funcionamento. A fim de poder efetuar tais cálculos da propagação atmosférica e da deposição de substâncias nocivas nas proximidades da central nuclear brasileira ANGRA I, nos arredores da localidade costeira Angra dos Reis, foram primeiramente introduzidos métodos apropriados e programas de cálculo para determinação de doses, no âmbito da colaboração teuto-brasileira entre o Centro de Investigação em Karlsruhe (KfK, Forschungszentrum Karlsruhe) e o CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear) em Belo Horizonte. Os métodos baseiam-se nas diretivas previstas no decreto alemão sobre proteção contra radiações (*Base geral de cálculo para a exposição a radiações em fugas radioativas com o ar evacuado ou em águas superficiais*, 1979).

Para o cálculo da propagação atmosférica e da deposição no solo foi transferido do KfK para o CDTN o programa de cálculo ISOLA [HÜBSCHMANN/ NAGEL 1978], e para o cálculo das doses equivalentes, inclusive da dose efetiva, foi transferido o programa de cálculo EFFDOS [BÄR/ HONCU/ HÜBSCHMANN 1984].

Estes processos de cálculo foram aplicados ao local de implantação da central nuclear Angra dos Reis NPP1 (DWR, Druck-Wasser-Reaktor - reator a água pressurizada - tipo de construção Westinghouse), sob utilização dos coeficientes de liberação indicados no relatório de segurança ANGRA

do ano de 1975. Os processamentos de cálculos foram efetuados no KfK assim como no CDTN, para assim tornar disponível um caso de referência.

Dados de entrada

O relatório de segurança ANGRA contém os coeficientes de liberação a esperar de substâncias radioativas (ver tabela 1), mas por outro lado não contém os valores-limite superiores propostos. Por conseguinte, as doses na unidade de tempo calculadas representam valores esperados, que podem também ser excedidos duran-

te o funcionamento. Este gênero de cálculo difere dos cálculos em relatórios de segurança alemães, nos quais interessam somente a liberação e a dose máximas na unidade de tempo.

O relatório de segurança ANGRA contém também a estatística da direção do vento, da velocidade do vento e da categoria de propagação. Esta última foi determinada por meio do gradiente de temperatura medido no mastro de medição ANGRA A. A estatística abrange o período de medição de 1/12/1973 até 30/11/1974.

Isótopo	Coeficiente de liberação em Bq/a	
Kr-85	2420	10 ⁹
Kr-85 m	160	10 ⁹
Kr-87	90	10 ⁹
Kr-88	270	10 ⁹
Xe-133	7380	10 ⁹
Xe-133 m	140	10 ⁹
Xe-135	450	10 ⁹
Xe-135 m	30	10 ⁹
Xe-138	60	10 ⁹
I-131	0,7	10 ⁹
I-132	0,2	10 ⁹
I-133	1,1	10 ⁹
I-134	0,1	10 ⁹
I-135	0,6	10 ⁹

Tabela 1: Coeficientes de liberação de gases raros radioativos e de iodo radioativo

A velocidade de deposição seca de radioiodo foi supostamente fixada em 1 cm por segundo (iodo elementar) [base geral de cálculo 1979]. A quantidade de precipitação anual varia entre 1000 e 2000 mm e foi estabelecida em 1500 mm. Para além disto foi suposto que a precipitação se partilha pelos 16 setores da rosa dos ventos (todas as classes), segundo a frequência da direção do vento. O cálculo da propagação foi efetuado tanto para uma altura de libertação de $H = 55$ m (altura da chaminé, ver figura 1), como também - para fins de comparação - para $H = 5$ m, uma vez que no relatório de segurança é suposta libertação na proximidade do solo.

Resultado do cálculo de doses

A dose equivalente na unidade de tempo foi calculada para todas as vias de exposição relevantes (ver tabela 2) e para as partes do corpo eventualmente críticas, *corpo total*, *tireóide e pele*.

As doses equivalentes máximas anuais, fora do terreno da central, são de esperar no limite do terreno 500 m a leste da chaminé, no caso de $H = 55$ m (ver tabela 2), e no limite do terreno 900 m na direção OSO do ponto da fonte, no caso de $H = 5$ m. O terreno de pastagens mais próximo

está a uma distância de 4,2 Km a NNE, a horta mais próxima está a uma distância de 3,6 Km a ENE.

No cálculo da dose total (todas as vias de exposição) convencionou-se que a pessoa em questão deveria permanecer durante todo o tempo no ponto de dose máxima na unidade de tempo - no limite do terreno - e que esta pessoa só consumiria alimentos que foram produzidos no terreno de pastagens ou na horta em questão. Os fatores de dose para irradiação externa foram retirados da *Base Geral de Cálculo* [1979], os fatores de dose para irradiação interna foram retirados de uma publicação de Bär,

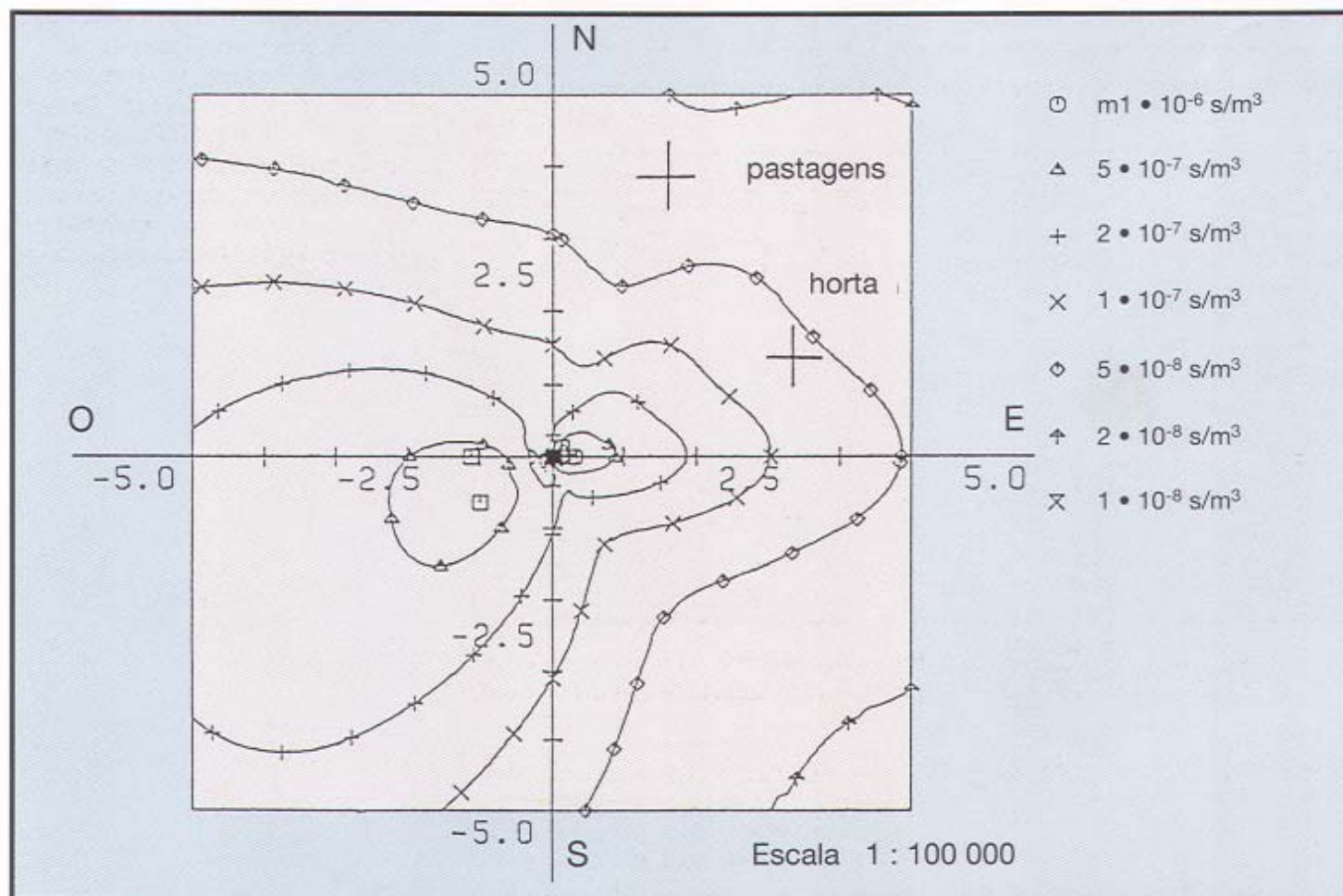


Figura 1: Fator de propagação em segundos por metro cúbico ($H = 55$ m, Angra dos Reis NPP1)

Via de exposição	Ponto	Órgão		
		corpo total	tireóide	pele
		(Dose efetiva)		
Submersão Beta	500 m este	-	-	0,06
Submersão Gama	500 m este	0,091	0,09	0,09
Inalação de radioiodo	500 m este	0,002	0,05	-
Ingestão de iodo através do leite do legumes	4,2 Km NNE	0,001	0,06	-
	3,6 Km ENE	0,003	0,08	-
Todas as vias de exposição		0,097	0,28	0,15

Tabela 2: Dose na unidade de tempo em μSv por ano (libertação da chaminé, H = 55 m)

Via de exposição	Ponto	Órgão					
		corpo total (Dose efetiva)		tireóide (Dose efetiva)		pele (Dose efetiva)	
		CR	RS	CR	RS	CR	RS
Submersão Beta	900m OSO	-	-	-	-	0,83	10,2
Submersão Gama	900m OSO	0,08	6,1	-	-	-	-
Inalação de radioiodo	900m OSO	-	-	0,65	8,2	-	-
Ingestão de iodo através do leite do legumes	4,2km NNE	-	-	0,12	5,0	-	-
	3,6km ENE	-	-	0,15	0,22	-	-

Tabela 3: Dose na unidade de tempo em μSv por ano no caso de referência (CR) e no relatório de segurança (RS) (libertação junto ao solo)

Honcu e Hübschmann [1984, conforme ICRP Publication 30 e Supplements].

Analogamente aos coeficientes de libertação baixos, também as doses

equivalentes são pequenas em comparação com as doses admissíveis. Na Alemanha o limite de doses anuais efetivas admissíveis é de 300 μSv . Na tabela 3 estão comparadas as doses indicadas no relatório de segurança

ANGRA com as doses aqui calculadas (para H = 5 m). Como resultado é de reter que as doses equivalentes no relatório de segurança apresentam, em parte, um grau considerável de conservantismo.

Sistema de informação meteorológico (MIS) no CDTN

Também no CDTN, em Belo Horizonte, foi montado um mastro de medição meteorológico, para no futuro aí poderem ser efetuadas pesquisas meteorológicas e cálculos. O poste treliçado, triangular, tem uma altura de 45 m. Está equipado com aparelhos de medição meteorológicos e com um registrador de dados, que foram postos à disposição pelo KfK (direção e velocidade do vento, temperaturas, humidade, balanço de radiações). Com estas informações pode-se estabelecer uma estatística de propagação que pode servir como lista de entrada de dados para cálculos de propagação (por exemplo com o programa ISOLA).

Indicação de literatura

1. Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern (1979) (Richtlinie zu Paragraph 45 StrlSchv), *Gemeinsames Ministerialblatt* 30 (1979), 371-435
2. BÄR, M./HONCU, S./HÜBSCHMANN, W. (1984) *EFFDOS - Ein FORTRAN-77-Programm zur Berechnung der effektiven Äquivalentdosis* (Karlsruhe: KfK 3631)
3. Estudo Nacional da Despesa Familiar - *ENDEF*. Dados Preliminares (1977) (Rio de Janeiro: ENDEF)
4. HÜBSCHMANN, W./NAGEL, D. (1978) *ISOLA III - Ein FORTRAN-IV-Programm zur Berechnung der langfristigen Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen* (Karlsruhe: KfK 2698)
5. ICRP (International Commission on Radiological Protection) Publication 30 (1979) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers* (Oxford: Pergamon Press)

Deutsche Übersetzung:

ICRP Veröffentlichung 30 (1985) *Grenzwerte der Aktivitätszufuhr von Radionukliden für Beschäftigte* (Teil 1-3) (Stuttgart: Gustav Fischer)