

PLANO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
LABORATÓRIO DE ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Nome da instalação: Laboratório de espectroscopia Mössbauer
Classificação da instalação: grupo 3A
CNPJ: n.a.
Endereço: Av. dos Estados 5001, bloco X sala XXX.
Bairro: Bangu
CEP: 09210-580
Cidade: Santo André
Estado: São Paulo
Nome do titular: Julian Andres Munevar Cagigas
Nome do supervisor de radioproteção: Julian Andres Munevar Cagigas

INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o plano de proteção radiológica planejado para o funcionamento do laboratório de espectroscopia Mössbauer da Universidade Federal do ABC. O laboratório faz uso de fontes radioativas de raios gamma de baixa e média energia para pesquisa em materiais, em particular propriedades eletrônicas e magnéticas de materiais contendo isótopos adequados para o uso da técnica.

Pesquisa realizada

A espectroscopia Mössbauer, baseada no fenômeno de absorção e emissão sem recuo de raios gamma, é atualmente utilizada para observar propriedades eletrônicas e magnéticas de materiais. Baseia-se na observação de transições de estado quântico dos núcleos causados pelo raio gamma absorvido, e o aproveitamento da interação do núcleo no estado excitado com o resto do átomo e a rede cristalina. Estes fenômenos se enquadram dentro do que é conhecido como interações hiperfinas, já que as faixas de energia nos quais estes fenômenos acontecem estão na ordem de 10^{-8} eV. Estas interações permitem obter informação sobre o estado de oxidação, simetria local e transições de fase estruturais, e ordenamento magnético em materiais contendo os isótopos que chamaremos de isótopos Mössbauer.

Esta técnica de caracterização de materiais é única devido às informações que é possível obter, sendo bastante utilizada no estudo de nanopartículas, solos, materiais magnéticos e transições de fase em materiais. É uma técnica de sonda local, ou seja, que estuda as propriedades físicas de materiais de forma microscópica, e é uma técnica que não precisa de campos externos ou perturbações adicionais, como o caso da ressonância magnética nuclear RMN.

Justificativa do uso do material radioativo

A razão principal do uso de material radioativo para a espectroscopia Mössbauer é que para observar o efeito é necessário excitar o estado quântico do núcleo em questão. E para isso é usada a cascata de decaimento de alguns radionuclídeos nos quais o decaimento acontece para o estado excitado do radioisótopo final, e não para o estado fundamental.

No caso do radioisótopo mais usado, o ^{57}Fe , é utilizado o decaimento do ^{57}Co para o estado excitado ($I=5/2$) do ^{57}Fe , que acontece através de captura eletrônica e cuja meia vida é de 270 dias. Posteriormente o decaimento do estado excitado do ^{57}Fe para o estado fundamental ($I=1/2$) pode acontecer de duas formas diferentes: um decaimento direto do $I=5/2$ para o estado fundamental $I=1/2$ emitindo um raio gamma de 136 keV e probabilidade de 6%; e outro decaimento para o estado $I=3/2$ e posteriormente do estado $I=3/2$ para o estado fundamental, emitindo um raio gamma de 14.42 keV e probabilidade de 94%. Devido a que o tempo de decaimento destes estados para o estado fundamental é curto (na ordem de nanossegundos), e de acordo com o princípio de incerteza de Heisenberg, as transições terão uma largura adequada para evitar problemas de instrumentação. A figura 1 mostra a cascata de decaimento do ^{57}Co para ^{57}Fe .

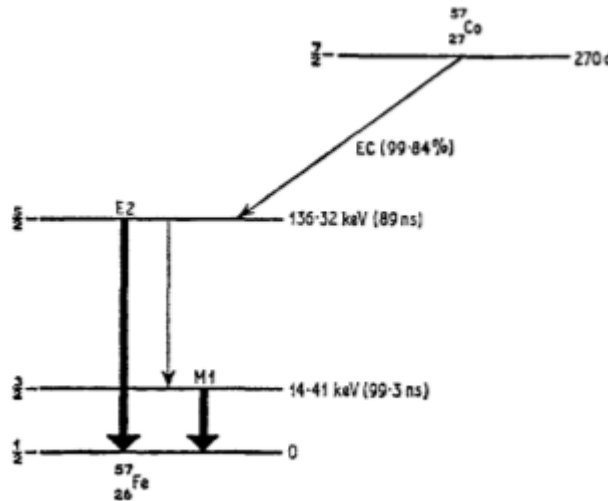


Figura 1: cascata de decaimento do ^{57}Fe (Tomado do livro de espectroscopia Mössbauer de N. N. Greenwood).

Entre os isótopos mais utilizados na espectroscopia Mössbauer se encontra o ^{57}Fe , o $^{119\text{m}}\text{Sn}$, o ^{151}Eu , ^{153}Gd e o ^{121}Sb , cujas fontes radioativas possuem meias vidas suficientemente longas, larguras de linha apropriadas e energias de raio gamma de baixa e média energia (< 100 keV).

Aplicação que se faz com os isótopos

Os radionuclídeos serão utilizados como fontes de raios gamma para induzir o efeito Mössbauer em materiais contendo os isótopos Mössbauer. Estes radionuclídeos são fontes seladas, usualmente sendo que o radionuclídeo se encontra embebido em uma estrutura cristalina para minimizar a energia de recuo, reduzindo os riscos de contaminação.

Identificação do laboratório

De acordo com a norma NN 6.02 da CNEN, o laboratório se enquadra dentro do grupo 3A ($S_N=0,01^1$).

¹ Tomando os valores de referência D iguais para todas as fontes. Não foi possível encontrar os valores de referência para todos os radioisótopos.

CLASSIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO

Tipo de equipamento gerador da radiação

O equipamento gerador da radiação é uma fonte de raio gamma de baixa ou média energia, como componente de um espectrômetro Mössbauer. Um dos interesses é explorar as propriedades físicas dos isótopos Mössbauer nos materiais a serem analisados em diferentes condições de temperatura, pressão e campos magnéticos. As fontes radioativas poderão ser submetidas a baixas temperaturas e campos magnéticos altos. Porém, estas condições não irão afetar a fonte e nem representam um risco de irradiação ou contaminação.

Radionuclídeos e atividades

Os isótopos usados no laboratório de espectroscopia Mössbauer são:

- O ^{57}Co com raios gamma de 14.41 keV e meia vida de 270 dias que decai para ^{57}Fe , atividade máxima de 50 mCi (1.85 GBq).
- O $^{119\text{m}}\text{Sn}$ com raios gamma de 23.875 keV e meia vida de 250 dias que decai para ^{119}Sn , atividade máxima de 20 mCi (740 MBq).
- O ^{151}Sm com raios gamma de 21.6 keV e meia vida de 87 anos que decai para ^{151}Eu , atividade máxima de 10 mCi (370 MBq).
- O ^{155}Eu com raios gamma de 60 keV e meia vida de 1.81 anos que decai para ^{155}Gd , atividade máxima de 10 mCi (370 MBq).
- O $^{121\text{m}}\text{Sb}$ com raios gamma de 37.15 keV e meia vida de 76 anos que decai para ^{121}Sb , atividade máxima de 10 mCi (370 MBq).

PROJETO FÍSICO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS

Planta do laboratório

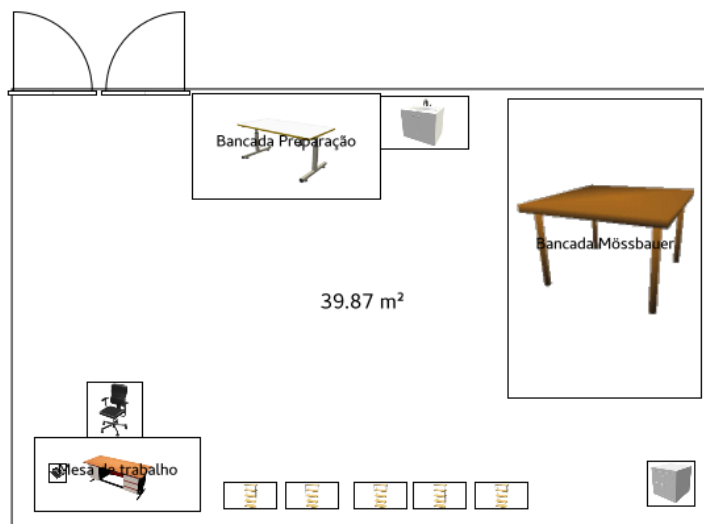


Figura 2: plano do laboratório de espectroscopia Mössbauer.

Descrição das áreas de manipulação

No laboratório se encontrará disponibilizada uma bancada ou mesa para manipulação de amostras para a análise no espectrômetro Mössbauer. Na bancada serão disponibilizadas todas as ferramentas necessárias para a manipulação de amostras, porta-amostras. A lista de ferramentas é a seguinte:

- Pinças, estiletes,
- Mortero de ágata para pulverização de amostras em pastilhas,
- Balança para pesagem de amostras,
- Porta-amostras de acrílico,
- Álcool, acetona e demais reagentes para limpeza dos instrumentos.

Junto com a bancada haverá uma pia, destinada à limpeza de materiais e instrumentos com água. Esta pia nunca será usada para descarte de rejeitos radioativos, já que as fontes radioativas que serão utilizadas neste laboratório são seladas.

Na área experimental se encontrarão todos os equipamentos relacionados com o espectrômetro Mössbauer:

- Criostato de ciclo fechado, com o compressor e balão de Hélio ultrapuro. As amostras para análise se encontrarão dentro do criostato.
- Rack contendo os componentes eletrônicos necessários para o espectrômetro: amplificador de sinal, gerador de funções para movimento do transdutor, o transdutor com a fonte radioativa e a respectiva blindagem com lâminas e tijolos de chumbo, detector de raios gamma e pré-amplificador, computador para aquisição de dados experimentais e banco para o usuário. Esta área estará devidamente sinalizada alertando aos usuários da presença de fontes radioativas, sendo esta uma área supervisionada.

Armário corta-fogo com blindagem de chumbo para armazenamento das fontes que não estiverem em uso. Este armário terá fechamento com chave. Estas chaves estarão em posse do responsável da central multiusuário da UFABC, e do responsável do laboratório, somente.

Armários para armazenamento temporário de amostras e reagentes químicos. Neste armário serão guardadas temporariamente amostras que estejam para ser analisadas, e desde que não representem riscos adicionais como toxicidade, corrosão, ou riscos à saúde. Com respeito aos reagentes químicos, serão armazenados apenas os reagentes para limpeza dos instrumentos para montagem das amostras no porta-amostras. Não é necessário o uso de capela de extração porque o uso de ácidos ou reagentes que representem risco à saúde dos usuários não estará permitido.

Armários para armazenamento de manuais de equipamentos, livros e demais material de consulta. Mesa e cadeira para o usuário.

Descrição das estruturas e características

Bancada: bancada de granito. Dimensões: 1.20 m de altura por 3 m de largo por 1.20 m de profundidade. Estarão disponibilizados todos os instrumentos necessários para a preparação de amostras.

Área experimental: Estrutura de alumínio onde será alocado o criostato, de 1.50x2x2 m³. A estrutura será posicionada em uma base de borracha de 2x2 m² para reduzir o efeito das vibrações do compressor de gás na estrutura. Rack vertical contendo os módulos eletrônicos para a aquisição dos espectros Mössbauer. O transdutor e a fonte radioativa estarão posicionados na parte baixa do criostato, e portanto a parte baixa do criostato será blindada com lâminas de chumbo de 2 mm. Um teste de fuga de radiação será necessário antes de iniciar as operações do equipamento, para minimizar o risco de irradiação.

Armário de armazenamento de amostras: armário corta-fogo, revestido internamente de lâminas de chumbo de 2 mm de espesura. Este armário será unicamente utilizado para armazenar as fontes radioativas que não estiverem em uso, e cada fonte estará guardada em cadinhos de chumbo fornecidos pelo fabricante. Cada cadinho estará identificado com o tipo de fonte radioativa, atividade e data de fabricação. Ao lado do armário será instalada uma mesa com tijolos de chumbo, unicamente com o objetivo de fornecer proteção contra a radiação quando seja necessária a instalação ou troca de fontes radioativas.

Armários: armários convencionais para armazenamento de reagentes químicos e material acadêmico, respectivamente.

DESCRIÇÃO DAS FONTES DE RADIAÇÃO

Fonte	Estado Físico	Atividade	Meia Vida	Energia	Origem
⁵⁷ Co	Sólido (⁵⁷ Co:Rh)	50 mCi 1.85 GBq	270 d	14.41 keV	Fabricante Data Fabric.
^{119m} Sn	Sólido	20 mCi 740 MBq	250 d	23.875 keV	Fabricante Data Fabric.
¹⁵¹ Sm	Sólido (¹⁵¹ Sm ₂ O ₃)	10 mCi 370 MBq	87 a	21.6 keV	Fabricante Data Fabric.
¹⁵⁵ Eu	Sólido	10 mCi 370 MBq	1.81 a	60.0 keV	Fabricante Data Fabric.
^{121m} Sn	Sólido	10 mCi 370 MBq	76 a	37.15 keV	Fabricante Data Fabric.

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Controles administrativos

- Treinamento de usuários

O uso do laboratório de espectroscopia Mössbauer será aberto tanto ao corpo docente quanto ao corpo discente da UFABC, com as condições de que o uso do equipamento se enquadre em um projeto de pesquisa e/ou extensão, e que o usuário receba treinamento para o uso do equipamento. A maioria de laboratórios na UFABC são multiusuário, sendo gerenciados pela central multiusuário (CEM).

O treinamento será realizado pelo responsável do equipamento, e consistirá em apenas a instalação da amostra e os fatores de segurança quando o usuário esteja na presença da fonte radioativa. Sob nenhuma hipótese o usuário poderá manusear diretamente a fonte radioativa.

- Acesso ao laboratório

O acesso ao laboratório será realizado através dos seguintes passos:

- Controle de ingresso ao prédio: realizado pelo pessoal de segurança
- Entrada ao laboratório: será realizado através do uso de uma chave, que será fornecida pelo pessoal de segurança, sendo que será realizado um registro de todas as pessoas que entram no laboratório.
- Será desejável mas não obrigatório a presença de mais de uma pessoa no laboratório.
- Uma vez finalizadas as atividades dentro do laboratório, o usuário retornará a chave para a segurança do prédio.
- O controle do experimento será realizado através de uma interface gráfica (TeamViewer, VNCViewer), que não exija a presença do usuário para realizar seus experimentos. O único motivo para o usuário acessar o laboratório será no caso de trocar amostra no equipamento.

- Registro de atividades

Será criado um registro de atividades para que os usuários descrevam o tipo de experimento, tempo de medida, temperatura, amostra e fonte radioativa em uso.

Procedimento de radioproteção

- Monitoração da área

Devido à baixa probabilidade de irradiação devido à blindagem da fonte radioativa em uso e do armazenamento das demais fontes, às atividades específicas relacionadas a cada fonte, e devido ao curto tempo estimado de permanência dos usuários dentro do laboratório, a monitoração da área será realizada através de medições de radiação com o detector Geiger do laboratório. O usuário será instruído a acionar o detector Geiger todas as vezes que ele ingresse no laboratório, para poder controlar um aumento de atividade não controlado. O laboratório não apresenta risco de contaminação, portanto não será necessária uma monitoração constante, sendo definida como uma área supervisionada.

Por sua vez, o detector Geiger deverá ser aferido periodicamente, e o nível de radiação de fundo deverá ser estabelecido.

- Monitoração individual

A monitoração individual será realizada através de dosímetros pessoais para cada indivíduo, no caso que a frequência de uso do usuário seja constante. Cada usuário terá assignado um dosímetro cuja exposição será medida mensalmente.

Se for um usuário de uma única vez, a assistência na montagem da amostra no equipamento será realizada pelo técnico da Central Multiusuário responsável ou pelo professor responsável.

A monitoração será responsabilidade de (EMPRESA ou INSTITUIÇÃO) após a devida contratação do serviço.

- Detecção periódica de fugas

Uma monitoração periódica será realizada pelo responsável do laboratório, verificando a ausência de fugas de radiação. Esta monitoração será realizada com o detector Geiger do laboratório, e será focada na área experimental e o armário de armazenamento de fontes radioativas. A aferição do detector será realizada de acordo com as normas estabelecidas pela CNEN.

Instrumentos operacionais e de emergência

- Contador Geiger
- Pinça para manipulação das fontes radioativas
- Lâminas e tijolos de chumbo para blindagem da radiação gamma.

Procedimentos de prevenção de contaminação

Não há risco de contaminação neste laboratório, por tratar-se de fontes seladas.

Treinamento de pessoal

- Treinamento na UFABC

Será oferecido um treinamento pelo responsável do laboratório a todos los usuários interessados no uso do laboratório de espectroscopia Mössbauer. Neste treinamento, o futuro usuário será orientado sobre:

- Medidas de segurança gerais no laboratório
- Medidas de segurança específicas com relação à radiação ionizante: tipos de radiação, precauções e consequências pela exposição
- Instalação e remoção de amostras do criostato

Será sugerido ao usuário que realize o curso de treinamento em uso de fontes radioativas oferecido pelo ICB-USP, quando este use o espectrômetro Mössbauer de forma periódica, e quando o usuário o considere conveniente.

Descrição de equipe

Responsável pelo laboratório: Julian Andres Munévar Cagigas, professor adjunto CCNH

Técnico responsável: xxxx xxxx xxxx, técnico da CEM

PROCEDIMENTOS DE MONITORAÇÃO

Responsabilidade

A responsabilidade da monitoração do laboratório será do responsável, sendo ele o encarregado de gerenciar tanto as monitorações periódicas quanto à monitoração individual.

Descrição do local de armazenamento

O local de armazenamento das fontes radioativas será um armário, sendo que este armário terá porta com chave de segurança. Esta chave terá duas cópias: uma na CEM, outra com o responsável pelo laboratório. Este armário se encontrará localizado dentro do laboratório de espectroscopia Mössbauer, cumprindo as seguintes condições: não obstrua ou afete o normal desenvolvimento das atividades dentro do laboratório, e onde exista a menor probabilidade de irradiação acidental por pessoas transitando nas proximidades ou dentro do laboratório.

Este armário será revestido com lâminas de chumbo para minimizar a possibilidade de irradiação acidental, sendo que esta pode ocorrer pela exposição acidental de uma fonte radioativa armazenada fora do respectivo cadinho.

Sinalização

Sinais de aviso de presença de material radioativo serão instalados:

- Na porta de entrada do laboratório: o objetivo será de informar às pessoas da presença de radiação ionizante no laboratório
- Na área experimental: informar o usuário da presença de fonte radioativa e alertar sobre o risco de irradiação
- No armário de armazenamento de fontes radioativas: informar o usuário da presença de fontes radioativas armazenadas e alertar sobre o risco de irradiação.

Estes sinais obedecerão as regras estabelecidas pela CNEN para a sinalização das áreas com radioatividade.

Procedimento de coleta

O manuseio das fontes radioativas será realizado seguindo as seguintes precauções:

- Menor tempo de exposição: isto implica planejamento do procedimento, localização das ferramentas e barreiras de proteção necessárias para manusear as fontes, principalmente quando seja necessária a troca de fonte na área experimental.
- Maior distância da fonte de radiação: isto implica o uso de ferramentas para afastar a fonte a maior distância possível do responsável pelo manuseio da fonte sem que isto implique limitações no procedimento. Por isto serão utilizadas pinças adequadas para à manipulação de objetos a distância.

GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

Descrição e classificação: Embora o laboratório de espectroscopia Mössbauer trabalhe com fontes seladas unicamente, as fontes que entrem em desuso por baixa atividade se transformarão em rejeitos radioativos. Em particular as fontes com meia vida média como a de ^{57}Co , ^{119}mSn e ^{155}Eu , da classe 2.1 segundo a norma 8.01 da CNEN. Já as fontes de ^{151}Sm e ^{121}mSn , com meia vida longas, se enquadram na classe 2.4.

Coleta das fontes em desuso: as fontes radioativas que entrarem em desuso mas estiverem acima do nível de dispensa, em particular as fontes descritas neste plano pertencendo à classe 2.1, serão mantidas no caixão de armazenamento de fontes radioativas, dentro do respectivo cadinho de chumbo e devidamente identificadas. As fontes da classe 2.4 serão mantidas no laboratório Mössbauer até um eventual descomissionamento do laboratório.

Dispensa das fontes em desuso: de acordo com os valores do anexo VI da norma 8.01 da CNEN, se descreve as condições de dispensa a seguir para as fontes da classe 2.1.

⁵⁷Co: atividade inicial = 1.85 Gbq – atividade mínima de dispensa = 1 MBq – tempo estimado para dispensa = 2930.39 dias = 8.02 anos

^{119m}Sn: atividade inicial = 740 MBq – atividade mínima de dispensa = 10 MBq – tempo estimado para dispensa = 1552.36 dias = 4.25 anos

¹⁵⁵Eu: atividade inicial = 370 MBq – atividade mínima de dispensa = 10 MBq – tempo estimado para dispensa = 4.53 anos

A seguir as condições para as fontes da classe 2.4.

^{121m}Sn: atividade inicial = 370 MBq – atividade mínima de dispensa = 10 MBq – tempo estimado para dispensa = 190 anos

¹⁵¹Sm: atividade inicial = 370 MBq – atividade mínima de dispensa = 100 MBq – tempo estimado para dispensa = 78.89 anos

Registros das fontes radioativas: as fontes radioativas que entrem em desuso serão separadas do conjunto das fontes em uso, devidamente etiquetadas com as seguintes informações:

- Estado físico
- Meia vida
- Atividade inicial e atividade na data de segregação
- Informações adicionais: relacionadas com as propriedades químicas das fontes

A etiqueta contendo estas informações será instalada no cadinho contendo a fonte, sendo diferenciada das etiquetas das fontes em uso, para evitar manuseio desnecessário das fontes em segregação, atendendo o regulamento internacional.

Inventários das fontes radioativas: o registro das fontes radioativas adquiridas pelo laboratório Mössbauer da UFABC deverá conter informação sobre todas as fontes radioativas, em particular contendo as seguintes informações: isótopo, data de fabricação, data de chegada ao laboratório, fabricante, atividade inicial, atividade na data de chegada ao laboratório, data estimada de dispensa. Adicionalmente, no registro de uso do laboratório, deverá ser contido obrigatoriamente a data de uso e armazenamento das fontes que sejam usadas no espectrômetro Mössbauer.

PROCEDIMENTOS PARA SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Prevenção de acidentes

A vantagem de trabalhar com fontes seladas é que não representam risco de contaminação. Porém, existe ainda o risco de irradiação. A prevenção de acidentes envolvendo as fontes radioativas deverá estar diretamente relacionada com o correto planejamento das atividades dentro do laboratório, especificamente da manipulação das fontes. Para tal fim, os seguintes passos serão adotados:

- Montagem das barreiras de chumbo necessárias para evitar irradiação desnecessária durante a manipulação das fontes. Estas barreiras serão tijolos e lâminas de chumbo devidamente deixadas em posição para manipulação das fontes.

- Preparação das ferramentas necessárias para a manipulação das fontes: pinças de aço, cadinho da fonte em uso, etc.
- A manipulação das fontes, quando não estiverem instaladas no equipamento, deverá unicamente ser realizada dentro do cadinho respectivo. Portanto, a fonte a ser instalada deverá ser transportada do armário até a área experimental no respectivo cadinho. Este cadinho só será aberto quando a fonte em uso tenha sido retirada do equipamento e devidamente guardada no respectivo cadinho. Para a montagem deverá ser usado somente as pinças de aço, e por nenhum motivo poderá ser manuseada a fonte diretamente.
- Uma vez instalada a nova fonte, o cadinho deverá permanecer no local experimental em espaço especial para o cadinho, que servirá como identificação da fonte que estiver em uso. Esta troca deverá ser registrada também no caderno do laboratório. A fonte que estava em uso deverá ser transportada até o armário para o devido armazenamento.

Segurança das fontes:

- Incêndio: as fontes serão armazenadas em um armário corta-fogo, para minimizar os riscos no caso de incêndio. Quanto à fonte na área experimental, no caso de incêndio, deverá ser verificada a integridade da fonte e a possibilidade de contaminação por fundição da fonte. A CNEN e o IPEN serão acionados para o controle da situação de emergência.
- Roubo: haverá controle das pessoas que acessam ao laboratório através do registro das pessoas que solicitam a chave para ingressar. O grupo de pessoas habilitadas para solicitar a chave serão aquelas que realizem treinamento tanto na UFABC como o treinamento solicitado pela CNEN. No caso do acesso de pessoas diferentes às autorizadas, serão instaladas câmeras de segurança para monitorar as atividades dentro do laboratório.

DESCOMISSIONAMENTO

O eventual descomissionamento do laboratório de espectroscopia Mössbauer será realizado através de solicitação diante da CNEN para retirada de operação. As seguintes informações estarão disponíveis para este objetivo:

- Inventário dos materiais radioativos e equipamentos.
- Destino a ser dado aos materiais radioativos, demais fontes e rejeitos radioativos gerados no descomissionamento: as fontes com mais da metade do tempo necessário para descarte serão redirecionadas para outro local de armazenamento de rejeitos radioativos, sendo o mais próximo o IPEN. As fontes com menos da metade do tempo para descarte, e o caso das fontes com meia vida longa será sugerida a doação para outro laboratório de espectroscopia Mössbauer no Brasil, e através de solicitação na CNEN será solicitada a autorização para deslocamento da fonte para o novo laboratório. No caso que isto não seja possível, será considerada como rejeito radioativo e encaminhada para o IPEN para armazenamento.
- Avaliação dos níveis de radiação e descontaminação: a avaliação final dos níveis de radiação será realizada no início do descomissionamento do laboratório, e como todas as fontes envolvidas são seladas, não haverá risco de contaminação pelo descomissionamento do laboratório.
- Destino dos registros: cópias dos registros do laboratório serão encaminhados para a Central Multiusuário da UFABC, para o IPEN, e para o responsável do laboratório. Os documentos originais serão encaminhados para a CNEN, se solicitado como requisito para descomissionamento do laboratório.