

Verificação da blindagem construída para um acelerador do tipo Cíclotron

Verification of the shielding built for a Cyclotron accelerator

Heber S. Videira¹, Bruno M. Pássaro², Julia A. Gonzalez², Maria Inês C. C. Guimarães² e Carlos A. Buchpiguel²

¹CYCLOPET Radiofármacos LTDA – Curitiba (PR), Brasil.

²Centro de Medicina Nuclear (CMN) do InRad HCFMUSP – São Paulo (SP), Brasil.

Resumo

De acordo com a resolução da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) 112/2011, devem ser aplicados controles administrativos durante a construção de uma instalação radiativa e elaborados documentos que comprovem que ela tem condição suficiente de operar sem risco radiológico, referindo-se, inclusive, à eficiência da blindagem. Este trabalho teve como objetivo realizar a análise da construção e da eficiência do bunker construído para a blindagem do Cíclotron do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Isto foi possível pelas medidas realizadas em um levantamento radiométrico em condições normais de operação, além de por testes relacionados à resistência à compressão e à densidade. Com os resultados, observou-se que o valor da resistência à compressão do concreto utilizado está acima do esperado e que o valor de densidade média está dentro dos limites de tolerância. Os resultados do levantamento radiométrico mostraram que os níveis de radiação ionizante estão bem abaixo dos limites estabelecidos.

Palavras-chave: proteção radiológica, medicina nuclear, cíclotrons, blindagem contra radiação.

Abstract

According to the National Nuclear Energy Commission (CNEN) resolution 112/2011, administrative controls must be applied during the construction of a cyclotron and documents must be created showing that the facility can operate without radiological risks, referring even to the shielding efficiency. This study aimed to perform the analysis of the construction and efficiency of the bunker built for shielding, in the cyclotron of University of São Paulo Medical School Health System. This was possible through the measurements of a radiometric survey in normal working conditions, and testing related to compression resistance and density. The results showed that the compression resistance of the concrete used is higher than the expected value and the average density value obtained is within the tolerated limits. The radiometric survey results showed that the levels of ionizing radiation are well below the established limits.

Keywords: radiation protection, nuclear medicine, cyclotrons, shielding against radiation.

Introdução

De acordo com a norma da resolução da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) 112/2011¹, que trata sobre o licenciamento de instalações radiativas, devem ser aplicados controles administrativos durante a construção de um cíclotron.

Para se obter a autorização de operação devem ser enviados documentos à CNEN comprovando que a instalação tem condição suficiente de operar sem risco radiológico. Entre eles, um se refere à eficiência da blindagem. Este documento pode ser elaborado por meio de dados obtidos nos testes de resistência à compressão e densidade no concreto utilizado para a construção da

blindagem, em conjunto com dados do levantamento radiométrico realizado em condições normais de operação.

Material e Métodos

Neste estudo foram usados os seguintes materiais e equipamentos: moldes de corpos de prova NBR 5738², cilíndricos de 10x20 cm, concha de seção U, balança com tara 20 kg, prensa, balança hidrostática, panela de pressão industrial e estufa, monitor de taxa de exposição Geiger Muller Ludlum modelo 78 C, monitor de nêutrons Ludlum modelo 2341-4.

Autor correspondente: Heber S. Videira – Cyclopet Radiofármacos – Rua Cezinando Dias Paredes, 367 – CEP: 81730-090 – Curitiba (PR), Brasil – E-mail: heber@cyclopet.com.br

Inicialmente foi coletada uma amostra de concreto que seria utilizado na construção da parede do bunker, de acordo com a norma NBR NM 33³. Em seguida, revestiram-se os moldes dos corpos de prova (CP) com óleo mineral segundo a norma NBR 5738. Logo após isso, a amostra de concreto foi homogeneizada para garantir a uniformidade e o concreto colocado dentro dos moldes dos CP utilizando-se a concha de seção U. A cada 2 conchas era feita uma seção de 12 golpes para o adensamento manual da amostra. Este procedimento foi repetido até o completo enchimento do molde do CP.

Após o procedimento descrito, os moldes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida e livre de vibrações. Durante as primeiras 24 horas, os CP foram armazenados em local protegido de intempéries e cobertos com uma fina camada de óleo, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto. Após o processo de cura inicial, os moldes foram levados para o laboratório, onde foram desmoldados, devidamente identificados e armazenados em câmara úmida (23±2°C), na qual permaneceram até o momento do ensaio, 28 dias depois.

Depois desse período, prepararam-se as bases dos CP de acordo com o estabelecido na norma NBR 5738 e os posicionaram na prensa conforme a Figura 1.

Em seguida, aplicou-se a força necessária para que ocorresse a ruptura dos CP. A análise dessa ruptura, bem como o cálculo da resistência à compressão, foram feitos de acordo com a norma NBR 5739⁴.

Para o ensaio de densidade, os CP foram retirados da câmara úmida e, em seguida, colocados na estufa, onde permaneceram por três dias. Após o período, foi realizada a medida da massa dos CP secos. Na sequência, eles foram armazenados submersos em água por três dias. Após serem retirados da submersão, houve a medição das massas dos CP saturados. Eles foram cozidos em uma panela de pressão industrial por um período de seis horas e, após isso, tiveram sua massa medida em uma balança hidrostática.

A densidade foi calculada pela seguinte equação:



Figura 1. Posicionamento do corpo de prova na prensa para o ensaio de compressão simples.

$$D = \frac{\text{massa do CP seco}}{(\text{massa do CP saturado} - \text{massa do CP hidrostático})} \quad (1)$$

Após o período de construção, realizou-se a conferência das medidas internas e externas do bunker e o levantamento radiométrico em condições normais de operação (isto é, 50 µA, 120 minutos e feixe duplo). A Figura 2 apresenta a área monitorada.

Resultados

Na Tabela 1 podemos verificar as características do concreto entregue na construção da instalação.

Já as Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de densidade utilizando as medidas das massas e a Equação 1.

Enquanto a Tabela 5 se refere aos resultados obtidos no levantamento radiométrico.

Discussão e Conclusões

Por meio dos resultados obtidos, concluímos que o valor da resistência do concreto à compressão está acima

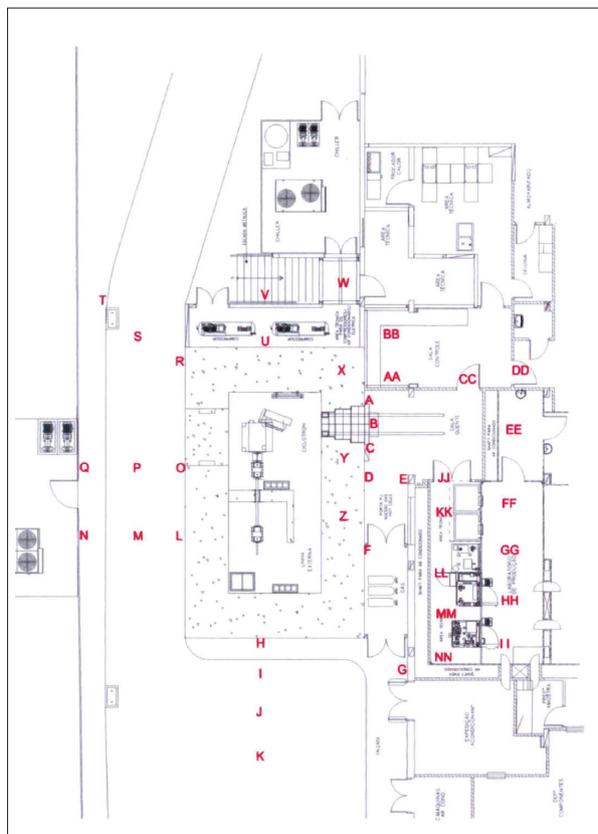


Figura 2. Croqui de monitoração.

Tabela 1. Características do concreto.

Volume	66 m ³
Consistência	8±1 cm
Volume máximo Betonada	8±1 m ³
Início do lançamento	7h40

Tabela 2. Ensaio de resistência à compressão.

Corpo de prova	Idade do corpo de prova (dias)	Diâmetro (cm)	Força (kgf)	Resistência (MPa)
01	28	100,15	26.300	32,76
02	28	100,35	32.680	40,54
03	28	99,80	27.220	34,14
04	28	99,97	23.640	29,55
05	28	99,75	28.500	35,78
06	28	100,85	28.480	34,98
07	28	100,52	29.100	35,97
08	28	100,72	31.140	38,35
09	28	100,90	25.800	31,66
10	28	101,25	25.100	30,59

Tabela 3. Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Resistência média (MPa)	34,43
Desvio-padrão	3,44
Coefficiente de variação do ensaio	0,1
Nível do ensaio	Excelente

Tabela 4. Ensaio de densidade.

Corpo de prova	Massa seca (g)	Massa hidrostática (g)	Massa saturada (g)	Densidade (g/cm ³)
01	3.512	2.134	3.697	2,25
02	3.553	2.152	3.711	2,28
03	3.548	2.162	3.732	2,26
04	3.526	2.153	3.721	2,25
05	3.601	2.190	3.756	2,30
06	3.638	2.213	3.813	2,27
07	3.569	2.157	3.730	2,27
08	3.550	2.157	3.730	2,26
09	3.637	2.227	3.805	2,30
10	3.643	2.231	3.821	2,29
Média				2,27

Tabela 5. Resultados do levantamento radiométrico.

Pontos de monitoramento	Taxa de dose (µSv/h)	
	Gama	Nêutron
A	0	0
B	0	0
C	0	1
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	0	0
H	0	0
I	0	0
J	0	0
L	0	0
M	0	2
N	0	0
O	0	0
P	0	0
Q	0	1
R	0	0
S	0	0
T	0	0
U	0	0
V	1	0
X	0	0
Z	0	0
AA	0	1
BB	0	0
CC	0	0
DD	0	0
EE	0	0
FF	0	0
GG	1	0
HH	1	1
II	1	0
JJ	0	0
LL	0	0
MM	0	0
OO	0	0

do esperado, que era 25 MPa. A densidade média apresentou desvio de 3,5% em relação à aguardada, de 2,35 g/cm³. Todavia, está dentro dos limites de tolerância.

O levantamento radiométrico apresentou que, nas condições normais de operação e para o instrumento utilizado, o equipamento monitorado não apresentou níveis de radiação ionizante acima de 2 µSv/h. Isso mostra que a dose fica bem abaixo dos valores limite estabelecidos.

Referências

1. Brasil. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Resolução n° 112, de 24 de agosto de 2011. Brasília: Diário Oficial da União; 1° de setembro de 2011.
2. ABNT. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT; 2003.
3. ABNT. NBR NM 33: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT; 1998.
4. ABNT. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT; 2007.