



Cálculo de Blindagem

para o Esquema 1

* Consiste em um AL operando com energias de 18MV e 6MV. É esperado tratar com o feixe de 18MV 30 pacientes nas 8h por dia, 5 vezes na semana com uma média de dose absorvida no isocentro de 3 Gy por paciente. Espera-se que em adicional sejam tratados 15 pacientes por dia com o feixe de 6MV com a mesma média de dose absorvida. O Acelerador tem uma taxa de dose máxima a 1 m de 12 Gy/minuto e a taxa de dose normal utilizada é de 5 Gy/min. O isocentro está a 1 m da fonte.

Os limites derivados p que serão utilizados são

- Áreas livres : $0,02 \text{ mSv/semana}$
- Áreas controladas : $0,1 \text{ mSv/Semana}$

↳ obs: foi utilizado este valor para coincidir com valores do NCRP 151

- Taxa de dose equivalente máxima em qualquer hora
 $0,02 \text{ mSv} = 20 \mu\text{Sv}$

1) Cálculo para a barreira primária no ponto C.

Neste ponto existe um estacionamento pouco frequentado. Um concreto comum.

Passo 1: Determinar o fator de transmissão para o feixe de maior energia:

$$B_p = \frac{P \cdot (d_c + 1)^2}{W(18MV) \cdot U \cdot T (1m^2)}$$

$$P = 0,02 \text{ mSv/sem} = 2 \cdot 10^5 \text{ Sv/sem} \quad (\text{área livre})$$

d_c = distância do isótopo até 0,3 m além da barreira,
 $d_c = 6,2 \text{ m}$

$W(18MV)$ = carga de trabalho remanente para o feixe de 18MV

$$W(18MV) = (30 \times 5 \cdot 3) = 450 \text{ Gy/sem}$$

U = fator uso pl parede lateral, (pensando em 4 filed box)

$$U = \frac{1}{4} = 0,25$$

T = fator ocupação \Rightarrow como se trata de um estacionamento pouco frequentado \Rightarrow

$$T = \frac{1}{40} = 0,025$$

A transmissão será então:

$$B_p = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot (6,2 + 1)^2}{450 \cdot 0,25 \cdot 0,025} = 3,69 \cdot 10^{-4}$$

* Avaliar se a espessura é adequada p/ a carga de trabalho adicional de 6 MV.

$$W(6MV) = 15 \cdot 3 \cdot 5$$

$$W(6MV) = 225 \text{ Gy/semana}$$

• As TVL's de concreto para o feixe de 6 MV são

$$TVL_1 = 37 \text{ cm} \quad TVL_c = 33 \text{ cm}$$

• a espessura da barreira será de $t = 150 \text{ cm}$

a transmissão desta barreira para um feixe de 6 MV é então

$$B = \frac{1}{10} \left\{ 1 + \frac{150 - 37}{33} \right\}$$

$$B = 3,76 \cdot 10^{-5}$$

* a dose equivalente transmitida será

$$B_p = \frac{H(6MV) \cdot d^2}{WUT}$$

$$H(6MV) = \frac{B_p \cdot WUT}{d^2}$$

$$H(6MV) = \frac{3,76 \cdot 10^{-5} \cdot 225 \cdot 0,25 \cdot 0,025}{(7,2)^2}$$

$$H(6MV) = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/semana}$$

$$H(6MV) \approx 1 \mu\text{Sv}$$

A dose equivalente é de 5% do valor do objetivo e então não afetará na espessura da blindagem

$$R_w(18MV) = \frac{5,1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} \cdot \cancel{\text{h}^4} \cdot 450 \text{ Gy} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot 0,25}{720 \text{ Gy} \cdot \cancel{\text{h}^4}}$$

$$R_w(18MV) = 7,96875 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/mm}$$

$$R_w(18MV) \approx \underline{8 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/mm}}'''$$

* Para o feixe de 6MV.

$$IDR(6MV) = \frac{\dot{D}_0 \cdot B_p(6MV)}{d^2}$$

$$IDR(6MV) = \frac{720 \cdot 3,76 \cdot 10^{-5}}{(7,2)^2} \quad \int \quad IDR(6MV) \approx 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h}$$

$$R_w(6MV) = \frac{IDR(6MV) \cdot W_{pim}(6MV) \cdot U_{pim}}{\dot{D}_0}$$

$$R_w(6MV) = \frac{5,2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 225 \text{ Gy} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot 0,25}{720 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}}$$

$$R_w(6MV) = 4,0625 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/mm}$$

$$R_w(6MV) = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/mm}$$

o valor da TADR em qualquer hora para a barreira não foi respeitado portanto deve ser adicionado no mínimo 1 HVL à barreira. (18 MV).

1 HVL irá atender apenas ao limite da TADR para o pior caso da carga de trabalho do feixe de 18 MV, a escolha conservadora é adicionar 2 HVLs.

Portanto a espessura para a barreira primária será.

$$A_p = 150 + 2HVL(18MV)$$

$$\rightarrow \text{como } TVL = \frac{\ln(10)}{\mu} \quad , \quad HVL = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

$$\frac{TVL}{HVL} = \frac{\ln(10)}{\ln(2)} \Rightarrow HVL = \frac{\ln(2)}{\ln(10)} \cdot TVL$$

\rightarrow como são espessuras adicionais, utiliza-se a TVL, portanto.

$$A_p = 150 + 2 \cdot \frac{\ln(2)}{\ln(10)} \cdot TVL(18MV)$$

$$A_p = 150 + 2 \cdot (0,301) \cdot 43$$

$$A_p = 175,886$$

$$A_p \approx 176 \text{ cm}$$

(outra forma π conservadora seria limitar apenas 5 pacientes/h porém é uma forma difícil de controlar).

d_{sec} é a distância da superfície espalhadora até o ponto de proteção.

$$d_{sec} = 6,2 \text{ m}$$

$$\underline{W(18 \text{ MV})} = 450 \text{ Gy/sess} \quad ; \quad W(6 \text{ MV}) = 225 \text{ Gy/sess}$$

$$T = \frac{4}{40} = \underline{0,025} //$$

→ para a radiação espalhada em ângulos pequenos ($\theta = 10^\circ$) com o gantry direcionado para o ponto de proteção, corrige-se a intensidade utilizando um fator uso pequeno;

$$U = 0,25$$

→ p/0 tamanho da área do campo no isocentro, pode-se utilizar o maior tamanho de campo possível como uma medida conservadora

$$F = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$$

→ os valores de TVL para a radiação espalhada pelo paciente são obtidos na tabela B.5

→ por interpolação. p/ $\theta = 10^\circ$

$$TVL_{sp}(6 \text{ MV}) \approx 35 \text{ cm}$$

$$TVL_{sp}(18 \text{ MV}) \approx 45 \text{ cm}$$

$$H_{sp}(18MV) = \frac{B_{sp}(18MV) \cdot \alpha(18MV) \cdot W(18MV) \cdot U \cdot T \cdot F}{d_{sc}^2 \cdot d_{rec}^2 \cdot 400}$$

$$H_{sp}(18MV) = \frac{1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 1,42 \cdot 10^{-2} \cdot 450 \cdot 0,25 \cdot 0,025 \cdot 1600}{1^2 \cdot 6,2^2 \cdot 400}$$

$$H_{sp}(18MV) = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/remv}$$

$$= 0,51 \mu\text{Sv/remv}$$

→ A contribuição da radiação espalhada p/ 6MV é insignificante e para 18MV é muito menor que o limite pré estabelecido de forma que a barreira primária é mais que suficiente para blindar a radiação espalhada pelo paciente.

Radiação de fuga no Ponto C.

Considerar se a espessura da barreira primária é suficiente para blindar a radiação de fuga em tratamentos comencionais, Na sequência Inicializar o caso em que 80% dos pacientes de 6MV e 40% dos pacientes de 18 MV serão tratados com IMRT, e que o valor de $C_I = 5$.

→ Para obter o valor da transmissão para esta espessura de blindagem deve-se utilizar os respectivos TVL's para a radiação de fuga p/ os feixes de 6MV e 18MV.

→ através da tabela B.7, determino os seguintes valores para o concreto comum

$$\text{TVL}_1^L = 34 \text{ cm}$$

$$\text{TVL}_e^L = 29 \text{ cm}$$

$$18 \text{ MV}$$

$$\text{TVL}_1^L = 36 \text{ cm}$$

$$\text{TVL}_e^L = 34 \text{ cm}$$

→ A transmissão será então

$$B_L(6 \text{ MV}) = \frac{1}{10} \left\{ 1 + \frac{176 - 34}{29} \right\}$$

$$B_L(6 \text{ MV}) = 1,27 \cdot 10^{-6}$$

$$B_L(18 \text{ MV}) = \frac{1}{10} \left\{ 1 + \frac{176 - 36}{34} \right\}$$

$$B_L(18 \text{ MV}) = 7,63 \cdot 10^{-6}$$

→ A dose equivalente semanal para a radiação de fuga será então:

$$H_L(6 \text{ MV}) = \frac{B_L(6 \text{ MV}) \cdot 10^{-3} \cdot W \cdot T}{d_L^2}$$

$$H_L(6 \text{ MV}) = \frac{1,27 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 225 \cdot 0,025}{6,2^2}$$

$$H_L(6 \text{ MV}) = 1,86 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/semana}$$

$$\approx 1,9 \cdot 10^{-4} \mu\text{Sv/semana}$$

A nova carga de trabalho para a radiação de fuga ϕ / o
 fuso de 18MV será:

$$W_L(18MV) = W_{env}(18MV) + C_I W_{IMBT}(18MV)$$

$$W_L(18MV) = 0,6 \cdot 450 \text{ Gy/sem} + 5 \cdot (0,4) \cdot 450 \text{ Gy/sem}$$

$$W_L(18MV) = 1170 \text{ Gy/sem}$$

Portanto a dose equivalente transmitida para a radiação de fuga
 será:

$$H_L(6MV) = \frac{B(6MV) \cdot 10^{-3} \cdot W_L(6MV) \cdot T}{d_L^2}$$

$$H_L(6MV) = \frac{1,27 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 945 \cdot 0,025}{6,2^2}$$

$$H_L(6MV) = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/sem}$$

$$H_L(18MV) = \frac{7,63 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 1170 \cdot 0,025}{6,2^2}$$

$$H_L(18MV) = 5,80 \cdot 10^{-3} \text{ Sv/sem}$$

* A dose equivalente devido a radiação de fuga tem
 um fator de aumento de:

$$p/6MV \quad \frac{7,8 \cdot 10^{-4}}{1,9 \cdot 10^{-4}} \approx 4,2$$

terá um fator de aumento de 4,2

Sabendo que a distância do fonte espalhadora até o ponto A é de 7,2 m, o ângulo de espalhamento é dado por.

$$\theta = \arcsin \frac{dc}{d_A}$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{6,2}{7,2} \right)$$

$$\theta \approx 30^\circ$$

portanto o ponto A está a 30° do eixo central do feixe e então o ângulo de espalhamento mínimo de 30° é utilizado para determinar a fração de espalhamento, α .

→ α para $\theta = 30^\circ$

$$\alpha(6MV) = 2,77 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha(18MV) = 2,53 \cdot 10^{-3}$$

→ Os valores de TVL para a radiação espalhada a um ângulo mínimo de 30° são. (B.5a)

Para o concreto comum:

6MV

$$TVL_{SP} = 26 \text{ cm}$$

$$TVL_{SP}(18MV) = 32 \text{ cm}.$$

→ os valores de TVL para a radiação de fuga são:

6MV

$$TVL_1 = 34 \text{ cm}$$

$$TVL_e = 29 \text{ cm}$$

18MV

$$TVL_1 = 36 \text{ cm}$$

$$TVL_2 = 34 \text{ cm}.$$

* Calculando a espessura da barreira para a radiação espalhada pelo paciente, temos:

Para o feixe de 18MV

→ Transmissão:

$$B_B(18MV) = \frac{2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/mm} \cdot (1 \text{ m})^2 \cdot (7,2 \text{ m})^2 \cdot 400}{2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 450 \text{ Gy/mm} \cdot 0,25 \cdot 0,025 \cdot (40 \times 40)}$$

$$B_{ps}(18MV) = 0,0364$$

de TVL's

$$n = -\log(B)$$

$$n = -\log(0,0364)$$

$$n = 1,44$$

• A espessura da barreira será então

$$t_{sp}(18MV) = 1,44 \cdot (32)$$

$$t_{sp}(18MV) = 46,08$$

$$t_{sp}(18MV) \approx 46 \text{ cm}$$

Para o feixe de 6MV, a transmissão será

$$B_B(6MV) = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 1^2 \cdot 7,2^2 \cdot 400}{2,77 \cdot 10^{-3} \cdot 225 \cdot 0,25 \cdot 0,025 \cdot 40 \cdot 40}$$

$$B_{sp}(6MV) = 0,0665$$

* Calculando a espessura da barreira necessária para a radiação de fuso, temos:

⇒ para 18 MV, a transmissão é

$$B_L(18MV) = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 7,2^2}{10^{-3} \cdot 450 \cdot 0,025}$$

$$B_L(18MV) = 0,0922$$

• o número de TVL's é

$$n = -\log(0,0922) = 1,0353 \approx 1,04.$$

Portanto a espessura é

$$x_L(18MV) = TVL_1 + (n-1)TVL_c$$

$$x_L(18MV) = 36 + (1,04 - 1) \cdot 34$$

$$x_L(18MV) = 37,36$$

$$\underline{x_L(18MV) \approx 37,4 \text{ cm}}$$

⇒ para 6 MV,

• a transmissão é

$$B_L(6MV) = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 7,2^2}{10^{-3} \cdot 225 \cdot 0,025}$$

$$B_L(6MV) = 0,184$$

⇒ Aplicando novamente a regra das duas fontes, como a diferença entre as espessuras é menor que $\pm TVL$, deve ser adicionado $\pm HVL$ na maior espessura, que no caso é a espessura devido à radiação espalhada pelo paciente.

A HVL a ser utilizada deve ser a que possui o maior fator, que está relacionada ao maior valor de TVL,

a maior TVL é a $TVL_{(18MV)} = 36\text{cm}$

Portanto, a espessura da barreira será de

$$A_{\text{sec}} = 55,6 + 0,301 \cdot 36$$

$$A_{\text{sec}} = 66,436 \quad \rightarrow \quad t_{\text{sec}} \approx 66,4\text{cm}$$

* Verificar se a TADR semanal não excede o valor de $20\mu\text{Sv}/\text{semana}$ para a espessura encontrada.

Para radiação de fuga

$$H_L(18\text{MV}) = \frac{B_L(18\text{MV}) \cdot 10^{-3} \cdot W_L(18\text{MV}) \cdot T}{d^2}$$

$$= \frac{10 \cdot \left\{ 1 + \frac{66,4 - 36}{34} \right\} \cdot 10^{-3} \cdot 450 \cdot 0,25}{7,2^2}$$

$$H_L(18\text{MV}) \approx 2,8 \mu\text{Sv}/\text{semana}$$

A soma de todas as componentes é então

$$H_{PS}^{Tot} = 2.8 + 0.8 + 4.6 + 0.8$$

$$H_{PS}^{Tot} = 9.0 \text{ Sv/semana}$$

o que respeta o valor semanal de 20.4 Sv/semana .

* Considerando tratamentos de IMRT com 80% dos pacientes tratando com 6MV e 40% dos pacientes tratando com 18MV irão realizar IMRT, cujo C_x é igual a 5.

Nestes casos único parâmetro que irá alterar será a carga de trabalho para a radiação de fuga para cada energia.

$$W_L(18MV) = 0.6(450) + 0.4 \cdot (5) \cdot (450)$$

$$W_L(18MV) = 1170 \text{ Gy/semana}$$

$$W_L(6MV) = 0.2(225) + 0.8 \cdot 5 \cdot 225$$

$$W_L(6MV) = 945 \text{ Gy/semana}$$

⇒ p/ 18MV

A transmissão para a radiação de fuga será de

$$B_L(18MV) = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 712^2}{10^{-3} \cdot 1170 \cdot 0.025}$$

$$B_L(18MV) = 0.03545$$

As espessuras encontradas são

$$A_1(18MV) = 51.3 \text{ cm} \quad A_1(6MV) = 44.4 \text{ cm}$$

como são valores próximos, adiciona-se à maior espessura o valor da menor HVL,

$$A_L = 51.3 + 0,301 \cdot 36$$

$$A_L \approx 62 \text{ cm.}$$

* A espessura devida para a radiação espalhada pelo paciente é de 55,6 cm,

aplicando a regra das duas fontes, como a diferença entre

a t_c e t_{ps} é menor que ΔTVL , deve-se adicionar a maior HVL na espessura maior (A_c)

portanto a espessura será:

$$A_{sec} = 62 + 0,301 \cdot 36$$

$$A_{so} \approx 73 \text{ cm.}$$

Portanto ao considerar a técnica de IMRT, a espessura da barreira passou de 66,4 cm para 73 cm, apresentando um fator de aumento de $\approx 1,1$

a espessura da barreira em IMRT é 66.4 cm.

a. IDR para a radiação espalhada e para radiação de fuga é

$$IDR_{PS} = \frac{\dot{D}_0 \cdot \alpha \cdot F \cdot B_{PS}}{d_{ref}^2 \cdot 400}$$

$$IDR_L = \frac{\dot{D}_0 \cdot 10^{-3} \cdot B_L}{d_L^2}$$

$$IDR_{tot} = IDR_{PS} + IDR_L$$

→ portanto, para o feixe de 18MV

$$IDR_{PS}(18MV) = \frac{(720)(2.53 \cdot 10^{-3})(40 \cdot 40) \cdot 10^{-\left\{\frac{66.4}{32}\right\}}}{7.2^2 \cdot 400}$$

$$IDR_{PS}(18MV) = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ Sv/h.}$$

$$IDR_L(18MV) = \frac{720 \cdot 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(66.4 - 36)}{34}\right]\right\}} \cdot 10^{-3}}{7.2^2}$$

$$IDR_L(18MV) = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h.}$$

→ a IDR total (mensurável) é então

$$IDR_{tot}(18MV) = 1.2 \cdot 10^{-3} + 1.8 \cdot 10^{-4}$$

$$IDR_{tot} = 13.8 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h.}$$

A TADR em qualquer hora é dada por:

$$R_h = \left(\frac{M}{40} \right) \cdot R_w, \text{ onde } M = \frac{N_{\max}}{\bar{N}_h}$$

\rightarrow número médio de pacientes em 1h

$$N_{\max} = 10$$

$$\bar{N}_h = \frac{45}{8h}$$

$\bar{N}_h \rightarrow$ num médio de pacientes em 1h

\rightarrow como definido anteriormente, $M = 1.8$; portanto:

$$R_h = \left(\frac{M}{40} \right) \cdot [R_w(18MV) + R_w(6MV)]$$

$$R_h = \frac{1.8}{40} (3 \cdot 10^{-4} + 0.7 \cdot 10^{-4})$$

$$R_h \approx 5,67 \cdot 10^{-5} Sv$$

$\approx 56,7 \mu Sv$ em qualquer hora

\rightarrow Refazendo os cálculos para considerar IMRT, onde a espessura da barreira é de 73cm, temos que:

$$IDR_B(18) = 7.4 \cdot 10^{-4} Sv/h$$

$$IDR_{ps}(6MV) = 2.4 \cdot 10^{-4} Sv/h$$

$$IDR_L(18) = 1.3 \cdot 10^{-4} Sv/h$$

$$IDR_L(6MV) = 0.63 \cdot 10^{-4} Sv/h$$

$$R_w(18) = 290 \mu Sv/cm$$

$$R_w(6MV) = 101 \mu Sv/cm$$

$R_h = 17.6 \mu Sv$ em qualquer hora.