

C E T E S B

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE

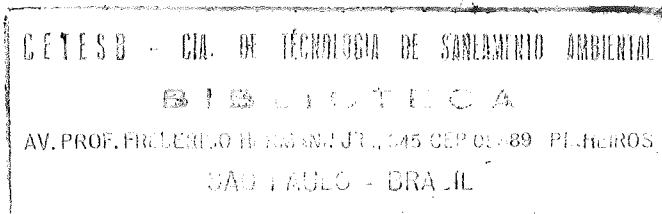
SEGURANÇA NO TRABALHO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERRMANN JR., 345 CEP 05789 PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

Engº Hiroshi Oki

ARQUIVO TECNICO

Novembro de 1975



SEGURANÇA NO TRABALHO

1ª PARTE - PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

1. EFEITO DA RADIAÇÃO SOBRE O CORPO HUMANO

As radiações alfa, beta e gama dos radioisótopos ionizam o meio que as absorve. Esta ionização causa no tecido humano um efeito biológico específico. Sob a influência da radiação ionizante, as proteínas se transformam em compostos estranhos e tóxicos ao organismo. A água, que constitui 3/4 do corpo humano, decompõe-se sob a ação da radiação, formando íons positivos e negativos e radicais ativos que possuem um grande poder de oxidação e destroem as proteínas.

O efeito biológico da radiação ionizante é determinado somente pela densidade de ionização que ocorre no tecido irradiado e quase não depende do tipo de radiação. Contudo, por causa de seus diferentes poderes de penetração, conhecidos tipos de radiação causam ionização de diferente densidade e distribuição não uniforme no tecido, conseqüentemente causando diferentes efeitos biológicos no organismo humano.

A capacidade de ionização de uma partícula alfa é centena de vezes maior do que a de uma partícula beta ou de uma radiação gama. Contudo, o poder de penetração das partículas alfa e beta é insignificante e as partículas são completamente absorvidas no tegumento, destruindo principalmente a pele, membrana mucosa e a córnea do olho. A radiação gama, possuindo alto poder de penetração, pode ser fatal para os organismos vivos, sem causar mudanças no tegumento durante a irradiação.

A severidade do dano causado pela radiação gama depende da energia da radiação, da dose total, da dimensão da seção irradiada, da rádio-sensibilidade individual e da idade. Então, uma simples dose de 25R pode resultar num sério distúrbio no organismo humano. Se tomada num tempo pequeno, uma dose de 100 a 300R causa um distúrbio complexo no corpo humano, que é definido como DOENÇA DE RADIAÇÃO. Uma dose de radiação de 400 a 500R é letal em 50 % dos casos. Esta dose é conhecida como dose LETAL 50 %. Uma dose de 600R é letal ao ser humano. Doses pequenas num longo período são menos perigosas durante a vida, as pessoas estão expostas à irradiação

externa causada por raios c3smicos, elementos radioativos naturais, ar atmosf3rico, 3gua e alimento. A dose recebida desta radia33o natural de fundo pelo ser humano no curso de 50 anos 3 aproximadamente de 20 a 25R e 3, aparentemente, n3o injuriosa 3 atividade vital.

3 necess3rio frisar que, sob condi33es similares de irradia33o, certos indiv3duos podem contrair a doen3a de radia33o e outros n3o. Para certos indiv3duos, uma dose de 100R 3 letal, enquanto que para outros 3 de 1000R. Foi provado que indiv3duos jovens s3o mais sens3veis 3 radia33o. Al3m disso, o efeito da radia33o no organismo humano depende do estado geral de sa3de e da presen3a de outras doen3as. Peculiaridades individuais do organismo humano s3o reveladas fortemente com uma dose de radia33o insignificante. Ademais, outros fatores pertinentes 3s condi33es da vida di3ria e de trabalho s3o importantes: umidade, temperatura e contamina33o do ar nos locais de trabalho, esfor3o f3sico, dieta, sono, trabalho, descanso, etc.

2. VALORES DE DOSE PARA OS INDIV3DUOS QUE TRABALHAM COM RADIA33O

Os indiv3duos que trabalham com fontes radioativas podem estar sujeitos a dois tipos de radia33o ionizante: interna, quando o material radioativo penetra no corpo humano e radia33o externa de uma fonte externa. Naturalmente os operadores de GAMAGRAFIA est3o expostos somente a irradia33o externa. De acordo com as NORMAS B3SICAS DE PROTE33O RADIOL3GICA da CNEN (COMISS3O NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR), a RADIA33O EXTERNA 3 a radia33o que atinge o corpo de um indiv3duo a partir de fontes externas e RADIA33O INTERNA 3 a radia33o emitida por fontes situadas dentro de um indiv3duo.

Agora daremos algumas defini33es, para melhor compreens3o dos assuntos tratados a seguir:

CURIE (Ci) - unidade especial de atividade. Um Ci 3 igual a $3,7 \times 10^{10}$ de integra33es por segundo.

DOSE - quando n3o acompanhada da palavra absorvida, dose ou dose de radia33o 3 usada como sin3nimo de DOSE EQUIVALENTE.

DOSE ABSORVIDA - 3 o quociente da energia transferida pela radia33o ionizante

zante à matéria, num volume elementar, pela massa de matéria nesse volume. A unidade especial de dose absorvida é o Rad.

$$1 \text{ Rad} = 1/100 \text{ j/kg} = 100 \text{ erg/g}$$

DOSE EQUIVALENTE - é o produto de dose absorvida, fator de qualidade, fator de distribuição de dose absorvida e outros fatores modificadores necessários para denotar modificações de efetividade na produção de efeitos biológicos de uma dada dose absorvida. Donde se conclui que, a cada tipo de radiação, a dose absorvida deverá ser multiplicada por um valor a fim de obtermos a dose equivalente. A unidade de dose equivalente é o "Rem" (Roentgen Equivalent Man).

$$\text{Rem} = \text{Rad} \times \text{FQ}$$

Para a radiografia industrial consideramos

$$\text{FQ} = 1$$

ROENTGEN - é uma unidade especial de exposição.

$$1\text{R} \approx 0,93 \text{ rad} \approx 1 \text{ rad}$$

TAXA DE DOSE - é a dose por unidade de tempo.

Das definições acima, concluímos que, na parte de PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL, tanto podemos usar o termo Roentgen (R) ou Rem.

Tanto quanto possível, evitar exposições desnecessárias. A dose máxima permissível para corpo inteiro, Gônadas ou órgãos hemotopoiéticos de um indivíduo é de 5 Rem em qualquer período de 12 meses. Em nenhum caso, a DOSE TOTAL ACUMULADA para o corpo inteiro, gônadas ou órgão hemotopoiéticos de um indivíduo pode exceder a DOSE MÁXIMA PERMISSÍVEL expressa pela fórmula

$$D = 5 (N - 18)$$

Onde D é expresso em Rem e N é a idade do indivíduo em número inteiro de anos.

A DOSE MÁXIMA PERMISSÍVEL num trimestre é de 3 Rem, desde que a dose total dos últimos 12 meses não exceda 5 Rem. Se não for conhecido a dose previamente acumulada em qualquer período de trabalho com radiação, admitir-se-á que o trabalhador recebeu em cada ano daquele período a dose máxima permissível, atualmente em vigor.

Pela dose máxima permissível anual de 5 Rem, chegamos à conclusão que a dose máxima permissível é de 400 mRem por mês e de 100 mRem por semana. Eis porque a dose horária é fixada em 2,5 mRem para uma jornada semanal de 40 horas.

3. DETETORES A SEREM UTILIZADOS NA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Há vários tipos de equipamentos de detecção de radiação disponível para a monitoração de áreas e para monitoração pessoal. Cada tipo tem uma aplicação específica e pode ser utilizada em conjunto.

Para a monitoração de área utilizamos o detetor G.M. (CUT-PIE) ou câmara de ionização. Para o serviço de radiografia industrial é aconselhável a utilização do G.M. em vez da câmara de ionização, pois o último é influenciado pelo calor e umidade. ATENÇÃO - Certos G.M. são auto-bloqueáveis. Isto significa que, quando expostos a dose elevadas, dão LEITURA ZERO (Saturação do Geiger).

Para a monitoração pessoal utilizamos o FILME DOSIMÉTRICO (BADGES). Após um certo tempo de utilização o filme é retirado, revelado e depois determinada a dose acumulada, através do DENSITÔMETRO. Atualmente o filme é trocado mensalmente, para melhor controle das doses dos usuários. Estes filmes dosimétricos são exigidos, segundo resolução da CNEN, para os indivíduos que trabalham com material radioativo.

Um detetor pessoal muito útil é o DETETOR SONORO (BIP-BIP) que aciona um alarme sonoro desde que a dose ultrapassa uma dose pré-fixada. Também podemos utilizar dosímetros tipo caneta, que medem a dose acumulada total. Uma leitura direta permite que a pessoa saiba a dose acumulada até aque

le instante. Uma carga é necessária para que o dosímetro seja zerado. Um dosímetro de leitura direta de escala 0 - 200 Rem é recomendado.

4. SINTOMAS DERIVADOS DE DOSE EXCESSIVA

Os sintomas descritos abaixo foram preparados pela Comissão Atômica Norte-Americana, baseada em efeitos de bombas nucleares e estudos de laboratório (exposição de corpo inteiro e de uma só vez).

- 0 - 25R - Efeitos clínicos não detetáveis, podendo ocorrer efeitos retardados.
- 25 - 100R - Leve decréscimo transitório na contagem de glóbulos brancos no sangue. Efeitos retardados são possíveis, porém efeitos mais sérios são improváveis. É improvável também que o mal estar e outros efeitos incapacitem a pessoa afetada para o trabalho normal.
- 100 - 200R - Náusea e fadiga, com vômitos possíveis acima de 125R. Decréscimo na contagem de glóbulos brancos, com lenta recuperação. Efeitos retardados podem encurtar a expectativa de vida da ordem de 1 %.
- 200 - 300R - Náusea e vômitos no primeiro dia e depois períodos latentes de 2 semanas e, eventualmente, mais longos. Em seguida, os sintomas aparecem, porém, não graves: perda do apetite, mal estar, dor de garganta, emagrecimento, palidez, diarreia. Podem surgir também marcas nas regiões mais afetadas da pele (púrpura). Recuperação provável em 3 meses, a menos que haja complicações, por má saúde anterior, ou outros danos físicos ou infecções.
- 300 - 600R - Náusea, vômitos e diarreia nas horas imediatas à exposição. Período latente sem sintomas definidos até, no máximo, uma semana. Em seguida, queda de pelos e cabelos, perda do apetite, mal estar e febre durante a segunda semana, seguindo-se hemorragia, púrpura, inflamações da boca e garganta, diarreia e emagrecimento na terceira semana. Alguns óbitos são prováveis entre a segunda e a sexta semana. Mortes eventuais em 50 % das pessoas afetadas por cerca de 450R.

600R ou mais - Náusea, vômitos e diarréia nas primeiras horas. Períodos latentes curtos sem sintomas definidos em alguns casos até durante a primeira semana no máximo. Diarréia, hemorragias, púrpura, inflamações da boca e garganta e febre na primeira semana. Rápido emagrecimento e morte eventual de 100 % das pessoas individualmente afetadas na segunda semana.

5. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA-BLINDAGENS

Os dispositivos para proteção contra radiações são divididos em 2 grupos: estacionários ou fixos e portáteis ou móveis. As blindagens fixas são constituídas de paredes, pisos, tetos, portas blindadas com visores. São consideradas blindagens móveis os "containers" empregados para transporte e estocagem de material radioativo.

As blindagens fixas e móveis possuem objetivos diferentes. As blindagens fixas servem para o pessoal que trabalha nas imediações de locais em que se utilizam radiações ionizantes e as blindagens móveis servem para proteger o pessoal durante o transporte e armazenamento, durante o serviço de preparação para a inspeção.

Dependendo das condições de serviço e do propósito da proteção radiológica, a blindagem móvel proporciona proteção contra a radiação direta e espalhada. Desta forma, as blindagens móveis podem assegurar uma proteção confiável contra a radiação gama direta. Quando uma inspeção é executada com o feixe direcionado para baixo, as blindagens fixas oferecem uma proteção somente contra a radiação espalhada.

De acordo com as normas da Comissão Internacional de Proteção Radiológica, a dose máxima permissível no lado externo da blindagem é 100R/h (mil roentgen por hora).

Atualmente podemos utilizar colimadores de tungstênio, nos ensaios por radiografia, o que elimina grandemente os problemas com a proteção radiológica, dependendo do tipo do colimador utilizado (direcional ou panorâmico) e da maneira que a exposição é efetuada. Somente como ilustração, um colimador de 360° (panorâmico) de tungstênio está cotado em U\$ 545,00 e um colimador de 70° (direcional) de tungstênio em U\$ 530,00, aproximadamente.

Preço FOB-EEUU - março/75. Naturalmente, podemos utilizar colimadores de chumbo em vez de tungstênio, o que economicamente seria melhor.

6. CÁLCULO DE BLINDAGEM

As blindagens são normalmente constituídas de materiais de número atômico e densidade elevados, mais comumente o chumbo, por razões econômicas. Em inúmeros casos podemos utilizar o aço, ferro fundido, concreto com agregado de barita, concreto, vidro plumbífero, etc.

No cálculo de blindagens deve-se levar em conta os seguintes fatores:

1. Espectro energético da radiação;
2. Atividade da fonte;
3. Distância fonte-operador;
4. Tempo que o operador permanece na área de irradiação.

Como sabemos, o coeficiente de absorção linear diminui com o aumento da energia da radiação (até um certo limite caracterizado pela predominância do processo de formação de pares), isto é, a espessura da blindagem aumenta com o aumento da energia. Quando se trabalha com radiações de baixa e média energia, um aumento na atividade da fonte influi muito pouco na espessura da blindagem do que um aumento da energia. Assim, por exemplo, é a energia da radiação é dobrada (de 200 a 400 kev), a espessura da blindagem de chumbo requerida deve aumentar de um fator 5, enquanto que, se dobrarmos a intensidade da fonte (atividade), a espessura terá um aumento de somente 10 a 15 %.

7. MÉTODO PARA CÁLCULO DE ESPESSURA DE BLINDAGEM

A espessura de uma blindagem, para a radiação emitida pelas fontes de gagrafia, pode ser calculada por diversos métodos.

7.1. Primeiro método

A espessura da parede protetora de chumbo para os vários radioisótopos pode ser determinada com o auxílio da curva construída para a radiação gama do Co-60. Se a energia da radiação de um dado radioisótopo difere consideravelmente da energia do Co-60, então a espessura

deverá ser multiplicada por um FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA (K) para a energia do radioisótopo em questão.

FATOR CORREÇÃO DE ENERGIA (K)

E γ , MeV	K	E γ , MeV	K
0,10	0,011	1,3	1,03
0,125	0,019	1,4	1,08
0,15	0,022	1,5	1,13
0,175	0,043	1,8	1,25
0,20	0,057	2,0	1,32
0,3	0,15	2,2	1,35
0,4	0,27	2,4	1,37
0,5	0,38	2,6	1,40
0,6	0,49	2,8	1,42
0,7	0,60	3,0	1,45
0,8	0,66	4	1,42
0,9	0,77	5	1,37
1,0	0,84	6	1,30
1,1	0,90	8	1,30
1,2	0,97	10	1,10

Os cálculos da blindagem para um dado radioisótopo são baseados na energia média efetiva. Não é difícil determinar o valor desta energia média para alguns radioisótopos, o que facilita o cálculo da espessura da blindagem, considerando-se os como radiação monocromática.

Infelizmente, a maioria dos radioisótopos utilizados em gamagrafia

possuem um espectro gama complexo e a determinação da energia média é muito trabalhosa, tornando difícil os cálculos de blindagem. Por isto e levando em consideração que o fator K de correção é calculado a partir de uma interpolação para uma radiação monocromática, este método nos dá a espessura com uma considerável margem de erro.

7.2. Segundo método

De acordo com este método a espessura de parede calculada para a radiação gama emitida pelos radioisótopos é determinada por meio de gráficos particulares para cada caso. Cada gráfico é baseado no espectro da radiação de um dado radioisótopo e foram construídos levando-se em conta uma jornada de trabalho de 6 hs e dose máxima permitível de 50 mR. A atividade da fonte (A) está em ordenada e a distância (d) da fonte, em abcissa.

O nível de radiação na região à direita da linha de espessura zero ($C = 0$) está abaixo da dose máxima permitível, ou seja, esta região representa as condições de operação com segurança. Nestes gráficos, a atividade A em abcissa está em escala logarítmica e a espessura (e) da blindagem de chumbo na ordenada em escala linear. O terceiro parâmetro, a distância d da fonte, é lido nas linhas inclinadas.

A atividade A é expressa em gramas de rádio e d em metros. Lembrando que o Ra-226 tem meia vida de 1586 anos, a sua constante de desintegração λ será:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{1586 \text{ anos}} = 1,38 \times 10^{-11} \text{ segundos}^{-1}$$

Sendo 226 o N^o de massa do Ra, 1 átomo grama contém:

$$\frac{6,023 \times 10^{23}}{226} \text{ átomos}$$

Assim a atividade de um grama de Ra, isto é, o N^o de núcleos radioativos que se desintegram em um grama de rádio por segundo é calculado pela relação:

$$A = \lambda \cdot N = 1,38 \times 10^{-11} \frac{6,023 \times 10^{23}}{226} = 3,7 \times 10^{10} \text{ núcleos/segundo}$$

Como $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo ocorrem em um grama de rádio, 1 grama de rádio será equivalente a 1 Ci.

A atividade de uma fonte qualquer pode ser expressa em equivalente a miligramas de rádio pela correlação com o valor da constante de ionização no ar, produzido por uma miligrama de rádio puro conhecendo-se a constante de ionização no ar, de um isótopo qualquer, sua atividade em milicuries (mCi) pode ser expressa em equivalente a miligramas de rádio, por meio da equação:

$$A = C \frac{KY}{8,4}$$

$$C = A \frac{8,4}{KY}$$

A = atividade expressa em equivalente a miligramas de rádio.

C = atividade expressa em milicuries.

KY = constante de ionização do isótopo considerado, expressa em roentgen/hora mCi.Cm.

8,4 = constante de ionização de rádio.

7.3. Terceiro método

A utilização dos gráficos mencionados, levantados a partir de fontes gama de atividade definida, é algumas vezes restrita, pois são baseados em distância fixas, tempo de exposição definido, dose máxima permissível, etc.

Utilizando-se as tabelas a seguir, podemos determinar a espessura da blindagem como função do FATOR DE REDUÇÃO DE DOSE, largamente empregado. Essas tabelas são baseadas na teoria de atenuação do feixe de radiação gama e inclui toda a faixa de energias das radiações naturais e artificiais que possuem um espectro gama linear. Os dados iniciais requeridos para determinar a espessura de blindagem por meio destas tabelas são: energia dos raios gama e o fator de redução de dose requerido a fim de se assegurar um nível de radiação desejado atrás da blindagem.

Por meio dessas tabelas é possível determinar a blindagem gama em

praticamente todos os casos importantes: assegurar um nível de radiação, assegurar uma dose máxima permissível para fontes de qualquer formato, atividade, espectro de energia, distância de operação, tempo de exposição e para os mais importantes materiais de blindagem.

(Ver Tabelas do Anexo I, Tabelas 1, 2 e 3).

7.3.1. Cálculo de blindagens baseados no Fator de Redução de Dose

Para a dose D calculada ou medida, com ou sem blindagem e uma dose máxima assumida de $D_0 = 0,05R$ o FATOR DE REDUÇÃO DE DOSE é expresso por:

$$K = \frac{D}{D_0}$$

A espessura da blindagem é determinada com base neste fator K e na energia da radiação gama.

EXEMPLO: Próximo a um local onde se trabalha com uma fonte de Co-60 deteta-se uma dose de 6R durante 6 horas de trabalho. Deseja-se reduzir esta dose para o valor $D_0 = 0,05R$. Pergunta-se: qual a espessura de chumbo necessária?

$$K = \frac{6}{0,05} = 120$$

Sendo 125 MeV a energia média do Co-60, com o auxílio da TABELA 1, encontra-se 8,7 cm de espessura de chumbo.

7.3.2. Cálculo de blindagens baseado na meia espessura

A meia espessura de uma blindagem é a espessura de blindagem que reduz a taxa de dose para um valor igual à metade do inicial.

Os valores aproximados, que correlacionam o fator de redução de dose K com o número n de meias espessuras, acham-se representados na Tabela a seguir.

FATOR DE REDUÇÃO	Nº DE MEIAS ESPESSURAS
2	1
4	2
8	3
16	4
32	5
64	6
125	7
250	8
500	9
1000	10

Para $K > 1000$ esta regularidade se repete. Por exemplo, $p/K = 2000 = 2 \times 10^3$, o número de meias espessuras será:

$$n = 1 + 10 = 11$$

$$p/K = 500000 = 500 \times 1000, n = 9 + 10 = 19$$

O nº de meias espessuras poderá ser encontrado através da expressão geral:

$$K = 2^n$$

EXEMPLO: Necessita-se reduzir 30000 vezes a radiação gama de uma fonte de Co-60. Calcular a espessura necessária de blindagem de chumbo?

$$K = 30000 = 30 \times 1000 \Rightarrow n = 5 + 10 = 15$$

Serão necessárias 15 meias espessuras de chumbo. Como para o Co-60 a meia espessura de chumbo é de 13 mm:

$$15 \times 13 = 195 \text{ mm}$$

VALORES DE MEIA ESPESSURA DE CHUMBO
E CONCRETO PARA AS DIVERSAS
FONTES DE GAMAGRAFIA

NATUREZA DA FONTE	ENERGIA MÁXIMA MeV	MEIA ESPESSURA (mm)	
		CHUMBO	CONCRETO
Tm-170	84	0,25	8
Ir-192	600	5,3	36
Cs-137	660	5,5	34
Co-60	1330	13,0	55

ESPESSURA DE CHUMBO ($\rho = 11.34 \text{ g/cm}^3$) EM FUNÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE DOSE E DA ENERGIA DA RADIAÇÃO GAMA
TABELA 1

k	hv, Mev																						
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.5	0.5	1	1.5	2	2	3	4	6	7	8	9.5	11	12	12	12	13	12	10	9	9	9	9	9
2	1.0	2	3	4	5	7	8	10	11.5	13	15	17	18.5	20	20	21	20	16	15	13.5	13.5	13.5	13.5
5	2	4	6	9	11	15	19	22	25	28	34	38	41	43	44	46	45	38	33	30	30	30	30
8	2	5	8	11	15	19.5	23.5	28	32	35	42	48	52.5	55	57	59	58	50	43	38	38	38	38
10	3	5.5	9	13	16	21	26	30.5	35	38	45	51	56	59	61	65	64	55	49	42	42	42	42
20	3	6	11	15	20	26	32.5	38.5	44	49	58	66	72	76	78	83	82	71	63	56	56	56	56
30	3.5	7	11.5	17	23	30	36.5	43	49.5	55	65	73	80	85	88	93	92	80	72	66	66	66	66
40	4	8	13	18	24	31	38	45	52	58	68.5	78	86	91	94	100	99	87	78	72	72	72	72
50	4	8.5	14	19.5	26	32.5	39.5	46	53	60	72	82	90	96	100	106	105	92	83	73	73	73	73
60	4.5	9	14.5	20.5	27	34.5	42	49.5	56	63	75	86	95	101	104	110	109	97	87	77	77	77	77
80	4.5	10	15.5	21.5	28	37	45	53	60	67	80	92	101	107	111	117	116	109	94	82	82	82	82
100	5	10	16	23	30	38.5	47	55	63	70	84.5	96.6	106	113	117	122	121	109	99	87	87	87	87
200	6	12.5	19	26	34	44	53	63	72	80	96.5	111	122	129	134	140	138	126	114	102	102	102	102
500	6.5	14	22	31	40	51	61	72	82	92	113	129	142	150	154	163	161	149	133	119	119	119	119
1,000	7	15	24	33	44	57	69.5	81	92	102	123	141	156	165	170	180	178	165	151	133	133	133	133
2,000	8.5	17	27	38	50	63	76	88	100	111	135	154	168	179	185	197	195	181	165	148	148	148	148
5,000	9	19	30	42	55	70	85	99	112	124	149	170	186	198	205	219	217	203	185	166	166	166	166
8,000	10	20	31.5	44	57	73.5	90	104	118	130	158	180	196	208	215	230	229	215	196	175	175	175	175
10 ⁴	10.5	21	33	45.5	59	75	91	106	120	133	161	183	201	213	221	235	234	220	201	180	180	180	180
2x10 ⁴	11	22	35	48.5	63	80	97	113	128	142	172	195	214	227	235	251	250	236	217	195	195	195	195
5x10 ⁴	11.5	23.5	37	52	69	87	105	123	140	156	188	214	233	247	255	273	272	258	237	215	215	215	215
1x10 ⁵	11.5	24	38	54	72	92	111	130	148	165	201	227	247	262	270	289	289	275	258	229	229	229	229

ESPESSURA DE AÇO ($\rho = 7,89 \text{ g/cm}^3$) EM FUNÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE DOSE E DA ENER

GIA DA RADIAÇÃO GAMA

TABELA 2

A	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25	1.5	1.75	2	2.2	3	4
1.5	5	9	12	14	16	17	18.5	20	20.5	21	21.5	22	23	24	25	27	28
2	7	12	17	22	25	27	29	31	32	33	34.5	36	38	39	41	44	45
5	14	25	34	41	48	51	55	51	61	64	69	74	78	81	83	89	94
8	17	31	42	51	58	63	67	71	75	78	85	91	96	101	103	112	116
10	19	35	46	56	63	68	73	77	81	85	93	100	106	110	114	122	126
20	23	43	57	68	77	83	88	94	98	103	113	122	130	136	141	153	159
30	24	45	62	75	85	92	98	104	109	114	126	136	144	151	156	170	177
40	25	48	66	80	91	98	105	111	117	122	133	144	153	161	166	182	191
50	29	52	71	84	95	103	110	116	122	127	139	151	161	169	175	191	200
60	31	56	75	88	98	107	114	121	127	132	145	157	167	176	182	199	210
80	32	59	77	92	104	112	120	127	134	140	155	163	178	187	194	212	222
100	34	61	81	96	108	117	125	132	139	145	161	173	185	195	202	221	233
200	42	70	91	107	120	131	140	148	156	163	180	196	208	220	228	250	266
500	44	77	101	120	134	149	160	170	179	187	206	223	237	250	259	288	306
1,000	45	82	110	132	150	163	175	186	196	205	226	244	261	275	286	317	337
2,000	49	90	111	144	162	177	193	202	212	222	245	265	283	300	312	346	368
5,000	50	101	134	158	177	193	207	220	232	243	270	294	314	333	343	382	407
10 ¹	58	115	147	171	190	207	223	236	249	260	288	313	336	355	369	409	437
2x10 ⁴	80	129	160	183	202	219	234	248	263	276	306	332	356	378	392	434	465
5x10 ⁴	86	138	170	196	218	236	252	269	284	299	330	359	384	408	423	472	504
10 ⁵	100	158	182	208	230	249	267	284	300	315	349	380	407	432	447	500	534

ESPESSURA DE CONCRETO ($\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$) EM FUNÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE DOSE É DA ENER

GIA DA RADIAÇÃO GAMA

TABELA 3

h	hv, Mev																
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25	1.5	1.75	2	2.2	3	4
1.5	26	47	63	75	82	82	82	83	83	85	86	87	87	88	89	94	100
2	47	76	99	113	123	124	124	126	127	129	133	136	138	141	143	153	164
5	56	110	155	188	211	218	223	226	230	235	246	258	270	282	294	329	352
8	70	129	178	220	246	256	264	272	279	288	305	322	338	352	364	399	434
10	82	140	197	237	258	268	276	284	291	299	319	340	359	376	390	434	475
20	82	153	214	258	299	319	336	350	362	370	399	425	448	470	486	540	587
30	85	164	228	277	329	348	364	378	392	405	437	465	493	516	535	599	657
40	85	176	242	296	340	362	379	396	413	428	453	498	528	552	573	640	698
50	99	188	251	308	350	376	394	412	428	440	435	521	552	581	601	669	728
60	110	200	261	317	364	385	405	425	441	458	501	540	575	605	627	698	740
80	115	204	277	336	387	411	430	448	465	481	524	564	599	654	657	740	810
100	115	211	289	352	399	430	453	472	488	505	545	583	622	657	636	775	845
200	127	235	324	392	446	479	505	526	546	564	608	653	697	740	772	880	957
500	138	246	352	439	505	545	573	588	625	646	698	748	798	845	885	1,010	1,104
1,000	155	282	392	481	552	592	625	653	678	704	761	817	876	927	970	1,109	1,209
2,000	176	305	423	524	599	641	674	704	732	757	822	885	946	1,004	1,040	1,209	1,321
5,000	188	331	456	564	657	700	740	770	802	828	902	974	1,042	1,109	1,155	1,321	1,468
10 ⁴	198	352	485	603	693	747	791	829	862	892	972	1,045	1,115	1,186	1,247	1,468	1,587
2x10 ⁴	211	384	519	634	728	782	831	873	911	945	1,027	1,108	1,186	1,262	1,317	1,507	1,673
.5x10 ⁴	233	423	564	680	781	834	887	934	979	1,021	1,115	1,204	1,284	1,362	1,420	1,673	1,814
10 ⁵	305	505	646	751	828	883	935	981	1,025	1,068	1,169	1,266	1,357	1,444	1,507	1,814	1,914