

Controle de Qualidade do Medidor de Atividade

Ativímetro em Serviço de Medicina Nuclear (artigo de revisão)

Gleicio Oliveira Valgas

CTCON, Brasil; Faculdades ICESP.

Received: 28 April 2017 ___ Accepted: 22 May 2017 ___ Published: 16 Jun 2017 ___.

Abstract: In this work, we present a description of the tests of quality control of the activity measurer - activometer used in Nuclear Medicine Service - NMS. A bibliographic survey was carried out to describe the main tests, their objectives, periodicity and the norms that regulate such tests. The work aims to bring an academic contribution to users or stakeholders, contributing to a better understanding of the importance of quality control in a nuclear medicine service.

Key words: nuclear medicine, quality control, activometer.

Conceito-chave

Ativímetro: aparelho utilizado para verificar a atividade de um determinado radiofármaco.

Simbologia

$A(t)$: atividade da amostra

N_A : número de Avogadro

$n(t)$: número de átomos existentes numa amostra

1. Introdução

A medicina nuclear é uma especialidade da área médica que utiliza radioisótopos emissores de radiações alfa (α), beta (β), gama (γ) e raios X, por meio da captura

eletrônica. São técnicas indolores para formação de imagens, fisiologia e para fins terapêuticos. As aplicações de radiofármacos nos pacientes são efetuadas nas formas de impulsão venosa, arterial e inalação. A quantidade e o tipo de radioisótopos administrados aos pacientes deve ser medida e documentada, sendo as áreas de trabalho monitoradas para manter a segurança tanto da equipe de trabalho quanto dos pacientes.

Para o paciente ser submetido a estudo de diagnóstico ou tratamento terapêutico, a prescrição médica de medicina nuclear tem que ser feita por um médico nuclear sob a forma de ordem escrita, datada e assinada, anteriormente à administração do radiofármaco (Tharall, 2003; RDC – 38, 2008; Moraes, 2007; CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear 3.05, 2013). A responsabilidade técnica pela preparação e administração de radiofármacos é atribuída a profissionais com formação superior na área da saúde, com registro no respectivo conselho de classe, de acordo com competências profissionais definidas na legislação

Autor correspondente: Gleicio Oliveira Valgas, Professor, áreas de pesquisa: física nuclear, eletromagnetismo, tecnologia química e biológica e imagens médicas. E-mail: gleiciokn@gmail.com.

vigente (CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear 3.05, 2013).

São utilizados detectores de radiações, tais como a câmara de cintilações, a qual faz a conversão de radiação ionizante em corrente elétrica; esta, por sua vez, segue ao sistema computacional, e, por uma transformada de Fourier, promove a formação de imagens ou estado funcional dos órgãos. As imagens em medicina nuclear são obtidas de dentro para fora do corpo do paciente, uma vez que os radiofármacos emitem as radiações e estas são oriundas do interior do paciente indo ao encontro das fotomultiplicadoras (Tharall, 2003; RDC – 38, 2008). Os testes de controle de qualidade no medidor de atividade são de suma importância, pois são estes testes que vão garantir o bom funcionamento do aparelho, e, portanto, confiabilidade em todo serviço de medicina nuclear.

Esse artigo tem por objetivo descrever os testes de controle de qualidade no ativímetro, medidor de atividade exigido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (doravante, CNEN).

2. Breve histórico sobre a medicina nuclear

“Em 1895, o pesquisador alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X, cujas propriedades despertaram o interesse da classe médica” (Mazzilli *et al.* 2002). Roentgen notou que os raios X atravessavam os corpos humanos e outros, além de permitirem visualizar características anatômicas do interior de nosso corpo (Mazzilli *et al.* 2002).

Em 1986 veio a descoberta da radioatividade natural por Henri Becquerel. A medicina nuclear iniciou-se, então, no século XX. Os primeiros pesquisadores foram: Marie Curie (1867 - 1934), Pierre Curie (1895 - 1906) e George Hevesy (1885 - 1966). Em 1934, George Hevesy fez o primeiro radiotraçador com chumbo, e Irene Curie

e Frédéric Curie (1897 - 1956) obtiveram o fósforo-32, que é radioativo (Nascimento, 1996).

3. A equipe de trabalho na medicina nuclear: serviços e instrumentos

O grupo de profissionais que trabalham no serviço de medicina nuclear (doravante, SMN) deve incluir pelo menos um médico qualificado em medicina nuclear e um supervisor de radioproteção (doravante, SPR), que deve ter nível superior e certificação pela CNEN, de acordo com a Norma 7.01 de 2016. Além destes, um ou mais técnicos de nível superior ou médio, qualificados para exercer suas funções conforme a norma NE 3.05 de 2013 da CNEN, e profissionais de enfermagem para aplicação dos radiofármacos. O médico que for qualificado em medicina nuclear e que seja concomitantemente SPR pode acumular as duas funções, desde que haja compatibilidade de horários.

Serviço qualificado

Para obter um bom funcionamento do aparelho, o SMN tem que integrar profissionais de manutenção qualificados e treinados para manipular os aparelhos. Caso um aparelho não esteja funcionando como deveria, será necessário verificar se todos os controles foram corretamente configurados. Se o problema não for resolvido, talvez seja melhor a intervenção do serviço de manutenção.

Instrumentos de medição da radiação e equipamentos de diagnóstico

O SMN deve estar equipado com, no mínimo, os seguintes acessórios e materiais (CNEN - 3.05, 2013):

1. Equipamentos de proteção individual (doravante, EPI) e equipamentos de proteção coletiva (doravante, EPC), tais como: luvas descartáveis, jalecos de manga longa,

transportadores blindados de frasco e seringa, pinças com dimensões adequadas ao tipo de manipulação e blindagem para manipulação, transporte e armazenamento de fontes radioativas e rejeitos.

2. Fontes radioativas de referência, seladas e com atividade mínima de 3,7 MBq, específicas para uso em controle de qualidade dos instrumentos de medição de radiação, nas geometrias e energias compatíveis com as práticas autorizadas, sendo as mais utilizadas: Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137.
3. Monitor de taxa de dose (principal e reserva) com resolução de escala suficiente para a prática autorizada.
4. Monitor de contaminação de superfície (principal e reserva) com resolução de escala suficiente para a prática autorizada.
5. Medidor de atividade compatível com as energias e características específicas encontradas nas práticas autorizadas, e com resolução de escala suficiente para os valores das atividades de rotina.

As fontes radioativas de referência são de uso exclusivo do SMN e não poderão ser compartilhadas sob nenhuma circunstância com outros SMN. Outras fontes radioativas seladas de referência podem ser utilizadas, desde que sejam específicas para uso em controle de qualidade dos instrumentos de medição de radiação, nas geometrias e energias compatíveis com as práticas autorizadas. É vedado o uso de medidor de atividade com detector do tipo Geiger-Müller, devendo ser obrigatoriamente um contador de dose.

Os medidores de taxa de exposição, de dose equivalente e dose absorvida podem ser utilizados como medidores de taxa de dose, desde que suas medidas sejam adequadamente convertidas. Os monitores de taxa de dose e de contaminação de superfície, principal e reserva, devem ser calibrados, em datas distintas, a cada

dois anos, e sempre que os instrumentos sofrerem reparos ou apresentarem suspeita de funcionamento irregular, por laboratório acreditado pelo órgão competente em metrologia para realizar os ensaios de calibração, assim como devidamente autorizado pela CNEN.

3. Atividade da amostra

A atividade da amostra é mensurada em Ci ou Bq, as equações abaixo demonstram como calcula a atividade radioativa.

A taxa de mudanças dos átomos instáveis em um determinado instante é denominada de Atividade. Assim, chamando de $n(t)$ o número de átomos existentes numa amostra, no instante t , a atividade $A(t)$, será expressa por:

$$A(t) = \frac{dn(t)}{dt} = -\lambda n(t) \quad (1)$$

Integrando a equação diferencial e chamando de n_0 o número de átomos radioativos existentes na amostra no instante $t = 0$, segue

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t}$$

A atividade da amostra pode ser obtida pela expressão:

$$A(t) = -\lambda n(t) = -\lambda n_0 e^{-\lambda t}$$

A atividade da amostra no instante zero, A_0 , é expressa por:

$$A_0 = -\lambda n_0$$

e, portanto:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}.$$

O número inicial n_0 de átomos de massa atômica A numa amostra de massa m (em g) é obtido pela expressão:

$$n_0 = m N_A / A,$$

onde $N_A = \text{número de Avogadro} = 6,02 \cdot 10^{23}$ átomos em A gramas do radionuclídeo.

4. Contador de Atividade Ativímetro (Curiômetro)

O curiômetro é simplesmente uma câmara de ionização tipo poço, na qual o radiofármaco é introduzido para que seja mensurada sua atividade em Becquerel - **Bq** ou Curie - **Ci**. Geralmente usa-se o gás argônio (a câmara é selada com uma pressão de 20atm). Isso faz com que ocorra ionização quando a câmara é irradiada, o que gera carga elétrica. No curiômetro as cargas são atraídas pelos eletrodos, pois há polaridade negativa. Portanto, o eletrômetro transformará a ionização em carga elétrica (Costa, 1999; Martins, 2010) conforme a Figura 1.

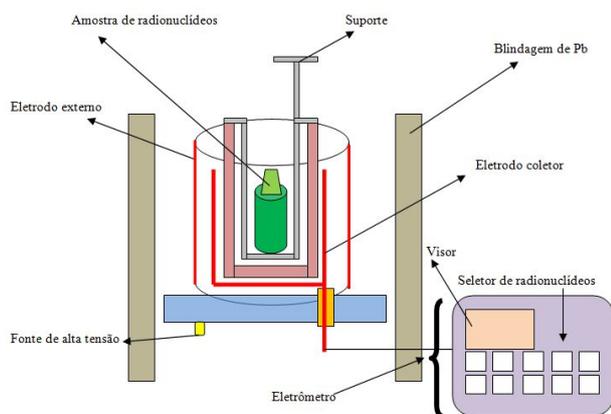


Figura 1. Esquema simplificado de um ativímetro.

Isto ocorre devido às condições geométricas serem as mesmas; as respostas devem ser lineares e as mesmas proporcionalidades entre a atividade e as ionizações devem ser observadas. Para os diferentes tipos de radionuclídeos sempre deve ser selecionado no seletor de

radionuclídeo, no qual será mensurado (Costa, 1999; Martins, 2010).

A radioproteção é feita com uma camada de chumbo em volta da câmara de ionização com uma espessura razoável para suportar a pressão do gás emanado, fazendo com que a radiação de fundo seja controlada, uma vez que o curiômetro sempre estará na sala de radiofarmácia, dentro da qual a taxa de exposição é alta (Costa, 1999; Martins, 2010; Mazzilli, 2002).

Segundo Martins (2010), o aparelho tem outros componentes, tais como: uma fonte de tensão estabilizada para proporcionar a polarização adequada a câmara; um eletrômetro adequado para a medida das correntes de ionização baixas; um circuito eletrônico para processamento e apresentação dos dados; dispositivos para a colocação de fontes radioativas em recipientes de diversos tamanhos e formas; interface para seleção de opções e introdução de dados.

5. Controle de Qualidade em Medicina Nuclear

Para obter um desempenho seguro dos equipamentos de serviço de medicina nuclear, além de imagens de cintilografia com qualidade para diagnóstico, é exigida uma série de testes de controle. O conjunto de testes de segurança e desempenho é realizado periodicamente, a fim de avaliar se os instrumentos de medição da radiação ou equipamentos de diagnóstico continuam atendendo aos requisitos das resoluções da CNEN e as demais normas nacionais e internacionais, bem como aos valores de referência estabelecidos durante os testes de aceitação. Abaixo segue uma tabela com os testes que são obrigatórios aqui no Brasil para os aparelhos de medição de atividade (CNEN – 3.05, 2013).

No ativímetro existem os testes principais de repetitividade, calibrador, exatidão, precisão, linearidade

e geometria (CNEN – 3.05, 2013). A regularidade nas leituras deve ser observada todos os dias para garantir a efetividade do aparelho. O Cs-137, com tempo de meia vida longo, é medido no calibrador de dose. A leitura não pode variar em mais de 10 % do valor registrado no teste de exatidão inicial, que foi corrigido na fonte padrão de Césio-137. As leituras de cada ajuste são predefinidas e são executadas diariamente (Powsner, 2006, p.136; CNEN – 3.05, 2013).

Teste de repetitividade

Esse teste consiste em verificar a constância na resposta do equipamento para diferentes fontes de referência, como o Ba-133, o Co-57 e o Cs-137, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ (cinco por cento). Devem ser realizados todos os dias antes do início das atividades.

No sistema do contador de dose está gravada a data de calibração da fonte de referência e o dia em que ela foi inserida na memória do seu sistema, a qual, por sua vez, registra a atividade da fonte por meio de cálculos de decaimento radioativo executados automaticamente. Quando se coloca a fonte no aparelho ele faz a leitura e compara o decaimento, verificando o nível de confiança do sistema para obter a aceitação final (Farrelly Pessoa, E., et al., 1978; Biral, 2002; CNEN – 3.05, 2013, Tauhata, 2014; UFRGS, 2014).

Testes de calibrador: ajuste zero, radiação de fundo ou background, e alta voltagem

O primeiro é simples; verifica e ajusta o ponto “zero” do aparelho calibrador de dose (alguns equipamentos não oferecem esta função). Deve ser realizado diariamente antes do início das atividades (CNEN – 3.05, 2013).

O segundo verifica a radiação de fundo, pois as medidas precisam estar dentro de um intervalo de $\pm 20\%$.

Pelo fato de o contador de dose estar localizado na radiofarmácia, este teste pode não ser confiável (CNEN – 3.05, 2013).

O último consiste em verificar a tensão de entrada, quando disponível, no calibrador de dose, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 1\%$. Este teste verifica a capacidade do calibrador perceber suas limitações em relação à corrente elétrica e à voltagem máxima. É realizado diariamente antes do início das atividades (CNEN – 3.05, 2013).

Todos estes testes devem ser realizados diariamente, de acordo com as práticas estabelecidas internacionalmente (*Laboratoire National Henri Becquerel* – LNHB; *National Physical Laboratory* – NPL; *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas* – CIEMAT).

Exatidão

A exatidão é uma medida das leituras do calibrador de dose, em comparação com padrões aceitáveis. Duas fontes com tempo de meia vida longo, por exemplo, o Césio-137 ($T_{1/2} = 30$ anos) e o Cobalto-57 ($T_{1/2} = 270$ dias) são medidos várias vezes e as médias das leituras são comparadas com os valores emitidos pelo *National Institute of Standards and Technology*. Se a leitura obtiver mais de 10% de erro, o calibrador de dose não deverá ser utilizado. A verificação da exatidão deve ser feita na instalação anualmente e após reparos, ou quando for movido para outra posição dentro da clínica (Powsner, 2006, p.136).

É um teste de suma importância, pois verifica a exatidão nas medidas de um calibrador de dose através da utilização de fontes de referência como Co-57, Ba-133 e Cs-137, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$. É realizado semestralmente antes do início das atividades (CNEN – 3.05, 2013), de acordo com a equação

$$\text{exatidão} = 100 \times \frac{Am - C}{C},$$

pela qual se deve calcular, para cada fonte, a diferença percentual entre a média das atividades (Am) registradas e a atividade da fonte padrão de referência (C) com suas atividades corrigidas pelo decaimento (CNEN – 3.05, 2013).

Precisão

No teste de precisão se utiliza uma fonte de Co-57, Ba-133 ou Cs-137; é realizado semestralmente, sendo que o desvio não pode ultrapassar 5%, apresentando 95% de confiabilidade. Mede a dispersão dos valores medidos em torno do valor estabelecido conforme a expressão

$$\text{precisão} = 100 \times \frac{Ai - Am}{Am},$$

pela qual se deve calcular, para cada fonte, a diferença percentual entre a medida da atividade individual (Ai) e a média das medidas (Am) (CNEN – 3.05, 2013).

Linearidade

Este teste verifica a linearidade das medidas de um calibrador de dose por meio da utilização de uma fonte de meia vida curta, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$. É realizado anualmente, podendo utilizar uma fonte de uso da própria clínica/hospital, como o ^{99m}Tc , cujo tempo de meia vida é muito curto, permitido assim uma variação de 10% para mais ou para menos.

Na linearidade usam-se as doses mais elevadas das que são administradas nos pacientes. Um método para verificar a linearidade é medir o máximo de atividade que a clínica utilizará, como 7,4 GBq (200 mCi) de ^{99m}Tc , e repetir o teste em intervalos de tempo de 6, 24, 30, 48, e 96 horas (Powsner, 2006, p.136).

Uma técnica mais rápida para medir a dose é repetir a sua medida protegida dentro de chapas (luvas) de chumbo de diferentes espessuras. A espessura da chapa é usada individualmente e na combinação que reproduz a eficácia durante o declínio da atividade do ^{99m}Tc ao longo de 96 horas, como visto na Figura 2. As chapas devem ser examinadas com cuidado antes do uso; não renderão leituras exatas se houver alguma trinca, rachadura etc.. (Powsner, 2006, p.136).

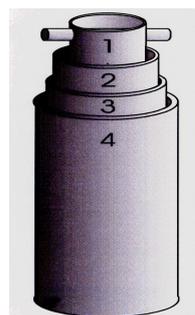


Figura 2. Luvas de teste de linearidade (Powsner, 2006).

A linearidade inicial deve ser feita anualmente na clínica quando mudar o aparelho de lugar dentro da mesma. A atividade aparente de uma dose irá variar com o volume e a forma do recipiente e a posição da dose dentro da câmara (Powsner, 2006, p.136).

Teste de Geometria

Verifica se os fatores de calibração do equipamento para recipientes e volumes diferentes daqueles usados nos testes usuais estão corretos. Toma-se uma amostra para ser testada, colocando-se um diluente, que pode ser água, para uma pequena quantidade de atividade como no exemplo na Figura 3. Simultaneamente, uma amostra pode ser medida em outro recipiente para ensaio (seringas, frascos, etc.), isto é, usado em laboratório. As medidas da dose não devem variar por mais de 10% (Powsner, 2006, p.137).



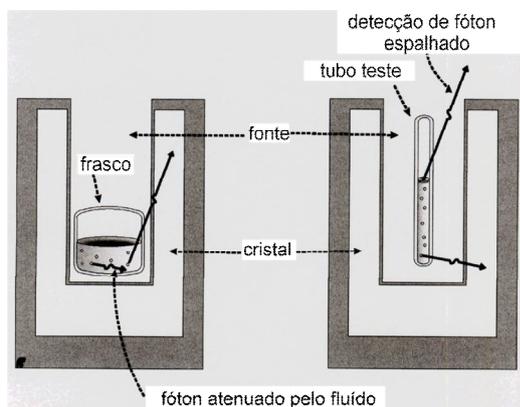


Figura 3. Amostra da variação geométrica (Powsner, 2006).

Os testes recomendados pelos órgãos internacionais são um pouco divergentes dos testes sugeridos pela CNEN, (Aguado, 2004). Segue abaixo um quadro demonstrativo, o qual pode ser comparado com a Tabela 1 da CNEN, *in fine*.

Teste	Linearidade	Exatidão	Precisão	Geometria
IEA	Trimestral	Trimestral	Trimestral	NE
PL	Anual	Anual	Anual	NE
NHB	Diário	Diário	Anual	NE
CR	Diário	Diário	Anual	Na instalação
NSI	Diário	Diário	Anual	Na instalação
NE: não especificado				

6. Considerações Finais

Este trabalho de revisão descreveu os principais procedimentos de controle de qualidade dos ativímetros. Com base em pesquisas bibliográficas no período compreendido entre agosto de 2016 e março de 2017, concluiu-se que há uma série de testes e procedimentos para que o controle de qualidade esteja dentro dos padrões aceitáveis.

Sem controle de qualidade, o serviço de medicina nuclear seria inviável, e colocaria trabalhadores e pacientes em risco de irradiação e contaminação

desnecessárias. Os aparelhos não teriam a mesma eficácia para imagens, fisiologia e terapia de acordo com os requisitos mínimos necessários.

Percebe-se que os testes recomendados aqui no Brasil pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN diferem das recomendações oriundas das comissões internacionais AIEA, LNHB, CAPINTEC, LNHB, CIEMAT. Concluiu-se que os testes exigidos pela CNEN são mais rigorosos e abrangentes do que os testes internacionais, muito embora isto não signifique que as políticas nacionais sejam aplicadas com total rigor.

Espera-se que as informações aqui expostas possam contribuir para a comunidade acadêmica, de modo a que se configure melhor entendimento quanto à importância do controle de qualidade em medicina nuclear.

7. Agradecimentos

O autor agradece à equipe de revisão da Revista CALIBRE.

8. Referências

- [1] Aguado, M.; Garcia, A. Control de Calidad de Activímetros. *Rev Esp Med Nucl* 23, 2004.
- [2] Biral, A. Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos. Florianópolis: Editora Insular, 2002.
- [3] BRASIL. COMISSÃO Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Norma de Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear – NE-3.05, CNEN, 2013.
- [4] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas – CIEMAT. Protocolo para la Calibración y el Uso de Activímetros, Madrid, 2003.
- [5] Costa, A.; Caldas, L. Intercomparison and Calibration of Dose Calibrators Used in Nuclear Medicine Facilities. *Radiol Bras* 36, 2003.
- [6] Farrelly Pessoa, E., *et al.* Introdução à Física Nuclear. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1978.
- [7] International Atomic Energy Agency - IAEA. Quality Control Atlas for Scintillation Camera Systems, Vienna, 2003.

- [8] Laboratoire National Henri Becquerel – LNHB. Guide d'Utilisation et de Controle de Qualité des Activimètres. Société Française de Radiopharmacie, Paris, 2006.
- [9] Martins, E. W. Estudos e Determinação de Fatores de Influência das Dimensões dos Frascos de Radiofármacos Utilizados no IPEN para calibração de Ativímetros. São Paulo: IPEN, 2010.
- [10] Mazzilli, B., *et al.* Noções Básicas de Proteção Radiológica. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2002.
- [11] Moraes, A. Manual de Medicina Nuclear. São Paulo: Editora Atheneu, 2007.
- [12] National Physical Laboratory – NPL. Radionuclide Calibrator User's Manual. Ramsey, New Jersey, 1997.
- [13] Powsner, R.; Powsner, E. Essential Nuclear Medicine Physics: Quality Control. New York, 2006.
- [14] Tauhata, L. *et al.* Radioproteção e Dosimetria – Fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria IRD/CNEN, 2014.
- [15] Tharall, J. Medicina Nuclear. São Paulo: Editora Guanabara Koogan, 2003.
- [16] Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e CNEN Comissão Nacional de Medicina Nuclear. Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica, 4ª ed, 2014.

Testes de Controle de Qualidade do Medidor de Atividade extraído da Norma 3.05 da CNEN, 2013.			
Periodicidade	Teste		Objetivo
Repetitividade	A	D	Verificar a constância na resposta do equipamento para diferentes fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ (cinco por cento).
Ajuste zero	A	D	Verificar e ajustar o “zero” do calibrador de dose, se o equipamento dispuser dessa função.
Radiação de fundo	A	D	Verificar a radiação de fundo devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 20\%$ (vinte por cento).
Alta voltagem	A	D	Verificar a tensão de entrada, quando disponível, no calibrador de dose, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 1\%$ (um por cento).
Exatidão	A	S	Verificar a exatidão nas medidas de um calibrador de dose através da utilização das fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ (dez por cento).
Precisão	A	S	Verificar a precisão nas medidas de um calibrador de dose através da utilização das fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ (cinco por cento).
Linearidade	A	An	Verificar a linearidade nas medidas de um calibrador de dose através da utilização de uma fonte de meia vida curta, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ (dez por cento).
Teste de geometria	A	Na	Verificar se os fatores de calibração do equipamento para recipientes e volumes diferentes daqueles usados nos testes usuais estão corretos.
<p>A = Aceitação, ou após serviços de manutenção ou correção, ou quando os valores estiverem fora do intervalo de tolerância com relação ao valor de referência. D = Diário. S = Semestral. An = Anual.</p>			

Tabela 1 - Testes de controle de qualidade do medidor de atividade extraído da Norma 3.05 da CNEN, 2013.