



INSTITUTO DE radioproteção e dosimetria
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

COMITÊ DE AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENSAIO E CALIBRAÇÃO CASEC

REQUISITOS TÉCNICOS PARA CERTIFICAÇÃO DE LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO PARA RADIAÇÃO IONIZANTE USADOS EM RADIOPROTEÇÃO.

RT-LCI-001/2011

ÍNDICE

1.	Introdução.....	3
2.	Objetivos.	3
3.	Campo de aplicação.	3
4.	Documentos complementares.....	3
5.	Siglas e abreviaturas.....	3
6.	Definições.....	4
7.	Requisitos gerais.....	4
7.1.	Disposições gerais.	4
7.2.	Gerência e pessoal do Laboratório.....	5
7.3.	Instalações do Laboratório.	6
7.4.	Equipamentos.	7
7.5.	Sistema de segurança	7
7.6.	Sistema da qualidade.....	7
7.7.	Documentação do serviço realizado.....	9
7.8.	Rastreabilidade das medições.	10
7.9.	Grandezas e unidades.	10
8.	Requisitos técnicos específicos.....	10
8.1.	Calibração de monitores de área e dosímetros pessoais com radiação gama.	10
8.2.	Calibração de monitores de área e dosímetros pessoais com radiação X.	13
8.3.	Calibração de Monitores de Contaminação alfa, beta e/ou gama (α , β e/ou γ).	16
9.	Requisitos para ensaio de proficiência do Laboratório.....	18
9.1.	Avaliação do erro relativo da grandeza de calibração.....	18
9.2.	Avaliação da calibração de monitores de área.....	18
9.3.	Avaliação da calibração de monitores de contaminação.	18
9.4.	Comparação interlaboratorial.....	18
10.	Referências	19

1. Introdução.

Este documento contém os requisitos técnicos para a Certificação de Laboratório de Calibração de Instrumentos de Medição para Radiações Ionizantes usados em radioproteção. O cumprimento destes requisitos assegura que o Laboratório está capacitado a apresentar alto padrão de desempenho na calibração de instrumentos para uso em diferentes campos de radiação.

Os requisitos contidos no item 7, Requisitos gerais, devem ser satisfeitos por todos os Laboratórios que buscam a Certificação. Adicionalmente, cada Laboratório deve satisfazer os requisitos do item 8 – Requisitos técnicos específicos, para cada categoria (tipo de radiação, energia e serviço) para a qual é solicitada a Certificação. A Certificação será emitida para cada categoria, de acordo com o item 3.

2. Objetivos.

Estabelecer os requisitos para avaliação e Certificação de Laboratório que presta serviços de calibração de instrumentos de medição empregados com fim de radioproteção.

3. Campo de aplicação.

Os requisitos estabelecidos neste documento se aplicam aos Laboratórios que oferecem os seguintes serviços:

- Calibração de monitores de área e monitores pessoais com radiação gama;
- Calibração de monitores de área e monitores pessoais com radiação X;
- Calibração de monitores de contaminação de superfície.

4. Documentos complementares.

ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005: Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração;

VIM: Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, INMETRO (Brasil) Duque de Caxias, RJ.:2008 - 52p.

5. Siglas e abreviaturas.

CASEC: Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração

GQ: Gerente da Qualidade

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

IRD: Instituto de Radioproteção e Dosimetria

LNMRI: Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes.

RA Responsável administrativo

RT Responsável técnico

RTS Responsável técnico substituto

6. Definições.

Os termos técnicos utilizados neste documento estão de acordo com as definições contidas no VIM - Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, INMETRO 2008.

Adicionalmente, para efeitos deste documento, aplicam-se as seguintes definições:

- *Certificação de Laboratório de Calibração (Certificação)* – Ato administrativo, evidenciado por documento emitido pelo Diretor do IRD, comprovando que o Laboratório foi submetido à avaliação do Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaios e Calibração – CASEC/IRD, e obteve aprovação nos requisitos técnicos estabelecidos e está certificado a realizar calibrações.
- *Certificado de Calibração* – Documento oficial de calibração de um instrumento emitido por um Laboratório com Certificação emitida pelo CASEC/IRD.
- *Monitor de Área* - Instrumento portátil ou fixo que mede a variação de uma grandeza física ou de radioproteção em função do tempo.
- *Dosímetro Pessoal ou Monitor Individual* - Instrumento portátil para uso sobre o corpo, que mede uma grandeza de radioproteção. Os dosímetros pessoais podem ser de leitura direta (GM, CI, semicondutores, etc) ou de leitura indireta (TLD, Filme, OSL, etc).
- *Monitor de Contaminação de Superfície* - instrumento portátil ou fixo que mede a contaminação de uma superfície por radionuclídeos emissores alfa, beta ou gama.

7. Requisitos gerais.

7.1. Disposições gerais.

- 7.1.1. O Laboratório de Calibração candidato a Certificação deve estar legalmente constituído e suas instalações localizadas em território nacional.
- 7.1.2. O Laboratório deve atender à legislação municipal, estadual e federal referente à segurança e higiene do trabalho, e estar licenciado pelos órgãos competentes.
- 7.1.3. O Laboratório estará sujeito a auditorias em intervalos aproximados de 12 meses para supervisão e 3 anos para reavaliação. O IRD poderá realizar auditorias em intervalos diferentes do estabelecido.
- 7.1.4. As informações disponíveis ao IRD relativas à Certificação são tratadas com confidencialidade.
- 7.1.5. As disposições financeiras entre o Laboratório e seus clientes são de inteira responsabilidade do Laboratório.
- 7.1.6. O Laboratório não deve permitir que pessoas ou organizações externas influenciem os resultados das calibrações por ele realizado.
- 7.1.7. O Laboratório pode interagir com seus clientes ou com seus representantes, de forma a facilitar o entendimento das solicitações de calibração e possibilitar o acompanhamento do desempenho do Laboratório quanto ao trabalho realizado,

desde que não entre em conflito com as regras de confidencialidade e segurança e que não prejudique a qualidade das calibrações.

7.1.8. A instalação radiativa do Laboratório deve atender aos requisitos das normas de radioproteção da CNEN, e estar Autorizada pelo setor competente deste órgão.

7.2. Gerência e pessoal do Laboratório.

O número e a qualificação dos funcionários necessários a um Laboratório de calibração pode variar amplamente, dependendo da diversidade e carga de trabalho requerida na instalação. Dependendo dessas condições, um indivíduo poderá acumular mais de uma das funções descritas no item 7.2.1. Entretanto, no que tange aos requisitos técnicos, o Laboratório deve possuir no mínimo um Responsável Técnico, um Responsável Técnico Substituto e um Gerente da Qualidade, sendo necessária à comunicação imediata ao IRD havendo qualquer alteração na designação desses profissionais.

7.2.1. Gerência.

7.2.1.1. Diretor do Laboratório.

O Diretor do Laboratório deve ter uma posição na estrutura organizacional que assegure a autoridade para conduzir as operações do Laboratório livre de qualquer influência que afete adversamente a qualidade ou imparcialidade dos serviços oferecidos. Ele é responsável por assegurar que os procedimentos do Laboratório estão sendo seguidos, por promover e registrar a avaliação da competência do pessoal técnico, verificando e promovendo treinamento, quando necessário.

7.2.1.2. Responsável técnico (RT) e Responsável técnico substituto (RTS).

O RT deve ser responsável pela verificação de que os procedimentos documentados estão sendo seguidos apropriadamente e conferir a correta calibração de cada instrumento. Registros de tais conferências devem ser mantidos e estar disponíveis para auditoria.

O RT é encarregado da operação do Laboratório, com dedicação integral e deve ter curso de nível superior reconhecido pelo Ministério de Educação em uma área científica ou tecnológica. Deve comprovar treinamento ou experiência na área da Certificação e ser aprovado, pelo CASEC/IRD, em um Exame de Avaliação de sua capacidade técnica. Os mesmos critérios se aplicam ao RTS.

7.2.1.3. Gerente da qualidade (GQ).

O GQ deve ser responsável pela elaboração, implantação e implementação do Manual da Qualidade. Deve comprovar treinamento na área da qualidade, com ênfase na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005.

7.2.1.4. Pessoal administrativo.

O pessoal administrativo deve, entre outras atividades, executar a programação dos serviços (segundo critérios definidos pelo RT e/ou Diretor do Laboratório), recebimento e despacho dos instrumentos, bem como o controle e arquivamento dos documentos emitidos e recebidos. Deve ser capaz de esclarecer todas as dúvidas dos clientes quanto ao andamento dos serviços, que não sejam de caráter estritamente técnico.

7.2.1.5. Pessoal técnico.

O pessoal técnico empregado em trabalho de calibração, isto é, o executor da calibração, deve ter treinamento e experiência comprovada, ser supervisionado pelo RT ou seu substituto e seguir procedimentos documentados.

7.3. Instalações do Laboratório.

O Laboratório deve contar com locais e espaço suficiente para o cumprimento das seguintes atividades:

- a) Recepção e armazenamento dos instrumentos dos clientes;
- b) Exposição dos instrumentos objeto de calibração ou irradiação em condições de segurança radiológica;
- c) Processamento dos resultados e emissão de Certificados de Calibração;
- d) Permanência dos técnicos do Laboratório nos períodos entre as calibrações;
- e) Armazenamento de fontes radioativas em condições de segurança radiológica.

O ambiente de irradiação deve ser de formato e tamanho adequados e suficientes de modo que a radiação espalhada, na posição onde o instrumento seja colocado, não introduza uma perturbação com a meta de exatidão desejada. Esta condição deve ser comprovada pela dosimetria do feixe de radiação.

7.3.1. Localização.

O efeito de condições externas no ambiente interno do Laboratório deve ser considerado na seleção do local do Laboratório. O Laboratório deve estar localizado distante, ou de alguma forma isolado, de fontes de interferência elétrica, radioativa e eletromagnética, assim como de outras fontes que interfiram com a calibração de instrumentos. Se tais fontes potenciais existirem, o Laboratório deve possuir documentação que demonstre a irrelevância de efeitos adversos na calibração.

7.3.2. Condições ambientais.

O ambiente de irradiação do Laboratório deve ser mantido a temperaturas uniformes de modo a não afetar a exatidão da calibração e assegurar que um nível de estabilidade seja atingido antes do início das medidas da calibração. Sua temperatura deve ser mantida entre os limites de $22 \pm 4^\circ\text{C}$.

Quando uma câmara de ionização aberta para a atmosfera (ventilada) estiver sendo usada, a temperatura deve ser mantida dentro de um intervalo de 3°C em qualquer período de uma hora durante o qual a calibração seja conduzida. Neste caso, os valores reportados nos Certificados de Calibração deverão estar referenciados para uma temperatura de 20°C e pressão barométrica de $101,325\text{ kPa}$.

A umidade relativa deve estar entre os limites de 30 e 75 por cento, para operação rotineira do Laboratório.

O Laboratório deve ser mantido limpo para evitar efeitos adversos devido ao acúmulo de poeira em equipamentos sensíveis.

O nível de radiação de fundo deve ser mantido tão baixo quanto seja possível, e não estar sujeito a variações que podem afetar significativamente o processo de

calibração. Deve ser evitado o armazenamento temporário de fontes radioativas não usadas para a calibração e em blindagem inadequada.

7.3.3. Suprimento de energia.

O suprimento de energia elétrica deve ser apropriado para o equipamento em uso, estável, livre de transientes e ruído de linha significativo. Quando necessário estabilizadores de tensão, filtros de linha e sistemas de fornecimento ininterrupto de energia deverão ser providenciados.

O Laboratório deve estar provido com sistema de aterramento adequado. Onde houver a possibilidade de interferência proveniente de equipamentos conectados a um sistema de aterramento único, sistemas de aterramento separados deverão ser providenciados e precauções adequadas deverão ser tomadas contra qualquer possibilidade de interconexão entre os sistemas.

7.4. Equipamentos.

Os equipamentos disponíveis no Laboratório devem ser apropriados aos serviços oferecidos e aos procedimentos empregados. Requisitos específicos para cada serviço oferecido e para monitoração das grandezas de influência são dados no Item 8 deste documento.

Nenhum equipamento novo deve ser colocado em uso sem que seja testado e, quando apropriado, calibrado.

O Laboratório deve ter padrões de medição de radiação apropriados que cubram a faixa de medida das calibrações realizadas.

O Laboratório deve possuir barômetros, termômetros, higrômetros e cronômetros calibrados pela Rede Brasileira de Calibração.

O Laboratório deve ter sistemas de posicionamento de instrumentos e posicionamento de fontes radioativas, com suportes rígidos, que possibilitem a reprodutibilidade das geometrias fonte-detector e que produzam radiação espalhada mínima.

Quando um Laboratório certificado modificar seu sistema de calibração (equipamento, software ou procedimento) com o qual obteve a Certificação, o IRD deve ser notificado. Dependendo da natureza e extensão das mudanças, o Laboratório será informado das etapas de avaliações necessárias para manter a Certificação, tais como da necessidade de uma nova auditoria na instalação.

7.5. Sistema de segurança

As instalações devem ser operadas de maneira segura, de modo a limitar a exposição dos operadores a níveis tão baixos quanto praticamente possíveis e de acordo com as normas de proteção radiológica da CNEN.

7.6. Sistema da qualidade.

O Laboratório deve implementar um sistema da qualidade baseado na norma NBR ISO/IEC 17025:2005. Este sistema deve possuir, no mínimo, os seguintes itens:

7.6.1. Manual da qualidade do Laboratório.

O manual da qualidade do Laboratório deve, além de outros, explicitar os seguintes itens: declaração da política da qualidade do Laboratório e a finalidade do trabalho do Laboratório, incluindo todos os tipos de radiação, energias e intensidades para a qual a calibração é fornecida.

7.6.2. Procedimentos operacionais.

Os procedimentos operacionais do Laboratório são procedimentos técnicos e administrativos que devem ser elaborados de forma a assegurar a qualidade dos serviços, possibilitando a identificação de não conformidades ou mudanças indesejadas no desempenho de equipamentos que afetem a qualidade das calibrações. O conjunto mínimo de atividades que justificam a necessidade de dispor de procedimentos escritos compreende:

- a) Recepção, exame exterior e devolução de instrumentos ao cliente;
- b) Execução das calibrações e irradiações;
- c) Elaboração, revisão, aprovação e emissão dos certificados de calibração e,
- d) Programas de controle de qualidade.

O Laboratório deve possuir uma lista mestra atualizada dos procedimentos utilizados.

7.6.3. Registros da qualidade.

Adicionalmente ao recomendado pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005 o Laboratório deve dispor dos seguintes registros:

7.6.3.1. Informações mínimas que possibilitem a análise e rastreabilidade da calibração de um instrumento por um período mínimo de 5 anos.

7.6.3.2. Cópia de todos os certificados de calibração emitidos num período mínimo de 5 anos.

7.6.3.3. Os resultados de todos os testes de avaliação realizados pelo LNMRI.

7.6.3.4. Registros relativos à calibração de padrões utilizados que devem ser mantidos por um período de pelo menos 10 anos.

7.6.3.5. Uma cópia da última revisão da documentação da qualidade do Laboratório deve estar disponível para auditoria.

7.6.4. Atendimento ao cliente.

O Laboratório deve disponibilizar de um formulário no qual o cliente informe as qualidades, faixas de medição e grandeza de interesse.

Quando for constatado algum erro em um Certificado de Calibração ele deve ser informado ao cliente que recebeu o certificado segundo os seguintes critérios:

- a) Dentro de 24 horas, se o erro afeta a exatidão da calibração. Em seguida o erro deve ser corrigido com o envio de um novo Certificado de Calibração ou através da recalibração do instrumento.
- b) Dentro de no máximo 10 dias úteis, se o erro não afeta a exatidão da calibração.

O instrumento calibrado deve ser liberado para o cliente em até 15 dias úteis após a data acordada com o cliente para o início da calibração. Caso não seja possível realizar a calibração, o cliente deve ser informado no mesmo prazo.

A devolução do instrumento deve ser acompanhada de um relatório.

7.6.5. Notificação de mudanças.

O Laboratório deve informar ao IRD sobre mudanças em qualquer aspecto referente às condições ou operações que afetem a conformidade do Laboratório aos critérios da Certificação. O Laboratório deve informar quando ocorrerem as seguintes mudanças:

- a) nos atos constitutivos, comerciais ou organizacionais do Laboratório ou da organização a qual pertence.
- b) na organização e gerência do Laboratório (responsável técnico, gerente da qualidade, responsável administrativo e seus substitutos).
- c) Políticas, procedimentos, recursos humanos, equipamentos, instalações e condições ambientais que afetem o escopo da Certificação.

Quaisquer mudanças nos critérios de Certificação e em outros requisitos determinados pelo IRD serão notificadas ao Laboratório sendo concedido um prazo para que sejam realizadas as modificações necessárias. O Laboratório deve informar ao IRD quando as modificações estiverem concluídas.

7.7. Documentação do serviço realizado.

7.7.1. Certificado do serviço realizado.

Os resultados de testes realizados dentro do escopo da Certificação devem ser formalmente informados aos clientes. Um Certificado de Calibração deve ser emitido para cada instrumento calibrado. A informação comum a todos deve compreender:

- a) Título e identificação unívoca do documento.
- b) Nome e endereço do Laboratório.
- c) Nome e endereço do cliente.
- d) Dados do instrumento ou dosímetro testado.
- e) Método empregado.
- f) Condições ambientais.
- g) Geometria de irradiação.
- h) Uso da capa de equilíbrio eletrônico, quando aplicável.
- i) Qualidade da radiação empregada.
- j) Fatores de calibração, ou valores normalizados da grandeza empregada e respectivas indicações corrigidas do instrumento, ou ainda, representação gráfica destas informações em forma de curva de calibração.
- k) Incerteza estimada.
- l) Datas de realização do teste e da emissão do Certificado.
- m) Assinaturas autorizadas.
- n) Evidência de que as medições são rastreáveis.
- o) Identificação do documento com o número da página e o total de páginas do documento, em cada página.
- p) Identificação de que o laboratório possui a *Certificação de Laboratório de Calibração* emitido pelo CASEC/IRD/CNEN.

Quando aplicável, o Certificado de Calibração deve também estabelecer as limitações do instrumento isto é, a faixa máxima de medição, se menor que a faixa de indicação de um instrumento, escalas não calibradas ou aplicação de fatores de correção quanto à temperatura e pressão.

Os Certificados de Calibração deverão ser revisados e assinados pelo RT ou RTS.

7.7.2. Etiqueta de identificação do serviço realizado.

O Laboratório deve vincular a cada Certificado de Calibração uma etiqueta que deve ser afixada em cada instrumento calibrado. Nesta etiqueta deverão constar no mínimo uma identificação do Laboratório, o número do certificado e a data de sua emissão.

7.8. Rastreabilidade das medições.

7.8.1. Calibração dos padrões do Laboratório.

Os padrões e equipamentos, que são calibrados originalmente por comparação com padrões de nível mais elevado, devem ser recalibrados quando a necessidade ficar demonstrada pelos resultados de testes de estabilidade ou pelo controle de qualidade rotineiro. No caso de ocorrência de quaisquer danos ou alterações que possam modificar o valor do fator de calibração do instrumento, o mesmo deve ser recalibrado.

O instrumento utilizado como padrão de referência deve ser calibrado por laboratório de metrologia padrão secundário ou primário com intervalo máximo de 3 anos.

7.8.2. Ensaio de proficiência.

O Laboratório Certificado deve participar de ensaios de proficiência, conforme item 9 deste documento.

7.9. Grandezas e unidades.

Os valores verdadeiros convencionais apresentados em Certificados de Calibração, emitidos no escopo da Certificação concedida, devem ser fornecidos em unidades do Sistema Internacional (SI), quer as indicações dos instrumentos estejam ou não nessas unidades.

Para simplificar a leitura deste documento, os requisitos técnicos específicos abordarão apenas as grandezas kerma no ar e taxa de emissão por unidade de área, conforme a aplicação.

8. Requisitos técnicos específicos.

8.1. Calibração de monitores de área e dosímetros pessoais com radiação gama.

8.1.1. Fontes de radiação gama.

O Laboratório deve dispor de, pelo menos, uma fonte radioativa de césio-137 e um arranjo experimental capaz de oferecer taxa de kerma no ar no intervalo de 4 $\mu\text{Gy/h}$ a 40 mGy/h .

A distância entre a fonte radioativa e o instrumento deve ser tal que garanta equilíbrio eletrônico de partículas no detector a ser calibrado.

Outras fontes radioativas poderão ser utilizadas se forem mais apropriadas ou recomendadas pelo fabricante do instrumento.

8.1.2. Controle da radiação.

8.1.2.1. Radiação de Fundo.

A radiação de fundo na posição de calibração deve ser inferior a 1 $\mu\text{Gy/h}$.

8.1.2.2. Colimação do feixe de radiação.

O feixe de radiação gama utilizado para a calibração deve ser colimado.

Os dosímetros pessoais podem ser calibrados livres no ar ou posicionados sobre um fantoma, dependendo da grandeza utilizada, mas em condição de equilíbrio eletrônico. Para obter-se o equilíbrio eletrônico pode-se colocar sobre o monitor individual uma placa de acrílico com 2 mm de espessura para fontes radioativas de cézio-137 ou 4 mm para fontes radioativas de cobalto-60.

No ponto de teste, o diâmetro do campo de radiação deve ser suficiente para irradiar completamente e uniformemente o detector, ou o fantoma. A homogeneidade do campo deve ser igual ou superior a 95%.

8.1.2.3. Exposição da fonte de radiação.

O irradiador deve possuir um mecanismo para controlar a exposição do feixe gama por meio de um temporizador. Se a fonte de radiação for usada para calibração de instrumentos integradores que medem kerma no ar (e não taxa de kerma no ar), o tempo de abertura do obturador ou o tempo de trânsito da fonte de radiação deve ser conhecido, assim como seu efeito na exposição total à radiação. Qualquer incerteza associada com a temporização deve ser documentada e eliminada, ou corrigida.

8.1.2.4. Equipamento de calibração.

Em adição a uma ou mais fontes radioativas e aos dispositivos de controle associados, o Laboratório deve ter, no mínimo, os seguintes equipamentos, devidamente calibrados, quando aplicável:

- a) Uma câmara de ionização padrão adequada para as faixas de intensidade e de energia dos fótons para os serviços disponibilizados.
- b) Um eletrômetro para medir a carga produzida na câmara de ionização.
- c) Uma fonte de alimentação estável para o potencial de polarização da câmara.
- d) Um termômetro com resolução mínima de 0,1 °C.
- e) Um barômetro com resolução mínima de 0,1 kPa.
- f) Um cronômetro com resolução mínima de 0,01s.
- g) Um higrômetro com resolução mínima de 1 % de umidade relativa.
- h) Um conjunto de fantasmas para simular o tórax, o pulso e o dedo conforme especificado na norma ISO 4037-3, caso necessário.
- i) Um sistema de posicionamento de instrumentos em relação à fonte radioativa compatível com a incerteza do processo de calibração. Para configurações de irradiação no feixe, o sistema de posicionamento deve definir o eixo central do feixe gama.

8.1.2.5. Controle de qualidade dos equipamentos.

O sistema de medição, formado pela câmara de ionização padrão e eletrômetro, deve ser testado com uma fonte radioativa de teste dedicada, sempre antes do seu uso, para verificação da estabilidade e reprodutibilidade do conjunto. Esses resultados deverão estar registrados em livro, ou arquivo equivalente, que deve estar disponível para auditoria todo o tempo.

8.1.3. Caracterização do feixe de radiação.

8.1.3.1. Dosimetria.

O campo de radiação gama utilizado para calibração deve ser caracterizado em termos da taxa de kerma no ar para várias distâncias. A taxa de kerma no ar deve ser derivada de medições com uma câmara de ionização padrão através da dosimetria periódica do feixe, de acordo com a norma ISO 4037-2.

8.1.3.2. Radiação espalhada.

A radiação espalhada não deve representar uma contribuição à taxa de kerma no ar determinada no ponto de calibração superior a 5% da radiação do feixe primário.

8.1.3.3. Atenuação.

Se um atenuador for utilizado para reduzir a taxa de kerma no ar, o efeito da alteração no espectro de radiação (relativo ao espectro da radiação não atenuada) na exatidão de calibração de cada tipo de instrumento deve ser conhecido. A incerteza gerada pelo uso de atenuadores deve ser avaliada para cada tipo de instrumento a ser calibrado. A calibração, com o uso de atenuadores, deve ser efetuada a partir de uma distância mínima de 1 metro do último atenuador.

8.1.4. Procedimento de calibração.

Quando aplicável, o procedimento de calibração de monitores de radiação gama deve incluir testes para verificação das condições operacionais do instrumento, i.e., zero elétrico e mecânico, funcionamento de mostradores analógicos ou digitais, resposta à radiação de fundo, funcionamento de alarmes e resposta à alta taxa de dose, conforme o tipo de instrumento.

8.1.4.1. Monitores de área.

A calibração de um monitor de área analógico deve ser efetuada próximo de 50% de cada uma das escalas ou década, nos casos de instrumentos digitais ou com escalas logarítmicas. Em sequência deve-se verificar a leitura do instrumento a 20% e a 80% da escala para testar sua linearidade. Os valores medidos nestes pontos devem se situar dentro de $\pm 10\%$ do valor verdadeiro convencional, a 50% da escala e dentro de $\pm 20\%$ a 20 e 80 % da escala. A incerteza na calibração do instrumento não deve ser maior do que 20% no ponto de calibração.

8.1.4.2. Dosímetros pessoais.

Dosímetros pessoais de leitura direta devem ser calibrados de modo semelhante aos monitores de área, respeitando suas diferenças e grandezas empregadas.

Dosímetros pessoais de leitura indireta poderão ser calibrados livres no ar, ou sobre a face frontal do fantoma, de acordo com a grandeza empregada. Quando for utilizado o fantoma, os dosímetros deverão ser colocados a, pelo menos, 7,5 cm de qualquer borda da superfície que ficar voltada para a fonte radioativa.

O eixo central do feixe de radiação colimado deve estar perpendicular à superfície do fantoma, e passar no seu centro geométrico. A posição e orientação do fantoma devem ser reprodutíveis e verificáveis.

A distância entre a fonte de radiação e o ponto de referência do dosímetro deve ser de no mínimo 1,0 metro, quando a irradiação for feita livre no ar, e 1,5 metro quando da utilização de um fantoma.

Um método de monitoração da calibração de dosímetros pessoais de leitura indireta deve ser utilizado para verificar o kerma no ar no período de irradiação. Esse método deve ser independente do relógio temporizador ou do conhecimento da taxa de kerma no ar. Pode ser utilizado, por exemplo, um dosímetro pessoal de leitura direta posicionado dentro do campo de radiação, ou uma câmara monitora do feixe de radiação.

8.2. Calibração de monitores de área e dosímetros pessoais com radiação X.

8.2.1. Equipamentos de raios X.

Um equipamento de raios-x de potencial constante deve estar disponível para uso na calibração de monitores de radiação. A ondulação da tensão no tubo (ripple) deve ser a menor possível tendo como valor máximo aceitável de 10%. O valor verdadeiro convencional do potencial do tubo deve ser conhecido dentro de $\pm 2\%$.

8.2.2. Controle do feixe de radiação.

8.2.2.1. Emissão da radiação.

A emissão do feixe primário de radiação deve ser controlada por meio de um obturador. A radiação que atravessar o obturador ou a blindagem do tubo de raios-X deve ser menor que 0,1% das taxas obtidas com o obturador aberto, na posição de calibração de monitores pessoais.

8.2.2.2. Colimação do feixe de radiação.

O feixe de raios X emitido pelo tubo deve ser colimado. Os dosímetros pessoais podem ser calibrados livres no ar ou posicionados sobre um fantoma, dependendo da grandeza utilizada. No ponto de teste, o diâmetro do campo deve ser suficiente para irradiar completa e uniformemente os monitores, ou o fantoma.

O feixe de radiação deve estar alinhado com o sistema de posicionamento do instrumento.

8.2.2.3. Controle da exposição.

Se o equipamento de raios X for utilizado para calibração de dosímetros pessoais, o feixe de radiação deve ser controlado por um temporizador ou a dose integrada deve ser controlada pelo uso de uma câmara de transmissão. Os erros devidos ao tempo de trânsito do obturador ou de oscilações da alta tensão devem ser corrigidos, se necessário. Qualquer incerteza associada à temporização deve ser documentada eliminada ou corrigida.

8.2.3. Equipamento de calibração.

Em adição ao equipamento de raios X e dispositivos de controle associados, o Laboratório deve possuir no mínimo os seguintes equipamentos, devidamente calibrados, quando aplicável:

- a) Uma câmara de ionização padrão adequada para as faixas de intensidade e de energia dos fótons para os serviços disponibilizados.
- b) Uma câmara de transmissão para monitorar o feixe de radiação.
- c) Dois eletrômetros. Um para medir a carga produzida na câmara de ionização padrão e outro para a câmara de transmissão.
- d) Duas fontes de alimentação estáveis para os potenciais de polarização das câmaras.
- e) Dois termômetros com resolução mínima de 0,1 °C.
- f) Um barômetro com resolução mínima de 0,1 kPa.
- g) Um cronômetro com resolução mínima de 0,01s.
- h) Um higrômetro com resolução mínima de 1 % de umidade relativa.
- i) Filtros metálicos que permitam a implantação das qualidades de radiação, de acordo com a norma ISO 4037-1.
- j) Um conjunto de fantasmas para simular o tórax, o pulso e o dedo conforme especificado na norma ISO 4037-3, caso necessário.
- k) Um sistema de posicionamento de instrumentos no feixe de raios X compatível com a incerteza do processo de calibração.

8.2.3.1. Controle de qualidade dos equipamentos.

O sistema de medição, formado pela câmara de ionização padrão e eletrômetro, deve ser testado com uma fonte radioativa de teste dedicada, sempre antes do seu uso, para verificação da estabilidade e reprodutibilidade do conjunto. Esses resultados deverão estar registrados em livro, ou arquivo equivalente, que deve estar disponível para auditoria todo o tempo.

8.2.4. Caracterização do feixe de radiação.

8.2.4.1. Dosimetria.

O campo de raios X utilizado para calibração deve ser caracterizado em termos da taxa de kerma no ar para vários valores de corrente do tubo de raios X. A taxa de kerma no ar deve ser derivada de medições com uma câmara de ionização padrão através da dosimetria periódica do feixe, de acordo com a norma ISO 4037-2.

8.2.4.2. Radiação espalhada.

A radiação espalhada não deve representar uma contribuição à taxa de kerma no ar determinada no ponto de calibração superior a 5% da radiação do feixe primário.

8.2.4.3. Qualidades de radiação.

O feixe de raios X emitido pelo tubo deve ser filtrado antes do uso, de modo a fornecer a qualidade de radiação apropriada para o propósito da calibração e de acordo com a norma ISO 4037-1. Quando uma câmara de transmissão for usada para a monitoração rotineira do feixe, deve-se considerar a filtração adicional introduzida pela mesma.

A primeira camada semi-redutora e o coeficiente de homogeneidade para uma dada qualidade de radiação deverão ser medidos de acordo com os métodos e requisitos da norma ISO 4037-1. Se necessário, a tensão aplicada ao tubo ou a filtração adicional poderão ser ajustados para atingir os requisitos da norma.

A estabilidade da qualidade de radiação deve ser verificada pelo menos a cada ano. Quando qualquer parte do sistema que possa afetar a qualidade do feixe for substituída ou reparada, a conformidade com os requisitos para a implantação das qualidades de radiação deve ser verificada.

8.2.4.4. Estabilidade e homogeneidade do campo de radiação.

A razão entre as leituras da câmara monitora e as do padrão de referência em uma dada distância/posição deve permanecer constante ao longo do tempo para cada qualidade de radiação, devendo ser verificada periodicamente.

A homogeneidade do campo de radiação deve ser igual ou superior a 95%.

8.2.5. Procedimento de calibração.

Quando aplicável, o procedimento de calibração de monitores de radiação X deve incluir testes para verificação das condições operacionais do instrumento, i.e., zero elétrico e mecânico, funcionamento de mostradores analógicos ou digitais, resposta à radiação de fundo, funcionamento de alarmes e resposta à alta taxa de dose, conforme o tipo de instrumento.

As calibrações em feixes de raios X devem ser realizadas pelo método de substituição com uma câmara padrão ou pelo uso de uma câmara monitora como padrão de referência.

8.2.5.1. Monitores de área.

Para monitores de área calibrados somente com raios X, a calibração deve ser efetuada próximo de 50 % de cada uma das escalas do instrumento ou década nos casos de instrumentos digitais ou com escalas logarítmicas. Em sequência deve-se verificar a leitura do instrumento a 20% e a 80% da escala para testar sua linearidade. Os valores medidos nestes pontos devem se situar dentro de $\pm 10\%$ do valor verdadeiro convencional a 50% da escala e dentro de $\pm 20\%$ a 20 e 80 % da escala.

Instrumentos previamente calibrados com radiação gama, cuja calibração com raios X também seja solicitada, devem ser calibrados sem que seja efetuado qualquer ajuste.

A incerteza na calibração do instrumento não deve ser maior do que 20% no ponto de calibração.

8.2.5.2. Dosímetros pessoais.

Dosímetros pessoais de leitura direta devem ser calibrados de modo semelhante aos monitores de área, respeitando suas diferenças e grandezas empregadas.

Dosímetros pessoais de leitura indireta poderão ser calibrados livres no ar, ou sobre a face frontal do fantoma, de acordo com a grandeza empregada. Quando for utilizado o fantoma, os dosímetros deverão ser colocados, a pelo menos 7,5 cm de qualquer borda da superfície que ficar voltada para a fonte radioativa.

O eixo central do feixe de radiação colimado deve estar perpendicular à superfície do fantoma, e passar no seu centro geométrico. A posição e orientação do fantoma devem ser reproduzíveis e verificáveis.

A distância entre a fonte de radiação e o ponto de referência do dosímetro deve ser de no mínimo 1,0 metro, quando a irradiação for feita livre no ar ou quando da utilização de um fantoma.

Um método de monitoração da irradiação deve ser utilizado para verificar o kerma no ar no período de irradiação. Esse método deve ser independente do relógio temporizador ou do conhecimento da taxa de kerma no ar. Pode ser utilizado, por exemplo, um monitor pessoal de leitura direta posicionado dentro do campo útil de radiação ou uma câmara monitora do feixe de radiação.

8.3. Calibração de Monitores de Contaminação alfa, beta e/ou gama (α , β e/ou γ).

8.3.1. Fontes de radiação.

Fontes de radiação planas, homogêneas e de grande área devem ser usadas para o propósito da calibração de monitores de contaminação.

Os radionuclídeos recomendados encontram-se nas normas ISO 8769 e ISO 8769-2, entre eles, os de referência são:

- Emissores alfa: ^{241}Am , ^{239}Pu ou, para algumas aplicações, ^{238}U
- Emissores beta: ^{14}C , ^{147}Pm , ^{204}Tl , ^{36}Cl e $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$
- Emissores gama:

Fonte radioativa	Filtro (mg/cm^2)	
^{55}Fe	-	
^{238}Pu	32,5	Al
^{129}I	81	aço inox
^{241}Am	200	aço inox
^{57}Co	200	aço inox
^{137}Cs	800	aço inox
^{60}Co	80	Al

As fontes radioativas usadas na calibração devem estar montadas em superfície com baixo coeficiente de espalhamento (plástico ou alumínio) e serem suficientemente finas para minimizar a auto-absorção da radiação.

As fontes radioativas devem ser acompanhadas de certificado de calibração estabelecendo a taxa de emissão superficial, rastreadas aos padrões nacionais ou internacionais.

8.3.2. Equipamento.

Em adição às fontes de radiação, o Laboratório deve possuir, no mínimo, os seguintes equipamentos:

- a) Sistema que possibilite o posicionamento exato e reprodutível do detector em relação à fonte de radiação.
- b) Sistema de medição independente, utilizado como controle de qualidade da taxa de emissão superficial das fontes radioativas.
- c) Gerador de pulsos nucleares, calibrado em termos de número de pulsos por unidade de tempo e que simule os detectores de radiação.

8.3.2.1. Controle de qualidade das fontes radioativas.

As fontes radioativas usadas na calibração devem ter a taxa de emissão superficial verificada com um sistema de medição independente para testar sua reprodutibilidade. Esses resultados deverão estar registrados em livro,

ou arquivo equivalente, que deve estar disponível para auditoria todo o tempo.

8.3.3. Caracterização do feixe de radiação.

8.3.3.1. Taxa de emissão superficial.

A fonte radioativa utilizada para calibração deve ser caracterizada em termos da taxa de emissão superficial. A homogeneidade da taxa de emissão em toda área da fonte radioativa deve ser melhor que $\pm 6\%$.

As dimensões da fonte radioativa devem ser preferencialmente maiores do que a janela do detector a ser calibrado. Na ausência de uma fonte radioativa com essa característica, outra com área menor poderá ser usada desde que seja avaliada a resposta do detector como um todo, por exemplo, através de um conjunto de medições que cubram toda a área sensível do detector.

8.3.4. Procedimento de calibração.

Quando aplicável, o procedimento de calibração de monitores de contaminação deve incluir testes para verificação das condições operacionais do instrumento, i.e., zero elétrico e mecânico, funcionamento de mostradores analógicos ou digitais, resposta à radiação de fundo, funcionamento de alarmes e verificação do plateau, conforme o tipo de instrumento.

A calibração da sonda de contaminação superficial deve ser feita com a determinação da eficiência da sonda, para cada radionuclídeo de interesse, de acordo com o especificado na norma ISO 7503-1.

Instrumentos multi-sondas devem ser calibrados primeiramente com a sonda de taxa de dose. Neste caso a calibração com a sonda de contaminação superficial deve ser feita sem ajuste adicional do instrumento.

Instrumentos calibrados somente com sonda para contaminação superficial, antes de serem calibrados com fontes radioativas devem ser calibrados eletronicamente em unidades de frequência (cps ou cpm), empregando um gerador de pulsos que simule o detector.

8.3.4.1. Para detectores alfa (α).

Deve-se garantir que a superfície sensível do detector esteja posicionada na distância mais próxima possível da fonte de radiação α , sem materiais atenuadores entre o detector e a fonte radioativa. A distância entre as superfícies da fonte radioativa e do detector deve ser de 3 ± 1 mm.

Um instrumento projetado exclusivamente para monitorar radiação α deve ter resposta muito baixa para radiação β . Cada instrumento desse tipo deve ser testado com uma fonte radioativa β para verificar que sua resposta seja menor que 1% da resposta correspondente à fonte radioativa α .

8.3.4.2. Para detectores beta e gama (β e γ).

A calibração com fontes radioativas beta e gama (β e γ) deve ser realizada com o detector posicionado a uma distância de 3 ± 1 mm da fonte radioativa.

8.3.5. Certificado de Calibração

Além das informações descritas nos requisitos gerais, um Certificado de Calibração deve incluir:

- a) A taxa de emissão das fontes radioativas usadas na calibração na data de referência,
- b) A eficiência do detector do instrumento para cada radionuclídeo utilizado na calibração.
- c) No caso de instrumentos projetados somente para radiação alfa, informar a resposta do teste de rejeição da radiação beta,
- d) A distância entre a superfície da fonte radioativa de referência e a janela do detector do monitor calibrado.

9. Requisitos para ensaio de proficiência do Laboratório.

O Laboratório candidato à Certificação descrita neste documento deverá demonstrar competência nos tipos de serviços para os quais a Certificação foi solicitada. Avaliações nesse sentido, denominadas ensaio de proficiência, deverão ser feitas durante a auditoria para Certificação e, depois de certificados, de acordo com a programação e procedimento estabelecidos pelo organismo certificador.

O não cumprimento dos requisitos estabelecidos acarretará em suspensão ou cancelamento da Certificação.

Cada ensaio de proficiência deve ser representativo de um ou mais tipos de serviços para os quais o Laboratório está certificado, conforme descrito a seguir.

9.1. Avaliação do erro relativo da grandeza de calibração.

O erro relativo da grandeza de calibração para cada tipo de serviço certificado deve ser avaliado pelo método a seguir: o LNMRI deve calibrar uma câmara de ionização usando uma ou mais energias de radiação, conforme o escopo da Certificação fornecida ao Laboratório, e enviará esta mesma câmara para calibração nas mesmas condições, energia e intensidade do feixe, no Laboratório certificado.

Os resultados comparativos para taxa de kerma no ar, nas diferentes energias solicitadas, deverão concordar em 5% para o desempenho do Laboratório ser considerado satisfatório.

9.2. Avaliação da calibração de monitores de área.

Este teste consiste na calibração pelo Laboratório, de diferentes modelos de monitores previamente ajustados no LNMRI. Serão considerados satisfatórios resultados que concordem em 10% com as referências do LNMRI.

9.3. Avaliação da calibração de monitores de contaminação.

Este teste consiste na calibração pelo Laboratório, de diferentes modelos de monitores previamente ajustados no LNMRI. Serão considerados satisfatórios resultados que concordem em 15% com as referências do LNMRI.

9.4. Comparação interlaboratorial.

O Laboratório certificado para serviços de calibração de monitores com radiação X e gama deverá participar com seus padrões de referência nas comparações interlaboratoriais promovidas pelo LNMRI.

10. Referências

- 10.1. ISO 4037-1:1996; "X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dose ratemeters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy", International Organization for Standardization, 1996.
- 10.2. ISO 4037-2:1997; "X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dose ratemeters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy – part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges 8 keV to 1,3 MeV and 4MeV to 9 MeV", International Organization for Standardization, 1997.
- 10.3. ISO 4037-3:1999; "X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dose ratemeters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy – part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence", International Organization for Standardization, 1999.
- 10.4. ISO 8769:1988; "Reference sources for the calibration of surface contamination monitors -- Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0,15 MeV) and alpha-emitters", International Organization for Standardization, 1988.
- 10.5. ISO 8769-2:1996; "Reference sources for the calibration of surface contamination monitors -- Part 2: Electrons of energy less than 0,15 MeV and photons of energy less than 1,5 MeV", International Organization for Standardization, 1996.
- 10.6. ISO 7503-1:1988; "Evaluation of surface contamination -- Part 1: Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0,15 MeV) and alpha-emitters", International Organization for Standardization, 1996.
- 10.7. Health and Safety Executive; The examination and testing of portable radiation instruments for external radiations, Health and Safety Executive series booklet HS(G)49, HMSO (1990), ISBN 0 11 885507 7.
- 10.8. IAEA TRS 374; "Calibration of Dosimeters Used in Radiotherapy", Technical Report Series no. 374, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1994.
- 10.9. IAEA TRS 133; "Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments", Technical Report Series no. 133, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1971.
- 10.10. IAEA SRS 16; "Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments", International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000.
- 10.11. Isenhower, E.H.; "Criteria for the Operation of Federally-Owned Secondary Calibration Laboratories (Ionizing Radiation), NIST Special Publication 812, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, October 1991.
- 10.12. NAMAS B0802; "Calibration of Radiological Instruments", NAMAS Publication B0802, National Physical Laboratory, UK, 1977.

- 10.13. NAMAS B0811; "Calibration of Radiological Protection Level Instruments: X, γ and β Rays", NAMAS Publication B0811, National Physical Laboratory, UK, 1989.
- 10.14. NAMAS B0824; "The Calibration of Radiological Protection Level Instruments: Surface Contamination Measuring Instruments and Sources for their Calibration", NAMAS Publication B0824, National Physical Laboratory, UK, 1989.