OTIMIZAÇÃO EM RADIOPROTEÇÃO

Clarice de Freitas Acosta Perez*
Gian-Maria A. A. Sordi**

(*) Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
(**) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

OBJETIVO

Neste trabalho foi realizada a otimização, sob o ponto de vista da radioproteção, do projeto de uma instalação composta por duas celas blindadas onde serão manipuladas miniplacas de UO_2 com 50% de queima do nuclídeo U-235, irradiadas no reator de pesquisa IEA-R1. Para tanto foram especificados os fatores e critérios relevantes, aplicada a técnica de análise de prioridade com atributos múltiplos e realizado um estudo de sensibilidade do critério constante de crescimento.

PREMISSAS

- Tempo de Utilização da Instalação: 1000 horas/ano

- Ocupação da Instalação:
  4 trabalhadores em média a 30 cm das celas de manipulação
  3 trabalhadores em média a 4 m das celas de manipulação
  3 trabalhadores em média a 6 m das celas de manipulação

- Intervalo do Tempo de Decaimento: 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias.
  Intervalo escolhido de acordo com a necessidade do projeto e objetivo da Instalação.

- Custos de proteção considerados:
  Custo do material de blindagem (chumbo) considerando uma vida útil n de 30 anos e uma taxa de juros γ de 12% ao ano.
  Custo do sistema de monitoração da radiação.Os custos anualizados do sistema de monitoração da radiação foram somados aos custos anualizados da blindagem.

MONTAGEM DAS OPÇÕES

A escolha do intervalo de dose foi baseada na filosofia adotada pela ICRP 26 (1) como segue:

- Limite anual de dose equivalente igual a 50 mSv
- Condição de Trabalho A
- Condição de Trabalho B
- Exposição anual inferior ao Nível de Registro

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

Os valores intermediários escolhidos foram baseados no erro, de aproximadamente 20% para doses anuais superiores a 10mSv e 25% para doses anuais inferiores a este valor, associado aos detetores de radiação, bem como no limite anual para público e limite anual médio para trabalhador adotado pela ICRP 60 (2). No total foram escolhidos 12 valores como segue: 0,0500Sv, 0,0400Sv, 0,0300Sv, 0,0200Sv, 0,0150Sv, 0,0120Sv, 0,0100Sv, 0,0080Sv, 0,0060Sv, 0,0040Sv, 0,0010Sv e 0,0008Sv. Estes valores foram adotados para o grupo de trabalhadores que recebe a maior dose anual.

Com os valores de dose acima, calculamos espessuras de parede e teto para distância de 30cm. Fixamos as espessuras e calculamos as doses a 4 e 6 metros.

FATORES DE PROJETO CONSIDERADOS

Os **fatores** julgados importantes para o cálculo da otimização, sob o ponto de vista da proteção radiológica, são:

1 - Tempo de Resfriamento das Miniplacas T
2 - Dose Coletiva S
3 - Distribuição das Doses Individuais D
4 - Custo de Proteção Radiológica X

Embora o Sistema de Ventilação seja considerado um fator de proteção radiológica, não foi abordado nesta análise devido ao fato de o número de renovações de ar ja ter sido projetado em função da necessidade de se retirar o calor do ambiente oriundo das várias fontes, tais como lâmpadas e equipamentos, existentes no interior da cela.

CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE PRIORIDADE COM ATRIBUTOS MÚLTIPLOS.

Valores das Prioridades Parciais uj

As equações a seguir foram especificadas de modo que para o menor custo (X), a menor dose coletiva (S), o maior tempo de decaimento (T) e a menor dose individual (D) foi atribuido pontuação máxima, ou seja, valor 1 e para o maior custo (X), a maior dose coletiva (S), o menor tempo de decaimento (T) e a maior dose individual (D) foi atribuido pontuação mínima, ou seja, valor 0.

Para os **fatores** X, S e T, foram escolhidas funções lineares que pela ICRP 55 (3) são denominadas de "atitude de risco neutro".

Para o fator D foi escolhida uma função não linear e utilizada a expressão genérica sugerida pela ICRP 55 (3) denominada de "atitude de risco adverso". Sendo esta função concava decrescente, demonstra uma aversão às doses mais altas. Desta maneira, temos:

$$u(d) = 1 \quad d \leq 0{,}005 \text{ Sv}$$
$$u(d) = 0 \quad d \geq 0{,}050 \text{ Sv}$$
$$u(d) = 0{,}6 \quad d = 0{,}040 \text{ Sv}$$

Valores das Constantes de Crescimento kj

Foi usado aqui o método de avaliação direta descrito na ICRP 55 [3] .

valores das kj : k(X) = 0,692 k(T) = 0,214 k(D) = 0,019 k(S) = 0,075

intevalo de variação dos fatores: R(X) = US$20.251,44
R(S) = US$2.192,02
R(T) = US$6.273,00
R(D) = US$539,00

O resultado encontra-se na tabela 1.

Como o método da avaliação direta atribui a importância do fator em função do intervalo de sua variação com relação a variação dos intervalos dos demais fatores, julgamos necessário realizar a Análise de Sensibilidade das constantes de Crescimento.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS CONSTANTES DE CRESCIMENTO

X - corresponde a um custo realmente a ser gasto com a implementação da opção ótima.
D - corresponde a diminuição de dose dos trabalhadores, realmente exigida pela filosofia de proteção radiológica.

Portanto, atribuimos maior importância a X e D

S - corresponde ao intervalo de custo relativo ao detrimento biológico e é no máximo 1/10 do intervalo de custo que representa a proteção radiológica.
T representa uma variação no tempo de armazenagem do urânio imediato de 1 mês para 6 meses, mas isto é sentido somente nos primeiros 6 meses de vida da instalação, pois a seguir todo o mês será processado um lote de urânio irradiado.

Portanto, atribuimos menor importância a S e T

Desta maneira,temos:

k(X) = 0,45 k(T) = 0,05 k(D) = 0,45 k(S) = 0,05

Devido a pouca importância dada a T e S, realizamos os cálculos abaixo com a finalidade de verificar se existe variação na solução analítica encontrada com a análise de sensibilidade.

k(X) = 0,5 k(T) = 0 k(D) = 0,5 k(S) = 0
k(X) = 0,6 k(T) = 0 k(D) = 0,4 k(S) = 0
k(X) = 0,4 k(T) = 0 k(D) = 0,6 k(S) = 0

O resultado encontra-se na tabela 2.

Como o resultado apresentado pela análise acima ainda nos fornece uma dose que se encontra dentro da condição de trabalho A, continuamos a análise colocando em evidência a contribuição de cada atributo fornecendo a ele um valor máximo e mínimo aos demais.

VALOR MÍNIMO: 0,1, pois já tinha sido considerado um valor mínimo de 0 e 0,05 para os atributos S e T

VALOR MÁXIMO: 0,7.

O resultado encontra-se na Tabela 3.

Deixando de considerar o resultado obtido com o método de avaliação direta, tabela 1, e considerando somente os 5 resultados diferentes encontrados a partir da análise de sensibilidade das constantes de crescimento, iremos analisar a importância relativa dos fatores. Para tal análise foi plotado um gráfico da dose individual pela pontuação obtida para cada opção quando aplicadas as constantes de crescimento e obtidos os cinco resultados anteriores, conforme figura 1.

O resultado encontra-se na figura 1.

RESULTADOS

TABELA 1 - Aplicação da Técnica de Análise de Prioridade com Atributos Múltiplos

TEMPO (DIAS)	180
OPÇÃO	2
DOSE (Sv/ANO)	0,0438
CUSTO ANUAL(US$)	23423,52

TABELA 2 - Análise de Sensibilidade das seguintes Constante de Crescimento:
k(X) = 0,45 k(T) = 0,05 k(D) = 0,45 k(S) = 0,05
k(X) = 0,5 k(T) = 0 k(D) = 0,5 k(S) = 0
k(X) = 0,6 k(T) = 0 k(D) = 0,4 k(S) = 0
k(X) = 0,4 k(T) = 0 k(D) = 0,6 k(S) = 0

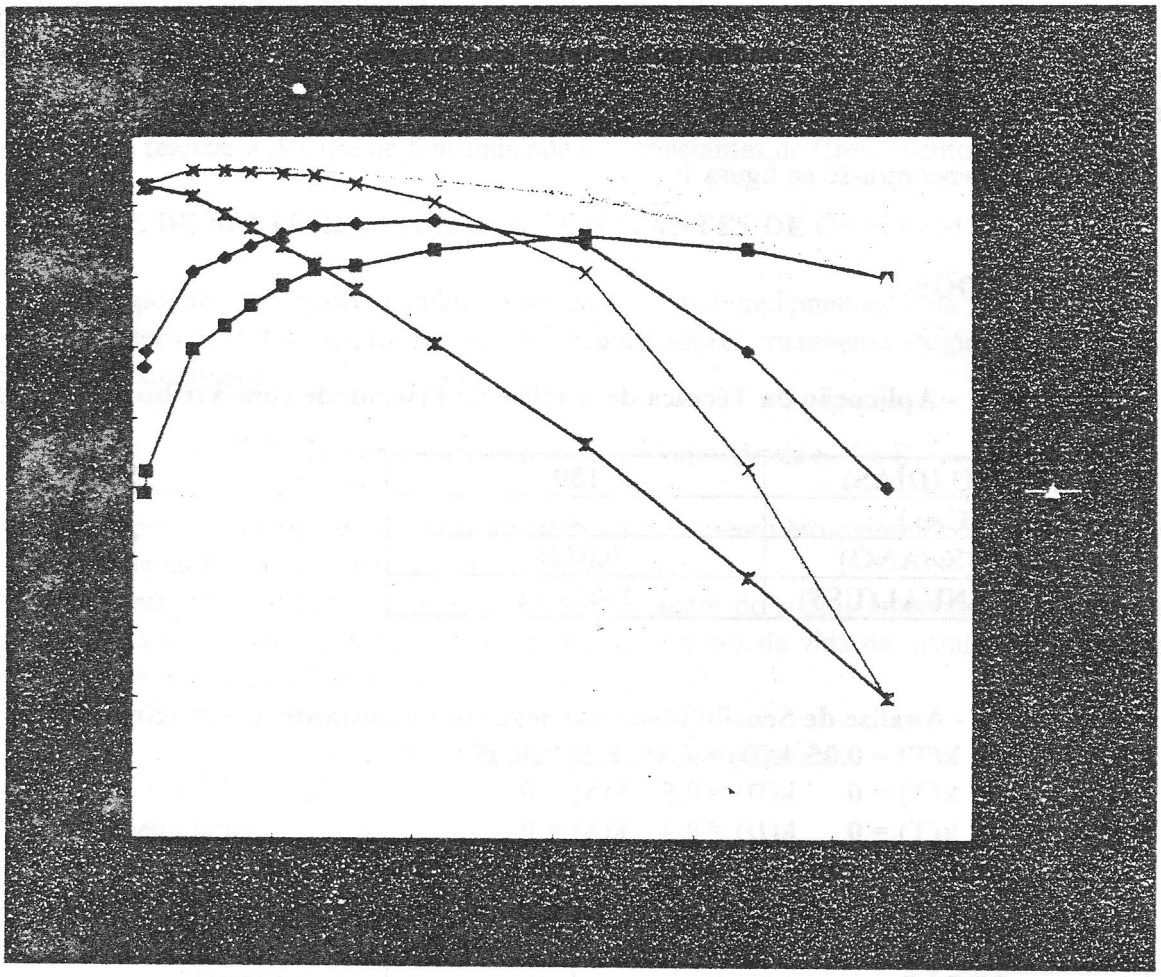
TEMPO (DIAS)	180
OPÇÃO	4
DOSE (Sv/ANO)	0,0216
CUSTO ANUAL (US$)	26031,29

TABELA 3 - Análise de Sensibilidade dando importância máxima a cada fator isoladamente

	k(X)=0,7	k(T)=0,7	k(D)=0,7	k(S)=0,7
TEMPO (DIAS)	180	180	180	180
OPÇÃO	3	8	10	11
DOSE (Sv/ANO)	0,0323	$8,42x10^{-03}$	$4,22x10^{-03}$	$1,06x10^{-03}$
CUSTO ANUAL(US$)	24544,22	29165,79	31239,54	36442,76

FIGURA 1 - Importância Relativa dos Fatores

LOG - k(X)=0,45 k(T)=0,05 k(D)=0,45 k(S)=0,05
X - k(X)=0,7 k(T)=0,1 k(D)=0,1 k(S)=0,1
- k(X)=0,1 k(T)=0,7 k(D)=0,1 k(S)=0,1
D - k(X)=0,1 k(T)=0,1 k(D)=0,7 k(S)=0,1
S - k(X)=0,1 k(T)=0,1 k(D)=0,1 k(S)=0,7



RESULTADO: opção 8 tempo de decaimento 180 dias que equivale ao ponto máximo da curva referente ao T.

DISCUSSÃO

Análise de Sensibilidade das Constantes de Crescimento

Deste trabalho pode-se verificar que a análise se sensibilidade das constantes de crescimento são muito importantes para avaliar a contribuição de cada fator, foi possível verificar que R(X) e R(D) são muito mais relevantes do que R(S) e R(T) para cumprir com a finalidade primordial da proteção radiológica que é a de decrescer a dose dos irradiados a valores inferiores a 1/10 do limite anual.

Com o resultado alcançado para k(T) = 0,7, nos enquadramos na ICRP60[2], porém temos um valor de dose acima do nível de registro, portanto, existe ainda a necessidade de se continuar o processo de otimização começando com alterações nos procedimentos de trabalho.

Com o resultado obtido dando importância máxima ao fator distribuição da dose individual, temos um valor de dose abaixo do nível de registro, o que significa que o processo de otimização atingiu seu objetivo final.

Desta maneira, o responsável pela tomada de decisão deve avaliar se vale a pena adotar a opção 8 ou a opção 10 como solução ótima uma vez que passando da opção 8 para a opção 10, teremos:

↑ custo anual de proteção X = 7,1%
↑ custo anual total X+Y = 6,5%
↓ dose individual anual = 44,9%

CONCLUSÕES

1 - A partir da Análise de Sensibilidade das constantes de crescimento, podemos concluir que as autoridades competentes do País devem participar dos processos de otimização desde a escolha dos fatores relevantes até a solução final.

2 - As técnicas de otimização, embora envolvam aspectos subjetivos, são de extrema importância pois nos fornecem toda a linha de pensamento seguida na escolha de uma opção, sendo justamente este o seu maior mérito.

3 - Estas técnicas são apenas ferramentas de ajuda na tomada de decisão e não constituem por si só uma decisão fato este demonstrado pela multiplicidade de opções ótimas que dependem da importância relativa que se da aos fatores..

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

(1) - ICRP (1977) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26. Pergamon Press, Oxford.

(2) - ICRP (1990) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,ICRP Publication 60. Pergamon Press, Oxford.

(3) - ICRP (1989) Optimization and Decision-Making in Radiological Protection,ICRP Publication 55. Pergamon Press, Oxford.