

# ESTUDO DE UM DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE DE QUALIDADE PARA DOSÍMETROS CLÍNICOS DE RADIOTERAPIA

Willian B. Damatto<sup>1,2</sup>, Maria P. A. Potiens<sup>1</sup>, Gelson P. Santos<sup>1</sup> e Vitor Vivolo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
[wbdamatto@ipen.br](mailto:wbdamatto@ipen.br)  
[mppalbu@ipen.br](mailto:mppalbu@ipen.br)  
[gpsantos@ipen.br](mailto:gpsantos@ipen.br)  
[vivolo@ipen.br](mailto:vivolo@ipen.br)

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas – PUC - SP  
Rua Marquês de Paranaguá, 111  
01303-050 São Paulo, SP  
[wbdamatto@ipen.br](mailto:wbdamatto@ipen.br)

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados parciais de uma iniciação científica cujo tema é de aprimoramento do sistema de qualidade do laboratório de calibração (LCI-IPEN) de dosímetros clínicos em feixes de radiação gama <sup>60</sup>Co aos protocolos da International Atomic Energy Agency (IAEA), sendo este o novo protocolo denominado: Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy (Technical Reports Series N°469), sendo este uma atualização do protocolo Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy (Technical Reports Series N°398). Assim, neste artigo será apresentado o estudo realizado sobre os dosímetros clínicos compostos por eletrômetro, cabos, conectores triaxiais e câmara de ionização tipo dedal de volume 0,60 cm<sup>3</sup>. A importância da realização de um controle de qualidade para qualquer dosímetro clínico está associada à função atribuída a estes sistemas, nos hospitais e clínicas, sendo ela de determinar a dose absorvida na água na profundidade de referência. Foi realizado um estudo da norma IEC-60731 (1997) Medical Electrical Equipment Dosimeters with Ionization Chambers as Used in Radiotherapy, e nos protocolos citados acima, inclusive no sistema da qualidade do LCI-IPEN, para desenvolvimento de um procedimento de controle de qualidade para os dosímetros clínicos para ser realizado periodicamente nestes equipamentos e assim proporcionando maior confiabilidade nas medidas empregadas por estes equipamentos.

## 1. INTRODUÇÃO

Um controle de qualidade de processo adequado permite a realização de ensaios com maior segurança e confiabilidade de resultados. Portanto, o sistema de qualidade do laboratório é essencial para se obter maior agilidade no desempenho das atividades e nas rotinas do LCI, aliando um alto grau de segurança aos dados finais obtidos em cada ensaio que será repassado aos clientes do IPEN. É necessária a constante atualização deste sistema para que seja transferido um alto grau de segurança aos usuários dos dosímetros clínicos. O protocolo da International Atomic Energy Agency (IAEA) – “Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy, (2009)” (Technical Reports Series No. 469), descreve que: “Rastreabilidade, precisão e consistência das medições de radiação são essenciais na dosimetria da radiação, especialmente em radioterapia, onde a resultado do tratamento é

altamente dependente da dose de radiação recebida pelos pacientes.” Assim a qualidade e/ou quantidade da dose de radiação administrada ao paciente no tratamento de radioterapia está relacionada ao controle de qualidade dado ao dosímetro clínico empregado no sistema, que está diretamente relacionado aos testes adicionais realizados pelo usuário e ainda a realização da calibração do conjunto clínico (que deve ser periódica). Logo, um sistema de controle de qualidade atualizado, é tão importante quanto à calibração para obtenção de uma dose de radiação precisa e consistente que será entregue ao paciente durante um tratamento em radioterapia.

## **2. RESUMO DOS ESTUDOS DAS BIBLIOGRAFIAS RELACIONADAS**

Em 1976, a IAEA e WHO reforçou a implementação do SI na dosimetria da radiação através da criação de uma rede de SSDLs para garantir a rastreabilidade das medições, especialmente para países que não são membros da Convenção do Metro. Em janeiro de 2008, a rede foi composta por 76 laboratórios SSDL's, com 06 organizações nacionais e 64 Estados Membros da IAEA [17]. A rede SSDL também inclui 20 membros filiados, por exemplo, o BIPM, PSDLs diversos, a Comissão Internacional sobre Unidades e Medidas de Radiação (ICRU), a Organização Internacional de Física Médica (IOMP) e diversas outras organizações internacionais [1].

Com a finalidade de garantir uma dosimetria com uma incerteza de  $\pm 3\%$  em radioterapia, a IAEA publicou, em 1987, o protocolo TRS n° 277 [3] e em 2000 a IAEA publicou a segunda edição, foi lançado o protocolo TRS n° 398 [2]. O TRS n° 398 trouxe uma mudança conceitual bastante grande em relação ao formalismo, que passou a ser baseado no fator de calibração em termos de dose absorvida na água e não mais em termos de kerma no ar. Com a publicação do TRS n° 398 os Laboratórios de Dosimetria Padrão Secundários (SSDL) passaram a calibrar as câmaras de ionização dos usuários em termos de dose absorvida na água. Assim a IAEA lançou o protocolo TRS n° 469 [1] que não é um código de prática, ou seja, ele não especifica procedimentos únicos para a calibração de dosímetros. Em vez disso, ele reconhece que os serviços oferecidos pelos PSDLs estão evoluindo constantemente para acompanhar os avanços em radioterapia e as novas tecnologias dos equipamentos, e que existe uma grande variedade de usuários, de pequenas a grandes organizações, com diferentes níveis de exigências. Como consequência, cada SSDL deve adaptar o seu trabalho para proporcionar os melhores resultados sob diferentes circunstâncias. No TRS n° 469 vários procedimentos de calibração são descritos, suas vantagens e desvantagens são discutidas e os critérios são apresentados para ajudar um SSDL decidir qual o procedimento mais adequado para atender a um requisito específico.

No Brasil existem órgãos que vigenciam através de normas e fiscalizações os serviços prestados na radioterapia. Estes órgãos são: CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), Colégio Brasileiro de Radiologia e a ANVISA que determinam isto através das normas “NE-3.06-Março/1990 - 4.5.4 e 4.5.5”, “SS 625 – 8.2.1-8.2.1.8”, “RDC n°. 20, de 2006, - 5.3.7.”; respectivamente. A norma CNEN-NE-3.06 - 4.5.5 estabelece que os instrumentos de medidas utilizados nos tratamentos de radioterapia devem ser calibrados periodicamente, com intervalos máximos de 2 anos nas faixas de energias em que são utilizados por instituições autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e ainda devem implementar programas de controle de qualidade para ser aplicado aos dosímetros

clínicos [8]. A norma RDC nº20 – 5.3.7 estabelece o que compete ao físico médico em radioterapia, sendo uma dessas competências “g) supervisionar o funcionamento dos equipamentos utilizados...” [9]. A norma Resolução SS-625 – 8.2.1.8 estabelece: “O serviço de radioterapia deverá possuir monitores de área e dosímetro clínico devidamente calibrado para medição da radiação ionizante” [10]. Existem também recomendações internacionais, como da norma IEC-60731, que orienta sobre a utilização dos testes empregados na calibração dos dosímetros clínicos e na implementação de programas de controle de qualidade aplicáveis aos dosímetros clínicos, por exemplo: o teste de fuga de corrente, podendo inclusive se obter pela norma, os valores de desvios percentuais admissíveis para estes testes [11].

A Comissão Internacional de Unidades e Medidas da Radiação (ICRU) conclui que, é necessária uma exatidão ou nível de confiança no tratamento com radioterapia de 95% e, que o erro percentual total, ou seja, o erro total que representa a soma dos erros de todos os processos envolvidos no tratamento deve ficar entre  $\pm 5,0\%$ . Pois abaixo de 5,0% levando-se em conta as probabilidades, o tratamento pode não atingir efetivamente todas as células cancerígenas, e acima de 5,0% o tratamento com radioterapia poderia atingir células não cancerígenas, prejudicando assim os órgãos e tecidos saudáveis.

## 2.1. Aplicação do Fator de Calibração

Ao ser calibrado o dosímetro clínico é determinado o novo coeficiente de calibração, sendo este o  $N_{d,w}$  [2] que é dado em mGy/nC e a incerteza associada a este fator será de aproximadamente  $\pm 1,5\%$ . Portanto com o novo valor de  $N_{d,w}$  obtido pode-se determinar a dose absorvida na água, para posterior comparação com a dose absorvida no corpo do paciente, dessa forma, sendo ainda realizado o controle de qualidade do tratamento de radioterapia. A dose absorvida na água é dada por:

$$D_{w,Q} = M \cdot f_{(t,p)} \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (1)$$

Onde:

M: Leitura no instrumento em unidades de escala.

$f_{(t,p)}$ : Fator de normalização das condições ambientais para a temperatura de 20°C e a pressão de 101,3 kPa.

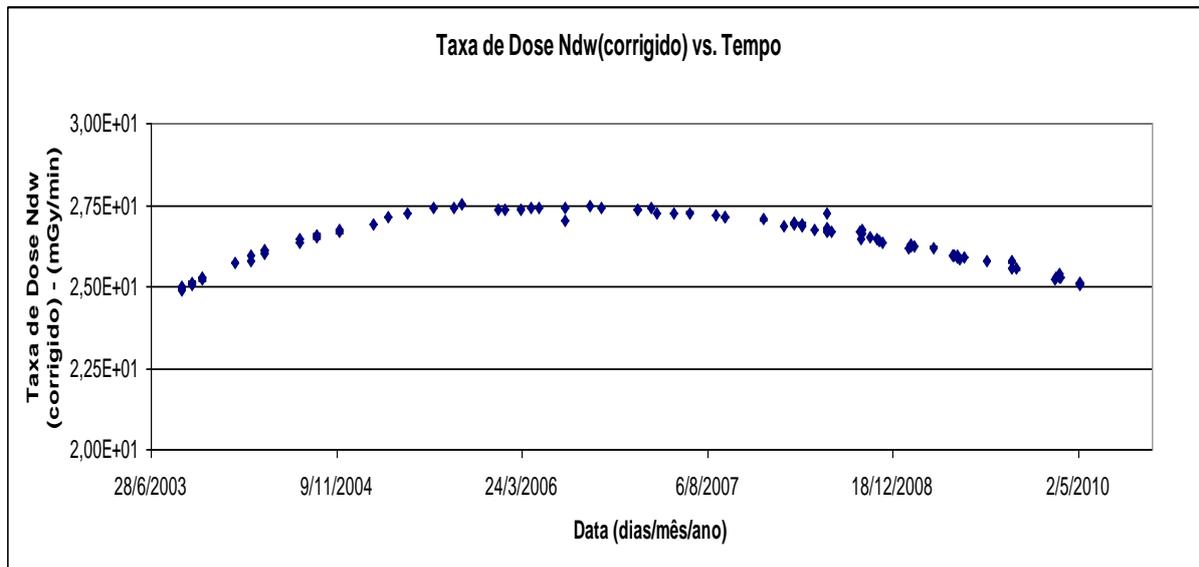
$N_{D,w,Q_0}$ : Coeficiente de calibração em termos de dose na água em um feixe de Cobalto-60 [2].

$k_{Q,Q_0}$ : Fator de correção para a diferença entre a qualidade de referência  $Q_0$  e a qualidade do usuário Q.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

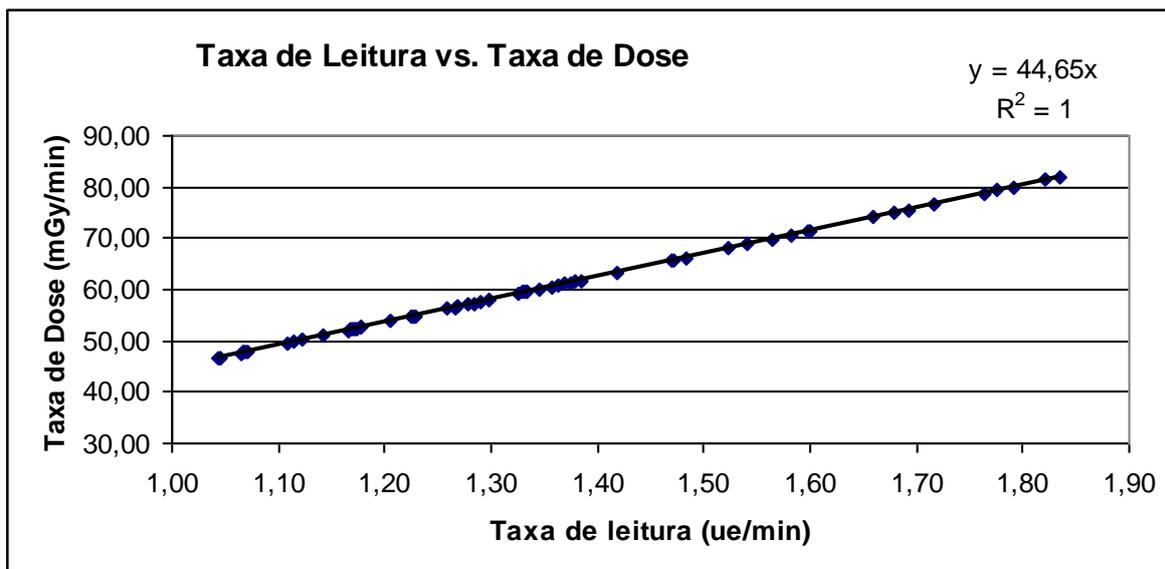
Foram realizados testes adicionais de repetibilidade e reprodutibilidade do conjunto clínico padrão do LCI durante o período de maio de 2009 a junho de 2010, porém o teste de repetibilidade já é realizado para a determinação do fator de calibração para os dosímetros clínicos a serem calibrados, assim foi possível analisar os dados desde o período de junho de 2003, quando se deu início à calibração de dosímetros clínicos com este equipamento de referência, até o período de junho de 2010. O teste de repetibilidade foi realizado periodicamente, os resultados obtidos neste teste podem ser vistos na figura 1. Foram

realizados cerca de 6 testes por mês, onde foi analisada a estabilidade deste equipamento. As figuras 2 e 3 mostram o comportamento da taxa de dose pela taxa de leitura. Na figura 4 é possível analisar o comportamento do decaimento da fonte de radiação de  $^{60}\text{Co}$ .



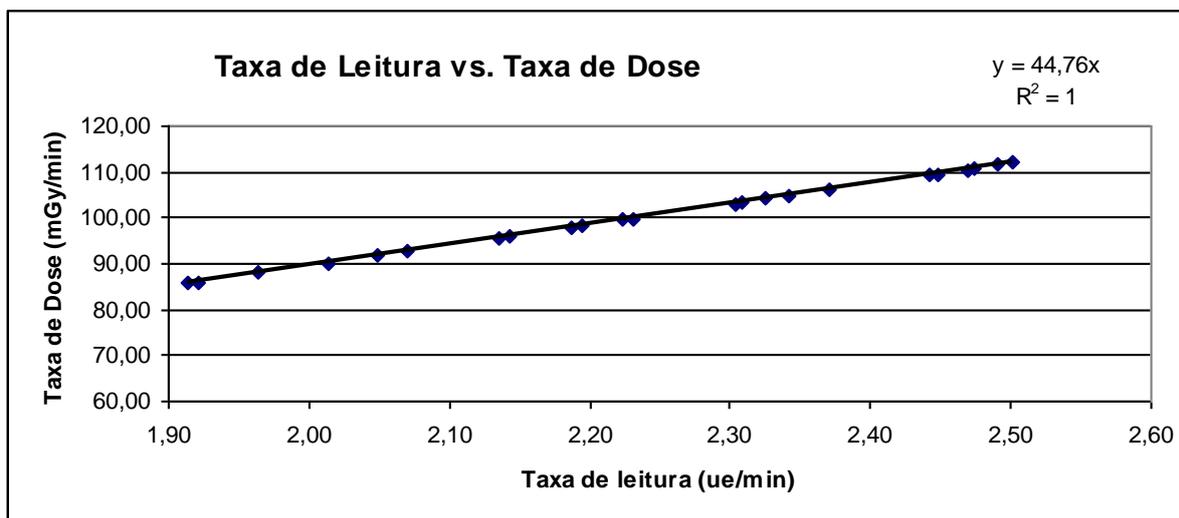
**Figura 1. Gráfico da taxa de dose pelo tempo. Demonstra o comportamento do dosímetro clínico ao longo do tempo.**

Os dados fornecidos pela Figura 1 mostram a variação percentual do valor da taxa de dose medido com o dosímetro clínico padrão do LCI (2080) no irradiador de Teleterapia Siemens - Modelo Gamatron -  $^{60}\text{Co}$ . Assim pode-se notar a estabilidade deste equipamento graficamente e a reprodutibilidade deste ao longo do tempo. Foi utilizado o fator de decaimento nas taxas de doses fornecidas, para se corrigir a taxa de dose. É possível observar uma flutuação na taxa de dose medida com o conjunto clínico padrão do LCI, porém esta variação demonstra o comportamento característico de um dosímetro clínico em perfeito estado operacional, pois sua variação está dentro do valor médio de variação admissível de  $\pm 1\%$  [8]. O valor médio da taxa de dose foi de  $26,4 \pm 1,4$  (mGy/min), ou seja, para uma variação ou intervalo de 27,8 a 25,0.



**Figura 2. Gráfico da taxa de dose pela taxa de leitura.**

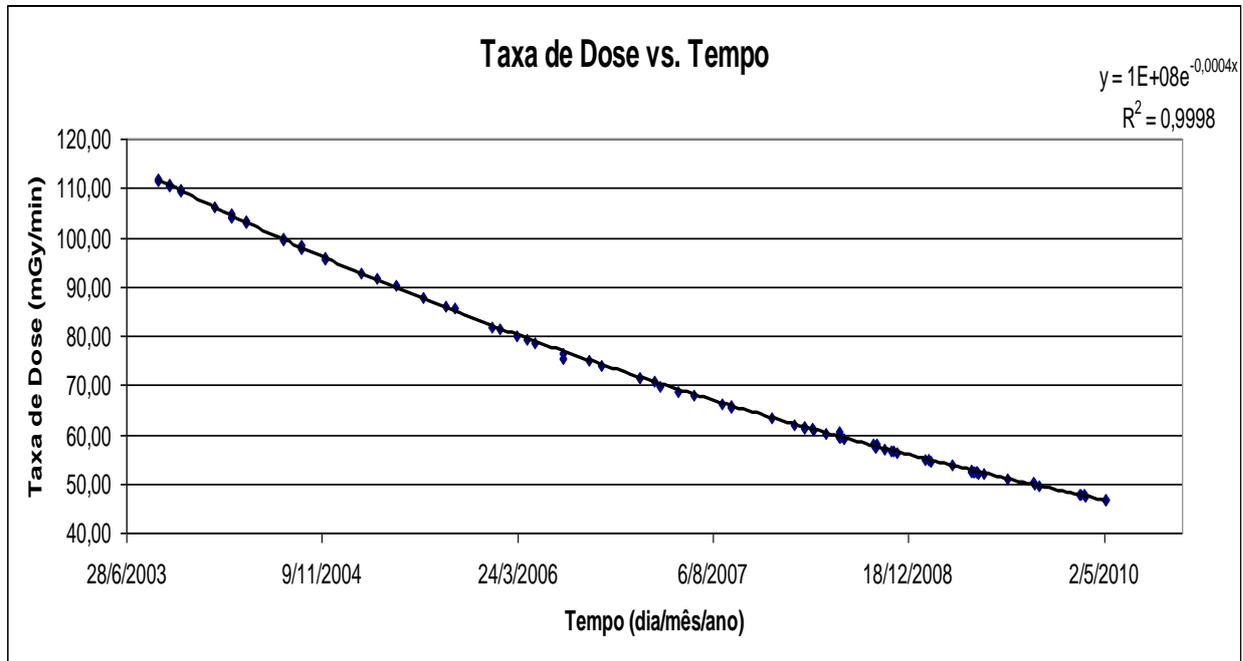
A Figura 2 mostra o comportamento da taxa de leitura com a taxa de dose. É possível obter o fator de calibração ( $N_{dw}$ ) por meio do coeficiente angular da reta, sendo o fator de decaimento obtido por meio da taxa de dose pela taxa de leitura. Assim obteve-se o valor de 44,65 da inclinação da reta, e o valor fornecido pelo laboratório (IRD), que realizou a calibração do dosímetro clínico padrão do IPEN, foi de 44,65. Logo não ocorrendo variação para o fator de calibração com o passar do tempo, e demonstrando a reprodutibilidade deste equipamento com o passar do tempo. (depois da calibração de 29/11/2005).



**Figura 3. Gráfico da taxa de dose pela taxa de leitura.**

A Figura 3 mostra o comportamento da taxa de leitura pela taxa de dose. É possível observar o fator de calibração ( $N_{dw}$ ) por meio do coeficiente angular da reta, pois o fator de decaimento é obtido por meio da taxa de dose pela taxa de leitura. Assim obteve-se o valor de

44,76 da inclinação da reta, e o valor fornecido pelo laboratório (IRD), que realizou a calibração do dosímetro clínico padrão do IPEN, foi de 44,76. Logo não ocorrendo variação para o fator de calibração com o passar do tempo, e demonstrando a reprodutibilidade deste equipamento com o passar do tempo (valores obtidos antes da calibração de 29/11/2005).



**Figura 4. Gráfico taxa de dose pelo tempo.**

A Figura 4 mostra o gráfico da taxa de dose pelo tempo. Verifica-se um comportamento exponencial da curva obtida por causa do decaimento radioativo do elemento ( $^{60}\text{Co}$ ). Pelo fato da fonte radioativa possuir meia vida de aproximadamente 5,27 anos não foi possível neste período de tempo observar mais de 2 meias vidas.

Portanto a partir dos gráficos apresentados acima se pode perceber que ao realizar um acompanhamento minucioso do conjunto clínico haverá dados suficientes para análise do comportamento do equipamento. Por seguinte se os operadores realizarem tais testes em suas rotinas pode constatar a presença de possíveis defeitos. Com isto pode-se atribuir uma segurança maior ao tratamento com radioterapia, pois o equipamento de medição, dosímetro clínico, está mais confiável. Os testes descritos pela IAEA e IEC permitem este tipo de acompanhamento e a possível confirmação prévia de defeito. Desse modo cumprindo uma das atribuições do especialista em radioterapia: “Elaborar um programa de controle de garantia de qualidade para os dosímetros clínicos. Executar a calibração dos padrões terciários periodicamente”[18].

### 3. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados conclui-se que a calibração periódica de um dosímetro clínico é essencial para a obtenção dos níveis necessários de confiabilidade e qualidade no tratamento de radioterapia, pois este teste certifica se o operador está tomando os devidos cuidados com o dosímetro clínico e o equipamento se encontra em plenas condições operacionais e por seguinte garante o controle de qualidade do tratamento com radioterapia.

Levando-se em conta a importância do dosímetro clínico no tratamento com radioterapia e por conseguinte a importância, de não só realizar a calibração deste, mas também da realização de um acompanhamento minucioso do todo conjunto clínico, ou seja, da câmara de ionização, dos cabos de conexão, dos conectores existentes no conjunto e do eletrômetro.

Portanto o procedimento de pré-calibração dos dosímetros clínicos descrita pela IEC-60731 pode ser utilizado pelos operadores do equipamento em hospitais, clínicas, institutos de pesquisa, para controle da qualidade do instrumento de medição, e desse modo as medições irão possuir confiabilidade. Todavia a calibração é também essencial para a otimização de erros no tratamento de radioterapia, fazendo com que a realização de testes adicionais à rotina do equipamento funcione como um complemento para a calibração periódica. Todos os procedimentos descritos trazem confiabilidade à dosimetria clínica e ao acondicionamento dos irradiadores, pois garantem ao instrumento de medição um perfeito estado de uso e logo suas medições terão confiabilidade e alta qualidade metrológica.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, Projeto: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) Metrologia das Radiações na Medicina) pelo o apoio financeiro parcial.

### **REFERÊNCIAS**

1. International Atomic Energy Agency (2009). Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy. IAEA, Vienna, (Technical Reports Series No. 469)
2. International Atomic Energy Agency, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, IAEA, Technical Report Series No. 398, Vienna, 2000.
3. International Atomic Energy Agency, Calibration of dosimeters used in radiotherapy, IAEA, Technical Reports Series No. 374, Vienna, 1994.
4. International Atomic Energy Agency, Absorbed dose determination in photon and electron beams, IAEA, An International code of practice: Technical Reports Series No. 277, Vienna, 1987.
5. IAEA, TECDOC 1585, Measurement Uncertainty A Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories IAEA, Vienna, 2008.
6. IAEA, TECDOC 1151, Aspectos Físicos de La Garantía de Calidad en Radioterapia Protocolo de Control de Calidad IAEA, Vienna, 2000.
7. VIVOLO, V.; COSTA, A. M.; MANZOLI, J. E.; CALDAS, L. V. E. Determinação de parâmetros dos campos de radiação gama do Laboratório de Calibração do IPEN. In: INTERNATIONAL CONGRESS, INDUSTRIAL BUSINESS FORUM AND MEASUREMENT INSTRUMENTS EXHIBITION IN ADVANCED METROLOGY. 4-7 dezembro, 2000, São Paulo. *Anais...* São Paulo: International Congress, Industrial Business Forum and Measurement Instruments Exhibition in Advanced Metrology, 2000. 1 CD-ROM.
8. CNEN, Norma CNEN-NE-3.06, Março/1990.
9. ANVISA, RDC nº. 20, 02 de fevereiro de 2006.

10. Colégio Brasileiro de Radiologia, Resolução SS-625, 14-12-94.
11. IEC-60731, Medical Electrical Equipment Dosimeters with Ionization Chambers as Used in Radiotherapy, 1997.
12. Attix, F. M., "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", Wisconsin: John Wiley & Sons, (1986).
13. Albuquerque, M. P. P., "Projeto Construção e Calibração de Câmaras de Ionização de Placas Paralelas para Radiação X", Dissertação de Mestrado, IPEN/USP, São Paulo, 1989.
14. Knoll, G., "Radiation Detection and Measurement", New York: John Wiley & Sons, 1989.
15. Rodrigues, Letícia Lucente Campos; "Método para Determinação de Fatores de Correção Induzidos pela Irradiação de Cabos das Câmaras de Ionização em Campos Grandes", São Paulo, 1988.
16. Becker, Paulo Henrique B., "Eletrômetros: Fundamentos Básicos", Regional Training Course for Calibration and Maintenance of Electrometers and Chambers Existing in the Latin America Region, 8-12 March 1999, Arcal Project XXXIV – RLA/4/014, IRD.
17. <http://www-naweb.iaea.org/nahu/dmrp/ssdl.asp>
18. <http://www.abfm.org.br/prova.asp?cod=3>