

CÁLCULO PARA OTIMIZAÇÃO DE BLINDAGENS DE CÉLULA QUENTE

CLARICE DE F. ADOSTA PEREZ (*), GIAN-MARIA A. A. BORDI(***)
ARLINDO GILSON MENDONÇA(***)
Coordenadoria Para Projetos Especiais-CPESP/SP(*), Instituto
de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP(***)

RESUMO

Neste trabalho foram empregadas 3 técnicas diferentes de otimização para definir-se as espessuras de parede de 2 células quentes onde serão manipulados materiais pós-irradiados do reator I.E.A-R1 pertencente ao I.P.E.N-C.N.E.N/S.P.

INTRODUÇÃO

A otimização é atualmente exigida pela norma CNEN-NE-3.01 (Diretrizes Básicas de Radioproteção) [1] esta baseada nas publicações nº22 e nº37 da "International Commission on Radiological Protection"[2,4].

O conceito de otimização da proteção é, em sua natureza, prático. Em todos os aspectos nos quais se lida com a proteção do homem, é necessário tomar decisões frequentes tal como: qual é o nível de proteção a ser fornecido, uma vez que todos os níveis de proteção alcançam doses inferiores aos limites pertinentes. A otimização fornece um quadro básico de pensamento que é próprio para levar a alguma espécie de balanço dos recursos colocados na proteção e o nível de proteção obtido, contra uma base de outros fatores e vínculos de modo a obter o melhor do que pode ser alcançado nestas circunstâncias.

TÉCNICAS

Custo-benefício. A análise custo-benefício origina-se da teoria econômica do bem estar, e representa a mais velha e talvez a mais direta e quantitativa ajuda na decisão em uso corriqueiro para comparar os benefícios e os danos associados com diferentes cursos da ação. Uma característica principal da análise custo-benefício é que os fatores que influenciam uma decisão são, normalmente, expressos em termos monetários. O foco encontra-se nas medidas monetárias agregadas aos custos e benefícios associados com as opções, com o objetivo de identificar a opção que tem agregado mínimo.

Como descritos nas publicações da ICRP-22 e 26 [2,3] os únicos fatores julgados serem, diretamente, relevantes para os propósitos de otimização eram os custos financeiros das medidas protetivas a serem implantadas e os níveis de dose coletiva associadas.

Nestas circunstâncias uma análise custo-benefício simples, pode ser implementada transformando a dose coletiva (S) num valor monetário fazendo uso do valor de referência da dose coletiva unitária alfa equivalente a 10.000 US\$/homem-Sv conforme CNEN-NE-3.01. A análise então procede pela soma do custo de proteção X e o custo do detrimento $Y = \alpha S$, de modo a obter-se um custo total (X+Y). A solução analítica corresponde, então, a opção com o custo total mais baixo. Por ser a análise concernente com o custo total, qualquer custo comum a todas as opções é estritamente irrelevante para a escolha da proteção ótima, contudo, na prática, a fração do custo total da instalação pode ser um outro fator relevante na decisão final [5].

Custo-benefício expandida. A análise custo-benefício é estritamente limitada a comparações quantitativas entre os custos de proteção e a dose coletiva. Afim de incluir outros fatores relevantes na técnica analítica é possível estender o quadro inicial da análise custo-benefício.

Extensão para a distribuição de dose individual. Um dos fatores de proteção radiológica visto como um propósito relevante de tomada de decisão é se as doses individuais são altas ou baixas. Isto pode ser expresso como uma diferença entre uma dose coletiva originada de um grande número de doses individuais baixas e a liberação da dose coletiva para uma pequena população exposta a níveis maiores, especialmente aqueles que se aproximam aos limites de dose. Para incorporar este julgamento via análise custo-benefício expandida, um método é modificar o valor dado a dose coletiva unitária. O valor básico deve ser substituído por outros termos na avaliação do custo do detrimento. Valores diferentes devem ser dados a dose coletiva dependendo dos níveis de dose individuais envolvidos.

Esta nova componente no custo de detrimento pode ser expressa num termo

adicional introduzido pela comissão na publicação 37 da ICRP [4] e mais tarde definida numa forma simplificada como:

$$Y = \alpha S + \sum_j \beta_j S_j, \text{ onde:}$$

S_j - É a dose coletiva originada de uma dose per caput H liberada em N indivíduos do j-ésimo grupo
 β_j - É o valor monetário adicional, atribuído pelo "tomador de decisão", dado a dose coletiva unitária no grupo j-ésimo [5].

Análise de prioridades com atributos múltiplos. Esta maneira de encarar o assunto evoluiu de várias disciplinas incluindo a psicologia, engenharia e a ciência gerencial (Edwards, 1961; Howard, 1968; Raiffa, 1968) [5] e é uma técnica amplamente aplicável para tomada de decisão. Em particular, ela pode superar os problemas da inclusão de fatores difíceis de serem quantificados em termos monetários (Merkhofer e Keeney, 1987) [5]. A essência desta técnica é usar um esquema de fazer pontos para os fatores relevantes ou uma função de prioridade com atributos múltiplos, dessa maneira se os pontos para a opção i forem superiores àqueles da opção m então, por definição, i tem preferência sobre m; com a propriedade de que se os pontos forem os mesmos para duas opções não existe nenhuma preferência de uma sobre a outra.

Uma vez especificados os fatores de proteção radiológica relevantes (ou atributos), a serem incluídos no estudo de otimização, e quantificadas as consequências de cada opção da proteção em termos destes fatores, o analista deve incorporar os atributos para relacionar a importância relativa dos fatores na análise das opções. Isto é levado a efeito por meio de uma função de prioridade, u_j , que fornece a conveniência relativa do possível resultado para o fator j.

Geralmente, ao melhor resultado ou à consequência de menor adversidade para cada fator (por exemplo custo mais baixo, dose coletiva mínima) é atribuída uma prioridade $u_j = 1$ e à pior consequência uma prioridade $u_j = 0$.

A flexibilidade destas funções de prioridade permitem, também, a introdução de fatores que em termos monetários não são fáceis de quantificar, como é exigido na análise custo-benefício.

A partir das funções de prioridades simples, u_j , expressando as várias prioridades dos n fatores associados à

cada opção de proteção, i, deve ser obtida uma função com atributos múltiplos, U_i .

Esta função fornece a figura de mérito ou "prioridade total" de cada opção, i. Quando as preferências para os diferentes fatores são todas independentes, a função prioridade com atributos múltiplos pode ser expressa numa forma aditiva como mostrado por Fishburn [5]:

$$U_i = \sum_j k_j u_j$$

onde: k_j é uma constante de crescimento que expressa a importância relativa ou elemento de ponderação atribuído a cada fator j.

Estas constantes de crescimento, geralmente, são normalizadas de modo que k_j igual a 1. Quanto maior for a figura de mérito, U_i , maior a posição global da opção, de modo que a solução analítica será a opção que torna U máximo.

RESULTADOS

Valores usados nos cálculos.

- 1-Tempo real que o trabalhador permanece trabalhando nas células quentes: 1000(mil) horas por ano
- 2-Número de pessoas envolvidas na operação: 4(quatro) pessoas
- 3-O material usado na confecção das blindagens é o chumbo, cuja densidade é de 11,34 g/cm³ e o custo é de US\$ 2000 por tonelada
- 4-Limites de dose previstos pela ICRP - 60 [6]: 20 mSv/ano(2 rem/ano)
- 5-Intervalo de dose escolhido, entre 0,0008Sv e 0,02Sv, devido a dois fatores:
 - Condição de contorno exigida pela otimização, onde a dose deverá ser no máximo 0,02Sv [6].
 - Conforme definições de áreas [1], onde:

ÁREA LIVRE	0	< D ≤ 0,001
Á. RESTRITA SUPERVISIONADA	0,001	< D ≤ 0,006
ÁREA RESTRITA CONTROLADA	0,006	< D ≤ 0,02
- 6-Com o uso do programa ISOSHL, foram levantadas espessuras de blindagem que vão desde a área livre até a área controlada no limite máximo de dose estabelecido como condição de contorno da técnica de otimização conforme Tabela I.
- 7-Fôrma padrão para confecção dos tijolos de chumbo, já existente, e medindo 5cm x 5cm x 5cm.

Custo-benefício. As Tabelas II a VIII mostram para cada tempo de decaimento as opções de proteção radiológica, valores X, Y e (X+Y), com o único critério especificado quantitativamente como sendo o valor da dose coletiva unitária alfa equivalente a 10.000 US\$/homem-Sv.

A solução analítica é a opção 1 de 120 dias que tem o custo total (X+Y) mais baixo.

Custo-benefício expandido. Aplicando-se esta técnica ao nosso problema, daremos valores a β que tornem o Y da mesma ordem de grandeza de X, portanto, sendo X da ordem de grandeza de 10⁴ logo Y deverá ser desta ordem.

O critério adicional é expresso fazendo uso dos termos β como segue:

- β_1 (< 0,001 Sv) = US\$ 0
- β_2 (0,001-0,006 Sv) = US\$200.000
- β_3 (0,006-0,02 Sv) = US\$ 400.000

Os resultados desta análise são mostrados nas tabelas IX a XIV. Conclui-se que para todos os tempos de decaimento a opção que torna X+Y mínimo é a opção 7, logo a solução analítica seria a opção 7 do tempo de decaimento de 150 dias, pois equivaleria ao menor (X+Y).

Análise de prioridades com atributos múltiplos. Levando-se em consideração o custo de Proteção, dose coletiva e tempo de decaimento foram construídas as funções de prioridade u(X), u(S) e u(T), conforme Tabelas XV a XX. Tais funções foram construídas de modo que ao melhor resultado, (custo mais baixo, dose coletiva menor, tempo de decaimento menor), foi atribuído prioridade 1 e ao pior resultado prioridade 0. Neste trabalho as funções de prioridade são lineares, conforme abaixo:

$$u(X) = -0,0000782.X + 2,7368421$$

$$u(S) = -12,98701.S + 1,03896$$

$$u(T) = -0,00667.T + 1,2$$

A partir das funções de prioridade simples e das constantes de crescimento, foram obtidas as funções com atributos múltiplos U, conforme tabela XV a XX.

As constantes de crescimento, (valores atribuídos pelo "tomador de decisão"), adotadas:

k(X) = 0,5; constante de crescimento equivalente ao custo de proteção

k(S) = 0,3; constante de crescimento equivalente a dose coletiva ocupacional

k(T) = 0,2; constante de crescimento equivalente ao tempo de decaimento das miniplacas

É importante ressaltar que tanto as funções de prioridade quanto as constantes de crescimento podem ser variadas para um estudo de sensibilidade.

O resultado obtido foi o tempo de decaimento de 90 dias opção 5.

TABELA I - ESPESSURA DE CHUMBO PARA PAREDE LATERAL

OPÇÃO	DOSE ANUAL Sv Y	TEMPO DE DECAIMENTO					
		30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS	120 DIAS	150 DIAS	180 DIAS
1	0,02	20cm	18cm	17cm	16,5cm	16,5cm	16,5cm
2	0,016	20,5cm	18,5cm	17,5cm	17cm	17cm	17cm
3	0,013	20,5cm	19cm	18cm	17,5cm	17,5cm	17cm
4	0,010	21cm	19,5cm	18,5cm	18cm	18cm	17,5cm
5	0,007	22cm	20cm	19cm	18,5cm	18,5cm	18,5cm
6	0,005	22,5cm	20,5cm	20cm	19,5cm	19cm	19cm
7	0,003	23,5cm	21,5cm	21cm	20,5cm	20cm	20cm
8	0,001	25,5cm	23,5cm	23cm	22,5cm	22,5cm	22,5cm
9	8E-04	26cm	24cm	23,5cm	23cm	23cm	23cm

TEMPO DE DECAIMENTO = 30 DIAS

TABELA II

OPÇÃO	CUSTO DE PROTEÇÃO		CUSTO TOTAL X+Y (US\$)
	ANUAL X (US\$)	ANUAL Y (US\$)	
1	25334,48	330	27731,48
2	27587,34	640	29247,84
3	27587,34	520	29127,84
4	28299,21	400	29681,21
5	29627,33	280	29927,93
6	30381,29	200	30581,29
7	31648,82	120	31768,82
8	34341,46	40	34381,46
9	35814,83	30	35846,83

TEMPO DE DECAIMENTO = 60 DIAS

TABELA III

OPÇÃO	CUSTO DE PROTEÇÃO		CUSTO TOTAL X+Y (US\$)
	ANUAL X (US\$)	ANUAL Y (US\$)	
1	24241,83	560	25041,83
2	24914,48	640	25554,48
3	25587,76	520	26187,76
4	26261,12	400	26661,12
5	26934,48	280	27214,48
6	27607,84	200	27807,84
7	28281,21	120	28401,21
8	28954,57	40	29004,57
9	29627,93	30	29657,93

TEMPO DE DECAIMENTO = 90 DIAS

TABELA IV

OPÇÃO	CUSTO DE PROTEÇÃO		CUSTO TOTAL X+Y (US\$)
	ANUAL X (US\$)	ANUAL Y (US\$)	
1	22894,31	600	23594,31
2	23567,67	640	24207,67
3	24241,83	520	24761,83
4	24914,48	400	25314,48
5	25587,76	280	25867,76
6	26261,12	200	26414,12
7	26934,48	120	27014,48
8	27607,84	40	27614,84
9	28281,21	30	28314,21

TEMPO DE DECAIMENTO = 120 DIAS

TABELA V

OPÇÃO	CUSTO DE PROTEÇÃO		CUSTO TOTAL X+Y (US\$)
	ANUAL X (US\$)	ANUAL Y (US\$)	
1	22228,95	800	23028,95
2	22894,31	640	23534,31
3	23567,67	520	24087,67
4	24241,83	400	24641,83
5	24914,48	280	25194,48
6	25587,76	200	25747,76
7	26261,12	120	26301,12
8	26934,48	40	26854,48
9	27607,84	30	27407,84

TEMPO DE DECAIMENTO = 150 DIAS

TABELA VI

OPÇÃO	CUSTO DE PROTEÇÃO		CUSTO TOTAL X+Y (US\$)
	ANUAL X (US\$)	ANUAL Y (US\$)	
1	22228,95	800	23028,95
2	22894,31	640	23534,31
3	23567,67	520	24087,67
4	24241,83	400	24641,83
5	24914,48	280	25194,48
6	25587,76	200	25747,76
7	26261,12	120	26301,12
8	26934,48	40	26854,48
9	27607,84	30	27407,84

TEMPO DE DECAIMENTO = 180 DIAS

TABELA VII

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y (US\$)	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	22220,95	300	22520,95
2	22894,31	640	23534,31
3	22894,31	520	23414,31
4	23567,67	420	23987,67
5	24914,40	280	25194,40
6	25587,76	280	25867,76
7	26934,48	120	27054,48
8	30301,29	40	30341,29
9	30974,65	30	31004,65

TEMPO DE DECAIMENTO = 120 DIAS

TABELA XII

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	22220,95	32800	55020,95
2	22894,31	26240	49134,32
3	23567,67	21320	44887,67
4	24241,03	16400	40641,03
5	24914,40	11480	36394,40
6	25261,12	4200	30461,12
7	27607,84	2520	30127,84
8	30301,29	40	30341,29
9	30974,65	30	31004,65

TABELA VIII

X+Y	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DIAS	S = 0,80	T = 0,004	S = 0,832	S = 0,864	S = 0,896	S = 0,928	S = 0,960	S = 0,992	S = 1,024
30	27724,48	28247,84	28771,20	29294,56	29817,92	30341,28	30864,64	31388,00	31911,36
60	23441,03	23534,40	24027,76	24521,12	25014,48	25507,84	26001,20	26494,56	26987,92
90	23534,31	24027,67	24521,03	25014,39	25507,75	26001,11	26494,47	26987,83	27481,19
120	23627,59	24121,03	24614,39	25107,75	25601,11	26094,47	26587,83	27081,19	27574,55
150	23720,87	24214,39	24707,75	25201,11	25694,47	26187,83	26681,19	27174,55	27667,91
180	23814,15	24307,75	24801,11	25294,47	25787,83	26281,19	26774,55	27267,91	27761,27

TEMPO DE DECAIMENTO = 150 DIAS

TABELA XIII

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	22220,95	32800	55020,95
2	22894,31	26240	49134,32
3	23567,67	21320	44887,67
4	24241,03	16400	40641,03
5	24914,40	11480	36394,40
6	25587,76	4200	29787,76
7	26934,48	2520	29486,48
8	30301,29	40	30341,29
9	30974,65	30	31004,65

TEMPO DE DECAIMENTO = 30 DIAS

TABELA IX

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	26934,48	32800	59734,48
2	27607,84	26240	53847,84
3	27607,84	21320	48927,84
4	28281,21	16400	44681,21
5	28954,57	11480	40434,57
6	29627,93	4200	33827,93
7	31648,02	2520	34168,02
8	34341,46	40	34381,46
9	35014,83	30	35044,83

TEMPO DE DECAIMENTO = 180 DIAS

TABELA XIV

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	22220,95	32800	55020,95
2	22894,31	26240	49134,32
3	22894,31	21320	44214,32
4	23567,67	16400	39967,67
5	24914,40	11480	36394,40
6	25587,76	4200	29787,76
7	26934,48	2520	29486,48
8	30301,29	40	30341,29
9	30974,65	30	31004,65

TEMPO DE DECAIMENTO = 60 DIAS

TABELA X

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	24241,03	32800	57041,03
2	24914,40	26240	51154,40
3	25587,76	21320	46907,76
4	26261,12	16400	42661,12
5	26934,48	11480	38414,48
6	27607,84	4200	31807,84
7	28954,57	2520	31474,57
8	31648,02	40	31688,02
9	32321,39	30	32353,39

TEMPO DE DECAIMENTO = 30 DIAS

TABELA XV

OPCAO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,6306	0	1	0,5153
2	0,5779	0,200	1	0,5513
3	0,5779	0,364	1	0,5981
4	0,5252	0,519	1	0,6183
5	0,4200	0,675	1	0,6125
6	0,3673	0,779	1	0,6173
7	0,2619	0,883	1	0,5958
8	0,0513	0,987	1	0,5217
9	0	1	1	0,5000

TEMPO DE DECAIMENTO = 90 DIAS

TABELA XI

OPCAO	CUSTO DE PROTECAO ANUAL X US\$	CUSTO DE DETRIMENTO ANUAL Y US\$	CUSTO TOTAL (X+Y)US\$
1	22894,31	32800	55694,32
2	23567,67	26240	49807,67
3	24241,03	21320	45561,03
4	24914,40	16400	41314,40
5	25587,76	11480	37067,76
6	26934,48	4200	31134,48
7	28281,21	2520	30801,21
8	30974,65	40	31014,65
9	31648,02	30	31678,02

TEMPO DE DECAIMENTO = 60 DIAS

TABELA XVI

OPCAO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,8412	0	0,0	0,5886
2	0,7885	0,200	0,0	0,6166
3	0,7359	0,364	0,0	0,6371
4	0,6832	0,519	0,0	0,6573
5	0,6306	0,675	0,0	0,6778
6	0,5779	0,779	0,0	0,6826
7	0,4726	0,883	0,0	0,6616
8	0,2619	0,987	0,0	0,5870
9	0,2093	1	0,0	0,5646

TEMPO DE DECAIMENTO = 90 DIAS TABELA XVII

OPÇÃO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,9465	0	0,0	0,5932
2	0,8939	0,208	0,6	0,6293
3	0,8412	0,364	0,6	0,6498
4	0,7885	0,519	0,6	0,6699
5	0,7359	0,675	0,6	0,6904
6	0,6836	0,779	0,6	0,6690
7	0,5252	0,883	0,6	0,6475
8	0,3146	0,981	0,6	0,5734
9	0,2619	1	0,6	0,5589

TEMPO DE DECAIMENTO = 120 DIAS TABELA XVIII

OPÇÃO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,9992	0	0,4	0,5796
2	0,9465	0,208	0,4	0,6156
3	0,8939	0,364	0,4	0,6361
4	0,8412	0,519	0,4	0,6563
5	0,7885	0,675	0,4	0,6767
6	0,6832	0,779	0,4	0,6553
7	0,5779	0,883	0,4	0,6338
8	0,3673	0,987	0,4	0,5597
9	0,3146	1	0,4	0,5373

TEMPO DE DECAIMENTO = 150 DIAS TABELA XIX

OPÇÃO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,9992	0	0,2	0,5396
2	0,9465	0,208	0,2	0,5756
3	0,8939	0,364	0,2	0,5961
4	0,8412	0,519	0,2	0,6163
5	0,7885	0,675	0,2	0,6367
6	0,7359	0,779	0,2	0,6416
7	0,6386	0,883	0,2	0,6229
8	0,3673	0,987	0,2	0,5197
9	0,3146	1	0,2	0,4973

TEMPO DE DECAIMENTO = 180 DIAS TABELA XX

OPÇÃO	u(X)	u(S)	u(T)	U = k.u
1	0,9992	0	0	0,4996
2	0,9465	0,208	0	0,5356
3	0,8939	0,364	0	0,5824
4	0,8412	0,519	0	0,6026
5	0,7885	0,675	0	0,5967
6	0,7359	0,779	0	0,6016
7	0,6386	0,883	0	0,5802
8	0,3673	0,987	0	0,4797
9	0,3146	1	0	0,4573

DISCUSSÃO

Resultado obtido com a técnica de Custo-Benefício:
Tempo de decaimento 120 dias opção 1 (dose 0,02Sv e espessura 16,5cm)

Considerações:

- 1- Dose para o grupo de trabalhadores igual ao limite de dose [6], o que implica em difícil controle operacional.
- 2- Espessura encontrada não é múltiplo de 5.

Portanto, a solução foi descartada.

A partir das considerações acima, conforme Tabela I, as possíveis soluções são:

- T = 60 dias, opção 5, x = 20cm, H = 0,007Sv
- T = 90 dias, opção 6, x = 20cm, H = 0,005Sv
- T = 150 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv
- T = 180 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv

Sendo o custo X e o detrimento Y iguais para os T = 150 e 180 dias, a solução para 180 dias está descartada.

Logo, dos três resultados possíveis, obtivemos:

- T = 60 dias, X+Y = 27214,48 US\$
- T = 90 dias, X+Y = 27134,48 US\$
- T = 150 dias, X+Y = 27054,48 US\$

Portanto, pela técnica Custo-Benefício obtivemos como solução ótima:
T = 150 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv

Resultado obtido com a técnica de Custo-Benefício Expandida:
T = 150 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv

Concluimos que a solução ótima quando foi considerado:

- Custo de Proteção
- Dose Coletiva
- Distribuição da Dose

T = 150 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv

Para que fosse possível considerar o tempo de decaimento no cálculo de otimização, foi utilizada a técnica de Análise de Prioridades com Atributos Múltiplos.

Resultado obtido:

T = 90 dias, opção 5, x = 19 cm, H = 0,007Sv

Como a espessura não é múltiplo de 5 consideramos os próximos resultados que estão abaixo:

- T = 60 dias, opção 6, x = 20,5cm, H = 0,005Sv
- T = 60 dias, opção 5, x = 20 cm, H = 0,007Sv
- T = 120 dias, opção 5, x = 18,5cm, H = 0,007Sv
- T = 90 dias, opção 4, x = 18,5cm, H = 0,010Sv
- T = 90 dias, opção 6, x = 20cm, H = 0,005Sv

Os resultados que não são múltiplos de 5 foram excluídos, portanto:

T = 60 dias, opção 5, x = 20cm, H = 0,007Sv (área controlada)

T = 90 dias, opção 6, x = 20cm, H = 0,005Sv (área supervisionada)

- T = 60 dias, opção 5, X+Y = 27214,48 US\$
- T = 90 dias, opção 6, X+Y = 27134,48 US\$

Concluimos que a solução ótima quando foi considerado:

- Custo de Proteção
- Dose Coletiva
- Tempo de Decaimento

T = 90 dias, opção 6, x = 20cm, H = 0,005Sv.

Tal solução além de ter um custo total menor, por estar no intervalo de dose equivalente ao da área supervisionada, dispensa a monitoração individual.

CONCLUSÃO

Concluimos que a solução ótima quando foi considerado:

- Custo de Proteção
 - Dose Coletiva
 - Distribuição da Dose
- T = 150 dias, opção 7, x = 20cm, H = 0,003Sv

Concluimos que a solução ótima quando foi considerado :

- Custo de Proteção
 - Dose Coletiva
 - Tempo de Decaimento
- T = 90 dias, opção 6, x = 20cm, H = 0,005Sv. .

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] CNEN-NE-3.01 Diretrizes Básicas de Radioproteção
- [2] ICRP-22 Implications of Commission Recommendations that Doses be Kept as Low as Readily Achievable
- [3] ICRP-26 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
- [4] ICRP-37 Cost-Benefit Analysis in the optimization of Radiological Protection
- [5] ICRP-55 Optimization and Decision-Making in Radiological Protection
- [6] ICRP-60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

ABSTRACT

In this paper, three different techniques of optimization are used to determine the shielding thickness of two hot cells.

They will be used to manipulate post-irradiated materials from the IEA-R1 research reactor at the IPEN-CNEN/SP.