

**Memorial de Blindagem**  
**Hospital de Clínicas de Uberlândia**  
**Serviço de Medicina Nuclear**

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| Introdução.....   | 1  |
| 1. Identificação da instalação.....                     | 2  |
| 2. O Serviço de Medicina Nuclear.....                   | 3  |
| 3. Layout.....  | 5  |
| 4. Dados e hipóteses iniciais.....                      | 6  |
| 5. Cálculos.....  | 8  |
| 5.1 Sala de exames (cintilografia).....                 | 9  |
| 5.2 Ergometria.....                                     | 14 |
| 5.3 Sala de repouso.....                                | 17 |
| 5.4 Laboratório de manipulação.....                     | 20 |
| 5.5 Sala de injeção/administração de radiofármacos..... | 25 |
| 5.6 Sala de rejeitos radioativos.....                   | 28 |
| 5.7 Sala de espera de pacientes injetados.....          | 31 |
| 5.8 Banheiro de pacientes injetados.....                | 33 |
| Banheiro feminino.....                                  | 33 |
| Banheiro masculino.....                                 | 34 |
| 6. Layout blindagem.....                                | 36 |
| 7. Bibliografia.....                                    | 37 |

## Introdução

O Memorial de Blindagem é o documento no qual são apresentados todos os cálculos realizados para a construção de barreiras físicas de uma Instalação Radiativa, para manter os níveis de exposição ocupacional e do público em geral o mais baixo possível (Princípio ALARA). Os níveis de exposição à radiação dos trabalhadores ocupacionalmente expostos e do público em geral deve-se manter dentro dos limites estipulados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, Agência Nacional de Vigilância Sanitária e normas internacionais de radioproteção.

As recomendações elaboradas neste documento proporcionam níveis de exposição o mais baixo possível, considerando a otimização de gastos. Todas as dependências da instalação são classificadas de acordo com a natureza de suas atividades, evitando blindagens superdimensionadas ou desnecessárias.

Neste projeto apresentamos o layout da instalação, classificação de áreas, cálculo individual de das barreiras físicas dos ambientes onde circulam ou armazenam-se fontes radioativas, espessuras equivalentes em chumbo e concreto e orientações quanto blindagem adequada para todas as salas.

## 1- IDENTIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO

**Razão Social:** Hospital de Clínicas de Uberlândia

**Endereço:** Av. Pará, 1720 Campus Umuarama CEP: 38405-382

**Cidade:** Uberlândia-MG

**Telefone Geral:** (34)3218-2311      **Fax:** (34)3211-6885

**CNPJ:** 25648387/0001-18

**Diretor Geral :** Luzmar de Paula Faria

**Projeto Arquitetônico:** Paloma de Paula Lúcio Silva

**Consultoria em Radioproteção:** Secom Serviços de Radioproteção

**Elaborado por:** Jeane Serrão de Souza e Walter Siqueira Paes



## 2- O SERVIÇO DE MEDICINA NUCLEAR

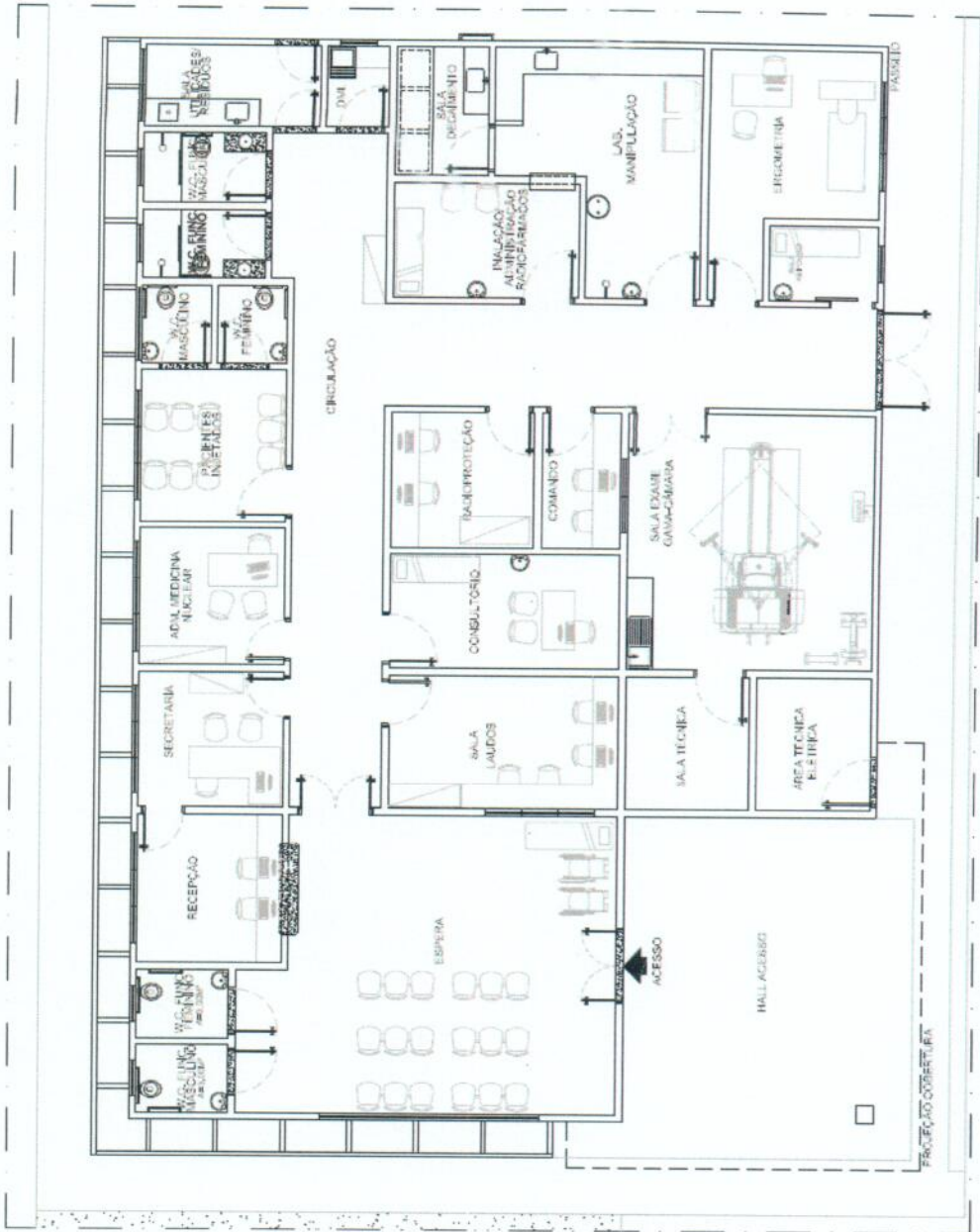
O Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Uberlândia realizará exames de diagnósticos por imagem, através da administração de radiofármacos por via oral, parenteral ou sonda vesical e posterior aquisição das imagens diagnósticas com o auxílio de uma gama câmara.

Possui área total de 385,15m<sup>2</sup> distribuídos em 25 ambientes (quadro 1). É um prédio anexo, construído em pavimento térreo, tendo como vizinhanças: ambulatório geral do HC-UFG à distância de 3,5m, o Hospital Odontológico a distância de 4,86m e um depósito de compressores de gás medicinal à distância de 15,80m (figura 1).

| <b>Ambiente</b>                                 | <b>Quantidade</b> |
|---|-------------------|
| Sala de espera                                  | 1                 |
| Recepção  | 1                 |
| Secretaria                                      | 1                 |
| Sala da administração                           | 1                 |
| Consultório                                     | 1                 |
| Sala de radioproteção                           | 1                 |
| Sala de laudos                                  | 1                 |
| Sala técnica                                    | 1                 |
| Sala de comando                                 | 1                 |
| Sala de exames                                  | 1                 |
| Ergometria                                      | 1                 |
| Sala de repouso                                 | 1                 |
| Lab. de manipulação                             | 1                 |
| Sala de administração de radiofármacos/inalação | 1                 |
| Sala espera pacientes injetados                 | 1                 |
| Sala de decaimento (rejeitos radioativos)       | 1                 |
| Banheiro de pacientes injetados                 | 2                 |
| Banheiro de funcionários                        | 2                 |
| Banheiro público                                | 2                 |
| Sala de utilidades/resíduos                     | 1                 |
| DML   | 1                 |
| Sala de área técnica elétrica                   | 1                 |

Quadro 1 – Ambientes da Medicina Nuclear.





PLANTA LAYOUT

MEDICINA NUCLEAR  
ESC: 1/1000

BASE COLAGEM 2  
MALHA 10x10/3mmB



4- DADOS E HIPOTETES INICIAIS

a) Radioisótopos utilizados pela instalação:

| Atividade máxima autorizada semanal |       |       |       |        |        |        |        |      |       |      |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|-------|------|
| <sup>99m</sup> Tc                   | I-131 | I-123 | Ga-67 | Sm-153 | Tl-201 | In-111 | Lu-177 | Y-90 | Cr-51 | 5000 |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 800  |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 30   |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 100  |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 200  |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 100  |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 30   |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 50   |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 30   |
|                                     |       |       |       |        |        |        |        |      |       | 2    |

b) Para os cálculos de blindagem, consideramos os radioisótopos com maior carga de trabalho semanal, devido sua maior contribuição para a taxa de exposição. São eles:

| Radioisótopo | Exames semanais | Atividade média administrada por paciente (mCi) |
|--------------|-----------------|---|
| Tc-99m       | 200             | 30  |
| I-131        | 20              | 30 (dose ablativa)<br>4 (PCI)                   |

c) Densidade chumbo: 11,35g/cm<sup>3</sup>

d) Densidade água: 1,0g/cm<sup>3</sup>

e) Densidade do concreto: 2,35g/cm<sup>3</sup>

f) Limite de dose:

Áreas controladas: P=5mSv/ano = 100µSv/semana=10mR/semana

Áreas livres: P=0,5mSv/ano = 10µSv/semana = 1mR/semana

g) Fator de ocupação:

T = 1 ⇒ ocupação total

T = 0,25 ⇒ ocupação parcial

T = 0,0625 ⇒ ocupação ocasional

h) Dados específicos do Tc-99m

a. Constante específica:

$$\Gamma = 0,0608 \frac{Rm^2}{hCi}$$



- i) Dados específicos do I-131
- a. Constante específica:  

$$\Gamma = 0,2212 \frac{Rm^2}{hCi}$$
- b. Coeficiente de atenuação de massa para o chumbo (400keV):  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{pb} = 0,231 \text{cm}^2 / g$$
- c. Coeficiente de atenuação de massa para o concreto (400keV)  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{concreto} = 0,0963 \text{cm}^2 / g$$
- d. Coeficiente de atenuação de massa para a água (400keV)  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{água} = 0,106 \text{cm}^2 / g$$
- e. Atenuação do paciente
- $$I = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{água} \times \rho_{água} \times d}$$
- $$\frac{I}{I_0} = 0,47 \quad \left(\frac{I}{I_0}\right)^{Tc-99m}$$
- b. Coeficiente de atenuação de massa para o chumbo (150keV):  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{pb} = 1,97 \text{cm}^2 / g$$
- c. Coeficiente de atenuação de massa para o concreto (150keV)  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{concreto} = 0,144 \text{cm}^2 / g$$
- d. Coeficiente de atenuação de massa para a água (150keV)  

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^{água} = 0,151 \text{cm}^2 / g$$



### 5- CALCULOS

e. Fator de atenuação paciente

$$I = I_0 e^{-\mu_{\text{pac}} \cdot d}$$

$$\frac{I}{I_0} = 0,59$$

Para os cálculos de blindagem dos ambientes classificados como áreas controladas, faremos as seguintes considerações:

- Realizou-se o cálculo para verificação se a taxa de exposição nos ambientes onde há manipulação ou armazenamento de fontes radioativas está dentro dos limites semanais especificados de acordo com a classificação da área (controlada ou livre). Quando a taxa de exposição estiver acima desses valores, realizou-se o cálculo para determinar a espessura de blindagem necessária.
- Utilizou-se a metodologia mais restritiva: desconsiderou-se o decaimento radioativo devido o tempo de espera para captação dos radiofármacos e eliminação biológica de parte do material radioativo (excretas dos pacientes, normalmente urina). Ou seja, em todos os casos considerou-se a maior taxa de exposição semanal possível.
- A instalação encontra-se no térreo e não há construção localizada acima ou abaixo do prédio. Portanto, não será necessário o cálculo de blindagem para o piso e teto.

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{2,5^2} = 2,8 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100}{2,5^2} = 29,18 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 2,5m
- Área livre: P = 1mR/semana

**Vizinhança 1 (Área externa)**

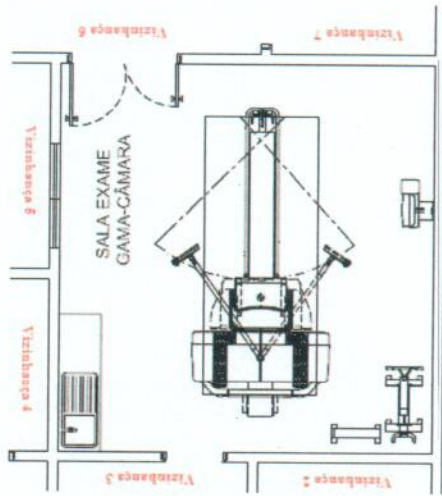


Figura 2 – Vizinhanças sala de exames.

**5.1 Sala de exames (cintilografia)**

- Tempo de permanência do paciente na sala: 1h
- Carga de trabalho semanal: 100 pacientes x 1 hora = 100 horas (Tc-99m)
- 20 pacientes x 1 hora = 20 horas (I-131)
- Atividade média administrada: 30mCi (Tc-99m)
- 4 mCi (I-131)

8

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$X_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{1}{13,7}\right)}{7,7 \text{ cm concreto}} = -0,3384$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = 1,6 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 13,7 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{2,5^2}{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20} = 2,8 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{2,5^2}{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100} = 29,18 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial)
- Distância do paciente a barreira: 2,5m
- Área livre: P = 1mR/semana

### Vizinhança 2 (Área técnica elétrica)

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$X_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{1}{13,7}\right)}{7,7 \text{ cm concreto}} = -0,3384$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = 1,6 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 13,7 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:



### Vizinhanca 3 (Sala técnica)

- Area controlada: P = 10mR/semama
- Distância do paciente a barreira: 2,5m
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial)
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100}{2,5^2} = 29,18mR / semana$$
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{2,5^2} = 2,8mR / semana$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 13,7mR / semana$$
$$D_{I-131} = 1,6mR / semana$$

Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{13,7}\right)}{-0,3384} = 0,93cm \text{ concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

### Vizinhanca 4 (Consultório)

- Area livre: P = 1mR/semama
- Distância do paciente a barreira: 2,5m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100}{2,5^2} = 29,18mR / semana$$
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{2,5^2} = 2,8mR / semana$$

Cálculo da blindagem:

$$X_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{13,7}\right)} = 0,93 \text{ cm concreto}$$

$$D_{I-131} = 1,6 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m}^{Tc-99m} = 13,7 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{2,5^2}{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20} = 2,8 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{2,5^2}{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100} = 29,18 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 2,5m
- Area controlada: P = 10mR/semana

**Vizinhança 5 (Sala de comando)**

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

Cálculo da blindagem:

$$X_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{1}{13,7}\right)} = 7,7 \text{ cm concreto}$$

$$D_{I-131} = 1,6 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m}^{Tc-99m} = 13,7 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

Observa-se que a taxa de exposição está dentro do limite semanal preconizado para áreas controladas. Desta forma, não há necessidade de blindagem adicional para as barreiras primárias. Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$D_{I-131} = 1,15mR / semana$$

$$D_{Tc-99m} = 9,5mR / semana$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{3^2} = 1,96mR / semana$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 30 \times 10^{-3} \times 100}{3^2} = 20,2mR / semana$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 3,0m
- Área controlada: P = 10mR/semana

#### Vizinhança 6 (Circulação interna)

Uma parede de 15cm de alvenaria e visor plumbífero de 0,5mmPb é suficiente para a blindagem.

$$x_{Tc-99m} = \frac{-22,3595}{\ln\left(\frac{10}{13,7}\right)} = 0,01mm \text{ chumbo}$$

Para o visor plumbífero:

## 5.2 Ergometria

- Tempo de permanência do paciente na sala: 1 hora
- Carga de trabalho semanal: 50 pacientes x 1 hora = 50 horas (Tc-99m)
- Atividade média administrada: 40mCi (Tc-99m)
- Somente um paciente por vez na sala

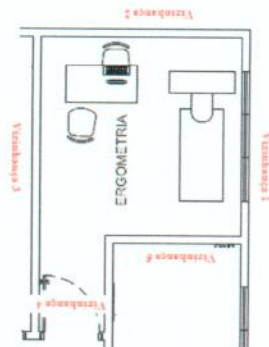


Figura 3 – Vizinhanças da sala de ergometria.

### Vizinhança 1 e 2 (Área externa)

- Área livre: P = 1mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal

$$D^{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{0,5^2} = 121,6 \text{mR/semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D^{Tc-99m} = 57,1 \text{mR/semana}$$

Cálculo da blindagem:

$$X^{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{1}{57,1}\right)} = 11,9 \text{cm concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.



8

$$D_{Tc-99m} = 3,57 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{4^2} = 7,6 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 4,0m
- Area controlada: P = 10mR/semana

#### Vizinhança 4 (Circulação interna)

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{57,1}\right)}{-0,3384} = 5,14 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{Tc-99m} = 57,1 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{1^2} = 121,6 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Area controlada: P = 10mR/semana

#### Vizinhança 3 (Radiofarmácia)

Observa-se que a taxa de exposição está dentro do limite semanal preconizado para áreas controladas, portanto a porta não precisa de blindagem adicional.

#### Vizinhança 5 (Sala de repouso)

- Área controlada:  $P = 10\text{mR/semana}$
- Distância do paciente a barreira:  $1,5\text{m}$
- Fator ocupação:  $T = 0,25$  (parcial)
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{1,5^2} = 54\text{mR/semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 25,4\text{mR/semana}$$

Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{25,4}\right)}{-0,3384} = 2,75\text{cm concreto}$$

Uma parede de  $15\text{cm}$  de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$D_{I-131} = 2,6mR/semana$$

$$D_{Tc-99m} = 22,8mR/semana$$

Considerando a atenuação do paciente:

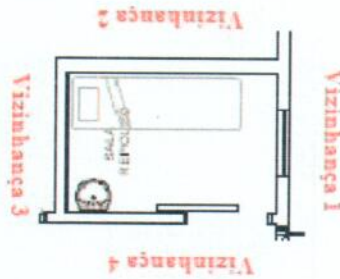
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{I_2} = 4,4mR/semana$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 20}{I_2} = 48,6mR/semana$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Área livre: P = 1mR/semana

#### Vizinhança 1 (Área externa)

Figura 4 – Vizinhanças sala de repouso.



- Somente um paciente por vez na sala
- 4 mCi (I-131)
- Atividade média administrada: 40mCi (Tc-99m)
- 5 pacientes x 1 hora = 5 horas (I-131)
- Carga de trabalho semanal: 20 pacientes x 1 hora = 20 horas (Tc-99m)
- Tempo de permanência do paciente na sala: 1,0h

#### 5.3 Sala de repouso

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10}{10,44}\right)} = 0,19 \text{ cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{91,44}\right)} = 6,54 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = 10,44 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 91,44 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{0,5^2}{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5} = 17,7 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,5^2}{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 20} = 194,56 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 0,5m
- Area controlada: P = 10mR/semana

### Vizinhança 2 e 3 (Ergometria/ Corredor ergometria)

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{1}{2,6}\right)} = 4,2 \text{ cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{1}{22,8}\right)} = 9,2 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:



- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Distância do paciente a barreira: 1,0m

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 20}{1^2} = 48,6mR/sem$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{1^2} = 4,4mR/sem$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 22,8mR/sem$$

$$D_{I-131} = 2,59mR/sem$$

Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{22,8}\right)}{-0,3384} = 2,43cm \text{ concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

8

## 5.4 Radiofarmácia

- Atividade máxima semanal: Tc-99m: 5000mCi  
I-131: 800mCi  
Ga-67: 100mCi  
TI-201: 100mCi

- Consideramos outros radioisótopos (apesar de seu uso semanal ser variável e/ou eventual) por motivo deste ambiente ser o local de armazenamento das mesmas.

- Tempo máximo semanal de fontes radioativas fora dos cofres de blindagem: 1 hora  
Observação: Estamos considerando situação máxima de exposição, pois não é permitida a permanência de fontes radioativas fora de blindagens, e a manipulação das mesmas deve ser feita dentro de capelas blindadas.

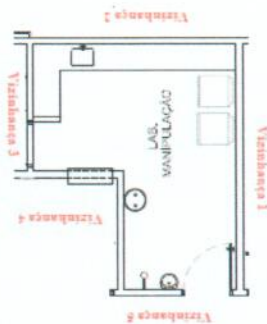


Figura 5 – Vizinhanças da radiofarmácia.

### Vizinhança 1 e 3 (Ergonomia/ Sala de rejeitos)

- Área controlada: P = 10mR/semana
- Distância da fonte até barreira: 0,5m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) ergonomia
- Fator ocupação: T = 0,0625 (ocasional) sala rejeitos
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 1}{0,5^2} = 1216 \text{mR/semana}$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 1}{0,5^2} = 707,8 \text{mR/semana}$$

$$D_{Ga-67} = \frac{0,11 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{0,5^2} = 44 \text{mR/semana}$$

$$D_{TI-201} = \frac{0,04 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{0,5^2} = 16 \text{mR/semana}$$



$$D_{Tl-201} = \frac{0,52}{0,04 \times 100 \times 10^{-3} \times 1} = 16mR/sem\ ana$$

$$D_{Ga-67} = \frac{0,52}{0,11 \times 100 \times 10^{-3} \times 1} = 44mR/sem\ ana$$

$$D_{I-131} = \frac{0,52}{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 1} = 707,8mR/sem\ ana$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,52}{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 1} = 1216mR/sem\ ana$$

- Area livre: P = 1mR/sem\ ana
- Distância da fonte até barreira: 0,5m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal:

**Vizinhaça 2 (Area externa)**

Uma parede de 15cm de alvenaria revestida com 2cm de argamassa baritada é suficiente para a blindagem.

$$x_{Tl-201} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{16}\right)} = 1,38m\ concreto$$

$$x_{Ga-67} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{44}\right)} = 4,37cm\ concreto$$

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10}{707,8}\right)} = 18,8m\ concreto$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{1216}\right)} = 14,18cm\ concreto$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{Tl-201} = \frac{0,04 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{1^2} = 4 \text{mR/ semana}$$

$$D_{Ga-67} = \frac{0,11 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{1^2} = 1 \text{mR/ semana}$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 1}{1^2} = 177 \text{mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 1}{1^2} = 304 \text{mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial)
- Distância da fonte até barreira: 1,0m
- Area controlada: P = 10mR/semana

**Vizinhança 4 (Sala de inalação/administração radiofármacos)**

Uma parede de 15cm de alvenaria revestida com 2cm de argamassa baritada é suficiente para a blindagem.  
**Observação:** Revestir o fundo da bancada com blindagem adicional de 0,5mm de chumbo.

$$x_{Tl-201} = \frac{\ln\left(\frac{1}{16}\right) - 0,3384}{8,2 \text{cm concreto}} = -0,3384$$

$$x_{Ga-67} = \frac{\ln\left(\frac{1}{44}\right) - 0,3384}{11,2 \text{cm concreto}} = -0,3384$$

$$x_{I-131} = \frac{\ln\left(\frac{1}{707,8}\right) - 0,2263}{29 \text{cm concreto}} = -0,2263$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{1}{1216}\right) - 0,3384}{20,9 \text{cm concreto}} = -0,3384$$

Cálculo da blindagem:



Calculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{304}\right) - 0,3384}{10,01cm\text{ concreto}} = 10,01cm\text{ concreto}$$

$$x_{I-131} = \frac{\ln\left(\frac{10}{177}\right) - 0,2263}{12,7m\text{ concreto}} = 12,7m\text{ concreto}$$

$$x_{Ga-67} = \frac{\ln\left(\frac{10}{11}\right) - 0,3384}{4,38cm\text{ concreto}} = 4,38cm\text{ concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

### Vizinhança 5 (Circulação interna)

- Area controlada: P = 10mR/semana
- Distancia da fonte até barreira: 4,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal:

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 1}{4^2} = 19mR/semana$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 1}{4^2} = 11,06mR/semana$$

$$D_{Ga-67} = \frac{0,11 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{4^2} = 0,68mR/semana$$

$$D_{Tl-201} = \frac{0,04 \times 100 \times 10^{-3} \times 1}{4^2} = 0,25mR/semana$$

Calculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m}^{I-131} = 1,89cm \text{ concreto} = \frac{\ln\left(\frac{10}{19}\right) - 0,3384}{-0,2263}$$
$$x_{I-131}^{I-131} = 0,44cm \text{ concreto} = \frac{\ln\left(\frac{10}{11,06}\right) - 0,2263}{-0,2263}$$

Porta:

$$x_{Tc-99m}^{Tc-99m} = 0,028mm \text{ chumbo} = \frac{\ln\left(\frac{10}{19}\right) - 22,3595}{-2,6218}$$
$$x_{I-131}^{I-131} = 0,038mm \text{ chumbo} = \frac{\ln\left(\frac{10}{11,06}\right) - 2,6218}{-2,6218}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria e uma porta revestida com 0,5mm de chumbo são suficientes para a blindagem.

### 5.5 Sala de inalação/administração radiofármacos

- Tempo de permanência do paciente na sala: 15 min = 0,25h
- Carga de trabalho semanal: 100 pacientes x 0,25 hora = 25 horas (Tc-99m)
- 10 pacientes x 0,25 hora = 2,5 horas (I-131)
- Atividade média administrada: 40mCi (Tc-99m)
- 30 mCi (I-131)
- 3 pacientes por vez dentro da sala

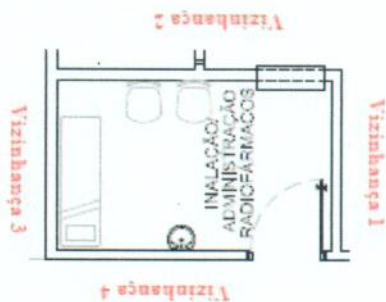


Figura 6 – Vizinhanças sala administração de radiofármacos.

### Vizinhança 1 (Radiofarmácia)

- Área controlada: P = 10mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{1,0^2}{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 25} = 61 \text{mR/semana}$$

$$D_{I-131} = \frac{1,0^2}{0,2212 \times 30 \times 10^{-3} \times 2,5} = 16,6 \text{mR/semana}$$

Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{61}\right)}{-0,3384} = 5,34 \text{cm concreto}$$

$$x_{I-131} = \frac{\ln\left(\frac{10}{16,6}\right)}{-0,2263} = 2,24 \text{cm concreto}$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 30 \times 10^{-3} \times 2,5}{2^2} = 4,14 \text{mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 2,5}{2^2} = 15,2 \text{mR/ semana}$$

- Area controlada: P = 10mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 2,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total)
- Taxa de exposição semanal

**Vizinhança 4 (Circulação interna)**

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$X_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10}{66,3}\right)} = 8,35 \text{cm concreto}$$

$$X_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{243}\right)} = 9,42 \text{cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = \frac{0,5^2}{0,2212 \times 30 \times 10^{-3} \times 2,5} = 66,3 \text{mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,5^2}{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 2,5} = 243 \text{mR/ semana}$$

- Area controlada: P = 10mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 0,5m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) circulação interna
- Fator ocupação: T = 0,0625 (ocasional) sala de rejeitos
- Taxa de exposição semanal

**Vizinhança 2 e 3 (Sala de rejeitos radioativos/ circulação interna)**

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.



Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{15,2}\right) - 0,3384}{1,24\text{cm concreto}}$$

Porta:

$$x_{Tc-99m}^{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{10}{15,2}\right) - 22,3595}{0,18\text{mm chumbo}}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

## 5.6 Sala de rejeitos radioativos

- Atividade máxima semanal:  $A_0 = Tc-99m$ : 5000mCi  
I-131: 800mCi
- Para rejeitos líquidos, a situação mais restritiva ocorre quando a atividade máxima semanal não é utilizada.
- Para rejeitos radioativos sólidos considera-se que 2% de  $A_0$  fica adsorvido nos materiais:  $A_{rejeitos} = 100mCi$  (Tc-99m)  
16mCi (I-131)
- Tempo máximo semanal de fontes radioativas fora dos cofres de blindagem: 0,25 hora.

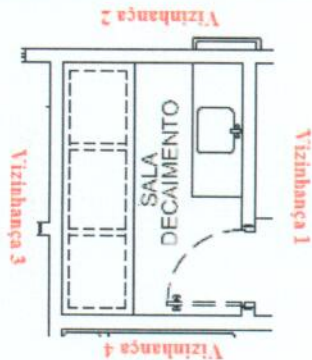


Figura 7 – Vizinhanças da sala de rejeitos radioativos.

### Vizinhanças 1 e 4

- Area controlada:  $P = 10mR/semana$  (radiofarmácia/sala injeção)
  - Distância da fonte até barreira: 0,5m
  - Fator ocupação:  $T = 1,0$  (total) radiofarmácia
  - Fator ocupação:  $T = 0,25$  (parcial) sala injeção
  - Taxa de exposição semanal
- Rejeito líquido:

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 304mR/semana$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 176,96mR/semana$$

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{1}{176,96}\right)} = 22,8 \text{ cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{1}{304}\right)} = 16,9 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 800 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 176,96 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 5000 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 304 \text{ mR/ semana}$$

Rejeito líquido:

- Área livre: P = 1mR/semana
- Distância da fonte até barreira: 0,5m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) área externa
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) DML
- Taxa de exposição semanal

Vizinhaças 2 e 3 (Área externa/ DML)

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 16 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 3,54 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 100 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,5^2} = 6,08 \text{ mR/ semana}$$

Rejeitos sólidos:

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10}{176,96}\right)} = 12,7 \text{ cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{304}\right)} = 10,08 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

Rejeitos sólidos:

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 100 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,52} = 6,08mR / semana$$
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 16 \times 10^{-3} \times 0,25}{0,52} = 3,54mR / semana$$

Cálculo da blindagem:

$$x_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{1}{6,08}\right)}{-0,3384} = 5,3cm \text{ concreto}$$
$$x_{I-131} = \frac{\ln\left(\frac{1}{3,54}\right)}{-0,2263} = 5,58cm \text{ concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria revestida com 2cm de argamassa baritada é suficiente para a blindagem.



### 5.7 Sala de espera de pacientes injetados

- Tempo de permanência do paciente na sala: 3 horas
- Carga de trabalho semanal: 200 pacientes x 3 horas = 600 horas (Tc-99m)
- 20 pacientes x 1 hora = 20 horas (I-131)
- Atividade média administrada: 30mCi (Tc-99m)
- 4 mCi (I-131)
- 10 pacientes por vez dentro da sala

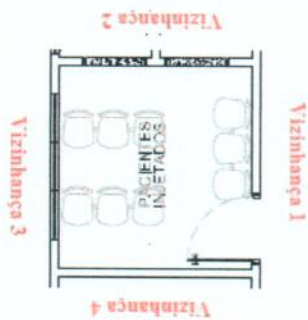


Figura 8 – Vizinhanças da sala de espera de pacientes injetados.

### Vizinhanças 1 e 2 (Circulação interna/banheiro de pacientes injetados)

- Area controlada: P = 10mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) circulação interna
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) banheiro pacientes injetados
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 600}{1^2} = 1459,2 \text{ mR/semana}$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{1^2} = 17,7 \text{ mR/semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 685,8 \text{ mR/semana}$$

$$D_{I-131} = 10,44 \text{ mR/semana}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria revestida com 2cm de argamassa baritada é suficiente para a blindagem.

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10,44}{1}\right)} = 10,3\text{cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{685,8}{1}\right)} = 19,3\text{cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = 10,44\text{mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 685,8\text{mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 20}{I^2} = 17,7\text{mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 600}{I^2} = 1459,2\text{mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) sala administração Medicina Nuclear
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Área livre: P = 1mR/semana

**Vizinhancas 3 e 4 (Área externa/ sala da administração da Medicina Nuclear)**

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{10}{1}\right)} = 0,19\text{cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{685,8}{10}\right)} = 12,49\text{cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

### 5.8 Banheiro de pacientes injetados

- Tempo de permanência do paciente na sala: 15 min
- Carga de trabalho semanal: 200 pacientes x 0,25 hora = 50 horas (Tc-99m)
- 20 pacientes x 0,25 hora = 5 horas (I-131)
- Atividade média administrada: 40mCi (Tc-99m)
- 4 mCi (I-131)

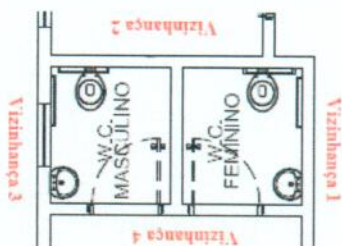


Figura 9 – Vizinhanças banheiro pacientes injetados.

### Banheiro feminino

Vizinhanças 1, 3 e 4 (Circulação interna/banheiro masculino/sala espera pac. injetados)

- Area controlada: P = 10mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) circulação interna/ sala espera pac. injetados
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) banheiro masculino
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{I_2} = 121,6 \text{mR/semana}$$

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{I_2} = 4,42 \text{mR/semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 71,7 \text{mR/semana}$$

$$D_{I-131} = 2,6 \text{mR/semana}$$



Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{I-131} = \frac{-0,2263}{\ln\left(\frac{1}{10,44}\right)} = 10,36 \text{ cm concreto}$$

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{1}{57,1}\right)} = 11,9 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:

$$D_{I-131} = 2,59 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 57,1 \text{ mR/ semana}$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{1^2} = 4,4 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{1^2} = 121,6 \text{ mR/ semana}$$

- Taxa de exposição semanal
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial)
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Área livre: P = 1mR/semana

### Vizinhanças 2 (Banheiro de funcionários)

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

$$x_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{71,7}\right)} = 5,82 \text{ cm concreto}$$

Cálculo da blindagem:



### Banheiro masculino

#### Vizinhanças 1 e 4

- Area controlada: P = 10mR/semana (banheiro feminino/sala espera pac. injetados)
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) banheiro feminino
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) sala espera pac. injetados
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{I_2} = 121,6mR/semana$$
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{I_2} = 4,42mR/semana$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{Tc-99m} = 71,7mR/semana$$
$$D_{I-131} = 2,6mR/semana$$

Cálculo da blindagem:

$$X_{Tc-99m} = \frac{-0,3384}{\ln\left(\frac{10}{71,7}\right)} = 5,82cm \text{ concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

#### Vizinhanças 2 e 3 (Banheiro de funcionários/ área externa)

- Area livre: P = 1mR/semana
- Distância do paciente a barreira: 1,0m
- Fator ocupação: T = 0,25 (parcial) banheiro funcionários
- Fator ocupação: T = 1,0 (total) área externa
- Taxa de exposição semanal

$$D_{Tc-99m} = \frac{0,0608 \times 40 \times 10^{-3} \times 50}{I_2} = 121,6mR/semana$$
$$D_{I-131} = \frac{0,2212 \times 4 \times 10^{-3} \times 5}{I_2} = 4,4mR/semana$$

Considerando a atenuação do paciente:

$$D_{I-131} = 2,59 \text{ mR/ semana}$$

$$D_{Tc-99m} = 57,1 \text{ mR/ semana}$$

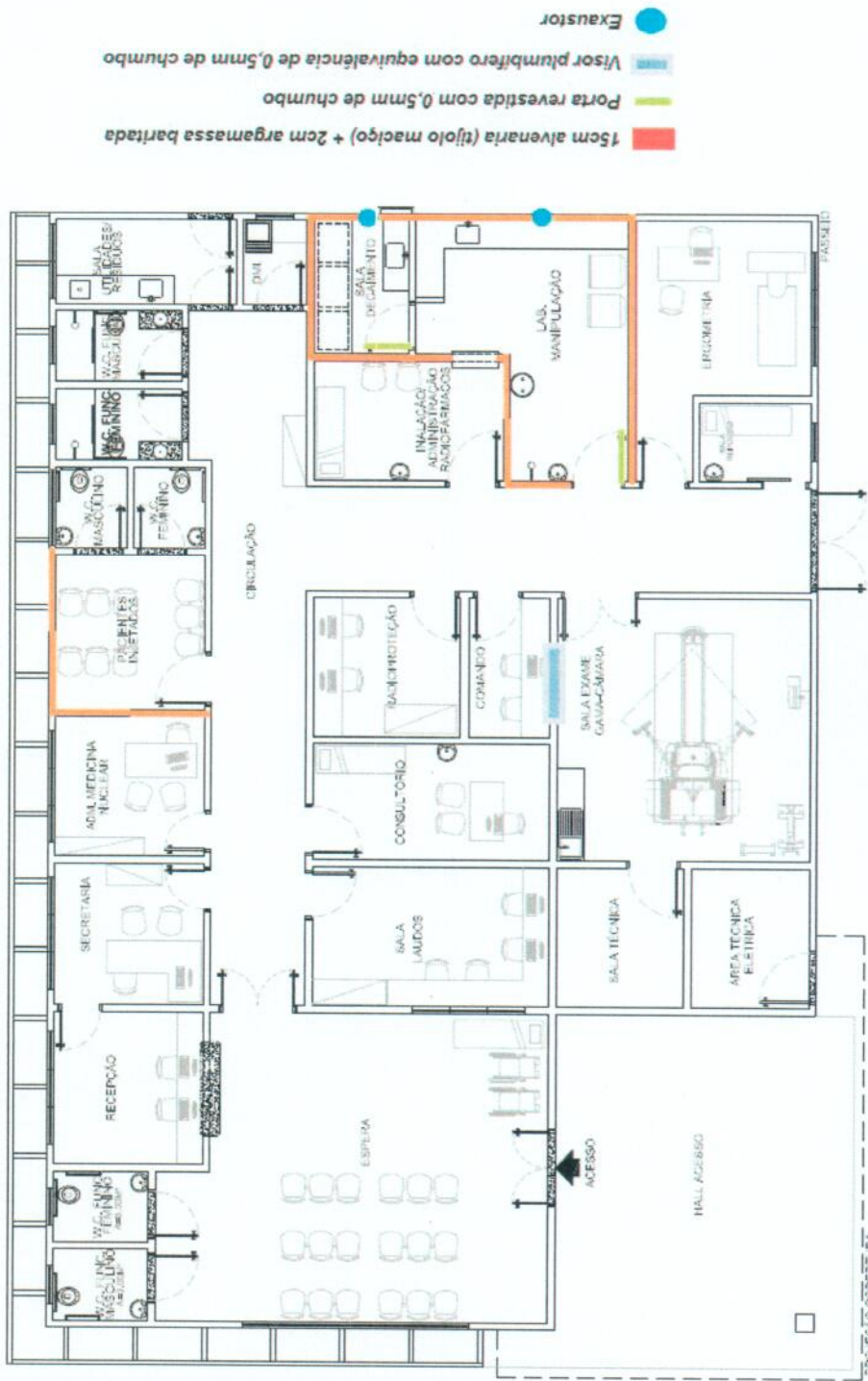
Cálculo da blindagem:

$$X_{Tc-99m} = \frac{\ln\left(\frac{1}{57,1}\right) - 0,3384}{11,9 \text{ cm concreto}} = 10,36 \text{ cm concreto}$$

$$X_{I-131} = \frac{\ln\left(\frac{1}{10,44}\right) - 0,2263}{10,36 \text{ cm concreto}} = 10,36 \text{ cm concreto}$$

Uma parede de 15cm de alvenaria é suficiente para a blindagem.

6 - LAYOUT BLINDAGEM



## 7- BIBLIOGRAFIA

- 1) B.R. Archer, J.I. Thornby and S.C. Bushong, "Diagnostic X-ray shielding designed based on an empirical model of photon attenuation", Health Phys. 44, 507-517 1983.
- 2) NCRP Report 49: Structural shielding design and evaluation for medical use of x rays and gamma rays of energies up to 10 MeV, National Council on Radiation Protection, Bethesda, MD, 1976.
- 3) J. Willégaignon, Maria I. C. Guimarães, Michel G. Stabin, Marcelo T. Sapienza, Luiz F. Malvestiti, Marília M.S. marone and Gian-Maria A.A. Sordi, "Correction factors for more accurate estimates of exposure rates near radioactive patients: experimental, point and line source models", Health Physic Society, Volume 93, nº 6, Dezembro 2007.



**JEANE SERRÃO DE SOUZA**  
Supervisora de Radioproteção  
Física FM 0062



Secon Serviços de Radioproteção

Goiânia, 22 de julho de 2011.

Prezados,

Segue anexo 2 (dois) exemplares do Memorial de Blindagem referente ao projeto arquitetônico do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Uberlândia, para fundamentar o projeto de blindagem da instalação física e exigência dos órgãos fiscalizadores competentes.

Informamos que qualquer mudança no projeto arquitetônico da instalação deve ser