

Verificação da eficácia da blindagem de água borada construída para um acelerador cíclotron do tipo autoblindado

Verification of effectiveness of borated water shield for a cyclotron type self-shielded

Heber S. Videira^{1,3}, Bruno M. Pássaro², Guilherme M. Burkhardt¹, Ronielly S. Santos¹, Julia A. Gonzalez², Josefina Santos², Maria I. C. C. Guimarães² e Marcelo K. Lenzi³

¹Cyclopet radiofármacos Ltda. – Curitiba (PR), Brasil.

²Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

³Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná – Curitiba (PR), Brasil.

Resumo

Os avanços tecnológicos na tomografia por emissão de pósitrons (PET) em imagiologia clínica convencional têm levado a um aumento constante do número de cíclotrons em todo o mundo. A maioria desses cíclotrons está sendo utilizada para a produção de ¹⁸F-FDG, seja para uso próprio na instituição, como para distribuição aos demais centros que possuem o PET. Para que haja a segurança radiológica nas instalações, os cíclotrons destinados à medicina podem ser classificados em categoria I e categoria II, ou seja, autoblindado ou não autoblindado (*bunker*). O objetivo do presente trabalho foi verificar a eficácia da blindagem de água borada construída para um acelerador cíclotron do tipo autoblindado PETtrace 860. As misturas da água borada ocorreram de acordo com as especificações do fabricante, bem como, os resultados do levantamento radiométrico no entorno da autoblindagem do cíclotron nas condições estabelecidas pelo fabricante mostraram que os níveis de radiação ficaram abaixo dos limites estabelecidos.

Palavras-chave: cíclotron, blindagem contra radiação.

Abstract

The technological advances in positron emission tomography (PET) in conventional clinic imaging have led to a steady increase in the number of cyclotrons worldwide. Most of these cyclotrons are being used to produce ¹⁸F-FDG, either for themselves as for the distribution to other centers that have PET. For there to be safety in radiological facilities, the cyclotron intended for medical purposes can be classified in category I and category II, ie, self-shielded or non-shielded (*bunker*). Therefore, the aim of this work is to verify the effectiveness of borated water shield built for a cyclotron accelerator-type Self-shielded PETtrace 860. Mixtures of water borated occurred in accordance with the manufacturer's specifications, as well as the results of the radiometric survey in the vicinity of the self-shielding of the cyclotron in the conditions established by the manufacturer showed that radiation levels were below the limits.

Keywords: cyclotron, shielding against radiation.

Introdução

Segundo a literatura, blindagem tem sido definida como “uma entidade física interposta entre a fonte de radiação ionizante e um objeto a ser protegido de tal modo que, o nível de radiação na posição em que se encontra o objeto seja reduzido”¹.

Os cíclotrons podem ser classificados em categoria I e categoria II, ou seja, autoblindado ou não autoblindado

(*bunker*)². Os cíclotrons autoblindados são constituídos por uma blindagem pesada ao redor do cíclotron. Já para os cíclotrons do tipo *bunker*, são necessárias blindagens estruturais adicionais para reduzir os níveis de radiação dentro dos limites de segurança estabelecidos pelos órgãos de regulamentação.

Portanto, é importante que a blindagem seja devidamente projetada e instalada, uma vez que correções ou acréscimos, após as instalações estarem

concluídas, são geralmente caras. Pela mesma razão, o planejamento também deve incluir a consideração de possíveis necessidades futuras em novos equipamentos, tais como para maiores energias de radiação, para o aumento da intensidade do feixe, para diferentes espécies de partículas aceleradas, e para um aumento da carga de trabalho³.

A eficácia das blindagens de cíclotrons é fundamental para o funcionamento com segurança da instalação, uma vez que estes produzem grandes atividades de radioisótopos de vida curta numa base comercial. O projeto de blindagem ideal dos cíclotrons exige um equilíbrio cuidadoso entre os fatores radiológicos, econômicos e muitas vezes sócio-políticos. Nesse contexto, é necessário não só otimizar o custo da proteção radiológica, mas também os custos em detrimento à saúde resultante da exposição de indivíduos e populações às radiações⁴. O custo da proteção radiológica depende explicitamente da natureza do campo de radiação ionizante produzida pelo cíclotron, o seu estado operacional, o custo do material de blindagem, o nível de redução de dose, a receita líquida projetada a partir da venda dos radioisótopos e a taxa de depreciação da instalação⁵.

O objetivo do presente trabalho consiste em verificar a eficácia da blindagem de água borada construída para um acelerador cíclotron do tipo autoblandado PETtrace 860.

Material e Métodos

Os materiais utilizados no estudo da verificação da eficácia da blindagem de água borada construída para o acelerador do tipo cíclotron consistiram em:

- cíclotron GE PETtrace 860 com energia máxima de prótons de 16,5 MeV, corrente máxima de feixe de 75 μ A por feixe e 100 μ A em feixe duplo, com capacidade de produzir 10 Ci de ^{18}F - em 2 horas de irradiação;

- tanques para a mistura dos produtos químicos e aquecimento;
- 21 m³ de água;
- 3500 kg de borato de sódio;
- 3500 kg de ácido bórico;
- materiais de proteção, tais como luvas e máscaras;
- fita de pH 0-14 da Merck;
- monitores de taxa de dose: Geiger - Muller. Marca Nuclear Radiation, Modelo Radalert 100;
- monitor de nêutrons: Ludlum, Modelo 12 - 4.

A autoblandagem do cíclotron PETtrace é composta por oito tanques conforme mostra a Figura 1. Cada tanque foi preenchido com uma mistura de água com 3,5% de boro (descrita posteriormente) e revestidos localizadamente com tijolos e placas de chumbo.

A primeira etapa do procedimento consistiu-se em realizar as 14 misturas que preencheriam os espaços dentro dos tanques do cíclotron, pois cada batelada tem um volume de aproximadamente 2 m³. Cada uma dessas misturas continham 500 kg de produtos químicos (250 kg de borato de sódio + 250 kg de ácido bórico) em água até atingir o volume final de 2 m³ de solução. Para o preparo da mistura, 25 kg de cada um dos dois produtos químicos foram sendo adicionados continuamente em um volume de água aquecido a 50°C e misturados por uma bomba. Ao final do preparo de cada mistura, medi-se o indicativo do pH da solução para verificar se o mesmo encontrava-se com o pH neutro.

A Figura 2A mostra os tanques misturadores, enquanto a Figura 2B mostra os indicadores dos níveis de pH.

A segunda etapa do procedimento consistiu-se em preencher cada um dos tanques. Nos tanques 1, 7 e 8 foram instalados chapas de chumbo, enquanto nos tanques 3, 4 e 5 foram instalados os tijolos de chumbo. Depois de instalados as chapas e os tijolos de chumbo, cada tanque foi preenchido com a mistura de água com 3,5% de

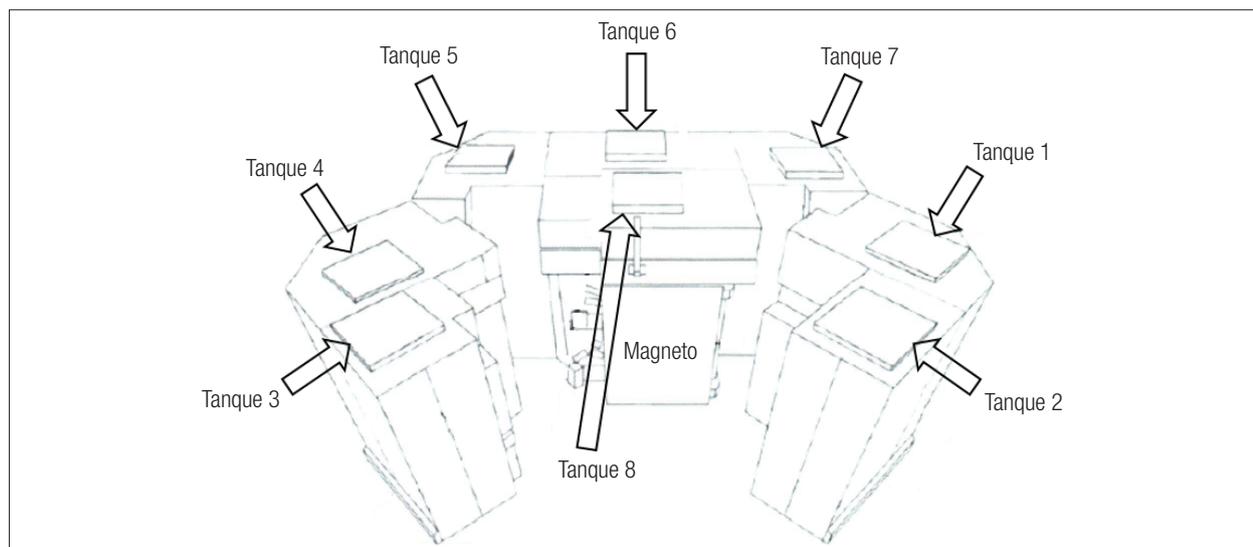


Figura 1. Representação do cíclotron e das posições dos tanques da autoblandagem.

boro até 50% do seu volume através de uma bomba de drenagem e verificou-se se havia algum vazamento nos tanques. Em seguida, preencheu-se cada tanque até 90% do seu volume e por fim até os 100% de seu volume.



Figura 2. (A) Tanques misturadores; (B) Indicadores dos níveis de pH.

A terceira etapa do procedimento consistiu-se em determinar a dose acumulada nos testes de comissionamento do ciclotron com dosímetros termoluminescentes (TLD). Os posicionamentos dos dosímetros de área estão descritos na Figura 3, para uma melhor visualização de cada posicionamento, juntamente com a Tabela 1.

A quarta etapa do procedimento da verificação da blindagem foi o levantamento radiométrico na condição de irradiação de $40 \mu\text{A}$ de prótons em um alvo de H_2O^{18} de 98% de pureza com um detector de nêutrons e gama em diferentes pontos como mostra a Figura 4.

Tabela 1. Posição dos dosímetros de área no período de comissionamento.

Local	Dosímetro gama	Dosímetro de nêutron
Junção Tanque 2 e 3	D613008	D613018
Junção Tanque 4 e 5	D613009	D613011
Tanque 6	D613010	D613008
Junção Tanque 7 e 1	D613011	D613009
Labirinto	D613012	D613015
Oficina	D613013	D613016
Junção Tanque 7 e 1 (cima)	D613014	D613010
Junção Tanque 6 e 8 (cima)	D613015	D613014
Junção Tanque 8, 5 e 6 (cima)	D613016	D613017
Junção Tanque 8 e 4 (cima)	D613017	D613006
Tanque 4	D613018	D613013
Sala de comando	D613019	D613012

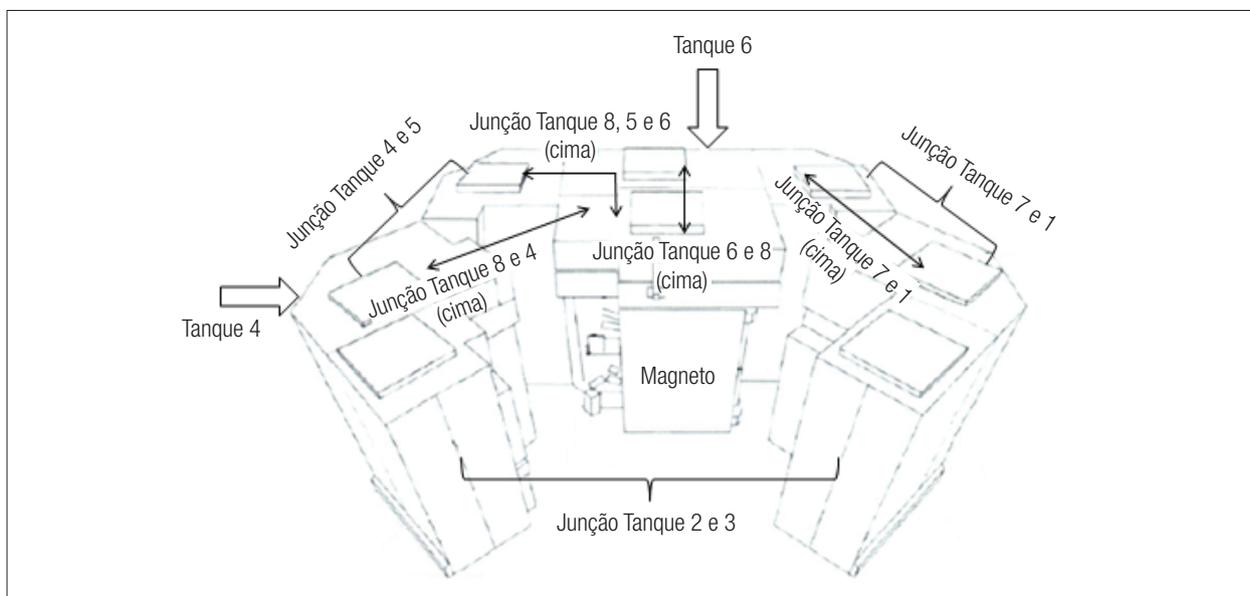


Figura 3. Posicionamento de cada dosímetro de área no período de comissionamento.

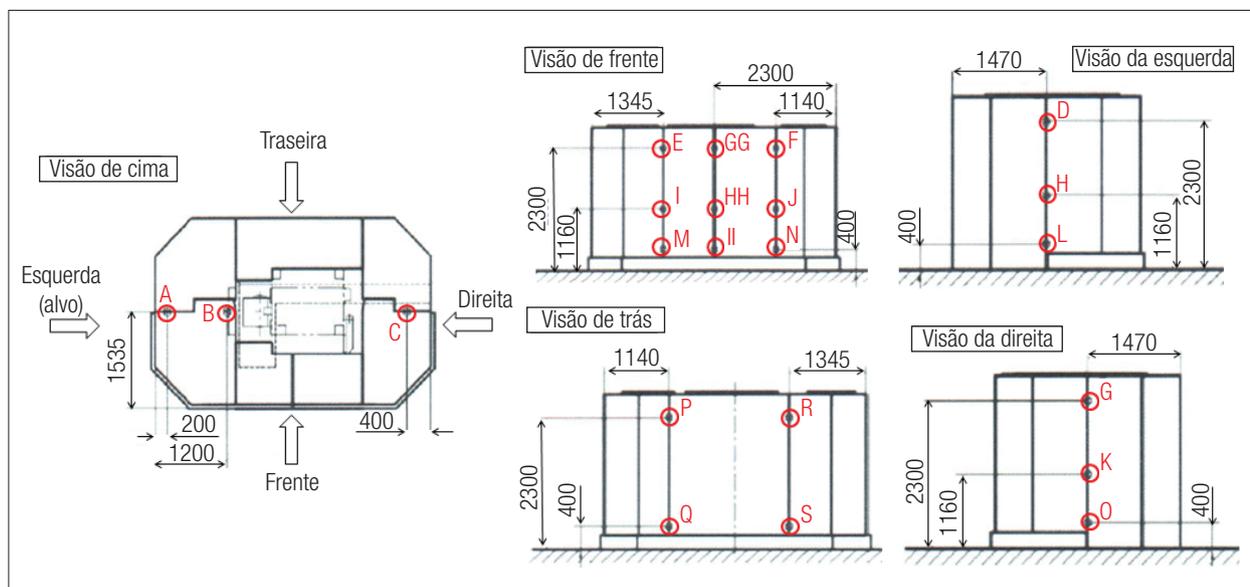


Figura 4. Levantamento radiométrico.

Tabela 2. Corrente nominal de prótons de 40 µA no alvo de H₂O¹⁸ na posição 1.

Pontos	Taxa de dose (µSv/h)					
	Limite Gama		Limite Nêutron		Limite fabricante 1 metro	
	22	20	0	5	5	0
A	22	20	0	5	5	0
B	157	170	0	20	20	0
C	7	25	0	01	2	0
D	6	12	10	1	2	0
E	10	15	10	0	2	0
F	17	20	17	0	2	0
G	6	6	6	0	1	0
H	22	25	23	4	6	2
I	18	40	18	0	3	0
J	15	30	15	0	2	0
K	6	12	7	0	1	0
L	52	50	22	4	10	4
M	136	150	50	3	10	1
N	26	30	22	0	2	0
O	5	20	7	0	3	0
P	8	30	10	0	2	0
Q	30	30	20	0	2	0
R	4	12	8	0	1	0
S	50	50	30	0	12	0
GG	20	25	20	0	3	0
HH	39	80	40	0	3	0
II	130	140	50	2	10	0

O nível de radiação de fundo do local foi determinado para gama e nêutrons como sendo respectivamente 1 µSv/h em ambos os casos. A corrente nominal para a realização desse teste foi de 40 µA no alvo de H₂O¹⁸ na posição 1 e 4 do cíclotron.

A quinta etapa do procedimento foi o levantamento radiométrico ao redor da instalação, devido ao fenômeno *sky shine*, com os monitores de gama e nêutron, na condição de irradiação simultânea de dois alvos de H₂O¹⁸ de 98% de pureza com 50 µA de prótons em cada um dos alvos por um período de 2 horas.

Análises e Resultados

As Tabelas 2 e 3 mostram os valores obtidos pelo levantamento radiométrico referente à quarta etapa do procedimento da verificação da blindagem.

A Tabela 4 fornece os valores obtidos no levantamento radiométrico ao redor da instalação enquanto a Figura 5 mostra a posição na instalação onde os valores foram diferentes de zero. As demais localidades da instalação não aparecem na tabela são graças a suas taxas de dose (µSv/h) serem nulas.

Conclusões

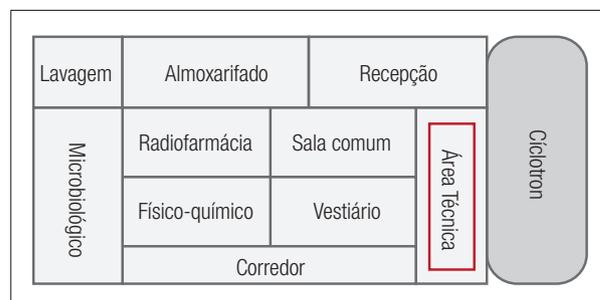
A dose máxima acumulada determinada pelos dosímetros de TLD referente a terceira etapa do procedimento foi de 0,3 mSv no período de 1 mês de comissionamento. Os resultados do levantamento radiométrico no entorno da autoblindagem do cíclotron nas condições de irradiação do alvo de H₂O¹⁸ com 40 µA para a produção de ¹⁸F utilizando somente o alvo 1, mostraram que os níveis de

Tabela 3. Corrente nominal de prótons de 40 μA no alvo de H_2O^{18} na posição 4.

Pontos	Taxa de dose ($\mu\text{Sv/h}$)					
	Gama	Limite fabricante		Limite fabricante		1 metro
		gama	1 metro	Nêutron	nêutron	
A	33	20	20	10	5	10
B	124	170	64	40	20	40
C	7	25	3	0	2	0
D	12	12	8	0	2	0
E	10	15	8	0	2	0
F	29	20	20	0	2	0
G	6	6	5	0	1	0
H	20	25	10	5	6	0
I	19	40	22	0	3	0
J	20	30	20	0	2	0
K	12	12	7	0	1	0
L	23	50	12	3	10	0
M	60	150	25	1	10	0
N	20	30	20	0	2	0
O	10	20	6	0	3	0
P	21	30	18	0	2	0
Q	9	30	7	0	2	0
R	8	12	12	0	1	0
S	9	50	5	0	12	0
GG	45	25	26	0	3	0
HH	74	80	37	0	3	0
II	79	140	46	0	10	0

Tabela 4. Localidades da instalação onde o levantamento radiométrico apresentou valores de taxa de dose diferentes de zero para gama e nêutrons.

Pontos de monitoração	Taxa de dose ($\mu\text{Sv/h}$)	
	Gama	Nêutron
D	1	0
E	1	0
O	0	1

**Figura 5.** Destaque do local do levantamento radiométrico na condição máxima de irradiação.

radiação ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelo fabricante, com exceção dos pontos A e L para radiação gama. Essa exceção está dentro da incerteza de medição considerada de 10%. Quando utilizado somente o alvo 4 para a produção de ^{18}F -, os níveis de radiação apresentaram valores abaixo dos limites, com a exceção dos pontos A, F e GG para radiação gama e dos pontos A e B para nêutrons. Essa exceção é causada devido ao posicionamento do alvo no acelerador. No entanto, levando em consideração o fator de ocupação nulo nos pontos A e B que estão no teto da blindagem, podemos considerar satisfatória a mesma.

No levantamento radiométrico no entorno do *bunker* e na saída do labirinto realizado na condição de irradiação máxima, ou seja, irradiação simultânea de dois alvos de H_2O^{18} com pureza de 98% com 50 μA em cada alvo por duas horas, não apresentaram valores acima do *background*.

Referências

1. Chilton AB, Shultis JK, Faw RE. Principles of Radiation Shielding. New Jersey: Prentice-Hall; 1984.
2. International Atomic Energy Agency. Safety Series N° 107. Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities. Vienna: IAEA; 1992.
3. National Council On Radiation Protection And Measurements Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP, Report N° 144. 2005.
4. International Commission On Radiological Protection. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. ICRP Publication 37. 1983.
5. Mukherjee B. Optimisation of the Radiation Shielding of Medical Cyclotrons using a Genetic Algorithm. Australia: Australian Nuclear Science and Technology; 2010.