

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CALORIMÉTRICO PARA DOSIMETRIA DE GASES, EM FLUXO CONTÍNUO, IRRADIADOS COM FEIXE DE ELÉTRONS

CAMPOS, C.A.; PÉREZ, H.E.B.; VIEIRA, J.M.; POLI, D.C.R.;
SOMESSARI, S.L.; BRUZINGA, W.; ALBANO, G.D.C.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Travessa R, 400 CEP: 05508-900 São Paulo, SP - Brasil

RESUMO

Foi desenvolvido um sistema calorimétrico "on line" para ser utilizado na dosimetria do tratamento de gases tóxicos irradiados com feixe de elétrons. Este sistema consiste em cinco termistores interligados a um sistema eletrônico de amplificação e conversão e por um microcomputador para a aquisição, cálculo da dose instantânea absorvida pelo gás e apresentação na tela de todos os parâmetros do sistema. A calibração dos termistores e os resultados obtidos são descritos neste trabalho.

INTRODUÇÃO

A dosimetria das radiações é utilizada na determinação da dose absorvida resultante das interações da radiação ionizante com o meio.

Nos processos industriais, que utilizam a radiação ionizante, pesquisas tem sido feitas no desenvolvimento de sistemas dosimétricos.

Um desses processos industriais é o tratamento de gases utilizando aceleradores de elétrons, que vem se mostrando uma das técnicas promissoras de despoluição ambiental, onde a dosimetria será usada para quantificar os efeitos da radiação no processo.

Tendo em vista a construção de uma planta piloto para o tratamento de gases por feixe de elétrons, no IPEN, se faz necessário o desenvolvimento de um sistema dosimétrico que possa ser utilizado para determinar a dose de radiação absorvida pelo gás durante a irradiação.

Vários sistemas já foram testados para serem utilizados na dosimetria do tratamento de gases irradiados com feixe de elétrons, porém só alguns apresentaram condições satisfatórias para serem utilizados na prática [1,2].

Os sistemas dosimétricos mais utilizados estão listados na tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos sistemas dosimétricos para irradiação de gases por feixe de elétrons.

SISTEMA	INTERVALO DE DOSE [kGy]	PRECISÃO [%]
Calorimetria	10^{-2} a 10^4	2 a 10
Ionometria	10^{-2} a 10^4	2 a 5
Sistemas gasosos (O ₂ - NO ₂)	10 a 10^8	8 a 11
Filmes dosimétricos (PVC, CTA, PMMA)	10^{-2} a 10^8	3 a 2

A calorimetria foi escolhida neste trabalho, como um dos métodos dosimétricos para determinação da dose em fluxo contínuo de gás por apresentar um princípio de operação simples, baseado na medida do calor resultante da dissipação de energia dos elétrons no gás [3]. A equação básica é dada por [4]:

$$D = \frac{E}{m} = c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde D [Gy] é a dose absorvida pelo gás e é definida como a energia absorvida E [J] em uma dada massa m [kg], e é igual ao produto da capacidade térmica do gás c [J/K] pela variação de temperatura ΔT [K].

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de dosimetria de gases irradiados "on line".

Foram utilizados cinco termistores, como sensores de temperatura, acoplados a um sistema eletrônico para amplificar os sinais provenientes dos termistores e desenvolvido um "software" específico para utilização de um microcomputador nas tarefas de aquisição e processamento dos sinais, cálculo da dose absorvida instantânea, dose absorvida integrada e a visualização dos parâmetros medidos e os resultados na tela.

MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Acelerador de elétrons do IPEN:

O acelerador de elétrons utilizado foi o do tipo Dynamitron II, fabricado pela Radiation Dynamics Inc. e seus parâmetros de operação estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de operação do acelerador de elétrons do IPEN/CNEN - SP

PARÂMETROS	Máx. e Mín.
Energia (MeV)	0,5 - 1,5
Corrente (mA)	0,3 - 15
Potência (kW)	22,5
Varredura do feixe (cm)	60 - 112
Largura do feixe (cm)	2,5

As condições de irradiação utilizadas para a irradiação do gás foram as energias de operação mínima e máxima.

Para a energia mínima (0,5 MeV) a corrente do feixe de elétrons utilizada foi 2,5 mA e 5,0 mA. Para uma energia máxima (1,5 MeV) foi de 15 mA.

O comprimento de varredura do feixe utilizado foi de 100 cm e tomou-se como base uma largura do feixe de 7.0 cm. Este valor foi obtido experimentalmente por meio da utilização de filmes radiocrômicos sob as mesmas condições de irradiação do gás. Após a irradiação dos filmes foi determinada a largura efetiva do feixe de elétrons.

Calibração dos sensores de temperatura :

Os termistores foram escolhidos como sensores de temperatura por apresentarem maior sensibilidade do que os termopares.

A calibração dos termistores foi realizada através da medida da variação da resistência de cada um dos cinco termistores, variando-se a temperatura entre 10°C e 50°C.

Os termistores juntamente com um termômetro padrão Ni-100 foram submersos em um banho de silicone. Os termistores foram acoplados a um conversor de resistência/voltagem de nove canais, possibilitando, assim, a calibração de até nove termistores simultaneamente. O termômetro Ni-100 foi acoplado a um eletrômetro Keithley mod 619 para a medição de resistência, e interligado ao microcomputador.

A Figura 1 mostra o arranjo experimental utilizado na calibração, e a Figura 2 a curva de calibração de um dos termistores utilizados.

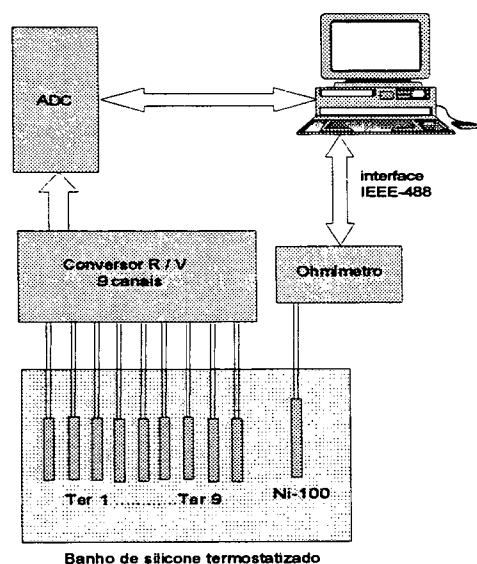


Figura 1 : Calibração dos termistores.

Como resultado da calibração foi obtida para cada termistor a equação 2 que relaciona a resistência elétrica do termistor com a temperatura.

$$1/T_{cal} = [A + B \ln R + C \ln(R)^2 + D \ln(R)^3 + E \ln(R)^4] \quad (2)$$

Onde: T_{cal} é a temperatura calculada [K]

R é a resistência [Ohm]

A, B, C, D, E são os coeficientes determinados a partir da regressão grau 4 dos dados obtidos na calibração dos termistores, usando como temperatura de referência a do termômetro de resistência Ni-100.

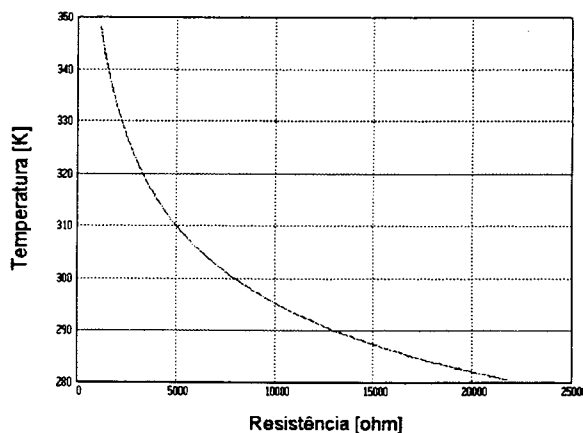


Figura 2 : Curva de calibração do termistor n 1.

Determinação da dose absorvida por calorimetria:

Para avaliar a fração de energia absorvida no gás, nas condições experimentais, foi utilizado o programa EDMULT [5] que calcula a deposição de energia em função da natureza do gás, da energia dos elétrons e da profundidade.

A figura 3 mostra a curva obtida pelo programa EDMULT para a energia de 0,5 MeV.

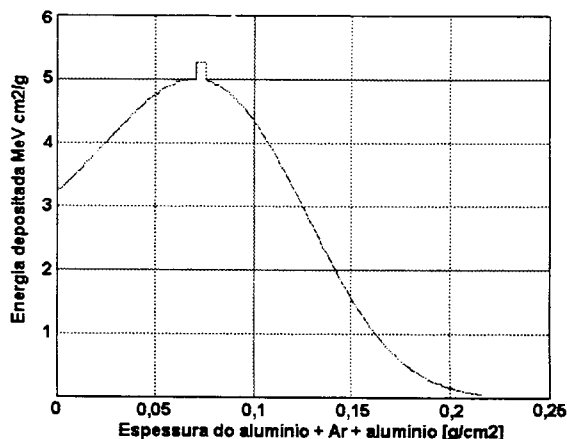


Figura 3 : Distribuição da dose absorvida calculada pelo programa EDMULT.

A partir desta curva foi calculada a porcentagem de aproveitamento da energia total disponível resultando em 5,236%, considerando-se três camadas (janela de alumínio, gás, parede inferior do sistema de irradiação de gás).

Da mesma forma foi calculada a porcentagem de aproveitamento da energia total disponível para elétrons com energia de 1,5 MeV, resultando em 0.845%.

O sistema calorimétrico desenvolvido permite a aquisição de dados dos termistores em tempo real, e o cálculo da dose instantânea absorvida pelo gás. Da mesma forma, mostra o valor da temperatura nos locais de medição e também por meio de gráfico de barras, facilitando assim a visualização da temperatura no gás antes, durante e após a irradiação, como mostrado na Figura 4.

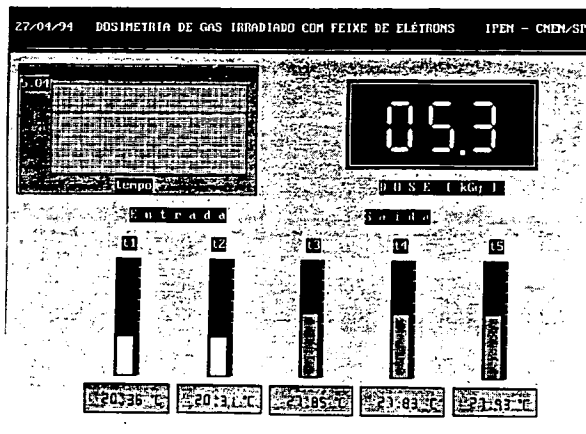


Figura 4 : Tela principal do programa para determinação "on line" da dose absorvida no gás.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar o funcionamento do sistema dosimétrico desenvolvido, foi utilizado ar comprimido com uma vazão de 16 NL/min medido por um rotâmetro calibrado.

A dose absorvida no gás é determinada pelo sistema calorimétrico através da seguinte equação:

$$D(\text{kGy}) = 1.05 (\text{KGy}/\text{C}) \times \Delta T(^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

Onde D (kGy) é a dose absorvida pelo gás que é dada pelo produto entre a capacidade térmica do gás, neste caso ar comprimido (1.05 KGy/C), e o $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ que é a variação média da temperatura do gás entre a entrada e a saída da câmara de irradiação.

Comparou-se os resultados obtidos com o calorímetro com outros métodos. O primeiro foi com a dose teórica, calculada a partir dos parâmetros de operação do acelerador de elétrons do IPEN, ou seja, a partir da energia, corrente, da varredura do feixe de elétrons e das condições experimentais, tais como a vazão do gás, e as frações de energia absorvida fornecida pelo programa EDMULT.

O segundo método dosimétrico para a comparação dos resultados obtidos, foi a utilização de filmes dosimétricos de triacetato de celulose (CTA), nas mesmas condições de irradiação do gás.

Os resultados das doses absorvidas pelo ar comprimido, por calorimetria, pela dose teórica calculada para as condições utilizadas do acelerador de elétrons e pela dosimetria com CTA estão listados na tabela 3.

Tabela 3: Comparação das doses absorvidas determinadas por diferentes métodos na irradiação de gás (ar comprimido) no acelerador de elétrons.

Eac (MeV)	Iac (mA)	% Apr	Dteo (kGy)	Dcal (kGy)	Dcta (kGy)
0.5	2.5	5.2	14.9	11.2	13.4
0.5	5.0	5.2	29.6	23.2	26.4
1.5	15.0	0.8	42.9	39.2	41.8

Onde: Eac: energia fornecida pelo acelerador,
 iac: corrente fornecida pelo acelerador,
 % Apr.: Porcentagem de aproveitamento (EDMULT),
 Dteo: dose teórica calculada com parâmetros do acelerador,
 Dcal: dose determinada pelo método calorimétrico,
 Dcta: dose absorvida pelo filme de triacetato de celulose.

CONCLUSÕES

O uso do sistema calorimétrico "on line" para ser utilizado no tratamento de gases tóxicos mostrou-se satisfatório quando comparado com o filme dosimétrico de triacetato de celulose.

Quando é comparado com a dose teórica tem-se uma diferença de aproximadamente 9 %. Isto já era esperado devido, principalmente, à perda de energia do feixe de elétrons no caminho percorrido (janela, camada de ar, janela de alumínio do sistema e o gás) até o sistema de irradiação de gases, conforme pode-se observar na figura 3, onde a maior parte da energia é depositada na janela de entrada e no fundo de alumínio do sistema de irradiação.

Quanto aos termistores, estes apresentaram boa sensibilidade e estabilidade sob irradiação para serem utilizados como sensores de temperatura no sistema dosimétrico desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- [1] PANTA, P.P. Gas phase dosimetry connected with radiation processing of industrial flue gas. *Rad. Phys. Chem.*, 40(4): 327-30, 1992.
- [2] CHIMIELEWSKI, A.G.; ZIMEK, Z.; PANTA, P.P. Electron beam system and dose distribution in the process vessel in a pilot plant for flue gas treatment. Warsaw, Poland, Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 1991. (INCT-2117/Ich TJ).
- [3] LAUGLIN, J.S. & GENNA, S. Calorimetric methods. In: HINE, G.J. & BROWNELL, G. L. eds. *Radiation dosimetry*. New York, N.Y., Academic, 1956. p.411- 52.
- [4] LIMIN, Z. et alii. A new graphite calorimeter for calibrating thin film and alanine dosimeters in electron beams. *Rad. Phys. Chem.*, 42(4-6): 765-88, 1993.
- [5] KOBETICH, E.J. & KATZ, R. Energy deposition by electron beam and gamma-rays. *Phys. Rev.*, 170 (I): 391-6, 1968.
- [6] POLI, D.C.R.; VIEIRA, J.M.; CAMPOS, C.A. Tratamento de gases tóxicos, SO₂ e NO_x, por irradiação com feixe de elétrons. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Jan. 1993. (Publicação IPEN 381)

ABSTRACT

An on-line calorimetric system was developed to be used in the dosimetry of the fuel gas treatment by electron beam irradiation. This system is composed by a set of five thermistors, to measure the gas temperature before and after irradiation and one electronic system to measure electrical resistance from thermistors, an analog digital converter, a PC-computer and related software to acquire and process the temperature inputs and to calculate and display the gas absorbed dose. The calibration of the temperature sensors and the obtained dose data are showed in this paper.