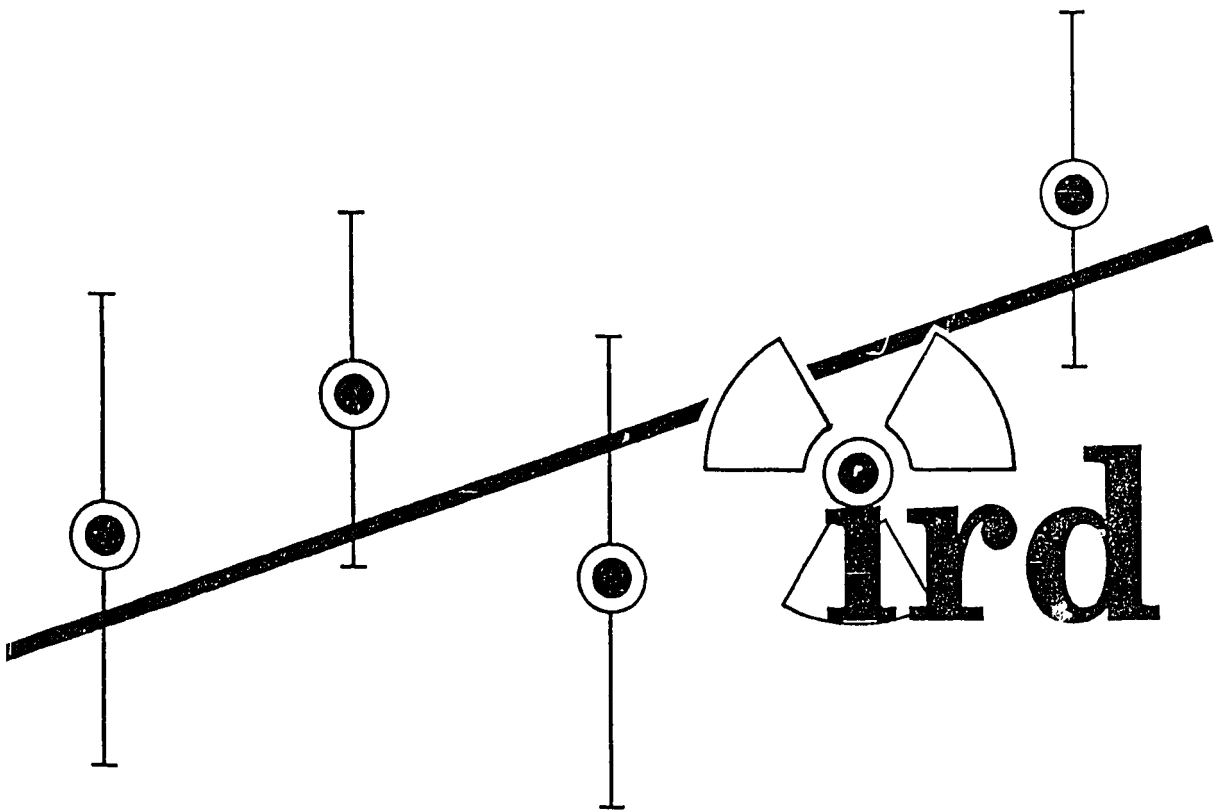


LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES



CNEN - 1992

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

**LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA
DAS RADIAÇÕES IONIZANTES**

**RIO DE JANEIRO
BRASIL**

Apresentação

A descrição do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI), detalhando seus programas, métodos de trabalho, estrutura de operação, composição de seu quadro técnico e administrativo, tem por finalidade divulgar, junto às instituições especializadas e ao público em geral, a riqueza e a complexidade de uma área específica em Metrologia.

A inserção de tabelas associadas aos vários campos de atividade visa demonstrar a evolução histórica e o desempenho do laboratório. A citação mais detalhada de dados relativos a 1992 serve como elementos de um relatório anual.

É importante ressaltar que, mesmo face a situação de recessão pela qual passa o país, e as grandes restrições orçamentárias impostas ao setor público, o LNMRI vem se consolidando, graças ao esforço de seus técnicos, como um laboratório de referência em sua área de atuação.

*Renato Di Prinzio
Coordenador do LNMRI*

Sumário

Introdução	4
Instituto de Radioproteção e Dosimetria	5
Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes	6
Estrutura Administrativa	8
Estrutura Organizacional	9
Infraestrutura	11
Laboratórios	11
Sistemas e Equipamentos	13
Recursos Humanos	14
Aperfeiçoamento	15
Equipe Técnica e Administrativa em 1992	18
Calibração de Instrumentos	19
Objetivo	19
Metodologia	19
Instrumentos de uso em Radioterapia	20
Instrumentos de uso em Radioproteção	21
Instrumentos de uso em Radiodiagnóstico	24
Instrumentos Monitores de Contaminação Superficial	24
Irradiação de Sistemas de Monitoração Individual	25
Testes de Qualificação Técnica de Instrumentos	25
Serviços de Calibração e de Irradiação	26
Calibração de Fontes	27
Objetivo	27
Metodologia	27
Confecção de Fontes para Controle de Qualidade	28
Procedimento para o Controle das Fontes	29
Controle de Impurezas	30
Confecção de Fontes para os Usuários	30
Tipos e Geometrias de Fontes	31
Atividades das Fontes	32
Tipos de Radionuclídeos	32
Fontes de Grande Área e Especiais	33
Fontes de Nêutrons	33
Serviço de Distribuição de Fontes	34

Sumário

Garantia de Qualidade	35
Objetivo	35
Garantia de Qualidade dos Padrões e Sistemas Metrológicos do LNMRI	35
Garantia da Qualidade dos Sistemas de Calibração e Padrões de Referência	36
Intercomparação de Radionuclídeos	38
Procedimentos Técnicos	39
Garantia de Qualidade de Serviços	41
Programa Nacional de Intercomparação de Resultados de Análise de Radionuclídeos em Amostras Ambientais (PNI)	41
Comitê de Avaliação de Serviços de Monitoração Individual Externa	46
Intercomparação de Serviços de Monitoração Individual	46
Intercomparação Postal de Dosimetria em Radioterapia	48
Automatização dos Sistemas	49
Objetivo	49
Características	49
Metodologia	49
Implementação	50
Expansão da Rede	50
Administração do LNMRI	51
Estratégia de Aquisição de Materiais	51
Prestação de Serviços	51
Definição, Negociação, Acompanhamento e Avaliação das Atividades	52
Treinamento de Pessoal	57
Cursos Ministrados	57
Orientação de Teses	57

Introdução

Desde as primeiras civilizações, o homem sentiu a necessidade de utilizar padrões de medida para desenvolver suas atividades. O comércio entre os povos, a necessidade de administrar territórios conquistados, o desejo de construção e reprodução de monumentos e edificações, fizeram com que fossem criados padrões de comprimento, massa e volume.

Hoje, não é possível imaginar a sociedade funcionando sem padrões de medida. Sua falta seria sentida desde o controle do consumo de água, eletricidade e combustível, no preparo de qualquer receita de comida, e no uso adequado de ferramentas de trabalho. Sem eles, os processos de fabricação em grande escala seriam incontrolláveis, o comércio não teria condições de fixar preços nas mercadorias, a competição de mercado seria inviável e a ciência e a tecnologia não teriam alcançado o atual estágio de desenvolvimento.

Com o descobrimento das substâncias radioativas, e a construção de tubos geradores de raios-X e aceleradores de partículas, difundiu-se o uso das radiações ionizantes na medicina, agricultura, indústria e pesquisa científica, devido às suas propriedades físicas.

Para a fixação de padrões para a medição das radiações ionizantes, muitas dificuldades tiveram que ser superadas. Isto porque existem vários tipos de radiação ionizante; cada tipo interage de modo diferente com os materiais e produz um efeito característico. Além disso, foi difícil conciliar o conceito de padrão, com grandezas que se modificam com o tempo, como por exemplo, a atividade de radioisótopos. Outras dificuldades superadas foram aquelas devidas à variedade de grandezas radiológicas envolvidas nas aplicações práticas.

Devido ao fato das radiações ionizantes também induzirem efeitos biológicos nas pessoas a elas expostas, foi preciso introduzir um mecanismo rigoroso para acompanhar o seu uso, suas aplicações e sua difusão. Isto implicava no controle dos padrões de medição, ou seja, em atingir maior confiança nas medições realizadas.

A verificação direta, por organismos especializados, da qualificação de todos os padrões disponíveis para as grandezas radiológicas a nível nacional e internacional é extremamente difícil, mas não impossível. Para isso, são estabelecidos programas de garantia de

qualidade, de intercomparações e de verificação de medições.

Para se estabelecer uma rede nacional de metrologia no campo das radiações ionizantes, esforços são necessários, por parte dos laboratórios e usuários, no sentido da padronização dos métodos de medição e de qualificação dos serviços de

aplicação dessas radiações. Para que seja implementado um sistema internacional de rastreamento metrológico é preciso, não somente a coordenação por um organismo de representação a nível mundial, mas a estreita colaboração entre os principais laboratórios de metrologia de todo o mundo.

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), atualmente instalado em Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, originou-se do Laboratório de Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), anteriormente instalado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ao longo de duas décadas, a atuação do

IRD na pesquisa, desenvolvimento e prestação de serviços no campo da radioproteção, dosimetria e metrologia das radiações ionizantes, levou-o à condição de centro brasileiro de referência nessas áreas, com reconhecimento nacional e internacional por instituições como a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e a Organização Mundial da Saúde (WHO).

Introdução

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

O Departamento de Metrologia do IRD passou a integrar a Rede de Laboratórios de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL) da IAEA e da WHO em 1976, e conta atualmente com 36 pessoas, dentre as quais três doutores e quinze mestres. Em março de 1989, o Departamento de Metrologia, através de convênio entre a CNEN e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), recebeu a delegação de ser o responsável nacional em metrologia na área das radiações ionizantes, passando a se chamar Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI).

Através da Resolução 03/89 do Conselho Nacional de Metrologia (CONMETRO), que congrega os Laboratórios de Metrologia Científica do INMETRO e o Serviço da Hora do Observatório Nacional, o LNMRI passou a fazer parte do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade.

O LNMRI participou, em 1991, da Conferência Geral de Pesos e Medidas e da Reunião do Comitê Internacional de Metrologia Legal, e possui um representante permanente no Comitê Internacional de Metrologia de Radionuclídeos.

Por ser um Laboratório Nacional, tem acesso direto e gratuito aos serviços e programas do *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) da França, que é o órgão de referência internacional em metrologia. O LNMRI, ao longo dos anos, participou de intercomparações promovidas pelo BIPM, para a padronização de medida de atividade de radionuclídeos (^{60}Co , ^{75}Se , ^{109}Cd , ^{125}I , ^{131}I , ^{137}Cs). Na área de dosimetria das radiações, participa das intercomparações, de padrões metrológicos na América Latina, e com a irradiação de *kit* postal de Dosímetros Termoluminescentes (TLD) e do Programa *Coherent and Accurate Reference Instrumentation* (CARE), promovidas pela IAEA.

Dentre suas atribuições, o LNMRI promove programas nacionais de garantia da qualidade para laboratórios de medição de atividade de amostras ambientais; para sistemas de monitoração individual, para irradiadores de grande porte e para feixes terapêuticos de ^{60}Co . Conduz um programa de avaliação de desempenho de instrumentos de medição de radiação ionizante, contribuindo assim para o controle da qualidade industrial desses produtos utilizados no território nacional.

Dentre as suas atividades pode-se destacar a pesquisa e desenvolvimento de técnicas e procedimentos metrológicos, a prestação de serviços de calibração de monitores de radiação de área, dosímetros clínicos e outros instrumentos (cerca de 1000/ano) e de preparação e padronização de fontes

radioativas de referência (cerca de 500/ano). Além dessas atividades o LNMRI presta atendimento técnico-científico a seus usuários através de consultorias, realização de cursos e participação em inúmeros outros eventos.

O LNMRI participa de intercomparações com o Laboratório Regional de Calibração de São Paulo, instalado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) para a medição de atividade de radionuclídeos e de medição de *kerma* no ar, visando a garantia da rastreabilidade das mesmas. A qualidade metrológica é mantida internamente por meio de programas de controle de padrões e sistemas de medição. Também está sendo implantado o Sistema da Qualidade Total no gerenciamento de processos.

Estrutura Administrativa

Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

Laércio Antonio Vinhas	Superintendente
José Marcus Godoy	Superintendente Substituto

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes - LNMRI

Renato Di Prinzio	Coordenador
José Ubiratan Delgado	Coordenador Substituto

Supervisão de Dosimetria das Radiações - SUDOR

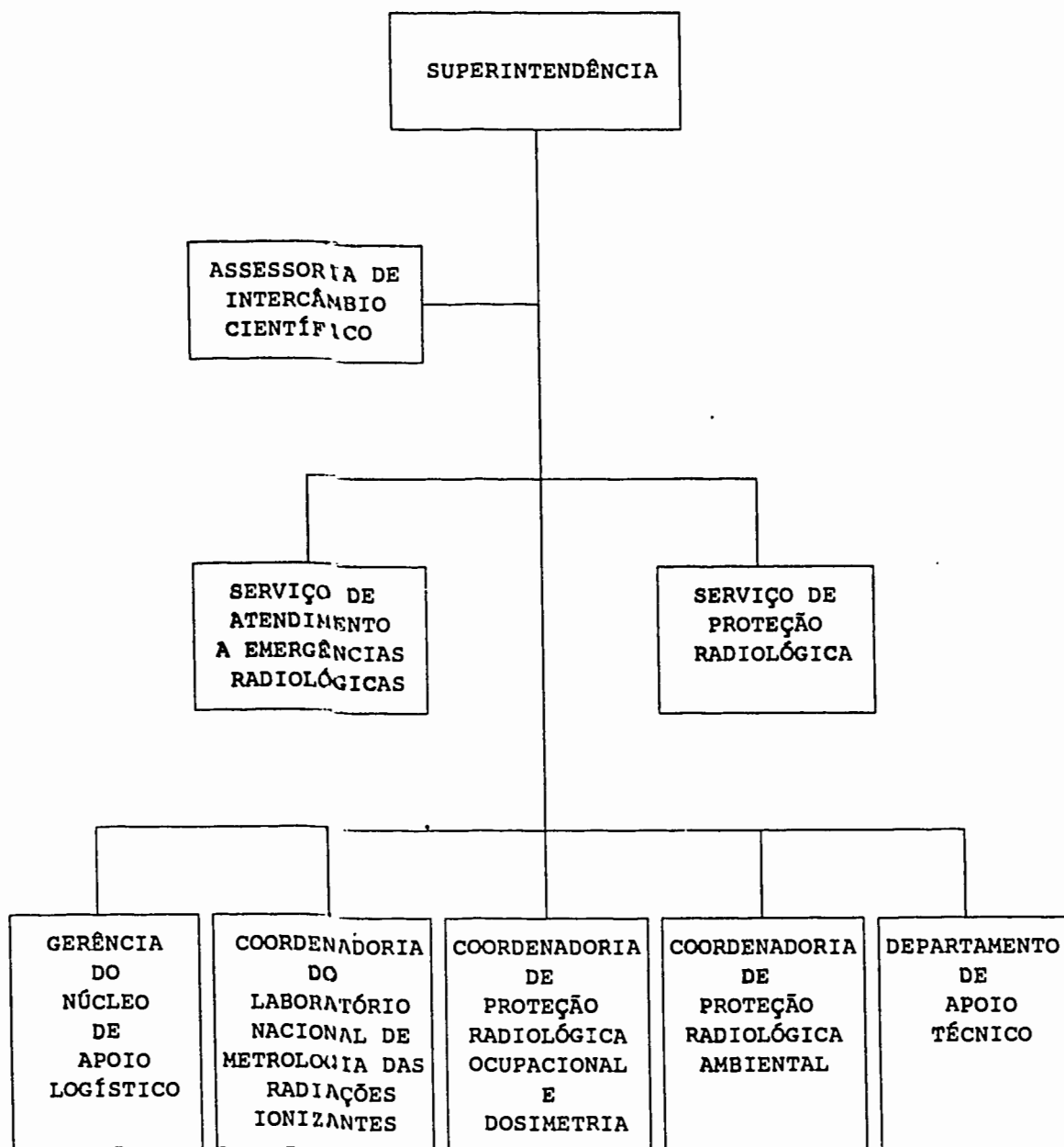
Ricardo Amorim Barbosa	Supervisor
Eugenio Roberto Cecatti	Supervisor Substituto

Supervisão de Metrologia de Radionuclídeos - SUMER

José Ubiratan Delgado	Supervisor
Carlos José da Silva	Supervisor Substituto

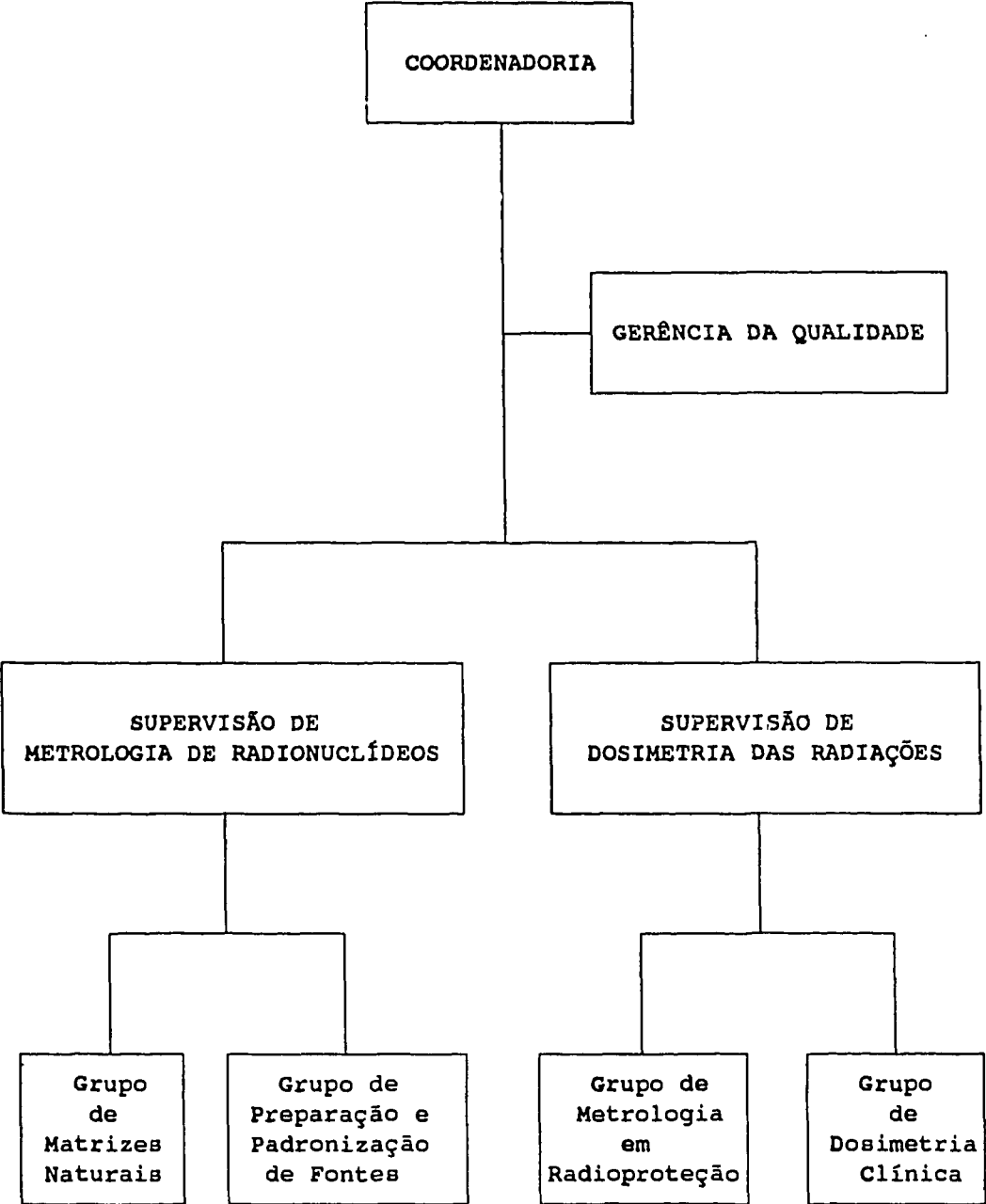
Estrutura Organizacional

Instituto de Radioproteção e Dosimetria



Introdução

Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes



Todos os laboratórios do LNMRI possuem aparelhos de ar condicionado, desumidificadores, termômetros e higrômetros, estando a maioria ligada a sistemas de alimentação ininterrupta (no

break). Dispõe de ampla instrumentação eletrônica para a realização de medições, incluindo os padrões nacionais e padrões de trabalho.

Laboratórios

- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: irradiador gama de ^{137}Cs e ^{60}Co (desenvolvido e construído no IRD) e irradiador gama de ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co e ^{226}Ra (Buchler);
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção a nível ambiental, em fase de instalação: 01 irradiador gama colimado de ^{137}Cs (Buchler) e 01 irradiador gama panorâmico de ^{137}Cs e ^{60}Co (Buchler);
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção e radiodiagnóstico: equipamento de raios-X com dois tubos, de 160 e 320 kV (Philips);
- laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: salão de baixo espalhamento com fontes de nêutrons de $^{241}\text{Am-Be}$, $^{241}\text{Am-F}$ e $^{241}\text{Am-Li}$;
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: empilhamento de grafite para termalização de nêutrons;
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: sistema estático de banho de sulfato de manganês para medida de fluência de fontes de nêutrons;
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: fontes emissoras alfa de ^{241}Am e beta de ^{14}C , ^{36}Cl , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ e ^{137}Cs ;

Infraestrutura

- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção: fontes emissoras beta de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{147}Pm , ^{204}Tl e ;
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioproteção e radioterapia: irradiador gama de ^{60}Co (AECL);
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioterapia: irradiador gama de ^{60}Co (Picker);
- Laboratório para calibração de instrumentos usados em radioterapia: equipamento de raios-X de 300 kV (Siemens);
- Laboratório para medidas elétricas e ambientais: fonte radioativa de corrente (PTW), fonte eletrônica de corrente (Keithley), capacitores de referência, estufa com bomba de vácuo, banho térmico, cela para higrometria, termômetros, barômetro de coluna de mercúrio;
- Laboratório de calibração de fontes e substâncias radioativas por medição direta;
- Laboratório de calibração de fontes e substâncias radioativas por medição indireta;
- Laboratório de radioquímica para preparação de fontes e substâncias radioativas;
- Laboratório de radiometria de baixa atividade;
- Laboratório de radioquímica de baixa atividade;
- Laboratório de metalização e preparação de filmes finos;
- Laboratório climatizado com balanças analíticas (Mettler e Sartorius) de alta precisão;
- Sala com cofre blindado para armazenagem de fontes e substâncias radioativas;
- Sala para estocagem e embalagem de matrizes;
- Sala para embalagem de instrumentos calibrados.

Sistemas e Equipamentos

- Sistema de coincidência para calibração de fontes por medição direta;
- Sistema de coincidência pressurizado para calibração de fontes por medição direta;
- Sistema de câmara de ionização tipo poço, para calibração de fontes e substâncias radioativas por medição indireta;
- Sistema de espectrometria gama, com detector de germânio, para calibração de fontes por medição indireta;
- Sistema de espectrometria gama, com detector de germânio puro, tipo GMX, com supressor Compton para fontes de baixa atividade;
- Sistema de espectrometria gama com detector de NaI(Tl) de 5" x 5";
- Sistema com contador proporcional para calibração de fontes alfa e beta;
- Sistema automatizado de metalização de filmes finos;
- Sistema com detector de NaI(Tl) para calibração de fontes emissores gama, por medição indireta;
- Sistema com detector de barreira de superfície para calibração de emissores alfa, por medição indireta;
- Sistema de análise e aquisição de dados, provido de conversor analógico-digital, microcomputador e rotina de análise de espectros e interface de transferência de dados;
- Sistema de eletrodeposição para preparação de fontes de grande área;
- Câmara de ionização padrão nacional, NE-2561;
- Câmaras de ionização padrões secundários;
- Eletrômetros e integradores de corrente;
- Banho de Sulfato de Manganês;
- *Precision Long Counter CENTRONIC.*

Recursos Humanos

O LNMRI desenvolveu-se ao longo dos anos graças ao aprimoramento de sua equipe técnica e administrativa. O intercâmbio técnico com instituições nacionais e internacionais, permitiu que muitas questões ligadas a metrologia das radiações ionizantes fossem tratadas e, conseqüentemente, implantadas nos serviços prestados pelo laboratório.

O aperfeiçoamento acadêmico dos servidores do LNMRI em diversas instituições permitiu a formação de uma equipe técnica e administrativa composta por 36 profissionais efetivos, trabalhando em regime de tempo integral. Conta-se também com 4 bolsistas em regime de tempo parcial, e um em tempo integral.

Pessoal de nível superior

Categoria	Graduados	Mestres	Doutores	Total
Técnico-científico	6	15	3	24
Administrativo	2	-	-	2
Bols. Pós-graduação	4	-	-	4
T o t a l	12	15	3	30

Pessoal de nível médio

Categoria	Total
Técnico	8
Administrativo	2
Bolsista (Admin.)	1
T o t a l	11

Aperfeiçoamento

Ao longo dos anos, vários pesquisadores do LNMRI fizeram estágios de especialização em instituições de renome internacional, visando o aprimoramento técnico de suas atividades. A maioria das visitas foi realizada através de programas

de cooperação técnica entre a CNEN e a IAEA. Diversos especialistas de instituições internacionais têm visitado o LNMRI, incrementando e aprimorando o intercâmbio técnico entre os laboratórios.

Estágios do Pessoal no Exterior

Instituição\Ano	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
GSF-Alemanha	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-
Univ. Berlim	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CBNM-Bélgica	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BIPM- França	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	1	-	-	-
NRC-Canadá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-
NIST-USA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1
ETL-Japão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
NPL-Inglaterra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
PTB-Alemanha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
CAE-Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
IAEA-Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
TOTAL	1	-	1	-	-	2	-	2	-	4	3	1	5	2	3

Recursos Humanos

Produção Técnico-Científica

Tipo	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92*	Total
A	-	-	-	-	-	2	-	1	2	3	2	-	6	2	6	4	5	4	37
B	1	-	-	1	-	-	1	2	7	-	2	3	1	1	1	4	6	1	31
C	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	1	-	1	3	-	1	15	2	27
D	-	-	-	1	1	-	-	2	7	-	19	4	4	6	16	5	3	1	69
E	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	4
F	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	1	1	-	6
G	-	-	1	-	1	-	1	1	2	6	1	2	-	-	1	1	1	2	20
Total	1	-	1	3	2	2	3	7	21	12	25	10	13	12	24	16	31	11	194

* até novembro

Tipo de Publicação:

A = artigo em periódico internacional

E = livros e apostilas

B = artigo em periódico nacional

F = notas técnicas

C = resumo em congresso internacional

G = teses defendidas em pós-graduação

D = resumo em congresso nacional

Recursos Humanos

O LNMRI sempre incentivou o aperfeiçoamento de seu pessoal, por meio de cursos de pós-graduação, a nível de mestrado e doutorado. Projetos de tese em Metrologia das Radiações Ionizantes, ou áreas correlatas, têm sido desenvolvidas por alunos de pós-graduação do Instituto

de Física e Biofísica da UFRJ, da Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), do Programa de Biociências Nucleares da UERJ, da Pontifícia Universidade Católica (PUCRJ) e do Instituto de Física da UFF.

Aperfeiçoamento Acadêmico

Título\Ano	79	80	81	82	83	84	85	89	90	91	92	Total
Mestrado	1	1	1	1	2	4	1	-	2	1	2	16
Doutorado	-	-	-	-	-	1	-	4	2	-	-	7

Recursos Humanos

Equipe Técnica e Administrativa em 1992

Efetivos

- | | |
|---|--|
| ■ Almir Faria Clain | ■ Luiz Carlos Garcia |
| ■ Antonio Eduardo de Oliveira | ■ Luiz Henrique Rodrigues Castelo |
| ■ Akira Iwahara | ■ Luiz Tauhata |
| ■ Carlos de Austerlitz Andrade Lima Campos | ■ Luzianete Amaral de Mello Magalhães Baptista |
| ■ Carlos José da Silva | ■ Mara Lúcia Lara Costa |
| ■ Célio dos Santos Leal | ■ Márcia Maria Garcia Gomes |
| ■ Cirilo César Santanna da Conceição | ■ Maria Antonieta Ramos Ribas Di Prinzio |
| ■ Deise Maria Retonde Furtado do Nascimento | ■ Maria Helena da Hora Maréchal |
| ■ Eugenio Roberto Cecatti | ■ Marcos Peter Barbosa |
| ■ Evaldo Simões da Fonseca | ■ Manoel Mattos Oliveira Ramos |
| ■ Evandro Jesus Pires | ■ Nadjara Silva Costa |
| ■ Ivan Pedro Salati de Almeida | ■ Paulo Alberto Lima da Cruz |
| ■ Jamir dos Santos Loureiro | ■ Paulo Parente Pessoa |
| ■ José Carlos Gonçalves da Cruz | ■ Renato Di Prinzio |
| ■ José Ubiratan Delgado | ■ Ricardo Amorim Barbosa |
| ■ Laura Natal Rodrigues | ■ Roberto Poledna |
| ■ Léa Contier de Freitas | ■ Sonia Maria da Rocha Oliveira |
| ■ Leslie Silva Pereira | ■ Teógenes Augusto da Silva |

Bolsistas

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ■ João Pedro Renha | ■ Maura Júlia Câmara da Silva |
| ■ José Guilherme Pereira Peixoto | ■ Vilma Aparecida Ferrari |
| ■ Márcia Fortes da Silva | |

Calibração de Instrumentos

Objetivo

Estabelecer, implantar, executar e controlar atividades ou técnicas que assegurem que as medições realizadas em radioproteção, radiodiagnóstico e radioterapia estejam dentro de intervalos

confiáveis e sejam comparáveis entre si, além de estarem referenciadas aos instrumentos padrões mantidos e controlados no LNMRI.

Metodologia

Para a calibração de instrumentos é utilizado o método de substituição, onde um instrumento padrão é posicionado no feixe de radiação, segundo geometria bem definida, determinando-se assim, a exposição. O instrumento a ser calibrado substitui o padrão, mantendo-se as mesmas condições de operação, e obtendo-se a leitura correspondente à exposição determinada anteriormente. A razão entre o valor da exposição, obtido com o padrão, e a leitura obtida com o instrumento, fornece o fator de calibração do mesmo, nas condições de calibração.

Alguns instrumentos são ajustados para que o fator de calibração fique próximo da unidade. Neste caso, o resultado da calibração é expresso em uma tabela que apresenta o valor da taxa de exposição

fornecida e a leitura correspondente obtida com o instrumento.

Outros instrumentos são calibrados através da utilização de fontes padrões emissoras de radiações alfa e beta. A razão entre o valor conhecido da taxa de emissão da fonte e aquele obtido com o instrumento define o fator de calibração.

Cada instrumento calibrado recebe um certificado de calibração onde constam suas especificações e de seu proprietário, as especificações da calibração e seus resultados e a incerteza total associada ao procedimento de calibração. Essa incerteza é obtida pelo método de combinação de incertezas do Tipo A e B, definida pelo BIPM. A validade de cada certificado de calibração é especificado de acordo com o tipo de instrumento.

Calibração de Instrumentos

Instrumentos de uso em Radioterapia

Existem atualmente no país cerca de 130 Centros de Radioterapia que utilizam feixes de raios-X, radiação gama de ^{60}Co e aceleradores lineares de elétrons, em tratamentos de radioterapia. Periodicamente são efetuadas dosimetrias nesses feixes utilizando-se instrumentos conhecidos como dosímetros clínicos.

A importância da calibração dos dosímetros clínicos está diretamente associada à capacidade de um centro de radioterapia aplicar uma determinada dose de radiação aos pacientes, com um grau aceitável de exatidão, de forma a garantir o sucesso do tratamento.

Atualmente o LNMRI realiza a calibração de dosímetros clínicos nas grandezas exposição e kerma no ar com feixes de radiação cujas características estão mostradas na tabela ao lado. Estudos foram iniciados para a implantação da calibração

em termos da grandeza dose absorvida, na água.

A calibração de dosímetros clínicos é efetuada em feixes de raios-X e de ^{60}Co , com taxa de exposição entre 400 R.h^{-1} e 900 R.h^{-1} . Os usuários solicitam a calibração de seus instrumentos de acordo com os tipos de feixes de radiação que possuem em seus Centros de Radioterapia. Assim, para cada tipo de feixe é associado um fator de calibração para o instrumento.

A incerteza associada ao procedimento de calibração de dosímetros clínicos, seguindo-se a cadeia de incertezas, desde a calibração do instrumento padrão em laboratórios primários até a calibração final do instrumento, é de 2%.

Para esse tipo de instrumento, o prazo de validade do certificado de calibração é de dois anos.

Calibração de Instrumentos

Características dos Feixes de Radiação Utilizados na Calibração de Dosímetros Clínicos

Potencial Gerador (kV)	Filtração Adicional (mm)	Camada Semi Redutora (mm)	Energia Efetiva (keV)
Feixes de Raios-X			
82	0,2 Al	2,0 Al	30
102	2,1 Al	4,0 Al	36
140	0,25 Cu	0,5 Cu	63
186	4,0 Al + 0,4 Cu	1,0 Cu	78
224	3,5 Al + 1,2 Cu	2,02 Cu	111
Feixes de Radiação gama			
^{60}Co		14,6 Cu	1250

Instrumentos de uso em Radioproteção

Existem atualmente no país cerca de 2000 instrumentos em uso para a proteção radiológica de trabalhadores de instalações tais como, siderúrgicas, aeronáutica, marinha, construtoras, indústrias de papel, indústrias de material elétrico, entre outras, que utilizam material radioativo.

O supervisor de radioproteção de uma instalação, utilizando um instrumento calibrado, pode identificar a presença de radiação ionizante. Como o instrumento fornece a taxa de exposição, medidas de segurança adequadas podem ser adotadas,

Calibração de Instrumentos

antes que algum trabalhador possa ser exposto a radiação.

Os instrumentos de radioproteção, conhecidos como monitores de radiação de área, abrangem grande variedade, necessários para as diferentes situações de uso. Fazem parte desse tipo de instrumentos contadores Geiger, canetas dosimétricas, cintilômetros, câmaras de ionização e contadores proporcionais.

Tais instrumentos são calibrados com taxa de exposição de 1mR.h^{-1} a 1R.h^{-1} , em raios-X, radiação gama (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am), radiação beta (^{14}C , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$,

^{147}Pm) e feixes de nêutrons ($^{241}\text{Am-Be}$, ^{252}Cf).

Os resultados da calibração de cada instrumento são apresentados em tabela que fornece a taxa de exposição a que o instrumento foi submetido, a faixa de leitura em que ele foi calibrado, a leitura que deveria ser indicada em cada escala e a leitura obtida na calibração.

A incerteza associada à calibração de monitores de área pode variar entre 3% e 20%. Para esse tipo de instrumento, o prazo de validade do certificado de calibração é de um ano.

Características de Feixes de Nêutrons e de Radiação Gama Utilizados na Calibração de Monitores de Radiação de Área

Isótopo	Energia Efetiva (keV)
Radiação Gama	
^{241}Am	800
^{137}Cs	662
^{60}Co	1250
Feixes de Nêutrons	
Am-Be	4500

Calibração de Instrumentos

Características dos Feixes de Raios-X Utilizados na Calibração de Monitores de Radiação de Área

Potencial Gerador (kV)	Filtração Adicional (mm)	Camada Semi Redutora (mm)	Energia Efetiva (keV)
Espectro Estreito			
10	0,1 Al	0,05 Al	9
15	0,5 Al	0,15 Al	12
20	1,0 Cu	0,35 Cu	17
30	4,0 Al	1,2 Cu	26
40	0,21 Cu	0,09 Cu	33
60	0,6 Cu	0,24 Cu	48
80	2,0 Cu	0,59 Cu	65
100	5,0 Cu	1,11 Cu	83
120	5,0 Cu + 1,0 Sn	1,73 Cu	100
150	2,5 Sn	2,4 Cu	118
200	2,0 Al + 3,0 Cu + 1,0 Sn	3,9 Cu	163
250	2,0 Cu + 3,0 Sn	5,2 Cu	205
300	3,0 Cu + 5,0 Sn	6,2 Cu	248
Espectro Largo			
30	2,0 Al	0,88 Al	23
40	4,0 Al	1,7 Al	31
60	0,3 Cu	0,18 Cu	45
80	0,5 Al	0,35 Cu	58
110	2,0 Cu	0,94 Cu	79
150	1,0 Sn	1,86 Cu	104
200	2,0 Sn	3,11 Cu	134
250	4,0 Sn	4,3 Cu	169
300	6,5 Sn	5,0 Cu	202

Calibração de Instrumentos

Instrumentos de uso em Radiodiagnóstico

A necessidade de quantificação em radiodiagnóstico é reconhecida a nível mundial, tendo sido elaborado um projeto em 1989 no país, para a implantação da rotina de calibração de câmaras de ionização e medidores de kVp.

Com a ênfase dada pela IAEA à área de

aplicações médicas e com a demanda crescente nos últimos anos, iniciou-se o estabelecimento de condições para a calibração e sua implantação. Além disso, programas do Ministério da Saúde irão exigir o ensaio de aparelhos de raios-X e instrumentação associada, aumentando a necessidade de calibração.

Instrumentos Monitores de Contaminação Superficial

Monitores de contaminação superficial são utilizados em hospitais, indústrias e centros de pesquisa, para a monitoração de superfícies (bancadas de trabalho e assoalhos), pessoas (pés e mãos) e vestuário.

A calibração desses instrumentos, com fontes padrões de grande área, emissoras de radiação alfa e beta, tornou-se mais evidente após o acidente radiológico de Goiânia, onde foram amplamente utilizados para a monitoração de pessoas, objetos e residências e logradouros.

Características das Fontes Radioativas
Utilizadas na Calibração de Monitores de Contaminação Superficial

Isótopo	Tipo de Emissão	Energia (keV)	Meia-Vida (anos)
²⁴¹ Am	alfa	5544	432,6
¹⁴ C	beta	156	5730
³⁶ Cl	beta	710	300000
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	beta	2274	28,6

Calibração de Instrumentos

Dependendo da natureza da radiação e do instrumento, a incerteza associada ao procedimento de calibração de monitores de contaminação superficial varia de 10%

a 30%. Para esse tipo de instrumento, o prazo de validade do certificado de calibração é de um ano.

Irradiação de Sistemas de Monitoração Individual

Dosímetros pessoais são utilizados por trabalhadores de instalações nucleares, hospitais, indústrias e centros de pesquisa, para a sua monitoração individual.

Existem empresas particulares que preparam e distribuem a esses usuários tais dosímetros pessoais. No entanto, a padronização das condições que esses dosímetros devem obedecer é determinada pelo LNMRI.

Os dosímetros pessoais distribuídos aos usuários por essas empresas são irradiados

em feixes padronizados de raios-X e gama, para o estabelecimento da sua rastreabilidade aos padrões dosimétricos do LNMRI e também para o estudo de desempenho dos mesmos.

O LNMRI é o único laboratório do país com capacidade implantada de irradiação de dosímetros pessoais com exposições entre 50mR e 70R, em feixes de raios-X e radiação gama de ^{60}Co e ^{137}Cs , com as mesmas características utilizadas para a calibração de monitores de área.

Testes de Qualificação Técnica de Instrumentos

Existe atualmente no país um grande número de instrumentos utilizados em radioterapia, radioproteção e radiodiagnóstico, e não existe nenhum controle sobre o desempenho dos mesmos. Muitos desses instrumentos são importados e não são acompanhados de certificados de qualificação técnica.

O LNMRI vem desenvolvendo, nos últimos anos, estudos para a realização de testes específicos de qualificação técnica desses instrumentos, a fim de cobrir a lacuna atualmente existente, que tem prejudicado em muito os usuários.

Calibração de Instrumentos

Serviços de Calibração e de Irradiação

Os números totais de instrumentos calibrados e dosímetros pessoais irradiados até o mês de novembro de 1992 estão apresentados abaixo. Devido ao controle de qualidade efetuado e às particularidades de alguns instrumentos, o número de pontos de calibração difere do número de certificados de calibração emitidos.

Pontos de Calibração e Certificados Emitidos

Serviço/Ano	1987	1988	1989	1990	1991	1992
RADIOTERAPIA		Número de Pontos de Calibração				
Raios-X Baixa Energia	-	-	-	-	-	15
Raios-X Média Energia	333	205	287	312	122	142
⁶⁰ Co	32	36	29	53	45	54
Nº DE PONTOS	365	241	316	365	167	211
Nº DE CERTIFICADOS	31	38	29	33	29	41
RADIOPROTEÇÃO		Número de Instrumentos Calibrados				
Fóton (X e gama)	326	572	449	601	775	828
Nêutron	8	12	15	15	11	29
Nº DE CERTIFICADOS	334	584	464	616	786	857
DOSIMETRIA PESSOAL		Número de Dosímetros Irradiados				
TLD	-	41	28	19	261	30
Filmes	153	338	722	744	506	483

Objetivo

Fornecer padrões de atividade de fontes e soluções radioativas, para atender a usuários de diversas áreas, tais como ensino, pesquisa, indústria, meio-ambiente

e medicina, na padronização de métodos de análise radioquímica ou radiométrica, e para testes de procedimentos de laboratórios já implementados.

Metodologia

O serviço de calibração de fontes utiliza dois métodos de calibração e vários sistemas de medida. As fontes calibradas pelo método de medição direta não precisam ser referidas a nenhum padrão, mas por medida de controle, são feitas comparações para garantir a sua rastreabilidade aos padrões nacionais e internacionais. Por outro lado, as fontes calibradas pelo método de medição indireta necessitam ser comparadas a padrões e os seus sistemas de medição precisam ser rastreados aos sistema de medição direta.

Alguns radionuclídeos como ^3H e ^{238}Pu , adquiridos de laboratórios primários, são apenas diluídos em nosso laboratório, uma vez que seus métodos de calibração ainda não foram implantados.

Todas as fontes fornecidas são registradas em arquivo, de modo que, a qualquer momento pode-se conferir ou resgatar o valor de sua atividade. Esse registro, além de permitir uma documentação do LNMRI, serve como mecanismo de cadastramento de usuários.

Cada fonte calibrada fornecida ao usuário é acompanhada de um certificado, que permite garantir legal e metrologicamente o valor da sua atividade, a origem do radionuclídeo, a descrição do método de calibração e a especificação da incerteza total associada, com a indicação de suas componentes do Tipo A e B, como classifica o BIPM.

Juntamente com o certificado são enviadas instruções de uso da fonte radioativa.

Calibração de Fontes

Confecção de Fontes para Controle de Qualidade

Após cada processo de diluição, fontes são confeccionadas para fins de garantia de qualidade. Elas são calibradas nos laboratórios da SUMER, utilizando os sistemas de medição direta, como o $4\pi\beta\gamma$ e os sistemas de medição indireta, com câmara de ionização, detector de iodeto de sódio (NaI(Tl)), germânio e proporcional. Algumas destas fontes podem ser calibradas nos diversos sistemas ou podem integrar um programa de comparação interlaboratorial.

A escolha do sistema para calibração depende do tipo do radionuclídeo, da faixa de atividade e da geometria da fonte. Para a calibração da solução-mãe, é utilizado o sistema de coincidência e fontes puntiformes depositadas em filmes finos

de acetato de cloreto de polivinila (vyns) metalizados com ouro devido ao fato de ser o sistema de maior confiabilidade e garantir maior exatidão no valor da atividade. Todos os outros métodos estão referenciados a este sistema.

Quando se deseja boa exatidão e rapidez, o sistema com câmara de ionização é o indicado, pois permite a calibração rápida e opera numa faixa relativamente larga de atividade da fonte.

Após a segunda e terceira diluições, os sistemas de medição devem ser o mais semelhantes possível aos dos usuários, para comparar os resultados das calibrações nas geometrias de fonte que eles irão utilizar.

Procedimento para o Controle das Fontes

Calibração

Além do procedimento de documentação desenvolvido para a identificação das soluções radioativas utilizadas, é efetuada a calibração de cada fonte individualmente, utilizando-se os métodos de medição indireta com detectores de

germânio, NaI(Tl), câmara de ionização e detector proporcional 2π . O resultado da calibração deve ser coerente com o valor esperado, baseando-se na diluição efetuada. Tal procedimento, periodicamente realizado, faz parte do programa de controle de qualidade.

Rastreamento

Como todos os sistemas de medição estão metrologicamente interligados, mediante intercomparações e rastreamentos às fontes padrões primárias e sistemas de medição direta do laboratório, vinculados

ao Sistema Internacional de Referência (SIR/BIPM), as fontes distribuídas pela SUMER integram a rede nacional e internacional de metrologia de radionuclídeos.

Estabilidade

Além de calibradas e certificadas, as fontes têm um acompanhamento, por meio de fontes similares, ao longo do tempo, para verificar se o material radioativo fica nelas confinado.

O estudo da estabilidade é importante, pois, além do decaimento radioativo, alguns radionuclídeos podem evaporar ou

sublimar, ou as soluções podem ser adsorvidas ou absorvidas nas paredes dos frascos, resultando em uma diminuição da atividade esperada. Para minimizar tais fenômenos as ampolas passam por processo de tratamento com ácidos e são adicionados carreadores inativos às soluções radioativas.

Calibração de Fontes

Controle de Impurezas

As soluções radioativas importadas, além de serem devidamente calibradas, passam por uma análise radiométrica, utilizando um detector de germânio puro ou NaI(Tl),

para fazer a verificação da existência de outros radionuclídeos presentes, que podem interferir na atividade das mesmas.

Confecção de Fontes para os Usuários

Todas as fontes são preparadas utilizando o método da Pesagem Diferencial. Nesse método, a atividade da fonte solicitada pelo usuário é determinada pelo cálculo da massa necessária de solução radioativa, tendo em vista a atividade (em Bq.g^{-1}) da solução de trabalho. A massa utilizada da é obtida pela diferença das pesagens antes e após a retirada da alíquota da solução.

No caso de fontes depositadas sobre discos

metálicos ou sobre filmes finos de vynos metalizados, calcula-se o número de gotas necessárias, dependendo da atividade da solução-mãe.

Após a secagem e o encapsulamento, as fontes seladas são calibradas e o valor da atividade e suas características são registradas em livro da SUMER e emitido um certificado com todos os dados necessários para o usuário.

Tipos e Geometrias de Fontes

Os tipos e geometrias das fontes dependem de sua aplicação. Os radionuclídeos fornecidos em ampolas são diluídos em meio ácido ou aquoso, com

seus respectivos carreadores inativos. Fontes emissoras alfa, beta e gama podem também ser adquiridas em formas sólida, dependendo do interesse do solicitante.

- Fontes sólidas, seladas, com material depositado sobre suporte de alumínio ou acrílico;
- Fontes depositadas em filmes finos de vinhos metalizados com ouro, recobertas com filme fino;
- Soluções em picnômetros ou ampolas de 2 a 5 cm³;
- Soluções em balões volumétricos em volume de até 25 cm³;
- Frascos, potes e garrafas plásticas de volume até 1 litro;
- Soluções em frascos tipo Marinelli de até 2 litros;
- Emissores alfa: fontes eletrodepositadas em disco de aço inox, com 1,2, 3,5 e 5,0 cm de diâmetro ativo (²³³U, ²⁴¹Am, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu e ²⁴⁴Cm).
- Emissores beta: fontes depositadas em discos de aço inox, com uma fina cobertura de vinhos, com 2,5cm de diâmetro.
- Emissores gama: fontes sólidas, pontiformes, depositadas em suportes de acrílico com 2,5cm de diâmetro ou em alumínio com 1,5 cm de diâmetro.

Calibração de Fontes

Atividades das Fontes

Basicamente as fontes são utilizadas para aferições de detectores de monitoração de área e de sistemas de medição, para obtenção da curva de calibração e de eficiência de detectores de germânio e NaI(Tl) e padronização de métodos radioquímicos.

Para isso, as fontes sólidas ou depositadas em filmes finos têm, em geral, atividade na faixa de 370 Bq a 37 kBq. As soluções radioativas são de baixa atividade, entre 0,37 Bq a 370 Bq. Somente fontes especiais, preparadas para fins de pesquisa, ultrapassam valores de 37 kBq.

Tipos de Radionuclídeos

A maioria das fontes emissoras de radiação gama confeccionadas são de meia-vida longa, uma vez que deverão ser utilizadas por muito tempo pelos laboratórios solicitantes. São constituídas por um único radionuclídeo e podem, freqüentemente, formar um conjunto (kit) de fontes. Estas fontes são muito utilizadas por possuírem esquemas de decaimento bem conhecidos, um histórico de calibração bem assegurado e, em geral, emitem poucas ou uma única radiação gama. Podem ser destacados os seguintes

radionuclídeos ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{207}Bi e ^{241}Am .

Para propósitos rotineiros, ou verificação de reprodutibilidade do sistema de medição da curva de calibração e de eficiência, utiliza-se, com freqüência, fontes emissoras de radiações gama de várias energias com respectivas taxas de emissão bem conhecidas, como o ^{152}Eu e ^{133}Ba . Para fontes sob a forma de soluções, é comum também o uso de um coquetel de radionuclídeos, na geometria apropriada para medidas.

Fontes de Grande Área e Especiais

A confecção de fontes de grande área teve como propósito inicial substituir as fontes importadas, uma vez que estas são muito caras, e para atender as necessidades de calibração de detectores de contaminação superficial.

Foram desenvolvidas fontes com dois processos, por eletrodeposição e fontes sólidas, tipo multiponto.

As fontes eletrodepositadas de emissores de radiação alfa foram desenvolvidas com até 5cm de diâmetro, e apresentam homogeneidade, estabilidade e qualidade

comparáveis, ou mesmo superiores, às importadas. Devido ao fato do suporte ser de aço inox, o seu custo é muito inferior às disponíveis no mercado internacional.

As fontes sólidas, tipo multiponto são feitas em geometria e tamanho variado, procurando-se atender às necessidades dos usuários.

Foram preparadas até novembro de 1992, 22 fontes dos seguintes radionuclídeos: ^{54}Mn (1), ^{90}Sr (2), ^{137}Cs (1), ^{152}Eu (2), ^{232}U (1), ^{233}U (4), ^{238}Pu (4), ^{241}Am (5) e ^{244}Cm (2).

Fontes de Nêutrons

Fontes de nêutrons são utilizadas em pesquisas biológicas, partida de reatores, aplicações industriais e em calibração de monitores de nêutrons.

Essas fontes devem ser periodicamente calibradas. Atualmente, o LNMRI possui

o único laboratório no hemisfério sul em condições de calibrar fontes de nêutrons.

Nos últimos anos foram calibradas as seguintes fontes de nêutrons: 4 (1988), 6 (1989), 2 (1990), 16 (1991) e 5 até novembro de 1992.

Calibração de Fontes

Serviço de Distribuição de Fontes

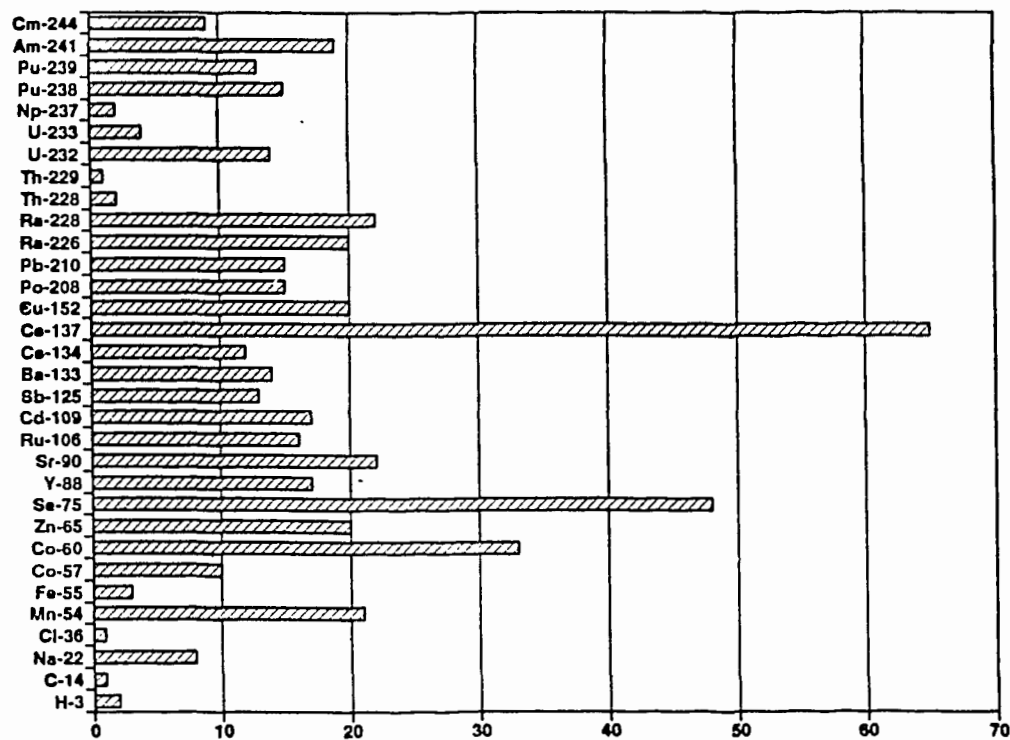
O serviço de distribuição de fontes calibradas pode fornecer os seguintes radionuclídeos: ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{75}Se , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{106}Ru , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{233}U e ^{241}Am .

A faixa de atividade fornecida depende da capacitação dos sistemas de calibração atuais da SUMER, da atividade disponível em nosso estoque e das reais necessidades

do usuário, variando de 37 Bq a 2 kBq. O atendimento ao usuário é realizado em um prazo máximo de um mês mediante o preenchimento completo do formulário de Requisição de Radionuclídeos.

Até novembro de 1992 foram preparadas 495 fontes, conforme mostrado abaixo. Dessas fontes, 242 foram calibradas para usuários e 253 foram destinadas a programas de controle de qualidade da SUMER.

Fontes e Soluções Radioativas Produzidas



Objetivo

Buscar a melhoria da exatidão e precisão nas medições e análises realizadas com fontes radioativas, monitores de radiação de área, monitores de contaminação superficial, dosímetros clínicos, instrumentos usados em radiodiagnóstico,

e dosímetros pessoais realizadas pelo LNMRI e laboratórios do país, por meio de rastreamento metrológico aos organismos nacionais e internacionais de referência.

Garantia de Qualidade dos Padrões e Sistemas Metrológicos do LNMRI

O LNMRI, na qualidade de Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário, reconhecido pela IAEA e WHO, e como Laboratório Nacional através de delegação do INMETRO, é responsável por todos os aspectos da metrologia na área das radiações ionizantes, tendo como atribuições garantir a coerência das medições efetuadas, assegurando sua qualidade e rastreabilidade ao Sistema Metrológico Internacional. Para tal, executa um programa periódico, em seus

padrões metrológicos e sistemas de medição, de forma a assegurar a qualidade dos serviços executados.

O programa de garantia de qualidade consta da promoção e participação em vários eventos de intercomparação, avaliação de serviços de monitoração individual e o registro dos procedimentos técnicos de trabalho, para o controle das medidas de atividade, dos sistemas de calibração e dos padrões de referência.

Garantia de Qualidade

Garantia da Qualidade dos Sistemas de Calibração e Padrões de Referência

São realizados testes periódicos nos sistemas de posicionamento de instrumentos a serem calibrados em feixes de radiação. Estes testes compreendem a reprodutibilidade do posicionamento geométrico dos instrumentos e a homogeneidade do campo de radiação.

São realizados testes para garantir os parâmetros dos feixes de raios-X, a exposição no ponto de medida e a posição efetiva da fonte, no caso de radiação gama.

A garantia de qualidade dos padrões utilizados no LNMRI obedece a um programa que compreende a calibração dos mesmos em Laboratórios Primários (BIPM, PTB, NPL), a intercomparação com instrumentos de laboratórios da América Latina e a intercomparação com os padrões do laboratório de calibração do IPEN.

O LNMRI tem participado do programa de intercomparação com TLD da IAEA.

Os resultados da intercomparação postal em ^{60}Co são apresentados a seguir.

Excetuando-se o ano de 1985, quando o cálculo da dose absorvida em água foi feito a partir de medidas no ar, os desvios do LNMRI em relação à avaliação da IAEA têm sido menores que 1%.

Deve-se ressaltar que nas duas últimas intercomparações participaram, além dos SSDLs e do laboratório da AIEA, dois laboratórios primários que apresentaram desvios na faixa de -1,0% a +2,5%.

A IAEA iniciou um programa piloto de intercomparação postal ionométrica (sistema CARE), visando a complementação do sistema de TLDs, onde dois conjuntos de câmara e eletrômetro são enviados para irradiação nos SSDLs. O LNMRI participou em duas dessas intercomparações (1990 e 1991), porém os resultados ainda não foram divulgados pela AIEA.

Intercomparação postal de SSDLs para ^{60}Co

Ano	Nº de SSDLs	$d_{\min}$ (%)	$d_{\max}$ (%)	d_{LNMRI} (%)
1985	23	-8,7	+5,2	-1,8
1986	8	-1,5	+2,6	+0,4
1987	35	-5,4	+4,1	+0,7
1989	43	-10,0	+3,2	-1,0
1991	49	-8,6	+1,7	-0,3

d Desvio (%) = $100 \times [\text{SSDL} - \text{IAEA}] / \text{IAEA}$

$d_{\min}$ Desvio mínimo apresentado pelos SSDLs

$d_{\max}$ Desvio máximo apresentado pelos SSDLs

d_{LNMRI} Desvio apresentado pelo LNMRI

É realizado um acompanhamento dos padrões utilizados em radioproteção desde 1985. Em 1989 foi realizada no LNMRI, uma intercomparação envolvendo países da América Latina, e promovida pela IAEA. Nessa intercomparação foram

confirmados os resultados de acompanhamento dos padrões inclusive indicando a necessidade de recalibração, em laboratório primário, de um dos padrões, para feixes de ^{60}Co e ^{137}Cs .

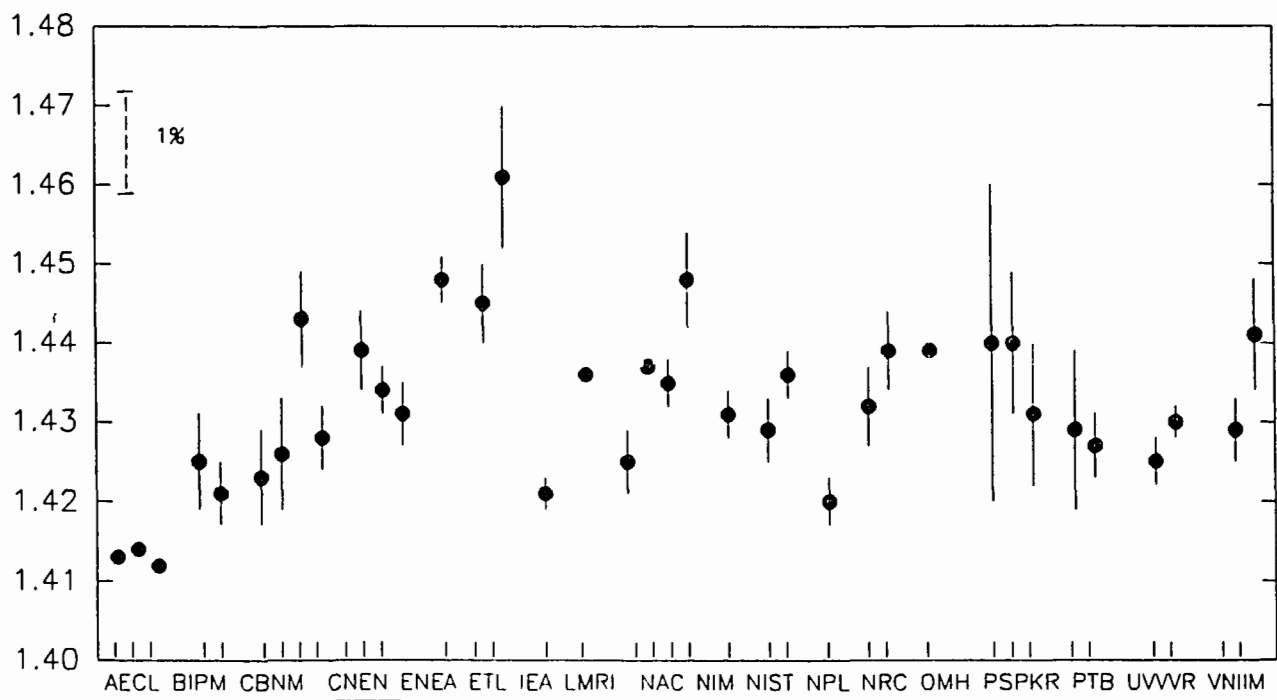
Garantia de Qualidade

Intercomparação de Radionuclídeos

O Brasil participa periodicamente de programas de comparações internacionais de medidas de atividade de soluções radioativas promovidas pelo BIPM, por meio dos laboratórios de metrologia de radionuclídeos do LNMRI e do IPEN, juntamente com laboratórios de metrologia padrão primário e secundário de diferentes

países. Em setembro de 1992, o LNMRI participou da intercomparação do ^{75}Se , que visou levantar e encaminhar soluções para alguns problemas de calibração apresentados por isótopos que possuem estados meta-estáveis no seu esquema de decaimento.

Intercomparação Internacional de ^{125}I - 1988



O laboratório de metrologia de radionuclídeos do LNMRI, dando continuidade ao sistema de rastreamento à rede metrológica internacional e buscando

verificar a qualidade metrológica de suas medidas, submeteu ampolas calibradas de ^{57}Co , ^{60}Co e ^{134}Cs ao *Système International de Reference* (SIR).

Procedimentos Técnicos

Dentro dos objetivos e requisitos do programa de garantia de qualidade, inclui-se a padronização de todos os procedimentos técnicos utilizados, redigidos de acordo com normas internacionais, recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do INMETRO. O conjunto de

todos os procedimentos e os mecanismos de controle de qualidade permitirão completar o Manual da Qualidade do LNMRI.

Até novembro de 1992, 10 procedimentos técnicos foram escritos no formato adotado pela CNEN e 16 aguardam a formatação.

- | | |
|---|---|
| ■ Norma para Elaboração de Procedimentos. | ■ Calibração de Monitores de Contaminação Superficial. |
| ■ Recepção, Despacho e Envio de Certificados. | ■ Testes Preliminares para a Calibração de Dosímetros Clínicos. |
| ■ Controle de Qualidade dos Padrões do LNMRI. | ■ Calibração de Dosímetros Clínicos em Feixes de Radiação Gama. |
| ■ Calibração de Monitores de Radiação de Área com Radiação Beta. | ■ Calibração de Dosímetros Clínicos em Feixes de Raios-X do Stabilipan 300. |
| ■ Calibração de Monitores de Radiação de Área em Raios-X. | ■ Teste de Desempenho de Câmara Tipo Dedal. |
| ■ Calibração de Monitores de Radiação de Área com Radiação Gama. | ■ Calibração de Detectores Utilizados em Prospeção de Urânio. |
| ■ Calibração de Monitores de Radiação de Área com Feixes de Nêutrons. | ■ Irradiação de Monitores Individuais em Raios-X. |

Garantia de Qualidade

- Intercomparação dos Serviços de Monitoração Individual.
- Intercomparação Postal de Dosimetria em Radioterapia.
- Irradiação do sistema CARE.
- Determinação de Dose Absorvida.
- Determinação de Dose Absorvida com Dosímetro de Sulfato Ferroso
- Dosimetria Química.
- Análise por Ativação Neutrônica.
- Preparação de Fontes Radioativas.
- Preparação de Fontes Sólidas de Emissores Alfa, pela Técnica de Eletrodeposição.
- Calibração de um Sistema de Câmara de Ionização Tipo Poço $4\pi\gamma$.
- Medida Absoluta de Atividade de uma Solução Radioativa pelo Método de Coincidência $4\pi\beta\gamma$.
- Medida Absoluta da Atividade de uma Solução de ^{109}Cd com Detector Proporcional Pressurizado.
- Contador Proporcional 2π de Fluxo Gasoso.

Garantia de Qualidade de Serviços

Uma das atribuições do LNMRI é a manutenção da rastreabilidade metrológica da utilização de radiação ionizante no país aos padrões internacionais. Dessa forma, diversos programas foram desenvolvidos com a finalidade de levar a garantia de qualidade em metrologia a todos os usuários.

Tais programas são executados periodicamente e seus resultados são discutidos com os usuários, com as observações relevantes à melhoria da qualidade dos métodos e sistemas utilizados. Além da discussão, a equipe técnica do LNMRI está apta a prestar assessoria técnica sobre os programas.

Programa Nacional de Intercomparação de Resultados de Análise de Radionuclídeos em Amostras Ambientais (PNI)

Diversos laboratórios no país realizam a identificação e a determinação das concentrações de radionuclídeos em amostras ambientais. Os resultados destas medições são usados para uma variedade de propósitos, como por exemplo, a avaliação de efeitos no ambiente e no homem, o estabelecimento de normas e atividades de fiscalização, bem como para a tomada de decisões no âmbito econômico, administrativo, da saúde ou jurídico. É importante assegurar a exatidão e a precisão destes valores, de tal forma que as decisões sejam baseadas em dados de conhecida confiabilidade, e isto

pode ser alcançado com programas de intercomparação.

O PNI é um programa do IRD e foi desenvolvido por duas de suas Coordenadorias: a Coordenadoria de Proteção Radiológica Ambiental (COPRA) e a Coordenadoria do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes.

Foi estabelecido um acordo de cooperação técnica com a Environmental Protection Agency (U.S.EPA/Las Vegas) que envolve, entre outras coisas, a distribuição

Garantia de Qualidade

de amostras de seu programa rotineiro de intercomparação.

Numa etapa seguinte, o IRD distribuirá amostras preparadas em seus laboratórios, conjuntamente com as da U.S.EPA.

Atingidos os objetivos, serão iniciadas intercomparações com matrizes naturais, produção e certificação de materiais de referência.

Rotina de Atividades

- Distribuição periódica de amostras ambientais simuladas contendo concentração conhecida de um ou mais radionuclídeos, fornecidas pela U.S.EPA aos laboratórios participantes, para análise;
- Os laboratórios enviam os seus resultados para o IRD para avaliação estatística e de desempenho analítico. Um relatório confidencial é preparado e enviado a cada participante. Isto permite ao participante verificar seu desempenho em cada tipo de análise, auxiliando na identificação e correção de possíveis falhas de procedimento ou de instrumentação;
- Qualquer laboratório participante pode solicitar assessoria em questões ligadas a metodologias e técnicas analíticas, radiométricas ou metrológicas. Os assessores podem ser do IRD ou de qualquer laboratório participante que tenha condições de resolver as dúvidas do solicitante;
- Qualquer participante pode solicitar fontes e soluções calibradas, de referência, ao LNMRI para calibrar sua instrumentação ou padronizar seus métodos analíticos, ligados aos estudos do PNI.

Além da avaliação estatística dos resultados e do desempenho analítico, foram iniciadas a implementação dos laboratórios de radioquímica, preparação de amostras, radiometria, estocagem e embalagem de amostras, informatização

das rotinas administrativas, arquivos e banco de dados, padronização dos procedimentos técnicos de análise de radionuclídeos e o programa de preparação de soluções e fontes padrões incluídos no PNI.

Estudos Realizados

Até o momento, o PNI distribuiu somente matrizes ambientais simuladas fornecidas pela U.S.EPA, provenientes de seu programa rotineiro.

Estiveram à disposição dos laboratórios participantes os estudos que estão descritos no quadro a seguir.

Estudos Realizados no PNI

MATRIZ	DETERMINAÇÕES
LEITE	^{89}Sr , ^{90}Sr ^{40}K , ^{131}I , ^{137}Cs Alfa e beta total Tritio Urânio total ^{226}Ra , ^{228}Ra
ÁGUA	^{89}Sr , ^{90}Sr ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{106}Ru , ^{133}Ba ^{134}Cs , ^{137}Cs
FILTRO DE AR	Alfa Total Beta Total ^{90}Sr , ^{137}Cs
AMOSTRA, DESCONHECIDA	Qualquer combinação dos radionuclídeos acima

Garantia de Qualidade

Resultados

Desde sua implantação, o PNI realizou 76 estudos, num total de 193 análises, em intercomparações realizadas em Agosto de 91, Dezembro de 91 e Abril de 92. Os resultados dessas intercomparações foram:

73% de resultados "bons", 10% de "aceitáveis" e 17% de resultados "ruins". Os dados da intercomparação de Agosto de 1992 ainda não foram analisados.

Participantes

- **CDTN** - Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear - Supervisão de Irradiação e Tecnologias Analíticas/CNEN
Belo Horizonte - MG
- **CENA** - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Laboratório de Metodologia de Radioisótopos
Piracicaba - SP
- **COPESP** - Coordenadoria de Projetos Especiais - Divisão de Proteção Radiológica Ambiental
Rodovia Sorocaba-Iperó - SP
- **IEN** - Instituto de Engenharia Nuclear
Serviço de Proteção Radiológica/CNEN
Rio de Janeiro - RJ
- **UEL** - Universidade Estadual de Londrina - Departamento de Física
Londrina - PR
- **INB** - Indústrias Nucleares Brasileiras
Subsistema de Proteção Radiológica e Ambiental
Resende - RJ
- **IPEN** - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Divisão de Monitoração Ambiental/CNEN
São Paulo - SP
- **IPEN** - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Divisão de Radioquímica/CNEN
São Paulo - SP
- **CETESB** - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Setor de Radioatividade Ambiental
São Paulo - SP
- **FURNAS/CNAAA** - Central Nuclear Almirante Alvaro Alberto - Setor de Química e Radioquímica de Angra I
Angra dos Reis - RJ

Garantia de Qualidade

- **FURNAS/CNAAA** - Central Nuclear
Almirante Alvaro Alberto - Setor de
Monitoração Ambiental
Angra dos Reis - RJ
- **UB** - Urânio do Brasil - Gerência de
Proteção e Controle Ambiental
Poços de Caldas - MG
- **UFPE** - Universidade Federal de
Pernambuco - Departamento de
Energia Nuclear
Recife - PE
- **CTA** - Centro Técnico Aeroespacial -
Laboratório de Medicina Nuclear e
Dosimetria
São José dos Campos - SP
- **SLC** - Superintendência de
Licenciamento e Controle - Divisão de
Laboratórios de Poços de
Caldas/CNEN
Poços de Caldas - MG
- **IRD** - Instituto de Radioproteção e
Dosimetria - Supervisão de Metrologia
de Radionuclídeos/CNEN
Rio de Janeiro - RJ
- **IRD** - Instituto de Radioproteção e
Dosimetria - Supervisão de
Monitoração Ambiental/CNEN
Rio de Janeiro - RJ
- **IRD** - Instituto de Radioproteção e
Dosimetria - Supervisão de
Radioecologia/CNEN
Rio de Janeiro - RJ

Garantia de Qualidade

Comitê de Avaliação de Serviços de Monitoração Individual Externa

Os Serviços de Monitoração Individual Externa são organizações que, por meio do processamento e controle de dosímetros pessoais individuais, como filmes dosimétricos e dosímetros termoluminescentes, prestam serviço de acompanhamento das doses de radiação ionizante recebidas por trabalhadores ocupacionalmente expostos.

Com o objetivo de criar uma nova sistemática que permita a melhoria da qualidade dos serviços de monitoração individual externa em funcionamento no País, a Superintendência do IRD instituiu, o Comitê de Avaliação dos Serviços de Monitoração Individual Externa, sob a

coordenação do LNMRI, e composto por técnicos de seu quadro de pessoal e de técnicos da Coordenadoria de Proteção Radiológica Ocupacional e Dosimetria (COPROD) do IRD, aproveitando a estrutura de operação neles existente.

A certificação de qualidade dos serviços prestados nessa área, garantirá um rígido controle e um acompanhamento do nível técnico e profissional dos resultados oferecidos à população, através da exigência do cumprimento de requisitos técnicos de funcionamento, da avaliação de resultados em programas de intercomparação e por auditorias nos próprios serviços.

Intercomparação de Serviços de Monitoração Individual

O LNMRI desenvolve há alguns anos um programa para o controle de qualidade dos Serviços de Monitoração Individual tanto a nível nacional como a nível de América Latina.

Nesse programa são realizados ensaios de

verificação das características metrológicas dos sistemas dosimétricos utilizados pelos Serviços. Um parecer técnico sobre a conformidade dos sistemas com os requisitos mínimos de desempenho, definidos pelo LNMRI, é enviado ao Serviço.

Garantia de Qualidade

São realizados ensaios nos sistemas de dosimetria dos Serviços Credenciados uma vez a cada dois anos, através da convocação direta pelo LNMRI, com antecedência mínima de quatro semanas.

Quando um Sistema não atende aos requisitos estabelecidos, um novo ensaio é

realizado dentro do período de validade do credenciamento. Este segundo ensaio pode ser efetuado nas condições específicas em que o sistema falhou no primeiro ensaio. O LNMRI também realiza seminários com a participação dos Serviços, para a discussão da intercomparação e dos critérios de desempenho adotados.

Participantes de Intercomparações

- | | |
|--|--|
| ■ CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN
Belo Horizonte - MG | ■ REM - Proteção Radiológica Comercial de Equipamentos Ltda.
São Paulo - SP |
| ■ IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN
São Paulo - SP | ■ SAPRA - Serviço de Assessoria e Proteção Radiológica Ltda.
São Carlos - SP |
| ■ COPROD - Coordenadoria de Proteção Radiológica Ocupacional e Dosimetria/CNEN
Rio de Janeiro - RJ | ■ DEN/UFPe - Departamento de Engenharia Nuclear - UFPe
Recife - PE |
| ■ IPDR - Instituto Paulista de Dosimetria das Radiações
São Paulo - SP | ■ IFUSP - Instituto de Física da USP
São Paulo - SP |
| ■ PRORAD - Consultores em Radioproteção Ltda.
Porto Alegre - RS | ■ DEN/UFMG - Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG
Belo Horizonte - MG |
| | ■ FURNAS - Centrais Elétricas
Rio de Janeiro - RJ |

Garantia de Qualidade

Entre 21 e 25 de setembro de 1992 foi realizado o "Workshop sobre a 3ª Intercomparação de Sistemas de Dosimetria Pessoal", sob coordenação técnica do LNMRI e patrocínio da IAEA

através do programa ARCAL I. Do evento, participaram Argentina, Chile, Colômbia, Equador, Cuba, Guatemala, Costa Rica, Uruguai, Peru, Venezuela e Brasil.

Intercomparação Postal de Dosimetria em Radioterapia

Com o objetivo de realizar o Controle de Qualidade nas dosimetrias de feixes de fótons produzidos em irradiadores clínicos de ^{60}Co , identificando as fontes de erros das dosimetrias além de acompanhar o uso correto dos dosímetros clínicos calibrados no LNMRI, foi desenvolvido um sistema postal utilizando dosímetros termoluminescentes (TLD).

Nesse programa, um sistema postal é enviado a um Centro de Radioterapia, com as devidas instruções para sua irradiação e um questionário para coletar dados sobre o Centro de Radioterapia, o irradiador utilizado e as condições de irradiação do sistema postal.

Solicita-se que o sistema seja irradiado com uma dose de 0,5 Gy. Após o retorno

do sistema ao LNMRI, os TLD são avaliados, determinando-se a dose absorvida fornecida em sua irradiação. Caso o desvio entre o valor solicitado e o valor obtido com os TLD seja menor do que 5%, considera-se que o irradiador está em condições de bom funcionamento.

Se o desvio for maior do que 5%, o resultado é comunicado com urgência ao Centro de Radioterapia, solicitando que seja repetida a dosimetria do feixe de radiação. Nesse caso um novo sistema é enviado ao Centro de Radioterapia.

Quando o desvio obtido com o segundo sistema enviado permanece acima de 5% uma visita técnica é realizada, buscando-se a solução do desvio.

Automatização dos Sistemas

Objetivo

Integrar as atividades científicas e gerenciais da Supervisão de Metrologia de Radionuclídeos do LNMRI, e permitir sua

conexão com qualquer projeto de integração administrativa ou científica da CNEN.

Características

- Integração de todas as atividades desenvolvidas na SUMER (Projeto SISDIRAD).
- Integração com quaisquer tipos de projeto de automatização administrativa futura.
- Execução simultânea das tarefas de gerenciamento e consulta a partir de qualquer ponto de acesso ao SISDIRAD, visando otimizar sua eficiência.
- Automatização das rotinas de aquisição de dados e execução de cálculos, visando reduzir ao máximo a possibilidade de erro humano.

Metodologia

Para o desenvolvimento da automatização foi utilizada a técnica de Projeto Estruturado. Compõem o projeto, seis subsistemas, seis arquivos de dados com as informações globais da SUMER,

três pontos de acesso ao mundo exterior da SUMER e fluxos de informações interligando todo o "organismo" do SISDIRAD.

Automatização dos Sistemas

Implementação

- As atividades típicas de gerenciamento e consulta deverão ser implementadas em um sistema de gerenciamento de banco de dados que seja ao mesmo tempo eficiente, flexível para os usuários, conhecido pelos programadores do IRD e que possa ser acessado pelos diferentes tipo de microcomputadores existentes na CNEN.
- Adotou-se como solução a utilização de um microcomputador (tipo PC 386), com sistema operacional multi-usuário XENIX 386 e o gerenciador de banco de dados RECITAL (a ser comprado).
- As atividades técnico-científicas, como análise estatística, análise de espectros, cálculos de diferentes sistemas de medição, aquisição de dados, entre outros, também serão integradas ao SISDIRAD. Tais tarefas, de processamento distribuído, estão sendo implementadas em micros IBM-PC com o MS DOS que, em alguns casos, necessitam estar bem próximos à instrumentação a que atendem, e assim, necessitam da implantação de uma rede local.
- Foi escolhida a rede XENIX NET 386, por ser do tipo ETHERNET, na qual os microcomputadores, tipo IBM-PC com o sistema MS-DOS, podem compartilhar os recursos disponíveis.
- Como o SISDIRAD deverá se conectar com outras redes e sistemas, será necessário a compra do protocolo de comunicação TCP/IP, para trocar informações com a rede NOVELL do IRD e outras redes.

Expansão da Rede

Encontra-se em fase de projeto a extensão do SISDIRAD a todas as atividades do LNMRI, a fim de se atingir uma redução significativa do custo total de implantação

de um sistema integrado de informática, e uma melhoria na rapidez e eficiência no atendimento às solicitações de serviços por parte dos usuários.

Administração do LNMRI

O LNMRI, para cumprir suas funções de laboratório referência em metrologia das radiações ionizantes e de prestação de serviços, capacitou-se a absorver atividades administrativas, que abrangem

o controle e operação rotineiros, a negociação das atividades e metas de sua equipe técnico-administrativa e a estratégia relacionada à aplicação dos seus recursos financeiros.

Estratégia de Aquisição de Materiais

Com os reduzidos recursos financeiros e a liberação imprevisível de verba por parte do governo federal, estabeleceu-se no LNMRI uma estratégia de compras baseada numa lista determinada através das atividades prioritárias, envolvendo os

materiais, equipamentos e os cronogramas de execução. Isto permitiu reduzir possíveis conseqüências negativas de cortes orçamentários nas suas atividades prioritárias.

Prestação de Serviços

O procedimento administrativo para os serviços de calibração de instrumentos e fornecimento de fontes inicia-se com a recepção do instrumento, ou solicitação de fonte. Um protocolo é aberto, após verificação geral do estado do instrumento e possibilidade de sua calibração, ou da possibilidade de fornecimento da fonte solicitada.

Cada ficha de protocolo recebe um número-código do instrumento que servirá

como referência do mesmo para um banco de dados e para qualquer informação ou acompanhamento.

Após a calibração, é emitido um certificado ao usuário, sendo que uma cópia é arquivada no LNMRI, em pasta identificada com o número-código da instituição.

Outra área de serviço que envolve carga administrativa considerável está ligada a Programas de Intercomparação.

Definição, Negociação, Acompanhamento e Avaliação das Atividades

Visando cumprir as determinações da direção da CNEN, em seu Plano de Gestão, o LNMRI, estabeleceu para o ano 1992, seu programa de trabalho em três grandes Projetos/Atividades: Garantia de Qualidade, Operação do LNMRI e Desenvolvimento de Técnicas e Métodos em Metrologia das Radiações. A execução das atividades desses Grupos, permite que o laboratório alcance seus objetivos.

Cada atividade, de responsabilidade de um pesquisador, foi discutida entre a gerência e os executores, definindo-se os cronogramas de execução, por atividade e por indivíduo.

O acompanhamento das atividades, permite a verificação de sua realização, e

o cumprimento de seus objetivos. A avaliação sistemática e periódica dessas atividades foi uma prática introduzida recentemente e as informações dela provenientes são de grande validade e superam aquelas ditadas apenas pelo bom senso, uma vez que surgem da análise crítica de uma situação planejada.

A negociação realizada, também permite uma melhor definição de tarefas entre os componentes do LNMRI, que podem otimizar seu tempo entre o planejamento e a execução das mesmas. Além disso, o desenvolvimento de trabalhos técnicos, periodicamente publicados pelos pesquisadores, têm a ganhar com o detalhamento proposto.

Administração do LNMRI

Atividades de Garantia de Qualidade

- | | |
|---|--|
| A.01 Programa Nacional de Intercomparação <i>(em conjunto com a COPRA/IRD)</i> . | A.06 Intercomparação dos Sistemas de Dosimetria Pessoal na América Latina. |
| A.02 Controle de Qualidade dos Sistemas de Calibração. | A.07 Implantação do Sistema da Qualidade no LNMRI. |
| A.03 Controle de Qualidade dos Instrumentos Padrões. | A.08 Controle de Qualidade de Dosimetria de Feixes Terapêuticos. |
| A.04 Caracterização e Controle de Qualidade de Sistemas de Dosimetria Pessoal Utilizados em Feixes de Raios-X e Gama. | A.09 Dosimetria Química e Controle de Qualidade de Irradiadores de Grande Porte. |
| A.05 Certificação dos Serviços de Dosimetria Pessoal <i>(em cooperação com a COPROD/IRD)</i> . | A.10 Garantia de Qualidade das Medidas de Atividade. |
| | A.11 Controle de Qualidade dos Sistemas de Medida de Atividade. |

Atividades de Operação do Laboratório Nacional

- | | |
|---|--|
| B.01 Calibração de Monitores de Contaminação Superficial Alfa e Beta. | B.02 Calibração de Fontes de Nêutrons. |
|---|--|

Administração do LNMRI

- | | | | |
|------|--|------|--|
| B.03 | Qualificação Técnica de Monitores de Radiação de Área de Nêutrons. | B.07 | Calibração de Dosímetros Clínicos. |
| B.04 | Calibração de Monitores de Radiação de Área em Feixes de Nêutrons. | B.08 | Padronização de Fontes Radioativas. |
| B.05 | Calibração de Monitores de Área com Radiação X, Beta e Gama. | B.09 | Preparação e Fornecimento de Fontes Radioativas de Referência para Usuários. |
| B.06 | Irradiação de Dosímetros Pessoais para fins de Calibração. | B.10 | Preparação de Fontes de Grande Área. |

Atividades de Desenvolvimento de Técnicas e Métodos

- | | | | |
|------|--|------|--|
| C.01 | Automatização dos Sistemas de Medição e Gerenciamento de Dados. | C.04 | Implantação de um Sistema de Cintilação Líquida para a Calibração de Soluções Radioativas. |
| C.02 | Controle de Qualidade das Medidas de Atividade de Radiofármacos. | C.05 | Determinação de ^{210}Pb e ^{238}U em Sedimentos da Baía da Guanabara. |
| C.03 | Implantação de Novos Métodos de Padronização de Fontes Radioativas e Materiais de Referência por Medições Diretas e Indiretas. | C.06 | Estudo da Absorção de Elétrons de Baixa Energia e Raios-X Característicos em Materiais de Baixo Z, utilizando o Sistema de Coincidência. |

- | | |
|--|--|
| C.07 Migração de Radionuclídeos Naturais e Alguns Elementos Estáveis nas Rochas Cristalinas de Espíngaras. | C.15 Calibração de Instrumentação Utilizada em Radiodiagnóstico. |
| C.08 Estudo do Desempenho de Monitores de Área em Termos das Novas Grandezas em Radioproteção. | C.16 Implantação do Laboratório de Calibração de Monitores de Área a Nível Ambiental. |
| C.09 Teste de Desempenho de Monitores de Área em Radioproteção. | C.17 Teste de Aceitação de Equipamento de Raios-X de Radiologia Diagnóstica. |
| C.10 Caracterização de Espectros de Nêutrons. | C.18 Testes de Qualificação Técnica de Dosímetros Clínicos Utilizados em Feixes de Raios-X e Gama. |
| C.11 Calibração de Dosímetros Pessoais em Nêutrons. | C.19 Padronização Primária em Raios-X e Gama. |
| C.12 Implicações de Grandezas da ICRP 39 em Dosimetria Pessoal. | C.20 Padronização Secundária em Dose Absorvida. |
| C.13 Calibração de Aplicadores Beta. | C.21 Avaliação da Estabilidade a Longo Prazo de Padrões Secundários em Dosimetria das Radiações. |
| C.14 Qualificação Técnica de Instrumentação Utilizada em Radiodiagnóstico. | C.22 Desenvolvimento de Capacitor a Ar. |

Administração do LNMRI

Projetos/Atividades do LNMRI e Técnicos Responsáveis

Responsável Técnico	Garantia Qualidade	Operação do LNMRI	Desenvolvimento Técnicas e Métodos
Akira Iwahara			C.02
Carlos J. da Silva	A.11	B.08, B.09	
Carlos A.A.L. Campos			C.17
Cirilo C.S. da Conceição	A.09		
Eugenio R. Cecatti		B.07	C.18, C.19, C.20, C.21
Evandro J. Pires	A.02, A.03, A.07 A.10, A.11		
Evaldo S. da Fonseca		B.02, B.03, B.04	C.10, C.11
Ivan P.S. de Almeida	*A.05		
Jamir S. Loureiro			C.01
Léa C. de Freitas			C.13, C.14, C.15
Luiz Tauhata	**A.01, A.10		C.03, C.05, C.06
Manoel M.O. Ramos	A.02, A.03	B.05	C.08, C.09, C.16
Maria H.H. Maréchal		B.01, B.05	
Paulo A.L. da Cruz		B.10	C.04
Renato Di Prinzio	A.08		
Ricardo A. Barbosa			C.22
Teógenes A. da Silva	A.04, A.06	B.06	C.12

* Em cooperação com a COPROD/IRD

** Em conjunto com a COPRA/IRD

Título	Fundamentos de Radioproteção e Noções de Emergência Radiológica
Período de realização	30 de março a 10 de abril
Número de alunos	40
Local	IRD
Título	Metrologia de Radionuclídeos
Período de realização	22 a 24 de julho
Número de alunos	14
Local	IRD

Orientação de Teses

Pesquisadores do LNMRI orientam técnicos da CNEN e bolsistas de outras instituições, no desenvolvimento de teses

de mestrado ou doutorado na área de metrologia das radiações ionizantes.

Teses de Mestrado em Andamento

- "O Serviço de Radiografia Industrial sob o Aspecto de Proteção Radiológica: Dimensionamento, Caracterização e Estimativa de Dose" - UERJ
- "Calibração de Aplicadores Beta Dermatológicos com Dosímetros Termoluminescentes de Borato de Magnésio" - COPPE/RJ
- "A Inteligência Artificial no Processo de Proteção Radiológica" - IME/RJ

Treinamento de Pessoal

Teses de Doutorado em Andamento

- "Migração de Radionuclídeos Naturais e de Alguns Elementos Estáveis nas Rochas Cristalinas de Espinhaças, PB" PUC/RJ
- "Estimativa dos Níveis de Concentração de Metais Pesados na Biota e Ambiente Marinho em Épocas Remotas" - PUC/RJ
- "Desenvolvimento de Sistemas para Análise Estatística Multivariada" IQ/UFRJ
- "Metodologia para Otimização da Determinação da Dose Absorvida por Indivíduos Irrradiados com Nêutrons" UFRJ
- "Calibração em Termos de Dose Absorvida por Feixes de Fótons e Elétrons" - UFRJ
- "Estudo Crítico, Análise Experimental e Teórico das Implicações e Propostas para Implantação das Grandezas Recomendadas para Exposição Externa às Radiações" - COPPE/RJ
- "Absorbed Dose to Matter Determination with Liquid Ionization Chamber" - Karolinska Institute/Suécia
- "Determinação da Absorção e Dose em Materiais de Baixo Número Atômico Devido a Elétrons de Conversão e Raios-X Característicos Utilizando um Sistema de Coincidência $4\pi\beta\gamma$ " - UFRJ
- "Avaliação do Desempenho da Instrumentação Utilizada na Determinação de Parâmetros Físicos em Radiologia Diagnóstica" - COPPE/RJ

Para a realização deste trabalho, gostaríamos de agradecer a todos os servidores do LNMRI e, em especial aos seguintes servidores da CNEN:

Flávio Carvalho Rego	Superintendência de Infraestrutura
Desirée M. Zouain dos Santos	Gerência Comercial
José Neves	Gráfica da Unidade Botafogo/CNEN
Carlos Freitas de Oliveira	
Cláudio Willian	
Marcos José Teixeira	
Olímpio Queiroz	
Fernando Nascimento	
Paulo Henrique Becker	DEPAT/IRD
Leonardo F. Klobitz	Divisão de Informática/IRD
Natanael Gomes dos Santos	Gráfica do IRD
Antonio César de Araujo	Divisão de Suprimentos/IRD