

TESTE DE ESTABILIDADE DOS SISTEMAS DE RAIOS X DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DO IPEN

Israel D. Barros¹, Eduardo L. Corrêa², Maria P. A. Potiens², Vitor Vivolo², Eric A. B. Silva¹

¹ Universidade Nove de Julho – UNINOVE
Rua Vergueiro, 235/249
Liberdade, 05508-070 - São Paulo-SP
i.dantas.barros@gmail.com
ericbrito@uninove.com.br

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
educorrea1905@gmail.com
mppalbu@ipen.br
vivolo@ipen.br

RESUMO

O laboratório de calibração de instrumentos do IPEN (LCI) desempenha um importante papel em nível nacional na calibração de câmaras de ionização para radiodiagnóstico e mamografia. Para garantir a acurácia das calibrações é necessário um controle constante nos parâmetros de qualidade dos aparelhos de referência utilizados nas calibrações dos instrumentos. Um dos parâmetros é a camada semirredutora (CSR), muito importante no controle da energia do feixe de raios X. Este trabalho visa verificar a estabilidade da energia dos feixes de raios X dos sistemas de radiações do LCI através das medidas das CSRs obtidas atualmente e em 2009 e 2010. Os sistemas de raios X utilizados foram o Pantak Seifert, com alvo de Tungstênio (W), filtração inerente de 0,138 mmAl e uma janela de 0,8 mm de Berílio e o mamógrafo VMI Graph Mammo AF com uma filtração adicional de 0,035 mmMo. As câmaras de ionizações utilizadas foram da Radcal modelos 10x5-6 e RC6-M, ambas com volume de 6cm³. Os eletrômetros utilizados foram, o Radcal modelo 9015 e o PTW Unidos E. Como materiais atenuadores foram usados filtros de alumínio com pureza de 99,99%. Os resultados encontrados foram para 4 qualidades em radiodiagnóstico e para 12 qualidades de mamografia. Na comparação dos valores obtidos das CSRs observou-se uma variação de 0,25% até 6,48% no sistema Pantak Seifert e uma variação de 6,70% até 9,07% no sistema VMI Graph Mammo AF. Devido às pequenas porcentagens nas variações encontradas notamos o alto grau de estabilidade dos sistemas de radiações do LCI e confiança nos seus serviços prestados.

1. INTRODUÇÃO

Para se ter um controle de qualidade adequado da radiação emitida pelo tubo de raios X é necessário utilizar detectores de radiação adequadamente calibrados. Para isso, os laboratórios de calibração devem possuir qualidades devidamente implantadas em seus sistemas. Algumas qualidades implantadas no Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN (LCI) foram citadas por Eduardo Corrêa em sua tese de Mestrado com o título Metodologia de Controle de Qualidade e Implantação de Campos Padrões de Radiação X, Nível Mamografia, Seguindo a Norma IEC 61267 e por Priscila Franciscatto em sua tese de mestrado intitulada Caracterização das Qualidades de

Radiação X Seguindo as Recomendações da Norma IEC 61267 no Laboratório de Calibração do IPEN, no qual apresentam qualidades de mamografia e radiodiagnóstico respectivamente. [1] [2]

As calibrações têm por objetivo deixar os instrumentos medidores de radiações configurados para informar o valor real da energia do feixe de raios X e isso é muito importante para evitar doses desnecessárias de radiações ionizantes na população, pois, tanto um feixe com energia muito baixa quanto com energia muito alta, prejudica de alguma forma o paciente. Existem normas nacionais e internacionais criadas para padronizar e tornar mais seguro a utilização dos raios X, no Brasil existe a portaria 453 criada pela Agência de Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em 01 de Junho de 1998. [3]

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), localizado no campus da Universidade de São Paulo (USP), tem uma destacada atuação em vários setores da atividade nuclear entre elas a área de radioproteção e dosimetria, que desempenha um papel importante para a população calibrando instrumentos medidores de radiações beta, gama, alfa e principalmente de raios X, os quais são bastante utilizados em hospitais e clínicas.

O local onde ocorre as calibrações dos instrumentos no IPEN é o Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI). Em média, são calibrados cerca de 865 instrumentos por ano vindos de todo o país e alguns países da América Latina. O Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) do IPEN desde 1980 realiza serviços de calibração de instrumentos medidores de radiações, possui sistemas de referência de medição com rastreabilidade aos Laboratórios de Padronização Primários PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) da Alemanha, NPL (National Physical Laboratory) da Inglaterra e BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) da França. [4] [5]

O LCI é um dos laboratórios certificados pelo Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração (CASEC), para prestação de serviço de calibração de instrumentos de medição para radiações ionizantes usados em radioproteção. Além disso, o LCI participa regularmente das comparações interlaboratoriais organizadas pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. [4]

Para garantir a acurácia das calibrações, houve-se a preocupação de verificar a estabilidade dos sistemas de radiações utilizados pelo LCI para as calibrações dos instrumentos. Com o objetivo de examinar o grau de estabilidade foram realizados medições da Camada Semirredutora (CSR) para verificar a qualidade do feixe dos sistemas de raios X e comparar com os valores obtidos anteriormente.

1.3 Camada Semirredutora (CSR)

A CSR de um feixe de raios X é a espessura do material absorvedor necessária para reduzir a intensidade dos raios X à metade da original. É importante para determinar a qualidade do feixe, ou seja, seu poder de penetração em um meio material. [6]

A CSR é adquirida posicionando uma câmara de ionização a 1,0 m do tubo de raios X. Primeiramente sem nenhum material absorvedor é realizado um disparo e o conjunto câmara de ionização e sistema eletrônico determina o valor. Na sequência são realizados

outros disparos colocando lâminas de alumínio com espessuras gradativamente maiores, que absorvem a radiação até que se obtenha à metade do valor do feixe sem nenhum material absorvedor.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou em 2005 uma resolução intitulada Radiodiagnóstico Médico: Segurança e Desempenho de Equipamentos, que determina que os testes de CSR em hospitais e clínicas devem ser realizados anualmente ou sempre que houver algum reparo no equipamento de raios X. [7]

1.4 Normas e recomendações

1.4.1 ANVISA, portaria 453

Em 01 de Junho de 1998, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou a portaria 453, que “Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios X diagnóstico em todo território nacional e dá outras providências”. [3]

Esta portaria estabelece que os serviços de saúde devam implantar Programas de Garantia da Qualidade que compreendam a execução do controle de qualidade dos equipamentos, estabelecendo as frequências com que devem ser realizados. Além disso, essa portaria estabelece que os instrumentos para medição de níveis de radiação em levantamentos radiométricos e dosimetria de feixes devem ser calibrados a cada dois anos em laboratórios credenciados, rastreados a rede nacional e ainda internacional de metrologia das radiações ionizantes, nas qualidades dos feixes de raios X diagnósticos.

As diretrizes colocadas por esse documento impõem regras que devem ser adotadas em todo o território brasileiro. Cabe aos órgãos de Vigilância Sanitária dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, a responsabilidade pelo licenciamento dos estabelecimentos que empregam radiação X diagnóstico e também pela fiscalização do cumprimento desse regulamento.

1.4.2 Norma IEC 61267

A International Electrotechnical Commission (IEC) é uma organização internacional para padronização, que compreende os comitês eletrotécnicos nacionais de diversos países. Seu objetivo é promover a cooperação internacional sobre todas as questões relativas à padronização nos campos da eletricidade e eletrônica. Suas recomendações são publicadas sob a forma de normas, cuja preparação é confiada a comitês técnicos. [8]

A IEC 61267 é uma revisão de sua antiga norma IEC 1267 onde determinava que a filtração adicional fosse a mesma em qualquer sistema e cada laboratório que implantasse essas qualidades deveria determinar seus valores de Camada Semirredutora (CSR). [9]

Na versão atual da norma a IEC coloca a CSR como um valor a ser alcançado, e a filtração adicional de cada sistema deve então ser determinada, de tal forma a alcançar esse valor. Como a CSR está diretamente relacionada com a energia do feixe, obtemos a

garantia de que todos os sistemas de radiação X utilizados na calibração de instrumentos possuem a mesma energia efetiva.

1.4.3 Código de Prática TRS 457

Em 2007 a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) publicou o código de prática intitulado *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice* no qual é determinada a implantação das qualidades utilizadas na calibração de instrumentos na área de radiodiagnóstico em laboratórios de padronização secundária e também para a realização de dosimetria clínica. [10]

No caso da implantação de qualidades ele segue as recomendações da norma IEC 61267, apresentando os métodos e procedimentos a serem seguidos por um laboratório padrão secundário quando ele deseja implantar, em seu sistema de radiação X, qualidades de radiodiagnóstico convencional, mamografia e tomografia computadorizada.

O TRS-457, diferentemente da IEC 61267, possibilita a implantação das qualidades de mamografia em sistemas de radiação X com anodo que não seja de Molibdênio (Mo). Isso foi de grande importância para esse trabalho, já que o tubo de raios X presente no LCI local onde esse trabalho foi realizado possui anodo de Tungstênio (W).

Esse documento apresenta os requisitos de que um laboratório secundário de calibração deve possuir. Além disso, o TRS-457 faz uma conexão existente entre laboratórios de calibração de instrumentos e as clínicas, que utilizam esses instrumentos na rotina de controle de qualidade de seus equipamentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os sistemas de radiação e os equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, todos disponíveis no Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN (LCI/IPEN) e a metodologia de obtenção dos dados.

2.1 Sistema de Radiação X

O sistema de radiação X utilizado nesse trabalho foi um Pantak Seifert, mostrado na Fig. 1 com alvo de Tungstênio (W), uma filtração inerente de 0,138 mm de alumínio e uma janela de 0,8 mm de berílio.



Figura 1: Sistema de radiação X Pantak Seifert.

E como filtração adicional, foram utilizados dois tipos de materiais: Alumínio e Molibdênio.

Neste equipamento de radiação X foram utilizadas as qualidades de radiação estabelecidas de Mamografia (Tabelas 1 e 2) e Radiodiagnóstico Convencional (Tabela 3).

Tabela 1: Qualidade da radiação e tensão do tubo de raios X em Mamografia utilizando filtração adicional de alumínio.

Qualidade da radiação	Tensão (kV)
WAV 25	25
WAV 28	28
WAV 30	30
WAV 35	35

Tabela 2: Qualidade da radiação e tensão do tubo de raios X em Mamografia utilizando filtração adicional de molibdênio.

Qualidade da radiação	Tensão (kV)
WMV 25	25
WMV 28	28
WMV 30	30
WMV 35	35

Tabela 3: Qualidade da radiação e tensão do tubo de raios X em Radiodiagnóstico Convencional.

Qualidade da radiação	Tensão (kV)
RQR 3	50
RQR 5	70
RQR 8	100
RQR 10	150

O mamógrafo utilizado foi o VMI Graph Mammo AF com anodo de Molibdênio (Mo) e uma filtração adicional de 0,035 mmMo, mostrado na Fig. 2.

Neste equipamento de radiação X foram utilizadas as qualidades de radiação estabelecidas de Mamografia (Tabela 4).

Tabela 4: Qualidade da radiação e tensão do tubo de raios X em Mamografia utilizando filtração adicional de molibdênio.

Qualidade da radiação	Tensão (kV)
MMV 25	25
MMV 28	28
MMV 30	30
MMV 35	35



Figura 2: Mamógrafo VMI Graph Mammo AF.

2.2 Sistemas de medição

Para o Pantak Seifert a câmara de ionização utilizada para as medições foi da Radcal modelo 10x5-6 com um volume sensível de 6 cm^3 , mostrado na Fig. 3.



Figura 3: Câmara de ionização Radcal 10x5-6.

O eletrômetro utilizado foi o Radcal modelo 9015, mostrado na Fig. 4.



Figura 4: Eletrômetro Radcal 9015.

Para o VMI Graph Mammo AF a câmara de ionização utilizada foi da Radcal modelo RC6M com um volume sensível de 6 cm^3 , mostrado na Fig. 5, vale ressaltar que essa câmara possui o material do volume sensível mais fino do que a câmara utilizada para o Pantak Seifert, isso é importante, tendo em vista que a energia do mamógrafo é menor.



Figura 5: Câmara de ionização Radcal RC6M.

O eletrômetro utilizado foi o PTW Unidos E, mostrado na Fig. 6.



Figura 6: Eletrômetro PTW Unidos E.

E como materiais atenuadores foram utilizados filtros de alumínio com 99,99% de pureza para ambos os equipamentos.

2.4 Determinação das qualidades

Neste trabalho foram adquiridas as CSR's das qualidades das radiações seguindo as mesmas metodologias do período em que elas foram adquiridas, isso contribuiu para que o resultado final fosse o mais fiel possível. No caso do sistema Pantak Seifert as qualidades de radiação obtidas seguiram as recomendações da norma IEC 61267 e as indicações do Código de Prática TRS 457 e que estão na tese de mestrado de Priscila Franciscatto. As qualidades de radiação escolhidas para os testes de estabilidade foram RQR-3, RQR-5, RQR-8 e RQR-10. [2]

No Pantak Seifert foram também adquiridas as qualidades de radiação WAV-25, WAV-28, WAV 30 e WAV-35 e as qualidades de radiação WMV-25, WMV-28, WMV-30 e WMV-35, que foram apresentadas por Eduardo Corrêa em sua tese de mestrado. Essas qualidades foram determinadas pelo Laboratório de Padronização Primária da

Alemanha, PTB, já que não foi possível seguir as normas da IEC 61267 porque ela não apresenta qualidades de radiação com sistema com alvo de Molibdênio (Mo). Ela estabelece que tanto o alvo quanto a filtração adicional devem ser de Mo. [1]

Para o VMI Graph Mammo AF as qualidades de radiação obtidas foram MMV-25, MMV-28, MMV-30 e MMV-35, também determinadas pelo PTB e que são equivalentes às qualidades RQR-M1, RQR-M2, RQR-M3 e RQR-M4 respectivamente, indicadas pela IEC 61267. Apesar dos testes terem sido realizados seguindo as normas da IEC 61267 e as indicações do Código de Prática TRS 457 foi decidido manter a nomenclatura criada pelo PTB pelo motivo já mencionado antes de manter os testes o mais fiel possível.

Na nomenclatura determinada pelo PTB para as qualidades WAV, WMV e MMV a primeira letra representa o material do alvo do tubo de raios X, a segunda letra representa o tipo de material utilizado como filtração adicional e a terceira letra representa a característica do feixe, que no caso da letra V indica que é um feixe de entrada. E a numeração posterior à sigla representa o valor da tensão do tubo.

3. RESULTADOS

Os resultados encontrados para as qualidades RQR são demonstrados na Tabela 5 junto com os resultados obtidos em 2009 e também a porcentagem de variação para cada qualidade.

Tabela 5: Tabela de variações da CSR para qualidade RQR

QUALIDADES	CSR 2009 (mmAl)	CSR 2015 (mmAl)	VARIAÇÕES (%)
RQR-3	1,78	1,74	2,43
RQR-5	2,58	2,50	3,00
RQR-8	3,97	3,71	6,48
RQR-10	6,57	6,23	5,12

Os resultados encontrados para as qualidades WAV foram comparados com os resultados obtidos em 2010 como demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6: Tabela de variações da CSR para qualidade WAV

QUALIDADES	CSR 2010 (mmAl)	CSR 2015 (mmAl)	VARIAÇÕES (%)
WAV-25	0,35	0,37	-6,13
WAV-28	0,40	0,41	-1,98
WAV-30	0,43	0,44	-1,20
WAV-35	0,51	0,54	-6,01

Os resultados encontrados para as qualidades WMV comparados com os resultados do ano de 2010 estão na Tabela 7.

Tabela 7: Tabela de variações da CSR para qualidade WMV

QUALIDADES	CSR 2010 (mmAl)	CSR 2015 (mmAl)	VARIAÇÕES (%)
WMV-25	0,36	0,37	-3,10
WMV-28	0,37	0,38	-3,56
WMV-30	0,38	0,39	-2,81
WMV-35	0,41	0,41	0,25

Os resultados encontrados para as qualidades MMV são comparados e demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8: Tabela de variações da CSR para qualidade MMV

QUALIDADES	CSR 2010 (mmAl)	CSR 2015 (mmAl)	VARIAÇÕES (%)
MMV-25	0,29	0,31	-7,03
MMV-28	0,32	0,34	-6,70
MMV-30	0,33	0,36	-9,07
MMV-35	0,37	0,40	-8,46

4. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados encontrados para as qualidades RQR feitas no equipamento Pantak Seifert, onde a maior porcentagem de variação no valor da CSR comparado com o ano de 2009 foi de 6,48% para a qualidade RQR-8, conclui que o equipamento está com um ótimo grau de estabilidade, pois esse valor representa uma taxa muito pequena de variação.

Para as qualidades WAV feitas no Pantak Seifert os resultados encontrados apontam uma variação máxima de -6,13% obtida na qualidade WAV-25, que como para a RQR foi uma variação muito baixa.

Quanto aos valores encontrados para as qualidades WMV no Pantak Seifert os resultados foram ainda melhores. A variação com maior grau de porcentagem foi para a qualidade WMV-28 que foi de -3,56%, esse valor é muito baixo, e que faz a qualidade WMV ser a mais estável de todas as qualidades testadas.

Já para as qualidades MMV que foram obtidas no VMI Graph Mammo AF o valor máximo de variação encontrado nos resultados foi de -9,07% para a qualidade MMV-

30. Essa foi também a qualidade com maior valor de variação dentre todas as qualidades testadas, mas no geral ainda é um valor baixo.

Sabemos que um sistema que depende de energia elétrica e fenômenos físicos para funcionar, como é o caso da produção de raios X está sujeito a diversos motivos para ocorrer uma variação de um resultado para outro, mas o fato é que mesmo o maior valor de variação encontrado que foi de -9,07% ainda sim é considerado um valor muito baixo. Um dos motivos para a maioria dos valores de CSR obtidos atualmente serem maiores do que os obtidos em 2009 e 2010 é que pode ter ocorrido um pequeno desgaste no anodo do tubo de raios X, e que esse material anódico depositou-se na parede da ampola e está agindo como uma filtração e deixando os feixes de raios X mais penetrantes.

5. CONCLUSÃO

Apesar de não existirem normas sobre teste de estabilidade da CSR podemos afirmar que todos os resultados obtidos foram satisfatórios devido as baixas taxas de variações apresentadas, e que tanto o sistema Pantak Seifert quanto VMI Graph Mammo AF que se encontram no LCI do IPEN, apresentam um excelente grau de estabilidade e consequentemente maior confiabilidade nas calibrações de instrumentos detectores de radiações, proporcionando qualidade nos serviços prestados pelo IPEN.

AGRADECIMENTOS

The authors acknowledge the partial financial support of the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, Project: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Metrologia das Radiações na Medicina), Brazil.

REFERÊNCIAS

1. E. L. Corrêa, “Metodologia de Controle de Qualidade e Implantação de Campos Padrões de Radiação X, Nível Mamografia, Seguindo a Norma IEC 61267,” *Dissertação (Mestrado)*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo-SP (2010).
2. P. C. Franciscatto, “Caracterização das qualidades de radiação X seguindo as recomendações da norma IEC 61267 no laboratório de calibração do IPEN,” *Dissertação (Mestrado)*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, pp.68-68. (2009).
3. Ministério da Saúde, Portaria Federal 453, “*Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico*”, Brasília: Diário Oficial da União (1998).
4. “Laboratório de Calibração do IPEN: Objetivos e Serviços,” http://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=1976&campo=1899 (2015).

5. “Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares: Números do IPEN,” http://www.ipen.br/portal_por/conteudo/documentos/ipen_portugues.jpg (2015).
6. S. C. Bushong, *Ciência Radiológica para Tecnólogos: Física, Biologia e Proteção*, Elsevier, Houston – USA (2008).
7. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA (Série A. Normas e Manuais Técnicos), “*Radiodiagnóstico Médico: Segurança e Desempenho de Equipamentos*”, Ministério da Saúde - Brasília (2005).
8. International Electrotechnical Commission, IEC 61267, “*Medical Diagnostic X-ray Equipment - Radiation Conditions for use in the Determination of Characteristics*”, Geneva (2005).
9. International Electrotechnical Commission, IEC 1267, “*Medical Diagnostic X-ray Equipment - Radiation Conditions for use in the Determination of Characteristics*”, Geneva (1994).
10. International Atomic Energy Agency, IAEA (Technical Report Series No. 457), “*Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*”, Vienna (2007).