

# CARACTERIZAÇÃO DE DOSE EM CAMPO MISTO DE RADIAÇÃO UTILIZANDO DOSÍMETROS TERMOLUMINESCENTES NA INSTALAÇÃO PARA ESTUDOS EM BNCT

Daniela B. Benites<sup>1</sup>, Rafael O. R. Muniz<sup>2</sup> e Paulo R. P. Coelho<sup>3</sup>

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP

<sup>1</sup> [dbenites@ipen.br](mailto:dbenites@ipen.br), <sup>2</sup> [romuniz@ipen.br](mailto:romuniz@ipen.br), <sup>3</sup> [prcoelho@ipen.br](mailto:prcoelho@ipen.br)

## RESUMO

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para a caracterização de dose absorvida devido a radiação gama (em campo misto de nêutrons e gama), na instalação para estudos em BNCT, utilizando dosímetros termoluminescentes. São fornecidas informações a respeito da obtenção dos parâmetros da leitora TL, modelo Victoreen 2800M, utilizada para a realização das leituras dos TLDs, bem como são apresentados os resultados da construção das curvas de calibração para os TLDs 400 e TLDs 700. A partir destas curvas de calibração foi determinada a dose absorvida devido à radiação gama na posição de irradiação de amostras na instalação para estudos em BNCT.

## 1. INTRODUÇÃO

Terapia por Captura de Nêutrons em Boro (BNCT) trata-se de uma técnica que consiste, resumidamente, em injetar no local onde há células cancerígenas um composto especial contendo boro que é preferencialmente absorvido pelas células degeneradas. A irradiação com nêutrons térmicos no local do tumor induz reações dos nêutrons com o boro produzindo partículas alfa e íons de <sup>7</sup>Li, liberando 2,33 MeV (energia cinética das partículas e íons); essas partículas são de curto alcance (dimensões das células degeneradas) e destroem seletivamente as células cancerígenas.

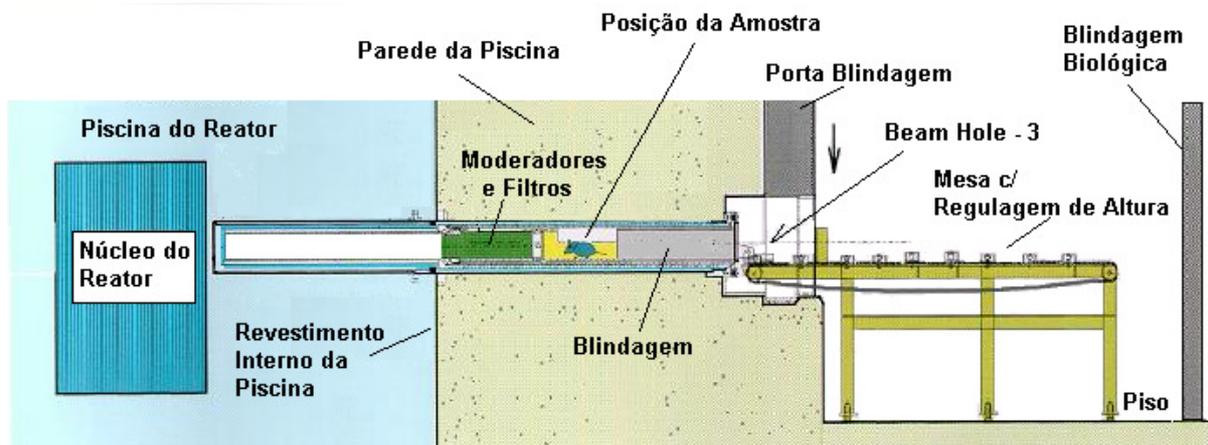
A pesquisa na área de BNCT para tumores cancerígenos de difícil tratamento por técnicas convencionais (cirurgia, quimioterapia ou radioterapia) tem apresentado grande ímpeto nos últimos anos devido aos resultados promissores obtidos. Já somam mais de 700 [1] pacientes submetidos a essa terapia em todo o mundo. Esse panorama internacional motivou a construção de uma instalação junto ao reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP, para a realização de pesquisas nesse campo. A construção desta instalação tem como objetivo realizar pesquisas nas áreas de BNCT, Física das Radiações e Radiobiologia; tais como: a) desenvolver estudos com conjuntos de moderadores e filtros para adequar o campo de radiação (nêutrons e gamas), na posição de irradiação de amostras, à aplicação da técnica de BNCT visando otimizar a eficiência desta técnica; b) caracterizar campos mistos de radiação (nêutrons e gamas), c) estudos de níveis de dose utilizando “phantoms” e estudos biológicos “in vitro” e “in vivo”.

Alguns dos instrumentos utilizados para a caracterização de campos de radiação são os dosímetros termoluminescentes; para utilizá-los de maneira precisa são necessários estudos

sobre o comportamento desses dosímetros e, conseqüentemente, a construção das curvas de calibração para converter a resposta dos TLDs em dose absorvida. Este projeto tem como objetivo a determinação de doses devido a nêutrons e gamas em campo misto dessas radiações na instalação de BNCT em diversas posições utilizando dosímetros termoluminescentes, TLD-400, TLD-600 e TLD-700. Neste trabalho são mostrados os resultados da determinação de dose absorvida devido a radiação gama; a determinação de dose devido a nêutrons ainda está em andamento e por isso não é apresentada

## 2. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Foi construída uma instalação experimental junto ao reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP [2], apresentada de forma esquemática na Figura 1.



**Figura 1. Instalação para pesquisa em BNCT no reator IEA-R1**

A instalação experimental consiste na utilização do tubo de irradiação radial número 3 (BH#3 - "beam hole" número 3) do reator IEA-R1 onde, no interior do mesmo, são posicionados materiais moderadores e filtros necessários para adequação do espectro de energia de nêutrons na posição de irradiação de amostras no BH#3 do reator IEA-R1. No interior do tubo também são posicionadas blindagens para nêutrons e raios gama. Externamente a esse tubo foi construída uma blindagem biológica para isolar o arranjo em relação ao salão de experimentos do reator. O tubo do BH#3 tem 20,3 cm de diâmetro interno e a posição de irradiação de amostras se encontra em seu interior. O local para posicionamento das amostras é uma região cilíndrica com 12,8cm de diâmetro e 30 cm de altura.

A obtenção de feixes de nêutrons térmicos ou epitérmicos se dá pela alteração da composição e espessura dos materiais componentes dos filtros e moderadores, posicionados no interior do BH#3.

Visto que normalmente as amostras são irradiadas por um período de tempo menor do que o de operação do reator e, para não interferir na utilização do mesmo por outros usuários, a

blindagem radiológica externa ao BH#3 foi projetada para suportar o alto campo de radiação (nêutrons e gamas) que existe no seu interior nestes casos, quando for necessária a remoção de amostras com o reator em operação.

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Materiais

As medidas experimentais foram feitas utilizando os seguintes dosímetros termoluminescentes:

- TLD 400 (Fluoreto de cálcio  $\text{CaF}_2$ : Mn), para determinar a dose absorvida devido à radiação gama, o qual, segundo o fabricante, pode ser utilizado até 100Gy.

- TLD 700 (Fluoreto de lítio  $^7\text{Li}$ : Mg,Ti) de concentração isotópica 0,007% de  $^6\text{Li}$  e 99,993%  $^7\text{Li}$ , o TLD 700; segundo o fabricante, tem resposta linear para doses devido à radiação gama até 10Gy[3].

As respostas termoluminescentes das pastilhas utilizadas foram obtidas através da leitora TL, modelo Victoreen 2800 M. Esta leitora possui em seu interior uma fonte de carbono-14 capaz de emitir fótons de 156,5 KeV e meia vida de 5730 anos. A quantidade de luz emitida por esta fonte é constante ao longo das leituras dos TLDs, ou seja, serve como uma referência para a verificação das condições de funcionamento da leitora, sendo denominada luz de referência.

Vale salientar que trabalhos onde estão sendo utilizados TLDs 600 (Fluoreto de lítio  $^6\text{LiF}$ : Mg,Ti), com concentração isotópica de 95,62% de  $^6\text{Li}$  e 4,38%  $^7\text{Li}$ , já estão em andamento, no entanto sua curva de calibração ainda está em andamento uma vez que estão sendo feitos estudos para determinar a fonte a ser utilizada. O TLD 600 é aplicado na medida de dose absorvida devido a nêutrons térmicos, com resposta linear até 10Gy, este TLD também possui resposta para dose absorvida devido à radiação gama, assim como o TLD 700. Portanto, para se trabalhar com este tipo de TLD é necessário a utilização em pares dos TLDs 600 e 700 [4], motivo pelo qual é preciso que se conheça o comportamento destes dois TLDs no campo misto de radiação que se deseja trabalhar.

#### 3.2 Métodos

Para a determinação dos parâmetros da leitora, que são usados atualmente para a leitura dos TLDs, foi realizada uma série de estudos. Para tanto, foram feitos diversos testes com a leitora, onde se observou o comportamento dos valores de sinal - leitura para luz de referência; ruído eletrônico - leitura para luz de referência, porém a prancheta colocada na posição de leituras de TLD, cujo objetivo foi verificar o ruído eletrônico da fotomultiplicadora e eletrônica associada; leituras em branco - leitura com aquecimento da prancheta, para verificar o ruído gerado pelo aquecimento da prancheta - e, sobretudo, as relações sinal ruído (S/R) e sinal branco (S/B).

Nestes testes foram utilizadas tensões que variaram em um intervalo compreendido entre 450V e 1200V, ao passo de 50V de acréscimo.

Terminada a fase de testes com a leitora foram construídas as curvas de calibração para o TLD 400 e o TLD 700. Estas curvas foram construídas utilizando-se pastilhas previamente

selecionadas e a fonte panorâmica de cobalto-60 do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN/CNEN [5].

Na construção da curva de calibração do TLD 400 as pastilhas receberam doses que variaram de 5 até 80Gy, pois previasse que este tipo de dosímetro apresentasse resposta linear até 100Gy, segundo o fabricante.

No entanto, para os TLDs 700, estudou-se a dose de resposta até 50Gy, utilizando-se doses que variaram entre 5 e 50Gy. Tal procedimento foi adotado para o TLD 700, tendo em vista que já houve irradiações realizadas na instalação para estudos em BNCT em que as doses máximas obtidas foram superiores a 10Gy. Deseja-se, através deste procedimento, obter informações a respeito do comportamento deste dosímetro para doses superiores a região linear indicada pelo fabricante (até 10Gy) e verificar se tal dosímetro poderia ser ajustado por uma função polinomial até a dose de 50Gy.

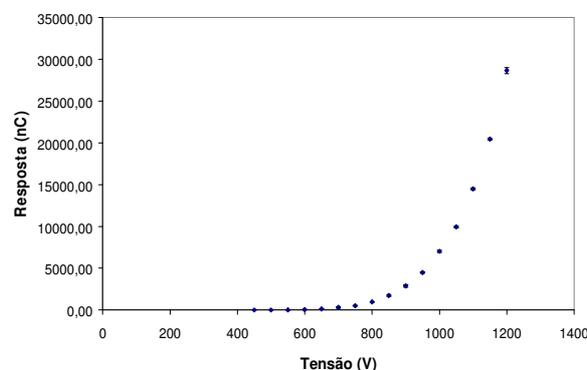
A partir das curvas de calibração, foi determinada a dose devido à radiação gama, na posição de irradiação de amostra, na instalação para estudos em BNCT [6].

## 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DE RESULTADOS

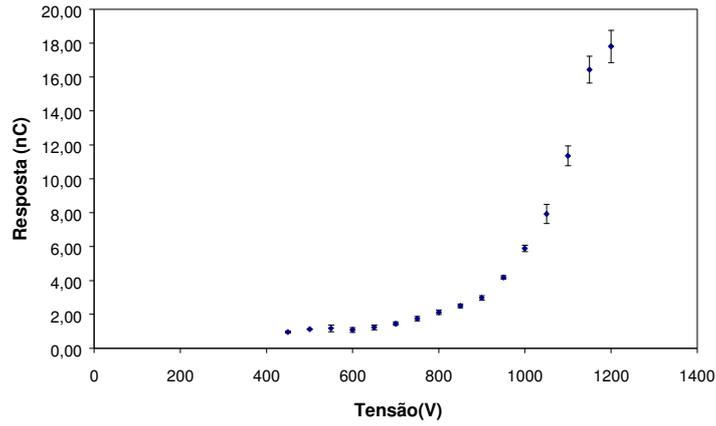
### 4.1 Parâmetros da Leitora

Através dos testes realizados com a leitora foi possível determinar as faixas de tensão que são utilizadas para a leitura dos TLDs. Foram selecionadas duas faixas de tensão, uma para altas doses (500 a 650V) e outra para doses baixas (1000 a 1100V). Para estimativas de doses no interior da instalação são utilizadas faixas de tensões baixas, uma vez que as doses envolvidas são altas, em contrapartida para avaliação de dose do lado de fora da instalação (estudos de blindagem, por exemplo) são utilizadas altas tensões, visto que as doses obtidas são mais baixas.

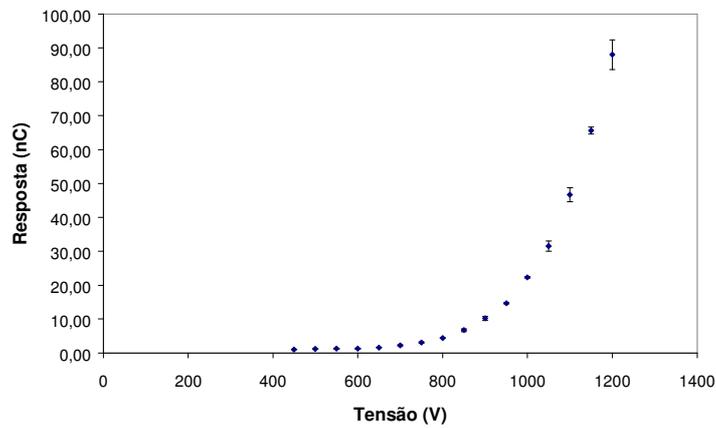
Os gráficos abaixo elucidam a escolha das faixas de tensão.



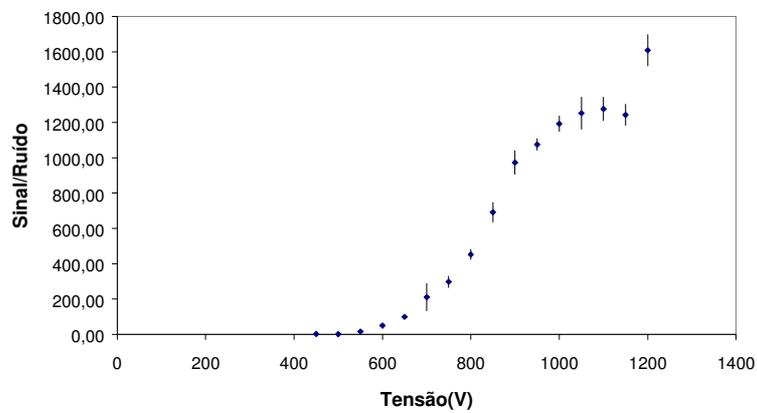
**Figura 2. Resposta da leitora para medidas de luz de referência em função da variação da tensão**



**Figura 3. Comportamento do ruído da eletrônica da leitora de acordo com a variação da tensão**

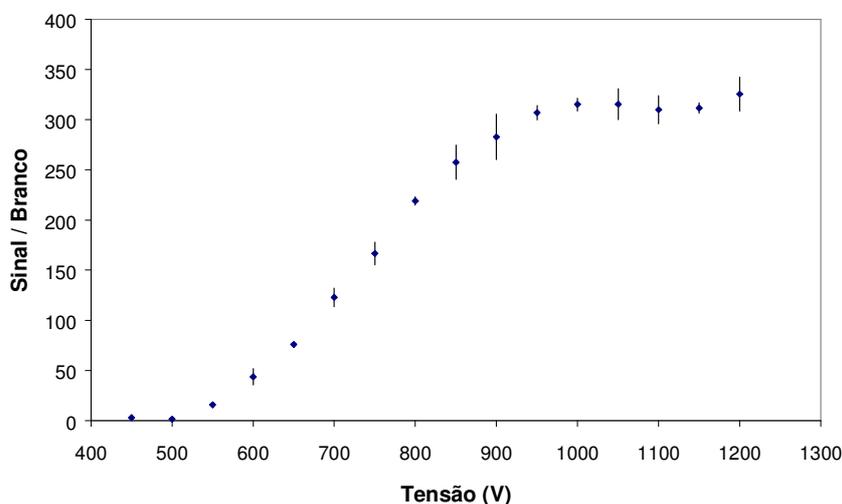


**Figura 4. Resposta da leitora para leituras com aquecimento da prancheta (branco) para diversas tensões.**



**Figura 5. Relação Sinal Ruído (S/R), mostrando quantas vezes o sinal (luz de referência) é maior que o ruído para as tensões estudadas.**

As informações contidas na Figura 5 são de suma importância, uma vez que o ruído não pode ser maior que o sinal, tendo em vista que caso isso acontecesse a leitura dos dosímetros seria comprometida.



**Figura 6. Relação sinal branco (S/B), onde se pode notar o quanto os valores obtidos com a resposta para o sinal são maiores que os valores obtidos para leituras em branco, tendo em vista as diversas tensões analisadas.**

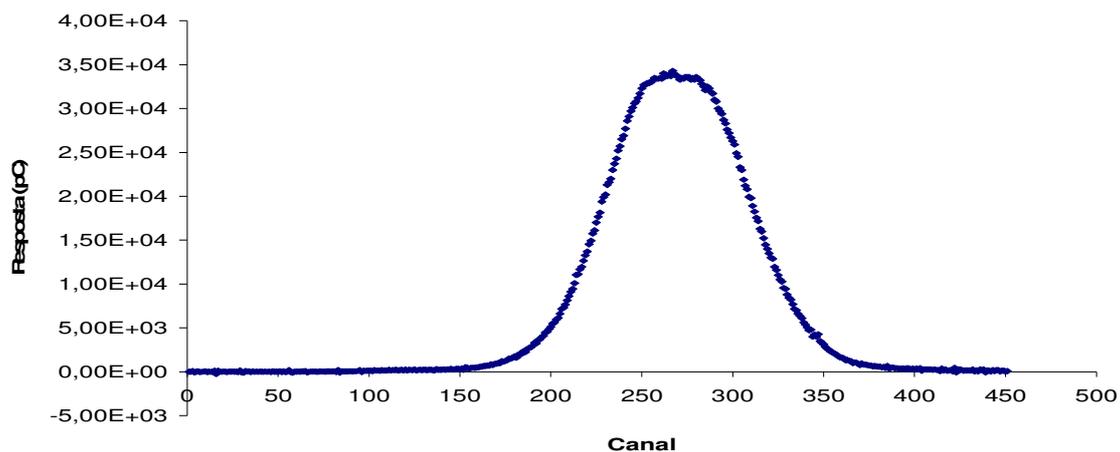
Através da Figura 6 nota-se duas regiões, uma entre 500 e 650V e outra entre 1000 e 1200V, sendo estas as mais indicadas para se fazer as leituras, pois pequenas variações na tensão, praticamente, não alteram a razão sinal branco (S/B).

Baseado nas Figuras 5 e 6, acima apresentadas, foram escolhidas as faixas de tensão, uma vez que dentro dos intervalos selecionados (500 a 650V) e (1000 a 1200V) encontramos respostas com menor dispersão e, principalmente, com menor variação entre as respostas obtidas para pequenas variações de tensão aplicadas à fotomultiplicadora.

A partir do levantamento destes gráficos e da seleção das faixas de tensão que são utilizadas, TLDs previamente selecionados [2] foram irradiados na instalação para estudos em BNCT. Através destas irradiações verificou-se que a tensão ideal para a leitura de TLDs irradiados com altas doses (ordem 0,5Gy) é a de 500V.

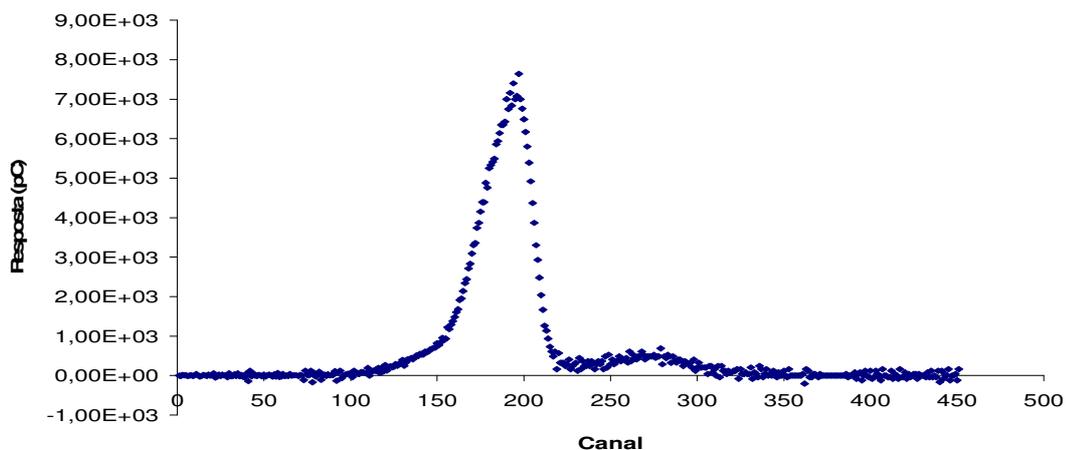
As Figuras 7 e 8 representam as curvas TL obtidas através da leitura de TLDs utilizando a tensão selecionada (500V). Estas curvas mostram as respostas termoluminescentes (pC) obtidas em função do aumento da temperatura.

A Figura 7 apresenta a curva TL para o TLD 400.



**Figura 7. Curva TL para o TLD 400**

A Figura 8 apresenta o gráfico TL obtido pela leitura de um TLD 700.

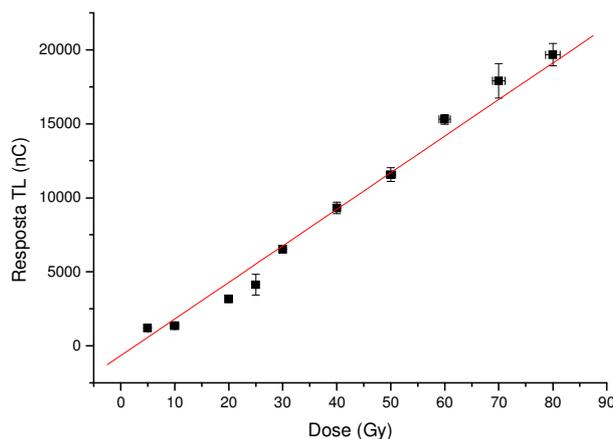


**Figura 8. Curva TL para o TLD 700**

Utilizando a tensão de 500V foram construídas as curvas de calibração para os TLDs 400 e TLDs 700.

#### **4.2 Curva de Calibração**

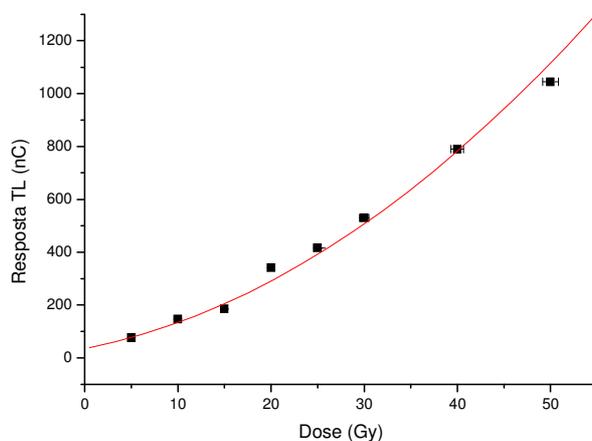
Com a metodologia descrita na seção 3.2 obteve-se a curva de calibração para o TLD 400 (Figura 9).



**Figura 9 Curva de calibração para o TLD 400**

Por meio da construção desta curva de calibração pode-se ver o comportamento linear apresentado pelo TLD 400 até a dose de 80Gy.

A seguir, é apresentado o gráfico da curva de calibração para o TLD 700 (Figura 10).



**Figura 10. Curva de calibração para o TLD 700**

Nota-se pelo gráfico que o TLD 700 que foi possível obter um ajuste polinomial para este tipo de TLD até dose de 50Gy, fato que confirma a possibilidade de utilização destas pastilhas para medidas no interior da instalação para estudos em BNCT.

Foram feitas leituras de TLDs 400 colocados na posição de irradiação de amostras. A partir destas leituras e utilizando a curva de calibração construída foi determinada a taxa de dose de  $(21 \pm 1)$ Gy/h devido à radiação gama nesta posição.

## 5. CONCLUSÕES

Através da determinação dos parâmetros da leitora foi possível construir as curvas de calibração para os TLDs 400 e 700. A construção destas curvas mostrou que estes TLDs são adequados para realização de medidas de dose no interior da instalação para estudos em BNCT. Permitiu ainda que fosse determinada a dose absorvida devido à radiação gama na posição de irradiação de amostra. A taxa de dose obtida foi  $(21\pm 1)$ Gy/h.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pelo apoio financeiro e a Petrobrás pelo suporte a pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. K. J Riley, 13<sup>th</sup> International Congress on Neutron Capture Therapy: “A New Option Against Cancer”, *Comunicação Pessoal*, Florença, Itália (2008).
2. P. R. P Coelho, A. C Hernandez, P. T. D Siqueira, Neutron Flux Calculation in a BNCT Research Facility Implemented in IEA-R1 Reactor; 10th International Congress on Neutron Capture Therapy, Essen, Germany (2002).
3. Thermo Scientific, Harshaw TLD Material data sheet [http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF\\_25878.pdf](http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_25878.pdf)
4. A. Triolo, M. Brai, M. Marrale, G. Gennaro, A Bartolotta. *Study of the Glow Curves of TLD Exposed to Thermal Neutrons*. Radiation Protection Dosimetry Advanced Access, Published online on May 13, 2007.
5. V. Carneiro Junior, *Caracterização do campo de nêutrons na instalação para estudo em BNCT no Reator IEA-R1*, 90f, Dissertação (Mestrado em ciências na área de Tecnologia Nuclear-Reatores), Universidade de São Paulo-USP, São Paulo (2008).
6. R.O.R Muniz, P.R.P Coelho, G.S.A Silva, *Experimental Results Analysis And Simulation To Evaluate Flux And Dose At The Irradiation Sample Position Of The BNCT Research Facility*. International Nuclear Atlantic Conference, IX ENAN, Rio de Janeiro, Brasil, September 2009.