

**INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA DA
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR**

**Desirée Yael de Sena Tavares
David Sousa da Conceição Junior**

**AVALIAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO
DOS MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS DO LNMRI/IRD.**

Rio de Janeiro - RJ

2013

Desirée Yael de Sena Tavares
David Sousa da Conceição Junior

**AVALIAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO
DOS MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS DO LNMRI/IRD.**

Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Especialista em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas Através do Programa de Pós Graduação da Agência Internacional de Energia Atômica pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear IRD/AIEA.

Orientador: Prof. D.Sc. Walsan Wagner Pereira – LNMRI/IRD/CNEN

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2013

539.77
S587u

Tavares, Desirée Yael de Sena. Conceição Jr, David Sousa.

Avaliação e Adequação do Intervalo de Calibração dos Monitores de Área para Nêutrons do LNMRI/IRD / Desirée Yael de Sena Tavares, David Sousa da Conceição Junior. – Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2013.

v, 38f.: il.; gr.; tab.; 29cm.

Orientador: D.Sc Walsan Wagner Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu) em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) - Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2013.

Referências bibliográficas: f. 33- 35

1. Proteção Radiológica. 2. Nêutrons. 3. Calibração. 4. Metrologia. I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

Desirée Yael de Sena Tavares
David Sousa da Conceição Junior

**AVALIAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO
DOS MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS DO LNMRI/IRD.**

Rio de Janeiro, 02 de Outubro de 2013.

Prof. D.Sc. Walsan Wagner Pereira – IRD/CNEN

Prof. D.Sc. Evaldo Simões da Fonseca – IRD/CNEN

Prof. D.Sc. Marcelo Marques Martins – IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Metrologia de Nêutrons do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, vinculado ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do D.Sc. Walsan Wagner Pereira.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer, primeiramente, a Deus por nos conceder saúde e força nessa etapa de nossas vidas.

Agradecemos também aos nossos familiares por entender e nos apoiar nessa jornada e estar sempre ao nosso lado.

A todos os professores que ministraram as aulas, pois estes não mediram esforços para passar os seus conhecimentos com muita paciência, dedicação e destreza.

Em especial, queremos agradecer ao Dr. Aucyone Augusto da Silva, e ao Professor e Coordenador do curso, Dr. Almir Clain que em várias vezes estiveram nos incentivando e apostando em nossa capacidade para vencer cada etapa.

Agradecemos grandemente a todos da equipe do Laboratório de Metrologia de Nêutrons do IRD que nos cedeu o espaço, os dados de seus equipamentos e todo apoio necessário para a realização deste.

Ao Dr. Marcelo Marques Martins e a Dra. Karla Cristina de Souza Patrão pela sua grande colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Walsan Wagner Pereira, pela orientação.

Agradecemos aos nossos colegas do curso de pós-graduação IRD/IAEA 2013, que nos acompanharam nessa jornada e compartilharam nossas tensões durante todo o curso.

Nosso obrigado a todos!

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso”.

(Jonh Ruskin)

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso IRD/CNEN como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista.

AVALIAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO DOS MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS DO LNMRI/IRD.

David Souza da Conceição Junior

Desirée Yael de Sena Tavares

Orientador: D.Sc. Walsan Wagner Pereira

Programa: Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas da Agência Internacional de Energia Atômica.

A Metrologia, segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia, é a “ciência da medição e suas aplicações”, abrangendo também as grandezas e os princípios básicos. Com essa definição, podemos observar que para todo resultado referente a uma medição realizada por um determinado equipamento é necessário que um procedimento esteja pronto, prescrevendo todas as etapas e formas de como uma determinada medição deva ser realizada, respeitando todos os requisitos estabelecidos. Contudo, a utilização de medidores de radiação para área em um determinado setor que trabalhe e manipule fontes radioativas é de extrema importância, pois estes monitores fornecerão as taxas de dose referente a cada área interna e externa ao laboratório, estipulando o controle para os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e o pessoal do público. Para uma boa resposta destes medidores de área, são necessários que os mesmos sejam calibrados periodicamente. A periodicidade destas calibrações precisa ser determinada pelo usuário dos instrumentos. Este trabalho tem por objetivo avaliar a adequação da periodicidade de calibração dos monitores de área para nêutrons, pertencentes ao Laboratório de Nêutrons do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes do Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Summary of Work Course Completion IRD/CNEN as part of the requirements for obtaining the title of Specialist.

ASSESSMENT AND ADEQUAÇY THE INTERVAL OF CALIBRATION THE MONITORS OF AREA OF TO NEUTRON THE LNMRI/IRD.

David Souza da Conceição Júnior

Desirée Yael de Sena Tavares

Advisors: D.Sc. Walsan Wagner

Program: Graduate Radiological of Protection and Security of Source Radioactive of International Atomic Energy Agency.

The Metrology, according to VIM 2008 is the “science of measurement and its applications”, also referring to quantities and the basic principles. With this definition, we can observe that for every result for a measurement performed by a particular piece of equipment is necessary that a procedure is done, prescribing all stages and forms of how a particular measurement should be performed, respecting all the requirements. However, the use of meters areas in a given sector to work and manipulate radioactive sources is of extreme importance because these monitors provide dose rates for each area inside and outside the laboratory, stipulating control for Individuals Occupationally Exposed (IOE) staff and the public. For a good response area meters, it is necessary that they be periodically calibrated at intervals and are assessed for calibration, so that their replies to be the best as possible within an acceptable percentage of error. Therefore, this study aims to highlight the main objective of the importance of intermediate checks on the calibration intervals of area monitors for neutron National Laboratory for Metrology of Ionizing Radiation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - DIAGRAMA DOS DETECTORES DE NÊUTRONS A GÁS | 11 |
| FIGURA 2 – LISTA DE EQUIPAMENTOS NO AUTOLAB | 24 |
| FIGURA 3 – MODELO/FABRICANTE: THERMO ELETRON CORPORATION, EBERLINE – E600 | 25 |
| FIGURA 4 – MODELO/FABRICANTE:THERMO CIENTIFIC – FH40G | 25 |
| FIGURA 5 -- MODELO: EBERLINE – ASP-1. FABRICANTE: EBERLINE..... | 26 |
| FIGURA 6 - MODELO/FABRICANTE: ESM EBERLINE-FH40-G-L/FHT752. | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS | 21 |
| TABELA 2 – FATOR DE AJUSTE (MÉTODO DE SCHUMACHER) | 21 |
| TABELA 3 – POSSÍVEIS FATORES DE AJUSTE RECOMENDADOS | 22 |
| TABELA 4 – INTERVALO DE CALIBRAÇÃO RECOMENDADO (MÉTODO DE SCHUMACHER). | 23 |
| TABELA 5 – DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (MONITORES DE ÁREA) ... | 27 |
| TABELA 6 – SITUAÇÃO ATUAL DOS EQUIPAMENTOS | 28 |
| TABELA 7 – CÁLCULO PARA NOVO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO. | 29 |

LISTA DE ABREVIATURAS

LMN – Laboratório de Metrologia de Nêutrons

LNMRI – Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia

IOE – Indivíduo Ocupacionalmente Exposto

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. BREVE HISTÓRICO | 1 |
| 1.2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO..... | 3 |
| 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... | 3 |
| CAPITULO 2 | 5 |
| CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS | 5 |
| 1.1. INTERAÇÃO DOS NÊUTRONS COM A MATÉRIA | 5 |
| 1.2. FONTES DE NÊUTRONS | 6 |
| 1.3. MODERAÇÃO..... | 6 |
| 1.4. DETECÇÃO DE NÊUTRONS TÉRMICOS | 7 |
| 1.5. DETECÇÃO DE NÊUTRONS RÁPIDOS | 7 |
| 1.6. O MÉTODO DE ESFERAS..... | 7 |
| CAPÍTULO 3 | 8 |
| PRINCÍPIOS BÁSICOS DE RADIOPROTEÇÃO | 8 |
| 1.1. NOÇÕES BÁSICAS | 8 |
| 1.2. JUSTIFICAÇÃO | 8 |
| 1.3. OTIMIZAÇÃO | 8 |
| 1.4. LIMITAÇÃO DE DOSE | 9 |
| CAPÍTULO 4 | 10 |
| ASPECTOS TEÓRICOS | 10 |
| 1.1. MONITORES DE ÁREA | 10 |
| 1.2. MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS..... | 11 |
| FIGURA 1 - DIAGRAMA DOS DETECTORES DE NÊUTRONS A GÁS | 11 |
| 1.3. CALIBRAÇÃO | 11 |
| 1.4. SISTEMAS DE MEDIÇÕES | 13 |
| 1.5. MÉTODO DE MEDIÇÃO | 13 |
| 1.6. VERIFICAÇÕES INTERMEDIÁRIAS | 14 |
| 1.7. RASTREABILIDADE | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 1.8. O LABORATÓRIO DE NÊUTRONS | 16 |
| 1.8.1. O LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES | 16 |
| CAPÍTULO 5 | 19 |
| METODOLOGIA E MATERIAIS | 19 |
| 5.1. MÉTODO DE SCHUMACHER | 20 |
| 5.2. EQUIPAMENTOS | 25 |
| CAPÍTULO 6 | 27 |
| DISCUSSÃO E RESULTADOS | 27 |
| CAPÍTULO 7 | 31 |
| CONCLUSÃO | 31 |
| 7.1. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES..... | 32 |
| BIBLIOGRAFIA | 33 |
| ANEXO 1 – AUTOLAB | 36 |
| ANEXO 2 – MÉTODO DE SCHUMACHER | 37 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. BREVE HISTÓRICO

Desde o início da civilização, o homem sentiu a necessidade de medir. Iniciou-se então a busca por um “padrão” de medida, foi então determinado como referência o próprio corpo humano. Na idade média o padrão utilizado era o corpo do Rei de cada reino. Contudo, medir desta forma não era algo tão prático e nem tampouco preciso, até porque cada corpo humano tem características próprias, há homens mais robustos, outros mais franzinos, mais altos ou baixos. No entanto, era assim que o homem media. Esses padrões deram origem às unidades: polegadas, pés, braçadas, etc.

Se na idade média, o homem já sentiu a necessidade de medir para facilitar seu comércio, suas construções, etc. os cientistas da idade contemporânea também sentiram a mesma necessidade para regular suas atividades específicas. Desde a descoberta dos raios X por Conrad Röntgen em, 8 de Novembro de 1895, um novo campo de pesquisas surgiu: o das radiações ionizantes. Da mesma forma, logo se percebeu que o uso seguro das radiações ionizantes demandava novas pesquisas e descobertas.

Com o objetivo de fornecer procedimentos padronizados de proteção para uso e manipulação de materiais emissores de radiação ionizantes para trabalhadores Ocupacionalmente exposto e público foi estabelecida, em 1928, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica: ICRP [International Commission on Radiological Protection].

Atualmente, toda instalação que opera com fontes de radiação ionizante necessita possuir monitores de área para detectar a presença de radiação no ambiente e monitores individuais para a proteção dos trabalhadores na instalação [IOE].

Para estimar o campo de radiação, se faz necessário o uso de um detector de radiação, que é um dispositivo que quando colocado em um meio

onde exista um campo de radiação ionizante, é capaz de indicar sua presença. Existem diversos processos pelos quais diferentes radiações podem interagir com o material utilizado para medir ou indicar características dessas radiações. Dessa forma, o detector de radiação é constituído de um elemento ou material sensível à radiação e um sistema que transforma esses efeitos em um valor relacionado a uma grandeza de medição dessa radiação [TAUHATA, 1999].

Para garantir que esses instrumentos estão medindo adequadamente, é necessário calibrá-los. A calibração é definida pelo Vocabulário Internacional de Metrologia como sendo um conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões de medição, incluindo a avaliação da incerteza de medição [MAFTOUM, 2008].

Além disso, a implantação de sistemas de qualidade baseados em normas internacionais tem se tornado cada vez mais frequente como, por exemplo, NBR/IEC 17025 [2005], que preconiza a calibração. O documento NCLS Internacional RP-1 [1996] cita a norma MIL-STD-4566A do Departamento de Defesa dos EUA, a qual estabelece com clareza os requisitos necessários para a realização de uma calibração periódica:

“Equipamentos e padrões de medição devem ser calibrados em intervalos periódicos estabelecidos e mantidos para assegurar a exatidão (incerteza) e confiabilidade aceitáveis, onde a confiabilidade é definida como a probabilidade de que o equipamento e o padrão de medição permanecerão dentro da tolerância durante os intervalos estabelecidos. Os intervalos podem ser encurtados ou alongados, pelo contratante, quando os resultados de calibrações anteriores indicarem que estas ações são apropriadas para manter uma confiabilidade aceitável. O contratante deve estabelecer um sistema para recalibração mandatória dos equipamentos ou padrões de medição, a fim de assegurar a realização de recalibrações em tempo de evitar o seu uso além da data da próxima calibração...” [MAFTOUM, 2008].

Porém calibrar demanda custo e tempo. É fundamental, então conhecer o melhor intervalo para calibrar seus instrumentos. Existem alguns métodos

propostos para ajustar o intervalo de calibração, no entanto, o tipo de método utilizado foi o reativo, sendo esse o mais utilizado dentre os demais, pois são os mais simples.

O sistema AUTOLAB utiliza o método de Schumacher que é um dos métodos reativos, contudo existem outros métodos que determinam intervalo de calibração, no entanto o mais utilizado é a matriz Schumacher.

1.2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo verificar a adequação dos intervalos de calibração dos monitores de área para nêutrons pertencentes ao Laboratório de Metrologia de Nêutrons através do método de Schumacher, e assim garantir que esses instrumentos estejam funcionando de maneira eficiente e correta por mais tempo, proporcionando um menor custo ao usuário e uma maior garantia de que seu equipamento esteja funcionando adequadamente.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado como segue:

No capítulo 2 descreve conceitos básicos da física, interação de nêutrons, suas fontes e tipos de detecção;

Já o capítulo 3 abrange noções básicas de Radioproteção;

O Capítulo 4 aborda os monitores de área em geral e os específicos de nêutrons, assim como sua calibração, tipos de sistemas e métodos de medição, explica o que é a verificação intermediária, o papel e a importância do Laboratório de Metrologia de Nêutrons e do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes;

O capítulo 5 trata de metodologia e materiais utilizados para a realização deste trabalho como o método e os equipamentos utilizados;

No capítulo 6 encontra-se a discussão e os resultados encontrados;

Finalmente o Capítulo 7 se conclui o trabalho e da algumas recomendações e sugestões.

CAPITULO 2

CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS

1.1. INTERAÇÃO DOS NÊUTRONS COM A MATÉRIA

O fenômeno de interação dos nêutrons com a matéria acontece de forma diferente da interação dos fótons de radiação com o núcleo atômico. Enquanto os fótons interagem principalmente com os elétrons da eletrosfera, provocando dois tipos de radiação eletromagnética [os raios x de freamento e característico], os nêutrons ao interagir ou passar próximo do núcleo do átomo, através da força nuclear, ignoram os elétrons da eletrosfera, não são afetados pelos campos eletrostáticos e interagem diretamente com o núcleo atômico. Os principais processos que acarretam a interação do nêutron com a matéria são: o espalhamento elástico e a absorção.

- i. **Espalhamento Elástico**: Neste processo, a energia cinética do nêutron incidente, através da interação deste com o núcleo alvo, são depositados no núcleo deste átomo, não alterando o seu estado fundamental.
- ii. **Absorção**: Neste outro processo, uma parte da energia do nêutron incidente é absorvida pelo núcleo alvo provocando uma instabilidade nuclear. Devido a isto, outros processos são gerados e são conhecidos como: espalhamento inelástico, a captura radioativa e a fissão induzida.
- iii. **Espalhamento Inelástico**: Os nêutrons são absorvidos pelo núcleo alvo, este fica em situação de instabilidade, liberando outro nêutron com energia diferente a do nêutron incidente. Mesmo depois dessa emissão, o núcleo pode estar instável ainda, sendo necessária a emissão de mais energia para o mesmo alcançar a estabilidade. Com isso, pode ser emitida radiação gama pelo núcleo instável do núcleo até alcançar a estabilidade.

- iv. **A Captura Radioativa – [Fissão Induzida]**: No processo de fissão induzida, o núcleo se fragmenta em duas ou mais partes, logo após absorver o nêutron incidente. Este processo é mais provável em núcleos térmicos pesados, como o Urânio-235, o Polônio-239 e o Urânio-233. [REINA, 2010]

1.2. FONTES DE NÊUTRONS

São fontes geralmente mistas e compostas por um radionuclídeo misturado a um material-alvo adequado, que faça a radiação proveniente, seja Alfa (α) - Gama (γ) causa uma reação nuclear no alvo desencadeando a liberação de nêutrons. Alguns exemplos deste tipo são: $^{241}\text{Am-Be}$, $^{210}\text{Po-Be}$, $^{124}\text{Sb-Be}$ e ^{252}Cf . Esta última se destaca na obtenção de nêutrons por fissão espontânea emitindo nêutrons com energia média de 2,1 MeV, com meia vida de $2,646 \pm 4$ anos.

Devido às exigências de conservação de energia e momento linear, este processo é mais eficaz para colisões com núcleos mais leves, os quais têm massa mais próxima da do nêutron, o que faz com que materiais ricos em hidrogênio, como o polietileno ou a parafina sejam ótimos moderadores [ZAHN,1994].

1.3. MODERAÇÃO

Quando nêutrons penetram em um material com seção de choque para captura muito menor que a seção de choque para espalhamento, estes começam a perder energia em colisões com núcleos do meio. Sob condições favoráveis, ou seja, se os nêutrons não forem absorvidos nem escapar do meio, este processo prossegue até que os nêutrons atinjam energias de agitação térmica do meio,

entre 0,01 eV e 0,5 eV. Nêutrons nessa faixa de energia são chamados de nêutrons térmicos. [ZAHN,1994]

1.4. DETECÇÃO DE NÊUTRONS TÉRMICOS

Sua detecção é usualmente feita de forma indireta, através da ionização causada pelos produtos das suas interações com a matéria. A baixa energia dos térmicos torna inviável a detecção eventual de prótons resultante de espalhamento elástico. Contudo utilizam-se interações pelas quais são produzidas partículas carregadas. [ZAHN,1994]

1.5. DETECÇÃO DE NÊUTRONS RÁPIDOS

Assim como na detecção de nêutrons térmicos, os nêutrons rápidos são detectados de forma indireta, as secções de choque para reações são, na média, algumas ordens de grandeza menores que para nêutrons térmicos, além de apresentar ressonâncias, o que as torna muito dependentes de energia dos nêutrons incidente. [ZAHN,1994]

1.6. O MÉTODO DE ESFERAS

Se colocarmos um detector de nêutrons térmicos no interior de uma esfera ou cilindro de polietileno, esse sistema poderá ser útil na detecção de nêutrons rápidos, pois, o polietileno sendo um material rico em hidrogênio, é um bom moderador. [ZAHN,1994]

CAPÍTULO 3

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE RADIOPROTEÇÃO

1.1. NOÇÕES BÁSICAS

A utilização dos monitores de área e individuais em instalações que utilizam radiação ionizante fortalece os princípios de proteção radiológica, os quais estabelecem que as doses que os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos e do Público recebam estejam, se possível, abaixo das estabelecidas pela norma NN-3.01 da CNEN [2005]. Os três princípios da radioproteção são: Justificação, Otimização e Limitação de Dose. Sendo que, podemos destacar, também, a Prevenção de Acidentes [TAUHATA, 2011].

1.2. JUSTIFICAÇÃO

Toda prática que envolva radiação ionizante deve ser justificada, ou seja, trazer um benefício maior do que os malefícios, que possam vir a ocorrer. [TAUHATA, 2011].

1.3. OTIMIZAÇÃO

Estabelece que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (ALARA: As Low As Reasonably Achievable). [TAUHATA, 2011].

1.4. LIMITAÇÃO DE DOSE

As exposições tanto dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos e de indivíduos do Público não devem exceder os limites anuais de doses estabelecidos na norma CNEN NN-3.01 [CNEN, 2005] e BSS 115 [IAEA,1996].

Os Monitores de Área e Individuais são muito importantes na Prevenção de Acidentes, pois são eles que dão o alarme indicando que há exposição de radiação no ambiente da instalação, logo o supervisor aplica o plano de emergência retirando os trabalhadores do local e o processo de resgate da fonte de radiação ionizante é iniciado [TAUHATA, 2011].

Observa-se, neste caso, a importância dos monitores de área em uma instalação com fontes radioativas. Devido a isso, a sua calibração é de extrema importância na segurança dos profissionais envolvidos e do público daquele ambiente [TAUHATA, 2011].

CAPÍTULO 4

ASPECTOS TEÓRICOS

1.1. MONITORES DE ÁREA

A detecção é realizada pelo resultado produzido da interação da radiação com um meio sensível [detector]. Em um sistema detector os detectores de radiação são os elementos ou dispositivos sensíveis à radiação ionizante utilizado para determinar a quantidade de radiação presente em um determinado meio de interesse [SANTA RITA, 2013].

A Radiação Ionizante pode ser detectada, por exemplo, por um contador Geiger - Müller, por uma película fotográfica ou por uma câmera de ionização. A finalidade dessa medição é a avaliação das condições de trabalho e verificar se há presença radioativa. Os resultados das medidas efetuadas com os monitores da área devem ser comparados com os limites primários ou derivados, a fim de se tomar ações para garantir a proteção necessária [FIOCRUZ, 2013].

A Exposição possui uma unidade antiga chamada Roetgen [R] que corresponde à quantidade de cargas elétricas liberadas em uma massa de ar devido à radiação incidente, onde $1 R = 0,258 C.kg^{-1}$. [$C.kg^{-1}$ = Coulomb por Quilograma; Coulomb é a unidade de carga elétrica]. A Dose Absorvida [Gray] é uma medida da energia da radiação absorvida por uma determinada massa de matéria. A unidade de Dose Absorvida é Joule por quilograma ou de forma mais usual $J.kg^{-1}$, sendo $1 Gy = 100 J.kg^{-1}$ ou $100 RAD = 1 Gray [Gy]$.

A Dose Equivalente [Sievert], ou simplesmente DOSE nos Laudos de Dose Mensais, leva em conta o efeito biológico em tecidos vivos, produzido pela radiação absorvida. Desta forma a Dose Equivalente é obtida da Dose Absorvida multiplicada por fatores ponderantes apropriados. A unidade da Dose Equivalente ou DOSE é o Sievert [Sv] ou seu submúltiplo o milisievert [mSv]. A unidade antiga

desta grandeza é o REM que se relaciona com o Sv da seguinte forma:
 $1 \text{ Sv} = 100 \text{ REM}$.

1.2. MONITORES DE ÁREA PARA NÊUTRONS

Os monitores de área para nêutrons são utilizados rotineiramente para determinar a taxa de dose em áreas onde pessoas são ocupacionalmente expostas, definir áreas de controle e monitorar níveis de taxa de dose. A utilização desses equipamentos na monitoração radiológica em instalações com fontes de nêutrons de baixa e alta energia é de grande interesse para a radioproteção [SALGADO, 2011].

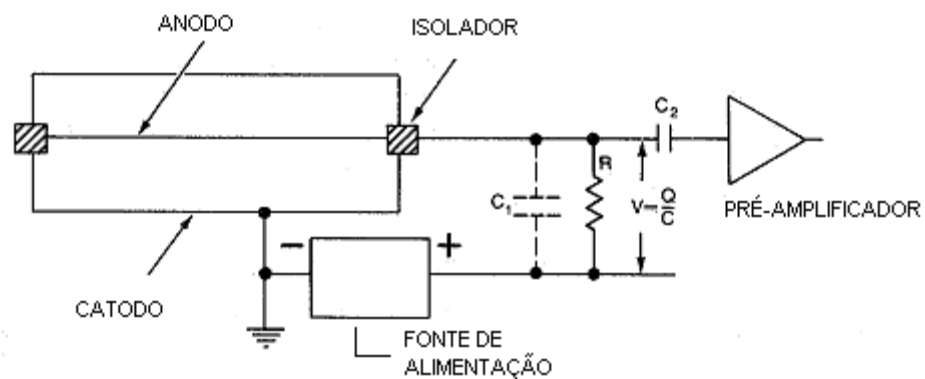


Figura 1 - Diagrama dos Detectores de Nêutrons a Gás
[Fonte -. SALGADO, 2011]

1.3. CALIBRAÇÃO

A calibração é um conjunto de operações que estabelece, sob condições, especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referencia, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

A grandeza utilizada na monitoração de área é o equivalente de dose ambiental $H^*(d)$. O equivalente de dose ambiente, $H^*(d)$, em um ponto de campo de radiação, é o valor do equivalente de dose que seria produzido pelo correspondente campo expandido e alinhado na esfera do ICRU na profundidade d , no raio que se opõe ao campo alinhado. A unidade é o $J.Kg^{-1}$, denominada de sievert (Sv) [TAUHATA,2011]

A calibração dos monitores de área para nêutrons realizada no Laboratório de Metrologia de Nêutrons está em conformidade com as normas ABNT NBR ISO 8529-1 [2011] e ABNT NBR IEC 61000-4-30 [2011], que tratam da determinação do fator de calibração, da linearidade, da resposta e da sensibilidade a fótons. Os resultados das medições são apresentados em um certificado de calibração, e o mensurando é expresso normalmente em taxa de equivalente de dose ambiente $H^*(10)$.

Todo sistema de medição deve ser periodicamente calibrado, visando garantir a adequação de suas características metrológicas às suas aplicações.

A calibração de um equipamento é muito importante na qualidade dos resultados esperados através dele. A calibração é um aprimoramento constante que proporciona vantagens, por apresentar o desempenho do instrumento para o usuário deste, possibilitando um uso mais consciente do equipamento.

Com a solicitação do mercado pelo uso das normas da série ISO/NBR 9000 [2008], série da ISO 14000 e ISO/IEC 17025 [2005], todas as empresas devem ter protocolos que afetam direta ou indiretamente a qualidade de seus serviços. O Certificado de Calibração é um registro de grande importância no sentido de garantir a confiabilidade dos serviços prestados, pois tem como função mostrar os resultados das medições realizadas com o instrumento ao comparar com um padrão de referência que seja rastreável a um padrão nacional e/ou internacional.

A calibração demonstra que o resultado obtido por determinado equipamento está dentro das incertezas de medição desejadas na metrologia. Um certificado de calibração deve apresentar a data da calibração, o responsável pelo mesmo, as condições ambientais, também a incerteza associada às medições. A intenção metrológica para realização da calibração é assegurar ao

usuário a confiabilidade dos valores obtidos por esses instrumentos através de comparações do valor medido obtido com um padrão rastreado e pré-estabelecido, determinado pelo Sistema Internacional (SI).

1.4. SISTEMAS DE MEDIÇÕES

As informações são as principais ferramentas para que uma decisão seja tomada. Com isso, a medição tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza e definir os erros dessa medida realizada. Para que isso ocorra são necessários instrumentos de medição capazes de aferir as grandezas a qual deseja medir.

As medições realizadas são influenciadas por alguns fatores que devem ser analisados, tais como: método utilizado, o traquejo e cuidado do operador, as condições ambientais, o tipo de amostra e equipamento. Pode-se verificar que no processo de medição todos os agentes metrológicos devem estar adequados para que as medições não apresentem erros tão graves ou desvios discrepantes. Destacamos a seguir os fatores para o processo de medição de uma amostra.

1.5. MÉTODO DE MEDIÇÃO

Os métodos utilizados para medir são esquemas que estabelecem o procedimento correto para a execução das medições. Este processo pré-estabelecido pode estar contido em algum texto normativo, organograma, ou de alguma outra forma no setor de trabalho. Dentro de um sistema de medição existem “pontos” metrológicos que influenciam nesse processo, esses “pontos” são: o método utilizado, o tipo de amostra, as condições ambientais, o operador e o tipo de equipamento. Eles influenciam no resultado final que neste caso será a medição. De acordo com Mendes e Rosário [2005] no livro “Metrologia e Incerteza de Medição” podem ser definidos:

- **Padrão** - Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar

ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência. [Vocabulário Internacional de Metrologia]

- **Método** – O método utilizado nada mais é do que uma sequência lógica de operações, estas podem estar contidos em algumas normas, procedimentos, fluxograma, dentre outros documentos.
- **Instrumento** – O instrumento utilizado é uma parte de um todo que se deseja analisar, realizando assim sua medição e avaliação, logo o resultado obtido pode ser atribuído ao conjunto original.
- **As Condições Ambientais** - São os fatores externos que podem influenciar no resultado de uma medição, podendo ser a temperatura, luz, umidade, poeira, vibração, etc., dos locais onde essas medições são realizadas.
- **Operador** – Este é a peça fundamental do processo de medição, pois este é quem conhece o método a ser implementado para a realização da calibração e o conhecimento necessário para acoplar a teoria com a prática.

1.6. VERIFICAÇÕES INTERMEDIÁRIAS

Na norma ISO/IEC 17025 [2005] “Verificação Intermediária” aparece duas vezes. Uma como tópico 5.6.3.3 que é mencionado o seguinte: “*As verificações necessárias à manutenção da confiança na situação da calibração dos padrões de referência, primário, de transferência e de trabalho, bem como dos materiais de referência, devem ser realizadas de acordo com procedimentos e cronogramas definidos*”. E mencionada no tópico 5.5.10 da seguinte maneira: “*Quando forem necessárias verificações intermediárias para a manutenção da confiança na situação de calibração do equipamento, estas verificações devem ser realizadas de acordo com um procedimento definido*”. Essas recomendações se justificam por que as avaliações e acompanhamentos dos padrões não devem ser tão eficientes ao assegurar uma confiança do padrão.

A verificação intermediária tem como objetivo verificar a manutenção das respostas do instrumento entre as calibrações realizadas no aparelho de medição, fortalecendo e garantindo seu uso seguro. Contudo a probabilidade de se obter uma medição que forneça riscos ao resultado esperado será menor, levando a sério a verificação intermediária [INMETRO, 2013].

Lembrando que a verificação é a comprovação de um dado item, através de um exame, visando obter evidências objetiva de que o mesmo atende a requisitos especificados. Verificação de um instrumento de medição é uma operação de comparação simples, que serve para comprovar as propriedades de desempenho declaradas, e não deve ser confundida com calibração [MAFTOUM, 2008].

1.7. RASTREABILIDADE

Rastreabilidade metrológica é a propriedade do resultado de uma medição estar relacionado a referências metrológicas estabelecidas através de uma cadeia contínua de calibrações ou comparações de um sistema de medição, todas contribuindo para a incerteza de medição estabelecida [MAFTOUM, 2008].

A rastreabilidade também aparece no tópico 6.10 do VIM definida como: *“Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas”*.

A rastreabilidade de medição também aparece na norma ISO/IEC 17025 [2005] no tópico 5.6 onde se tem uma nota dizendo: *“Convém que tal programa inclua um sistema para seleção, uso, calibração, verificação, controle e manutenção dos padrões, dos materiais de referência usados como padrões e do equipamento de medição e de ensaio usado para realizar ensaios de calibração”*.

“Todo equipamento utilizado em Ensaio e/ou Calibração, incluindo equipamento para medições auxiliares, que tenham efeito significativo sobre a

exatidão ou validade do resultado do ensaio, calibração ou amostragem, deve ser calibrado antes de entrar em serviço”.

Quando não for possível a rastreabilidade ao SI, o laboratório deve fornecer confiança nas medições, através da rastreabilidade a padrões apropriados, como:

- ✓ Uso de materiais de referência certificados
- ✓ Uso do método especificados e/ou padrões
- ✓ Participação de comparações Inter laboratoriais.

1.8. O LABORATÓRIO DE NÊUTRONS

O Laboratório de Metrologia de Nêutrons (LN), criado em 1973, é um dos laboratórios de pesquisa do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD).

O LN é o laboratório de referência na área de metrologia de nêutrons, sendo responsável pela guarda e manutenção do Padrão Brasileiro de Fluência de Nêutrons, e pela realização da grandeza fluência de nêutrons. No desempenho de sua missão institucional, desenvolvem pesquisas nas áreas de metrologia e dosimetria de nêutrons, promovendo também a disseminação das grandezas operacionais (Equivalente de dose ambiente e Equivalente de dose individual) para os instrumentos de medição de nêutrons utilizados por indústrias, centros de pesquisa e universidades em âmbito nacional e internacional, assegurando-lhes rastreabilidade [LN, 2013].

1.8.1. O LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

O Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) vinculado ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), é responsável por designação do Inmetro,

desde 2002, pela guarda e disseminação dos padrões nacionais das unidades SI das grandezas físicas kerma, fluência, equivalente de dose, dose absorvida e atividade para as várias aplicações das radiações ionizantes na indústria, na medicina e em outros campos.

O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) evoluiu a partir de 1972, ano de sua instalação na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ, de um pequeno laboratório de dosimetria para um centro de referência nacional e internacional nas áreas de Radioproteção, Dosimetria e Metrologia das Radiações Ionizantes.

O LNMRI integra, desde 1976, a Rede de Laboratórios de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL Network) da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e da Organização Mundial da Saúde (WHO).

As instalações do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes ocupam uma área de 1.713 m² distribuídas em 24 laboratórios e áreas de apoio preparado para a calibração de fontes e substâncias radioativas, emissores alfa, beta, beta-gama e gama, calibração de monitores de área, monitores pessoais, dosímetros clínicos, câmaras de ionização e outros instrumentos de medição de radiações ionizantes, para feixes de radiação beta, X, gama e nêutrons, realização de programas de Inter comparação e de pesquisa e desenvolvimento.

Os principais projetos a seguir visam, principalmente, à implantação da padronização primária no País, resultando na redução das incertezas de medição:

- Determinação de parâmetros nucleares de decaimento de radionuclídeos;
- Padronização de atividade de fonte radioativa por métodos absolutos;
- Padronização primária em termos de kerma no ar e padronização secundária em termos de dose na água em Radioterapia;
- Padronização primária em termos de fluência de nêutrons;
- Padronização secundária em termos de kerma no ar nas áreas de radiodiagnóstico, radioproteção e braquiterapia;

- Desenvolvimento de padrões ambientais na forma de materiais de referência certificada.

O objetivo principal é estabelecer o grau de equivalência metrológica dos padrões mantidos pelos laboratórios nacionais de metrologia, para prover o mútuo reconhecimento dos certificados de calibração e fornecer uma base técnica segura para acordos científicos e tecnológicos amplos, bem como tratados relacionados ao comércio internacional. A base técnica para o reconhecimento dos certificados é a equivalência dos padrões nacionais estabelecidas por meio das comparações - chaves organizadas pelo BIPM e pelas organizações regionais de metrologia.

Em 2003, o perfil de dois pesquisadores do LNMRI foi submetido ao BIPM para compor o seu Comitê Consultivo de Radiações Ionizantes, CCRI. Hoje o Brasil possui representantes nas três seções do comitê consultivo. Em 2004 foram implementados os requisitos da norma NBR ISO 17025 [2005] para laboratório de calibração e se submeteu à avaliação de pares para validar a implementação dos requisitos da norma. O sistema da qualidade foi em seguida avaliado em reunião do Sistema Interamericano de Metrologia, SIM, sendo considerado satisfatório [LNMRI, 2013].

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA E MATERIAIS

A metodologia deste trabalho foi baseada em consultar as Calibrações dos Monitores de Área do LNMRI/IRD através do AUTOLAB. E a partir de informações obtidas nesse banco de dados dos equipamentos realizamos a avaliação do intervalo de calibração, praticado segundo o método Schumacher, para que então pudéssemos definir o melhor intervalo de calibração para tais equipamentos.

Abordaremos, então, o método de Schumacher e sua aplicabilidade de forma geral, pois a partir dessas informações foram criadas tabelas com os dados obtidos na tabela dos equipamentos do LN para montar o escopo deste trabalho. No entanto, existem outros métodos denominados reativos que são utilizados para determinar se o intervalo de calibração atual pode ser aumentado, diminuído ou mantido, utilizando-se de dados históricos com intervalos de calibração definidos em dias. Descrevemos abaixo alguns tipos de métodos reativos:

- Método A1 ou Método de Resposta Simples

Neste o intervalo de um instrumento de medição é ajustado em cada calibração, ou no máximo, após duas ou três calibrações. Os intervalos de calibração são aumentados quando o instrumento calibrado encontra-se em conformidade com a especificação estabelecida, ou diminuído se estiver não conforme. Um valor fixo, ou um múltiplo do último intervalo é aplicado ao intervalo é aplicado ao intervalo anterior.

- Método A2 ou Método de Resposta Incremental

Este possui uma grande desvantagem em relação ao método A1, pois não é possível manter um item no seu intervalo “correto” por muito tempo, pois o ajuste é baseado em calibrações recentes. O método da resposta incremental compensa este fato ao encolher progressivamente o tamanho do incremento do intervalo a cada ajuste. Desta forma, um item se aproxima assintoticamente de seu intervalo correto. Este processo pode levar de cinco a sessenta anos até

alcançar a meta de confiabilidade estabelecida. Além disso, falhas consideráveis acontecem neste processo.

- Método A3 ou Método do Intervalo de Teste

Este método reativo permite que o intervalo correto seja alcançado seja alcançado e mantido num período de tempo razoável, não produzindo flutuações irregulares nos intervalos calculados. Neste método, os intervalos são ajustados somente quando é avaliada por métodos estatísticos.

- Método de Schumacher

Este método se parece com o método A1, pois também se baseia nas informações obtidas das últimas duas calibrações do equipamento de medição em comparação com a calibração atual, determinando se o intervalo de calibração utilizado pode ser mantido, ou deve ser reduzido ou até aumentado. Entretanto, os acréscimos e reduções de intervalos sugeridos pelo método Schumacher.

5.1. MÉTODO DE SCHUMACHER

O método de Schumacher é um método reativo que analisa os resultados de uma calibração. Este método pode sugerir a necessidade de uma mudança no intervalo de calibração, seja por causa gerenciamento de risco ou controle de qualidade. É um dos métodos de análise mais simples e vantajoso, porque pode ser aplicado em qualquer equipamento, isto porque é realimentado com os resultados da calibração de acordo com um algoritmo pré-determinado.

O método Schumacher se baseia nas informações obtidas das últimas duas calibrações do dispositivo de medição em comparação com a calibração atual, para determinar se o intervalo de calibração utilizado pode ser mantido, ou deve ser reduzido ou até aumentado. Para a aplicação do Método de Schumacher, basta seguir os seguintes passos:

- I. Verificar a condição atual do instrumento, padrão ou malha, no recebimento após a calibração;
- II. Verificar a condição do dispositivo de medição nas últimas comprovações, consultado os registros da qualidade (máximo de três ciclos de calibração).
Usar os símbolos abaixo para estabelecer a condição encontrada;

Tabela 1- Classificação dos Equipamentos

| Classificação | Condições de Revalidação | Descrição |
|----------------------|---------------------------------|--|
| A | Avaria | Este designa algum problema que possa prejudicar um ou mais parâmetros do instrumento |
| C | Conforme | Este designa conformidade comprovada durante a recalibração |
| F | Fora de Tolerância Não Conforme | Descreve que o instrumento opera bem, mas que se encontra fora da tolerância de desvio |

- III. Identificar, na tabela 2 (Classificações anteriores), a linha com a sequência que representa as últimas comprovações do instrumento ou malha em análise;

Tabela 2 – Fator de Ajuste (Método de Schumacher)

| Classificações Anteriores | | Classificações Atuais | | |
|----------------------------------|---------------|------------------------------|----------|----------|
| Penúltima | Última | A | F | C |
| Fator de Ajuste | | | | |
| C | C | P | P | E |
| C | F | D | M | P |
| C | A | D | M | P |
| F | C | P | M | P |
| F | F | D | M | P |
| F | A | M | M | P |
| A | C | P | D | P |
| A | F | M | M | P |
| A | A | D | M | P |

- IV. Identificar, na tabela (Classificação atual), a condição do instrumento no recebimento (A, F ou C);
- V. Fazer o cruzamento da linha que possui a classificação anterior com a coluna que representa a condição do equipamento no recebimento (A, F ou C), identificando o fator de ajuste recomendado (E, D, P e M), onde:

Tabela 3 – Possíveis Fatores de Ajuste Recomendados

| | |
|----------|--|
| E | Indica que o Intervalo de Calibração do Instrumento pode ser “Estendido” |
| D | Indica que o Intervalo de Calibração do Instrumento deve ser “Diminuído” |
| P | Indica que o Intervalo de Calibração do Instrumento “Permanece” Inalterado |
| M | Indica que o Intervalo de Calibração vai ter MÁXIMA REDUÇÃO |

- VI. Usar a tabela a seguir para determinar a decisão a ser tomada para o fator de ajuste recomendado. Fazer o cruzamento, da linha **Periodicidade Anual** com a coluna **Fator de ajuste** para determinar o novo intervalo de comprovação recomendado.

Tabela 4 – Intervalo de calibração recomendado (Método de Schumacher).

| Intervalo Atual | Fator de Ajuste | | | |
|------------------------------|-----------------|-----|-----|-----|
| | D | E | P | M |
| Novo Intervalo de Calibração | | | | |
| 15 | RO | 30 | 15 | RO |
| 30 | 15 | 45 | 30 | RO |
| 45 | 30 | 60 | 45 | 15 |
| 60 | 45 | 75 | 60 | 30 |
| 75 | 60 | 90 | 75 | 45 |
| 90 | 75 | 105 | 90 | 60 |
| 105 | 90 | 120 | 105 | 75 |
| 120 | 105 | 135 | 120 | 90 |
| 135 | 120 | 150 | 135 | 105 |
| 150 | 135 | 180 | 150 | 120 |
| 180 | 150 | 210 | 180 | 135 |
| 210 | 180 | 240 | 210 | 150 |
| 240 | 210 | 270 | 240 | 180 |
| 270 | 240 | 360 | 270 | 210 |
| 360 | 270 | 450 | 360 | 240 |
| 450 | 360 | 540 | 450 | 270 |
| 540 | 450 | 630 | 540 | 360 |
| 630 | 540 | 720 | 630 | 450 |
| 720 | 630 | 840 | 720 | 540 |

Nota: O símbolo RO indica que um Registro de Ocorrência deve ser emitido, pois não convém reduzir o intervalo de calibração para períodos inferiores há 15 dias. O instrumento deve ser segregado (retirado de uso) e a causa que originou o problema deve ser determinada. Ações corretivas devem ser propostas, tais como, manutenção corretiva com nova calibração ou reclassificação ou sucateamento.

Qualquer modificação no intervalo de calibração deve ser registrada nos documentos da qualidade relacionados com o instrumento, padrão ou malha. Para encontrar intervalos de calibração superiores há 720 dias:

- a) O próximo intervalo é equivalente ao intervalo estendido “E” sugerido no intervalo atual;

b) Dividir o intervalo atual por 4 (quatro);

c) Localizar, na tabela 2, o valor superior da periodicidade que está mais próximo da divisão resultante;

d) Multiplicar por 4 (quatro) o novo intervalo de calibração recomendado pela tabela 2;

e) Ajustar o novo intervalo de calibração.

Foi utilizado o AUTOLAB para verificação de dados e para a escolha dos instrumentos utilizados neste trabalho. (Figura 2).

| Nº de série | Nº patrimônio | Situação | Cliente | Últ. Avaliação | Próx. Calibração | Núm. Instrumento | Tipo |
|-------------|---------------|----------------------|--|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 104 | 17397 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Aprovado | 25/04/2009 | 00502 | Monitor de área |
| 73 | 7632 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Aprovado | 30/04/2009 | 00501 | Monitor de área |
| 3532 | 11988 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Aprovado | 08/07/2009 | 00514 | Monitor de área |
| 012957 | 16944 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Aprovado | 30/04/2009 | 00537 | Monitor de área |
| 137214 | 11495 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | | | 00005 | Monitor de área |
| 2136 | - | dados não conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Não aprovado | 25/08/2011 | 02489 | Monitor de área |
| 3679 | 19774 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | Aprovado | 04/05/2007 | 01115 | Monitor de área |
| 022004 | 20928 | dados conferidos | IRD/LNMRI/LN - Laboratório de Nêutrons | | | 02444 | Monitor de área |

Figura 2 – Lista de Equipamentos no AUTOLAB

Fonte: Print da tela do AUTOLAB e a sequência de equipamentos

5.2. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos selecionados através do AUTOLAB são os monitores de área para nêutrons de modelos e fabricantes distintos demonstrados a seguir.



Figura 3 – Modelo/Fabricante: Thermo Eletron Corporation, Eberline – E600
A) Monitor com vista frontal B) Monitor com vista superior



Figura 4 – Modelo/Fabricante: Thermo Cientific – FH40G
A) Monitor com vista superior B) Monitor com vista lateral



Figura 5 -- Modelo: Eberline – Asp-1. Fabricante: Eberline



Figura 6 - modelo/fabricante: esm Eberline-fh40-g-l/fht752.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Através do banco de dados de equipamentos do LNMRI (Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes) AUTOLAB (Figura 2I) foi possível obter os dados dos instrumentos do LN (Laboratório de Metrologia de Nêutrons). Ao todo foram quatro equipamentos descritos na tabela abaixo:

Tabela 5 – Descrição dos Equipamentos (Monitores de Área)

| Nº do Instrumento | Nº de Série | Modelo/Fabricante | Calibrações | | |
|-------------------|-------------|--|-------------|------|------|
| [1] 514 | 3532 | Eberline ASP-1 | 2006 | 2007 | 2008 |
| [2] 537 | 12957 | ESM Eberline FH40-G-L/FHT752 | 2010 | 2011 | 2012 |
| [3] 1115 | 3679 | Thermo Eletron Corporation Eberline-E600 | 2008 | 2008 | 2010 |
| [4] 2444 | 22004 | Thermo Cientific FH40G | X | 2010 | 2011 |

O AUTOLAB utiliza o método de Schumacher para ajustar o intervalo de calibração, em função da condição do instrumento na calibração. Se o instrumento é novo, a primeira coisa a fazer é calibrá-lo e estipular uma periodicidade de calibração que, normalmente, é determinada pelo fabricante do equipamento.

Se o equipamento estiver CONFORME ele retorna ao setor produtivo. No caso de AVARIA o instrumento irá para a manutenção e após para calibração. Apesar do número de amostras (equipamentos) não ser significativo é possível demonstrar a aplicabilidade do método de Schumacher neste trabalho para então avaliar e adequar o melhor intervalo de calibração para os aparelhos supracitados. De acordo com as informações adquiridas no AUTOLAB foi

elaborada a Tabela 6, na qual está demonstra as três últimas calibrações dos instrumentos:

Tabela 6 – Situação Atual dos Equipamentos

| MONITORES | Classificações Anteriores | | Classificação Atual | | |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------|---|---|
| | | | A | F | C |
| | Antepenúltima | Penúltima | Fatores de Ajuste | | |
| 1 | F | C | | | x |
| 2 | C | C | | | x |
| 3 | C | C | | | x |
| 4 | - | C | | | x |

Como descrito na tabela 6 os quatro equipamentos se encontraram “conforme” em classificação atual, baseado nas classificações anteriores disponibilizadas pelo AUTOLAB foi possível determinar um novo fator de ajuste considerando o intervalo atual de um ano (360 dias).

Seguimos, no entanto a descrição para “Método de Schumacher” que diz para o valor de dias ser dividido por 4. Considerando as calibrações dos instrumentos (B) e (C) receberam as classificações CONFORME e CONFORME nas duas classificações anteriores, o intervalo de calibração recomendado será determinado de acordo com o cálculo realizado considerando o ciclo de calibração para um ano, cerca de 360 dias como já citado.

Sabe-se que um instrumento calibrado que retornou ao usuário deve ser verificado se o mesmo está em conformidade ou não com as especificações e, também observar se o intervalo de calibração de 360 dias continua sendo adequado para este dispositivo usando o critério de Schumacher, pois este pode ser DIMINUIDO ou mesmo ESTENDIDO.

Isto dependerá muito da condição e histórico do aparelho já que este método é reativo, ou seja, reage de acordo com as informações anteriores do instrumento. Contudo, após análise crítica do resultado de calibração declarado

no certificado, o usuário concluiu que o mesmo encontra-se em conformidade com as especificações recebendo a classificação atual como CONFORME.

Seguimos o passo a passo descrito para a utilização do método de Schumacher, que cita localizar na tabela 4 o valor superior da periodicidade que está próximo do valor dessa divisão feita anteriormente, isto é se o valor der fracionado ou não conter na tabela, se o mesmo valor estiver especificado na tabela utiliza o próprio valor como foi o caso deste. Em seguida multiplicar por quatro e então o novo intervalo de calibração surgirá como demonstrado na tabela 7. Ou seja, o ciclo de calibração para estes aparelhos foi ESTENDIDO de um ano para um ano e dois meses a mais e dependendo dos próximos resultados pode se estender ainda mais, ou não. Isto é muito relativo.

Tabela 7 – Cálculo para Novo Intervalo de Calibração.

| Cálculo |
|----------------|
| $360/4=90$ |
| $105*4=420$ |

O valor resultante de 420 é observado na tabela 7 como o intervalo atual. De acordo com os fatores de ajuste surge o novo intervalo de calibração para esses equipamentos baseado no intervalo de calibração ESTENDIDO.

O instrumento A que recebeu a classificação “F” e “C” teve como novo intervalo de calibração 420 dias por sua classificação ter sido “P”. Este chegou com uma avaria no laboratório e após ajustes e nova calibração foi encontrado em “Conformidade”. Contudo, se observou uma resposta positiva do instrumento fazendo com que sua classificação permaneça inalterada até que haja uma nova necessidade de mudança. O ultimo instrumento D só obteve até então duas calibrações e foi incluída para que possamos demonstrar as três possibilidades de fator de ajuste que este pode receber, já que não temos um histórico e nem

dados recentes segue abaixo um esquema demonstrativo deste ultimo instrumento para calibração.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Como esperado todos os equipamentos se encontram em conformidade, isto porque esses instrumentos não são submetidos à transporte do laboratório tornando as condições bem mais favoráveis por conta de fatores especificados no subitem 8.1 que aborda os pontos metrológicos que influenciam nas medições citando inclusive o operador como peça fundamental do processo de medição, pois este é quem conhece melhor o método implantado para realizar a calibração e o conhecimento necessário para desempenhar a junção da teoria com a prática.

Contudo o LN não varia tanto de operador fazendo com que o mesmo conheça muito bem os aspectos práticos tornando a vida útil do equipamento muito mais duradoura. Tornando os ciclos de calibrações ESTENDIDOS se fazendo necessárias apenas observâncias frequentes destes, com verificações intermediárias nos equipamentos para garantir que até sua próxima calibração o instrumento esteja adequado de acordo com a primeira calibração realizada.

Desta forma o usuário se favorece com o quesito custo x benefício, pois com a calibração ESTENDIDA o mesmo terá despesas mais baixas e o equipamento por mais tempo em uso.

7.1. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Sobre tudo que foi analisado neste trabalho, devem ser ressaltados os seguintes pontos:

Propõem-se ampliar e manter o estudo dos intervalos de calibração para os monitores de área para nêutrons observando a importância de um tempo adequado para a recalibração e das verificações intermediárias;

Aproximar mais o cliente da calibração dos monitores de área para nêutrons com o intuito de promover um workshop comparativo sobre a manutenção, utilização e estimativa dos intervalos de calibração adequados em seus equipamentos.

Com isso, a intenção é fazer com que os clientes adquiram uma cultura de na qualidade dos seus monitores de área para nêutrons, se estendendo aos demais equipamentos que servirá como base na proteção dos seus trabalhadores.

BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR ISO 10012. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compatibilidade Eletromagnética, Parte 4-30: Técnicas de Medição e Ensaio - Métodos de Medição de Qualidade da Energia. ABNT NBR IEC 61000-4-30 ed. 2.0 b ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Radiações de Nêutrons de Referência, Parte 1: Características e Métodos de Produção. ABNT NBR ISO 8529-1 ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Rio de Janeiro/RJ. Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, 1994.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, Norma CNEN-NN-3.01, 2005.

FIOCRUZ. Radiação. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html>. Acesso em: 01 de Out. de 2013.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). Disponível em: <<http://xrepo01s.inmetro.gov.br/handle/10926/290>>. Acesso em: 30 de Set. de 2013.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA - Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2008) / 1ª edição luso-brasileira, autorizada pelo BIPM, da 3ª edição internacional do VIM - International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012

INMETRO. Acreditação de Laboratórios (ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005).

INMETRO. Avaliação da Conformidade. Certificação (ISO 9000:2008). Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/apresenta%20pesquisaISO.asp>>. Acesso em: 30 de Set. de 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Basic Safety Series N° 115. IAEA, Vienna, 1996.

KOSKINAS, Marina F.; Medida de Fluxo Térmico, Epitérmico e Rápido no Reator IEA-R1 pelo Método de Ativação de Folhas. São Paulo. 1979. Instituto de Energia Atômica. 1979.

LEITE, Sandro Passos; Estudo de um Sistema Alternativo para Determinação da Eficiência do Banho de Sulfato de Manganês. Rio de Janeiro. 2010. COPPE/UFRJ. 2010.

MENDES, A.; ROSÁRIO, P. P. Metrologia e Incerteza de Medição. São Paulo: EPSE, 2005.

SALGADO, Ana P.; Avaliação da Resposta dos Monitores de Área para Nêutrons em Campo de Radiação Gerado por um Acelerador Clínico de 15 MV. Rio de Janeiro, 2011. IRD/CNEN. 2011.

SILVA, Luiz Carlos Reina Pereira; Metodologia para Minimização de Doses em Instalações Radiativas com Aceleradores Cíclotrons. Rio de Janeiro. 2010. COPPE/UFRJ. 2010.

SEFIDVASH. F. Estrutura da Matéria – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (RS), Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://www.sefidvash.net/ENG08801/Class/eng08801-radioatividade.htm>> Acesso em: 31 de Set. de 2013.

TAUHATA, Luiz. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 8º Revisão. Dezembro/2011 – Rio de Janeiro – IRD/CNEN.

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. Física das Radiações: Interação da Radiação com a Matéria – Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo (SP), Brasil – Revista Brasileira de Física Médica. Disponível em <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/rbfm_v3n1_57-67.pdf>. Acesso em: 37 de Set. de 2013.

VILELA, Êudice C.; Desenvolvimento e Calibração de um Dosímetro Pessoal para Nêutrons utilizando Detectores Sólidos de Traços Nucleares. São Paulo. 1996. IPEN. 1996.

Detecção das Radiações. Disponível em: <<http://www.lucianosantarita.pro.br/Detectores.html>>. Acesso em: 01 de Out. de 2013.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2009 - The ISO 14000 family of International Standards

ANEXO 1 – AUTOLAB

O sistema AUTOLAB destina-se ao controle metrológico dos instrumentos de medição, inspeção, ensaio, gerenciamento ou monitoramento. Ele visa diretamente o atendimento normativo de vários sistemas de gestão da qualidade, como da ISO 9000, da ISO 10012 e da ISO/IEC 17025 [2005].

Uma centena de empresas e instituições brasileiras são usuários do sistema AUTOLAB para gestão e automação de calibrações e ensaios. Este sistema se divide em diversos módulos: Gerenciamento de Instrumentos, Execução de Calibração, Execução de Ensaios, Automação e importação de Dados, etc.

O módulo do AUTOLAB utilizado neste trabalho foi o de Gerenciamento de Instrumentos que tem como funções básicas o cadastro de especificações técnicas para equipamentos de medição, inspeção e ensaios, documentação e histórico das ocorrências com os equipamentos, registro e avaliação e resultados de calibrações externas, reclassificação de especificações técnicas de padrões de medição, geração de diversos gráficos de controle, otimização da frequência de calibração pelo método de Schumacher ou outro critério programável, teste de conformidade contra limites de processos ou malhas, gerenciamento da movimentação interna ou externa, relatórios de ocorrências, de inventário e de planejamento.

Fonte:

<http://www.automa.com.br/novo/autolab.asp?tipo=Produtos&conteudo=Gerenciamento%20de%20Instrumentos>

ANEXO 2 – MÉTODO DE SCHUMACHER

A determinação da periodicidade de calibração é um dos grandes problemas enfrentados pelas organizações uma vez que, cada instrumento possui um comportamento único em função do local onde este instrumento está sendo utilizado, da forma como este é manuseado e guardado, dentre diversos outros fatores.

O método de Schumacher é um dos métodos mais utilizados para auxiliar na determinação da periodicidade de calibração, sendo utilizada a conformidade das três últimas calibrações como parâmetro e definido por semana. Para definirmos a periodicidade de calibração utilizando o método de Schumacher utilizamos a tabela abaixo sendo: “A”- indica que o instrumento possui avaria; “C”- instrumento esta conforme; “F”- o instrumento esta fora de tolerância; “E”- indica aumento da periodicidade de calibração; “D”- redução no período de calibração; “M”- indica redução máxima; “P”- permanece com o período de calibração e “N”- indica o inicio de novo período de calibração.

| Ciclos anteriores | Condições do recebimento | | |
|-------------------|--------------------------|---|---|
| | A | F | C |
| CCC | P | D | E |
| NCC | P | D | E |
| ACC | P | D | P |
| CA | M | M | P |
| NC | P | M | P |
| NA | M | M | P |
| AC | P | D | P |
| AA | M | M | P |

Vamos a um exemplo prático. Abaixo, apresentamos uma tabela com a periodicidade de um determinado instrumento de medição o qual, possui periodicidade de calibração igual a 105 dias.

| Intervalo atual (dias) | Intervalo sugerido pelo método | | |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | Aumentar (dias) | Reduzir (dias) | Máxima redução (dias) |
| 35 | 49 | 28 | 28 |
| 70 | 91 | 63 | 42 |
| 105 | 126 | 98 | 63 |
| 140 | 168 | 126 | 91 |

Após a realização da calibração, o instrumento foi classificado como conforme. Verificando as três últimas calibrações, temos uma avaria (A) e duas conformidades (C). Com a análise das três últimas calibrações (ACC) e a calibração atual (C), o método de Schumacher indica que, devemos manter a periodicidade da calibração.

É importante dizer que, a calibração confirma os valores medidos no passado, e não futuros sendo necessária a tomada de ações para garantir que o instrumento tenha um perfeito funcionamento até a data da próxima calibração como, a execução de verificações periódica.

Fonte: <http://auna.com.br/auna/metodo-schumacher-periodo-calibracao/>