

NELSON LEON MELDONIAN

**ASPECTOS DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA
EM UMA INSTALAÇÃO RADIATIVA NO BRASIL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do Título de Engenheiro de
Segurança do Trabalho

**SÃO PAULO
2007**

NELSON LEON MELDONIAN

**ASPECTOS DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA
EM UMA INSTALAÇÃO RADIATIVA NO BRASIL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do Título de Engenheiro de
Segurança do Trabalho

Área de Concentração:
Engenharia de Segurança do Trabalho

**SÃO PAULO
2007**

RESUMO

O presente trabalho apresenta estudo de caso realizado em uma instalação radiativa no Brasil analisando as atividades de licenciamento e operação da mesma, com vistas à segurança e saúde do trabalhador. Com base no processo de licenciamento de instalações radiativas estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN estudou-se o significado dos aspectos de segurança adotados em uma instalação destinada à produção de radioisótopos para uso médico, no que diz respeito à saúde dos trabalhadores da área em questão. Como metodologia para a fundamentação teórica foi realizado o levantamento bibliográfico baseado em documentos e publicações pertinentes ao licenciamento e operação da instalação, bem como entrevistas informais com trabalhadores da unidade considerada. Da análise dos resultados obtidos, o estudo de caso revelou que os trabalhadores de instalações radiativas, não regidos pela Consolidação das Leis de Trabalho – CLT, não possuem amparo no que tange a todos os aspectos de segurança e medicina do trabalho. Recomendações são propostas para melhorar as condições de segurança e organizacionais de trabalho que possam garantir ganhos para os trabalhadores.

ABSTRACT

The following work presents an analysis of a radioactive facility in Brazil, focusing on its activities and authorization to operate under the scope of the labor's safety and health. Based on the licensing process to radioactive facilities defined by *Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN*, the author analyzed safety procedures implemented in a facility used to produce radioisotopes to medical purposes. As a theoretical background and bibliography, publications and documents were researched besides informal interviews conducted with employees at the mentioned facility. The results revealed that labor at radioactive facilities are not fully supported by safety and labor medicine aspects. Enhancements to safety and organizational conditions were highlighted as a recommendation in order to guarantee a better working environment to the employees.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3. O LICENCIAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO RADIATIVA	7
4. CENTRO DE ACELERADORES CICLOTRON	16
5. RESULTADOS e DISCUSSÃO	42
6. CONCLUSÕES	49
ANEXO A.....	51
LISTA DE REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Centro de Aceleradores Ciclotron – CAC/IPEN.....	17
Figura 4.2	Instalação dos ciclotrons de 24 Mev e 30 MeV.....	18
Figura 4.3	Ciclotron de 30 MeV da IBA.....	21
Figura 4.4	Ciclotron de 30 MeV nas instalações do CAC/IPEN.	22
Figura 4.5	Sala de Irradiação de Alvos do Ciclotron de 30 MeV	24
Figura 4.6	Sala de controle do Cyclone 30.....	25
Figura 4.7	Classificação das áreas de trabalho.....	32
Figura 5.1	Sala de Manipulação de Alvos Irrradiados do CAC...	44
Figura 5.2	Cilindros de Gás armazenados no CAC.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Radioisótopos produzidos no ciclotron.....	23
Tabela 4.2	Ciclotrons de 30 MeV similares às do IPEN existentes no mundo.....	26
Tabela 4.3	Rotinas de manutenção, testes e inspeção do Cyclone.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIEA...	Agência Internacional de Energia Atômica
CAC....	Centro de Aceleradores Ciclotron
CARGI	Certificado de Aprovação do Relatório Geral da Instituição
CLT.....	Consolidação das Leis do Trabalho
CNEN..	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CQSR..	Certificado de Qualificação de Supervisor de Radioproteção
CRASI	Certificado de Aprovação do Relatório de Análise de Segurança da Instalação
EPI.....	Equipamento de Proteção Individual
Ga.....	Gálio
IBA.....	Ion Beam Applications
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPEN...	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
MCT....	Ministério da Ciência e Tecnologia

NE.....	Norma Experimental
NR.....	Normas Regulamentadoras
PE.....	Plano de Emergência
PGQ....	Programa de Garantia da Qualidade
PGR....	Programa de Rejeitos Radioativos
PMA....	Programa de Monitoração Ambiental
PPI.....	Plano de Proteção contra Incêndio
PR.....	Plano de Radioproteção
PPRA..	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PTP.....	Plano de Treinamento de Pessoal
RAS....	Relatório de Análise de Segurança
RASIR	Relatório de Análise de Segurança de uma Instalação Radiativa
RGI.....	Relatório Geral da Instituição
RJU.....	Regime Jurídico Único
TCC....	The Cyclotron Corporation
TI.....	Tálio

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

“Energia nuclear, para os leigos, ainda é sinônimo de reator nuclear de potência (eletricidade); rejeito (lixo) radioativo, ou então artefatos nucleares (bombas atômicas). A usina de Angra 1 foi alvo isolado das críticas feitas pelos desinformados e opositores do setor nuclear, até a violação de uma fonte de césio-137 na cidade de Goiânia, em setembro de 1987. A falta de veiculação apropriada faz com que poucos sejam aqueles que têm conhecimento da diversidade e benefícios das aplicações nucleares”. (MELDONIAN; MATTOS, 1997)

A Medicina Nuclear no Brasil tomou impulso com o início da produção e distribuição de radiofármacos pelo hoje denominado Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, em 1959.

Vinte e cinco anos antes da Usina Angra 1 entrar em operação comercial e gerar eletricidade, o IPEN já estava produzindo e distribuindo o iodo-131 (I-131) destinado aos diagnósticos da função tireoidiana. Este radioisótopo é emissor de partícula beta, radiação gama e tem meia-vida de oito dias.

Em 2005, no Brasil, mais de 2,5 milhões de procedimentos médicos foram realizados com radiofármacos produzidos no IPEN. Este número vem crescendo nos últimos anos como resultado da ampliação e melhoria das instalações radiativas destinadas a produção dos radiofármacos utilizados em hospitais e clínicas especializadas em Medicina Nuclear. (IPEN, 2006a)

Os isótopos radioativos ou radioisótopos também são bastante utilizados na indústria e na pesquisa. Desta forma o Brasil possui centenas de instalações radiativas distribuídas em todo o território nacional, com

predominância para a região sudeste. Como Instalação Radiativa entende-se o estabelecimento ou instalação onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação (aparelho ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante). (CNEN,1998)

A saúde e o bem-estar da população podem ser garantidos também com o uso de radioisótopos ou radiofármacos nos mais diversos segmentos da sociedade, mas se deve levar em consideração que as atividades ou operações onde haja a presença de trabalhadores expostos à radiação ionizante, podem configurar atividades ou operações insalubres, se forem excedidos os limites de tolerância previstos na NR-15, Anexo nº 5. (ATLAS, 2005)

Cabe à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN garantir a segurança da população que se beneficia, de alguma forma, deste tipo de energia, assim como dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes.

As instalações radiativas e todos os trabalhadores que utilizam fontes de radiação devem obedecer às exigências de segurança estabelecidas pelas normas da CNEN. Esta autarquia federal, subordinada ao Ministério de Ciência e Tecnologia, planeja, orienta, supervisiona, estabelece normas e regulamentos em radioproteção, licencia, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.

1.2 Problemática

O monopólio da mineração de elementos radioativos, bem como a produção e o comércio de materiais nucleares pertence à União e é exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. A produção e venda de radiofármacos pela CNEN em instalações licenciadas e fiscalizadas pela mesma autarquia federal é um assunto no mínimo polêmico que envolve questões econômicas, de saúde pública, de segurança no seu sentido mais amplo, e de saúde ocupacional.

Com a instituição do Regime Jurídico Único (RJU) para os servidores públicos civis da União, das autarquias e das fundações públicas federais, em dezembro de 1990, os trabalhadores que anteriormente eram regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho, perderam o respaldo das Normas Regulamentadoras – NR, relativas à segurança e medicina do trabalho.

Os “institutos de pesquisas” geridos técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) do Governo Federal, que deixaram de possuir em seus quadros trabalhadores regidos pela CLT, não necessitam, obrigatoriamente, atender os requisitos estabelecidos nas Normas Regulamentadoras (NRs).

Esta situação legal faz com que os servidores públicos civis (RJU) que trabalham em locais onde estejam expostos a agentes físicos, químicos, biológicos, não estejam totalmente cobertos pelos requisitos da NR-9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

Para casos de exposição a radiações ionizantes (agente físico), a NR-15, no seu anexo Nº 5 estabelece que para a proteção do homem e do seu meio ambiente, há a necessidade de se atender os requisitos constantes da Norma CNEN-NE-3.01 – “Diretrizes Básicas de Radioproteção”. Desta forma, infere-se que os trabalhadores (RJU) estejam protegidos, quando da exposição a este agente físico. (ATLAS, 2005; CNEN, 1988)

Pelo acima exposto pretende-se por meio de análise de documentos de uma instalação radiativa destinada a produção de radiofármacos, na cidade de São Paulo, bem como visita à instalação e entrevistas informais com os trabalhadores (RJU) da unidade em questão, verificar as condições de trabalho no local e o seu significado para a segurança e saúde dos mesmos.

1.3 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é de, por meio de um estudo de caso, analisar criticamente as atividades de licenciamento e operação de uma instalação radiativa no Brasil, em função da segurança e saúde do trabalhador.

1.4 Justificativa

Nos últimos anos tem se tornado freqüente discussões sobre o segmento informal da massa de trabalhadores no Brasil. Trata-se, efetivamente, de uma parcela expressiva de trabalhadores que não possuem carteira profissional preenchida e assinada. Este fato os torna desprovidos dos direitos adquiridos pelos trabalhadores regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho – CLT.

Muitas são as razões pelas quais o empregador, nos mais diversos setores da sociedade, evita ou tenta evitar o registro legal do seu funcionário. Da mesma forma há trabalhadores que preferem se manter no “anonimato”, ao invés de procurarem locais de trabalho onde o empregador se prontifique em registrá-los. Esta é uma discussão longa e polemica que apesar da sua importância, foge do escopo deste trabalho.

O ponto que se evidencia neste estudo diz respeito ao trabalhador que não atua no mercado informal, mas também não é regido pela Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, ou seja, o empregado regido pelo Regime Jurídico Único que embora legalmente contratado, não possui o respaldo dos requisitos das Normas Regulamentadoras, visando à preservação da sua saúde e integridade. A análise das atividades de licenciamento e operação de uma instalação radiativa pode colaborar na compreensão da realidade da segurança e saúde ocupacional desta classe de trabalhadores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho pode ser caracterizado como sendo estudo descritivo que se vale da análise dos documentos de uma instalação radiativa real. As informações obtidas dizem respeito a uma unidade produtora de radioisótopos que se encontra em plena operação na cidade de São Paulo.

Como complementos à análise dos documentos da unidade foram realizadas entrevistas informais na instalação com alguns dos trabalhadores, inclusive o diretor, assim como o médico responsável pela solicitação dos exames periódicos.

Ao diretor da instalação foram solicitados, para efeito de análise, os procedimentos adotados nas atividades de manutenção de equipamentos e sistemas. Nesta análise procurou-se identificar a metodologia empregada, assim como a utilização de normas e padrões nacionais. Em adição, foram lhe solicitadas informações sobre a existência de programas de qualificação, treinamento e reciclagem dos operadores da instalação.

Ao médico responsável pela realização dos exames periódicos foi questionada a existência de relação entre os exames determinados aos trabalhadores e lista de perigos estabelecida na instalação.

As visitas técnicas à instalação para observações quanto ao modo de operação da unidade; os sistemas auxiliares; os procedimentos usados em situação de emergência e de incêndio.

No Brasil, por ser monopólio da União, exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, as instalações radiativas para a produção de radioisótopos e radiofármacos estão localizadas nos seus institutos de pesquisas: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN (São Paulo) e Instituto de Engenharia Nuclear – IEN (Rio de Janeiro).

Novas instalações radiativas produtoras de radioisótopos estão sendo instaladas em outros centros de pesquisa da CNEN: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear- CDTN (Belo Horizonte - MG) e Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE (Recife).

Em função do reduzido número de instalações radiativas destinadas a produção de radioisótopos no país, a literatura pertinente é ínfima no que tange ao seu licenciamento junto à autoridade competente (CNEN). Assim os principais dados foram obtidos junto a própria instalação estudada e ao acervo técnico da biblioteca do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) que oferece dissertações de mestrado, tese de doutorado elaborado pelos trabalhadores / pesquisadores do instituto.

As fotos apresentadas neste trabalho foram obtidas por este autor quando das visitas à instalação estudada.

3. O LICENCIAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO RADIATIVA

A Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN é a autarquia federal que estabelece normas e regulamentos em radioproteção, em adição promove a fiscalização e o controle da atividade nuclear no país.

“A área de Radioproteção e Segurança Nuclear visa a segurança dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes, da população em geral e do meio ambiente. Com esse objetivo atua no licenciamento de instalações radiativas”. (CNEN, 2007)

Como *Instalação Radiativa* compreende-se o estabelecimento ou instalação onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação (aparelho ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante). As fontes de radiação são bastante utilizadas em hospitais, clínicas especializadas, indústrias dos mais diversos setores, em universidades e na agricultura. Deste modo podem ser contabilizadas várias centenas de instalações radioativas em todo o território nacional.

Para efeito de elaboração deste trabalho, somente é considerada a instalação radiativa onde se produz radioisótopos utilizados em medicina nuclear.

O licenciamento de uma instalação radiativa por autoridade competente que é ao mesmo tempo o operador da mesma, torna esta questão, no mínimo, polêmica. Sem entrar no mérito deste ponto, vale lembrar que a CNEN atua, na área de radioproteção e segurança nuclear visando “a segurança dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes, da população em geral e do meio ambiente”. (CNEN, 2007)

O licenciamento ambiental é de responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, que no caso de instalações nucleares e radiativas atua em conjunto com a CNEN.

3.1 Certificado do Atendimento aos Requisitos de Segurança e Radioproteção pelas Instalações Radiativas da CNEN

Para o “licenciamento” das instalações radiativas localizadas nos seus institutos de pesquisa, a autoridade competente publicou uma Instrução Normativa cujo objetivo é “estabelecer diretrizes quanto ao processo de certificação do atendimento aos requisitos de *segurança* e radioproteção pelas Instalações Radiativas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN”. (CNEN, 1994)

Nesta Instrução Normativa, *Segurança* é definida como sendo: “o conjunto de medidas de caráter técnico, incluídas no projeto, na construção, na manutenção e na operação de uma instalação, visando evitar a ocorrência de acidente ou minimizar as suas conseqüências”.

Segundo a CNEN, na Instrução Normativa acima mencionada (CNEN, 1994), *Avaliação de Segurança* é: “a análise dos relatórios de segurança e documentação complementar da *Instituição* e da *Instalação*, verificando o atendimento dos requisitos de *segurança* e radioproteção de acordo com as normas adotadas pela CNEN”. *Instituição*, neste caso, é: “complexo de uma ou mais Instalações (Nucleares ou Radiativas) destinado à pesquisa e desenvolvimento tecnológico de materiais, processos e equipamentos, bem como a aplicação, produção e prestação de serviços ou produtos desenvolvidos”.

Neste trabalho, a *Instituição* é o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, e a *Instalação Radiativa* é o Centro de Aceleradores Ciclotron – CAC, localizada no IPEN.

O processo de certificação do atendimento aos requisitos de *segurança e radioproteção* de uma instalação radiativa (CAC) envolve a solicitação pela instituição requerente (IPEN) e a emissão pela CNEN, após avaliação e aprovação dos relatórios de *análise de segurança*, pelo Comitê de Avaliação de Segurança da CNEN, dos seguintes documentos:

- *Certificado de Aprovação do Relatório Geral da Instituição (CARGI)*;
- *Certificado de Aprovação do Relatório de Análise de Segurança da Instalação (CRASI)*;
- *Certificado de Qualificação de Supervisor de Radioproteção (CQSR)*;

De acordo com a Instrução Normativa CNEN-IN-01/94 tem-se as seguintes definições:

- *Certificado de Aprovação do Relatório Geral da Instituição (CARGI)*: documento pelo qual a CNEN certifica a conformidade do Relatório Geral da Instituição com os requisitos de segurança e radioproteção aplicáveis aos trabalhadores, ao público e ao meio ambiente.
- *Certificado de Aprovação do Relatório de Análise de Segurança da Instalação (CRASI)*: documento pelo qual a CNEN certifica a conformidade do Relatório de Análise de Segurança da Instalação com os requisitos de segurança e radioproteção aplicáveis.
- *Certificado de Qualificação de Supervisor de Radioproteção (CQSR)*: documento pelo qual a CNEN certifica que o supervisor de radioproteção, em Instalação Radiativa (neste caso estudado), cumpriu com os requisitos necessários à certificação na sua área de atuação.

A documentação exigida da Instituição (IPEN no caso deste estudo) para a emissão do CARGI e do CRASI são os seguintes:

- Relatório Geral da Instituição;

- Plano de Proteção Física;
- Plano de Emergência;
- Plano de Radioproteção;
- Programa de Monitoração Ambiental;
- Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos;
- Plano de Proteção Contra Incêndio;
- Programa de Treinamento de Pessoal;
- Programa de Garantia da Qualidade.

A Instalação Radiativa, por sua vez, deve encaminhar à CNEN, para efeito de emissão do CARGI e do CRASI os seguintes documentos:

- Relatório de Análise de Segurança;
- Procedimentos Operacionais e Administrativos.

3.1.1 Relatório Geral da Instituição (RGI)

“O RGI deve conter informações sobre o projeto, a construção e a operação da Instituição e suas Instalações, obedecendo aos requisitos das normas da CNEN aplicáveis a cada Instalação”. O conteúdo detalhado deste documento está descrito no item 8.1 da Instrução Normativa CNEN-IN-01/94.

3.1.2 Plano de Emergência (PE)

“O Plano de Emergência (PE) deve demonstrar que na eventualidade de uma emergência envolvendo radiação serão tomadas medidas apropriadas para garantir a saúde e a segurança dos indivíduos do público e prevenir danos às propriedades”. O detalhamento do PE está descrito no item 8.2 da CNEN-IN-01/94.

3.1.3 Plano de Proteção Física (PPF)

O IPEN deve atender aos requisitos da Norma CNEN-NE-2.01 – Proteção Física em Unidades Operacionais na Área Nuclear, no que for aplicável. (item 8.3 da CNEN-IN-01/94).

3.1.4 Plano de Radioproteção (PR)

“O Plano de Radioproteção – PR deve descrever o Serviço de Radioproteção e estabelecer diretrizes para atender os requisitos de radioproteção estabelecidos nas Normas CNEN-NE-3.02 – ‘Serviços De Radioproteção’ e CNEN-NE-3.01 ‘Diretrizes Básicas de Radioproteção’, respectivamente”. (item 8.4 da CNEN-IN-01/94)

3.1.5 Programa de Monitoração Ambiental (PMA)

Este programa está descrito no item 8.4.1 da CNEN-IN-01/94, como parte integrante do Plano de Radioproteção.

“O PMA pré-operacional, quando aplicável, e operacional deve:

- Prover dados adequados para avaliação a longo prazo do impacto radiológico resultante de condições normais e de acidentes;
- Descrever o programa de garantia da qualidade das análises ambientais”.

3.1.6 Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos (PGR)

“O PGR deve conter informações sobre o controle de liberação de efluentes e rejeitos radioativos, estabelecendo diretrizes e procedimentos a

serem seguidos pelas Instalações.” O detalhamento do PGR está contemplado no item 8.4.2 da CNEN-IN-01/94.

3.1.7 Plano de Proteção contra Incêndio (PPI)

“O PPI deve estar de acordo com os requisitos da Norma CNEN-NE-2.03 ‘Proteção contra Incêndio em Usinas Nucleoelétricas’, nos itens aplicáveis.” (item 8.5 da CNEN-IN-01/94)

3.1.8 Plano de Treinamento de Pessoal (PTP)

Este plano deve ser elaborado contendo um programa de treinamento e aperfeiçoamento que contemple cursos e exercícios para a execução das atividades dos Relatórios, Planos e demais documentos pertinentes à Certificação. (item 8.6 da CNEN-IN-01/94)

3.1.9 Programa de Garantia da Qualidade (PGQ)

“O PGQ deve atender os requisitos da Norma CNEN-NE-1.16 ‘Garantia da Qualidade para Usinas Nucleoelétricas’, no que for aplicável.” (item 8.7 da CNEN-IN-01/94)

3.1.10 Conteúdo da Documentação das Instalações Radiativas

A Instalação (CAC) deve, segundo a Instrução Normativa ora considerada, apresentar um Relatório de Análise de Segurança (RASIR), com a sua classificação e demonstrando o atendimento dos requisitos aplicáveis, de acordo com as normas CNEN-NE-6.02 ‘Licenciamento de Instalações Radiativas’; CNEN-NE-3.01 ‘Diretrizes Básicas de Radioproteção’ e demais normas pertinentes. Em adição deve apresentar os procedimentos operacionais e administrativos para:

- “garantir a operação segura em condições normais;
- condução da operação em emergências;
- implementação das atividades previstas, no âmbito da Instalação, para os Planos de Emergência, Proteção Física, Proteção contra Incêndio, Radioproteção, Programas de Monitoração Ambiental, Garantia da Qualidade e Gerência de Rejeitos Radioativos.”

3.2 Requisitos da CNEN-NE-6.02 – ‘Licenciamento de Instalações Radiativas’

No licenciamento de instalações que utilizam aceleradores de partículas há a necessidade da emissão por parte da CNEN dos seguintes atos:

- Aprovação Prévia (item 6 da norma);
- Licença de Construção;
- Autorização para aquisição dos aceleradores de partículas;
- Autorização para operação.

3.2.1 Aprovação Prévia

O requerente (IPEN no caso deste estudo) deve encaminhar informações à CNEN, com vistas à Aprovação Prévia, contendo dados que permitam analisar a viabilidade do local proposto para a instalação radiativa (CAC).

3.2.2 Licença de Construção

As informações prestadas à CNEN, para este ato, devem permitir a análise das características de segurança técnica envolvidas. Os seguintes aspectos devem ser considerados:

- “qualificações técnicas do responsável pela construção;
- descrição e análise da instalação, com atenção especial às características de projeto de projeto e de operação;
- análise preliminar e avaliação do projeto e desempenho de estruturas, sistemas e componentes da instalação, com o objetivo de avaliar os aspectos de radioproteção;
- controles administrativos a serem aplicados durante a construção;
- planos preliminares para procedimentos em situações de emergência;
- descrição dos sistemas de controle de liberação de efluentes e rejeitos radioativos;
- relação das normas técnicas e códigos a serem adotados;
- plano preliminar de proteção física;
- plano preliminar de radioproteção.”

3.2.3 Autorização para Aquisição de Fontes de Radiação

“A Autorização para aquisição de fontes de radiação será concedida após a comprovação de que o projeto da instalação satisfaz as condições exigidas por normas específicas da CNEN, em particular aquelas relativas à gerência de rejeitos radioativos.” (item 8 da CNEN-NE-6.02)

3.2.4 Autorização para Operação

“A concessão da Autorização para Operação será orientada com base nas seguintes considerações (CNEN-NE-6.02):

- ter sido a construção da instalação completamente concluída de acordo com as disposições legais, regulamentares e normativa e com as condições das Licenças de Construção e seus aditamentos;

- haver comprovação de que a operação prevista será conduzida sem risco radiológico.”

Além das considerações acima mencionadas devem ser fornecidas informações que permitam a CNEN analisar a conformidade das características existentes com os requisitos normativos, tendo em vista, particularmente, os aspectos radiológicos da operação que possam colocar em risco a saúde de trabalhadores e do público, bem como a integridade do meio ambiente. Estas informações devem estar consubstanciadas em um relatório de análise de segurança contendo os seguintes itens:

- “projeto final da instalação;
- organização do pessoal e responsabilidades;
- plano de treinamento do pessoal;
- plano para condução das operações;
- garantia da qualidade dos produtos do requerente e de seus contratados;
- controles administrativos a serem aplicados durante a operação;
- plano de emergência;
- especificações técnicas a serem adotadas para operação;
- plano de proteção física, de acordo com Normas específicas;
- plano de radioproteção, de acordo com Normas específicas.”

4. O CENTRO DE ACELERADORES CICLOTRON - CAC

Para a produção de radioisótopos, o IPEN possui dois ciclotrons instalados e gerenciados no Centro de Aceleradores Ciclotron – CAC: um de 24 MeV, fabricado pela empresa americana The Cyclotron Corporation (TCC) e outro de 30 MeV fabricado pela empresa belga Ion Beam Applications (IBA).

Segundo Araújo (2001), os dois ciclotrons, assim como suas partes integrantes estão instalados em um prédio monolítico que foi construído em 1976 para abrigar o primeiro equipamento que entrou em operação em 1982 e depois modificado para receber o acelerador ciclotron de alta energia (30 MeV), que passou a operar em 1999.

Com a operação do ciclotron produzido pela IBA, cujo objetivo é o de atender a demanda de mercado dos radioisótopos mais utilizados em Medicina Nuclear (Ga-67; Tl-201; I-123; F-18), o primeiro equipamento de 24 MeV foi destinado para pesquisas em geral do próprio CAC ou ainda de outros departamentos do IPEN, bem como do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

A demanda crescente do F-18 utilizado em exames que se valem de equipamentos de imagem, levou o IPEN a planejar a troca do antigo ciclotron de 24 MeV, por outro de 18MeV, mais eficiente e dedicado a produção deste radioisótopo. A alteração já está em curso, mas neste estudo de caso considera-se a instalação como um todo, para efeito de licenciamento e a operação do ciclotron de 30 MeV. Na Figura 4.1 pode se ver o Centro de Aceleradores Ciclotron, no IPEN. A Figura 4.2 apresenta uma planta do prédio (CAC), onde estão instalados os dois ciclotrons. (IPEN, 2001)

“O ciclotron é uma máquina que acelera em vácuo, íons, partículas elementares com carga elétrica ao longo de órbitas circulares de raio crescente, resultando em uma trajetória espiralada ao longo do percurso de aceleração, até os íons com energia elevada atingirem uma região periférica da máquina, denominada de região de extração. Na região de extração, forças elétricas e/ou magnéticas conduzem os íons para fora do acelerador, remetendo-os para tubos com vácuo em seu interior, denominados de linhas de feixe.

A aceleração dos íons é efetuada por campo elétrico alternado, produzido entre eletrodos carregados eletricamente, entre os quais os íons passam sucessivamente a cada volta. A polaridade dos eletrodos é invertida em sincronismo com a passagem dos íons, de forma que os íons ganham impulso a cada passagem. Como a velocidade dos íons é elevada, o campo elétrico precisa se alternar rapidamente, por isso é empregada alta frequência de excitação dos eletrodos. O formato dos eletrodos nos primeiros ciclotrons se assemelhava à letra D e por isso são denominados DEES.



Figura 4.1 – Centro de Aceleradores Ciclotron – CAC/IPEN

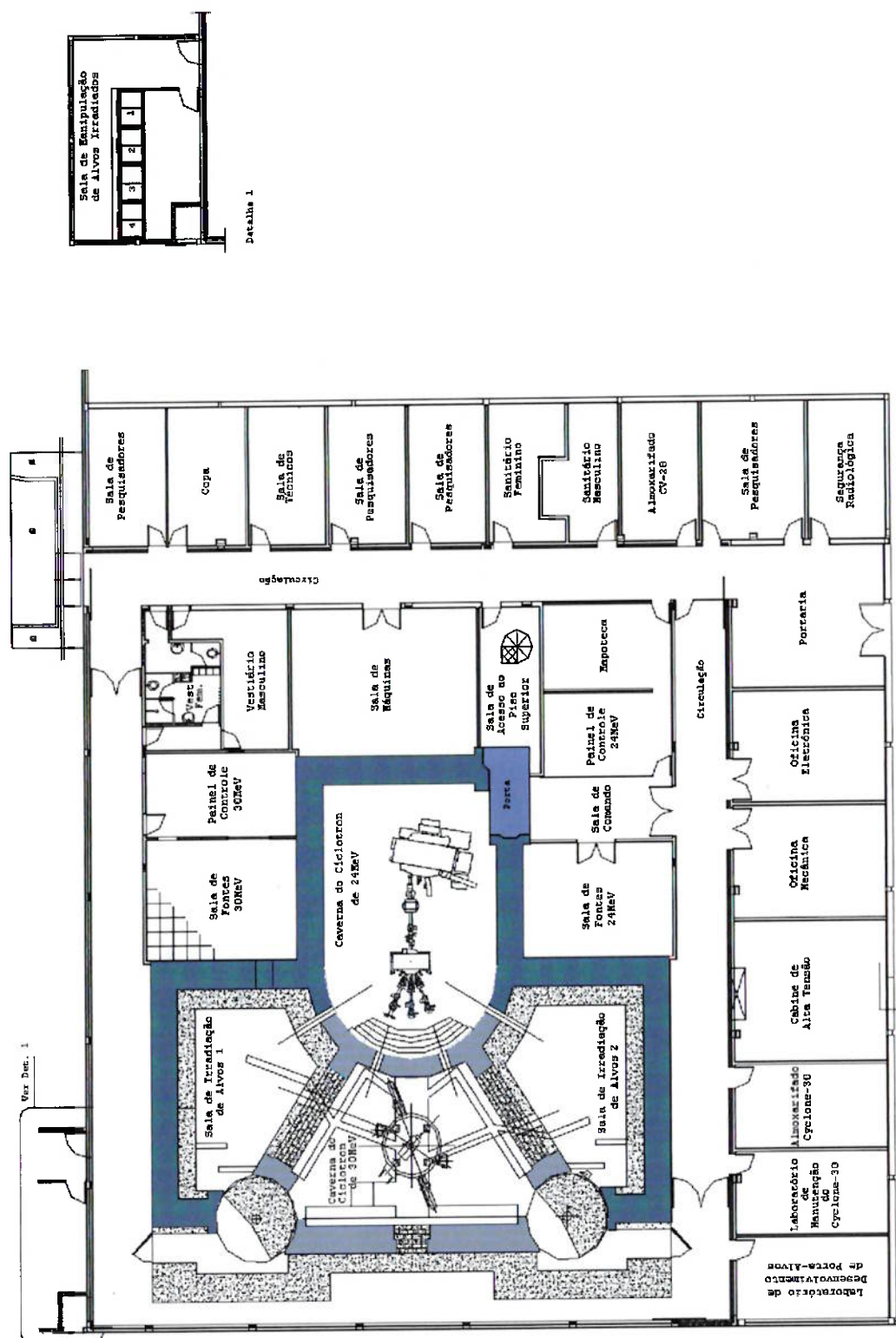


Figura 4.2 – Instalação dos ciclotrons de 24 MeV e 30 MeV no CA.

Fonte: IPEN, 2001.

Um forte campo magnético é aplicado perpendicularmente ao plano da órbita dos íons fazendo-os caminhar circularmente. Este campo é produzido por um grande eletroímã que envolve a câmara de vácuo contendo os íons em aceleração.

Fabricado pela IBA, o ciclotron do IPEN possui campo magnético fixo e frequência de excitação fixa, para aceleração de prótons com energia variável de 15 a 30 MeV, sendo a mudança de energia obtida pela variação da posição radial de extração dos íons acelerados; portanto, ao invés de ajustes no campo magnético e na alta frequência para a mudança de energia, é feito apenas ajuste de posição de uma pequena peça denominada de folha de extração. Isso foi possível porque o ciclotron acelera íons negativos de hidrogênio, isto é, hidrogênio com dois elétrons nas camadas eletrônicas. Praticamente 100% dos íons acelerados são extraídos, permitindo alta corrente de feixe e redução no consumo de refrigeração". (RODRIGUES, 2002, p.1)

"Os componentes do Ciclotron 30 MeV são :

1) Estação de Irradiação

- Distribuidor multivias de bombeamento;
- Colimador de alta potência;
- Câmara de irradiação com posicionamento do "coelho" e mecanismo de conexão da refrigeração;
- Chassi de montagem com alinhamento de precisão da linha de feixe;
- Sistema de vácuo com bomba mecânica e válvulas automáticas para quebra de vácuo;
- Medidores de vácuo e eletrônico associada;
- Unidade de refrigeração do alvo, incluindo bomba de água, trocador de calor, filtro e unidade de deionização;
- "Coelho" de transporte; e

- Magneto desviador de corrente alternada, para rotação do feixe no alvo.

2) Estação de Recepção

- Terminal de recepção para o “coelho”, com amortecedor de impacto; e
- Ferramenta pneumática para extração do alvo.

3) Sistema Pneumático de Transporte

- Tubulação; e
- Unidade pressurizadora, incluindo vácuo parcial, turbina de alto fluxo, válvulas apropriadas, conexões e filtro absoluto.

4) Unidade de Controle

- Sistema de controle baseado em PLC, integrado ao controle do Cíclotron.
- *Displays* e painel de controle junto à *hot cell*.
- Todos os *Softwares* (incluindo códigos fonte) e manuais de operação.” (IPEN, 2001)

O sistema de irradiação de alvos sólidos é constituído por uma estação de irradiação, um sistema pneumático de transporte do alvo e uma estação de recepção localizada dentro da cela blindada (*hot-cell*) de manipulação dos alvos. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam o ciclotron de 30 MeV do IPEN. (IPEN, 2001)

A estação de recepção situa-se em uma sala contígua ao prédio do ciclotron. O sistema pneumático transporta o alvo em uma cápsula porta alvo, conhecida internacionalmente como coelho, nas duas direções, entre as estações de irradiação e recepção.

CÍCLOTRON 30MeV

MODELO CYCLONE 30

ION BEAM APPLICATIONS

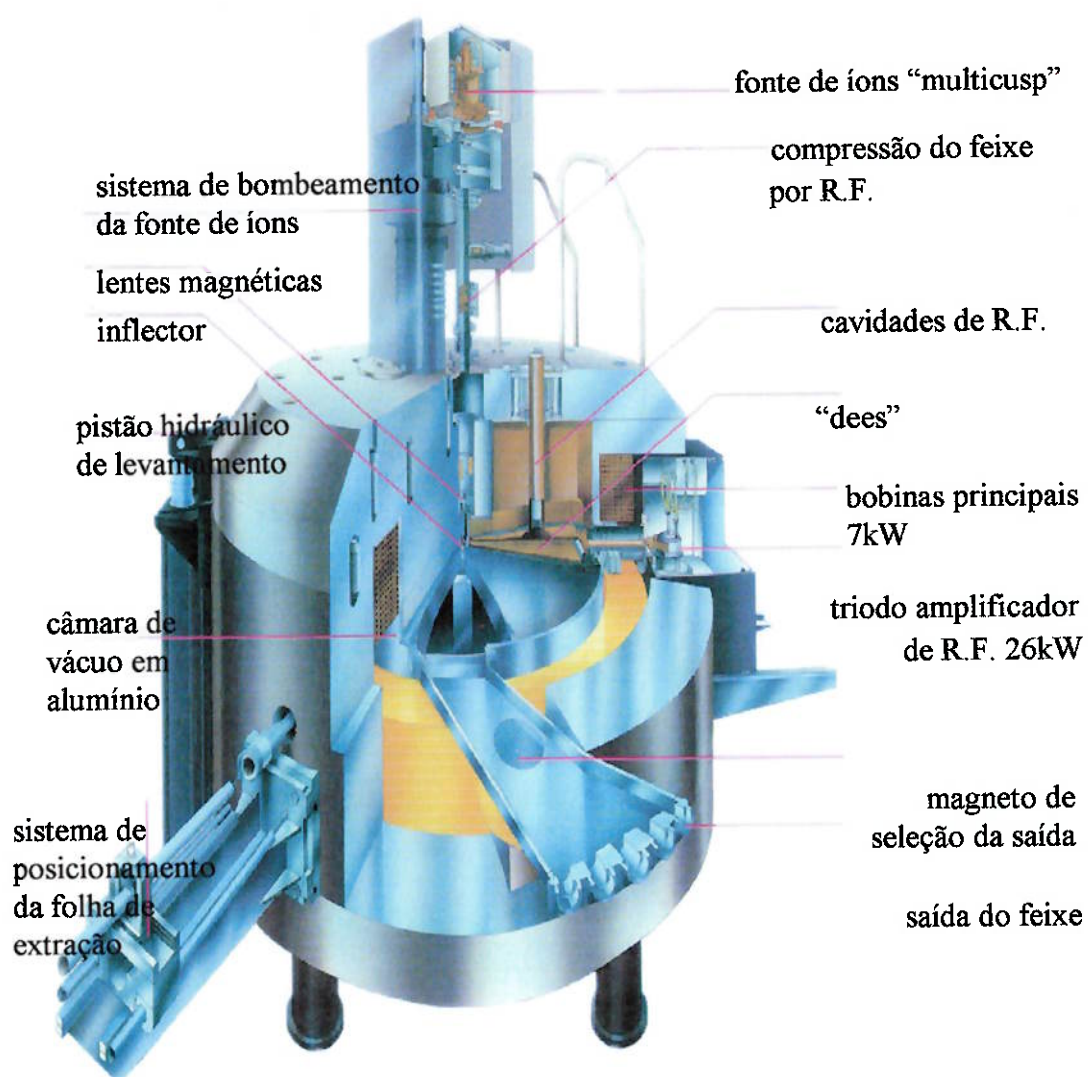


Figura 4.3 – Ciclotron de 30 MeV da IBA

Fonte: IPEN, 2001.



Figura 4.4 – Ciclotron de 30 MeV nas instalações do CAC/IPEN

O acionamento pneumático é realizado por meio de uma tubulação de alumínio de secção quadrada. Para evitar possíveis contaminações devido à perda de material particulado proveniente do alvo, o acionamento é feito por vácuo parcial, ao invés de pressões positivas, cuja descarga do ar está conectada a um sistema de filtros absolutos.

Resumindo, o ciclotron acelera prótons (radiação ionizante), que são utilizados como projéteis para incidir sobre alvos, que na interação projétil-alvo, por meio de reações nucleares (tabela 4.1), torna algum ou todos os elementos químicos do alvo radioativos e, portanto emissores de radiação ionizante.” (RODRIGUES, 2002, p.1)

Tabela 4.1 – Radioisótopos produzidos no ciclotron (Fonte: Araújo, 2001).

RADIOISÓTOPO	REAÇÃO NUCLEAR	MEIA VIDA (h)	ENERGIA DO PRÓTON (MeV)
Tálio	$^{203}\text{Tl} (p,3n) ^{201}\text{Pb} \rightarrow ^{201}\text{Tl}$	73,5	30
Gálio	$^{68}\text{Zn} (p,2n) ^{67}\text{Ga}$	78,3	30
Iodo	$^{124}\text{Te} (p,2n) ^{123}\text{I}$	13,2	30
Flúor	$^{18}\text{O} (p,n) ^{18}\text{F}$	1,83	16

“Um sistema típico de alvo consiste basicamente de:

- uma janela que separa o vácuo do ciclotron do material alvo;
- o material alvo (sólido, líquido ou gasoso);
- o porta-alvo e uma flange, que é isolada eletricamente para medida de intensidade de corrente;
- um sistema de refrigeração, para janela alvo e *beam stopper*, que garanta uma dissipação de calor eficiente. Isto também inclui a seleção de materiais suporte para alvos sólidos e materiais para o corpo principal de alvos líquidos e gasosos.

Além disso, um sistema típico de alvo deve ser compatível com os materiais utilizados, tanto na irradiação quanto na separação química, isto é, com os materiais utilizados no processo de produção” (ARAUJO, 2001, p.10).

A Figura 4.5 apresenta a sala de irradiação de alvos do ciclotron de 30 MeV do IPEN.



Figura 4.5 – Sala de Irradiação de Alvos do Cíclotron de 30 MeV

"O sistema de controle do Cyclone 30 é totalmente computadorizado e automatizado, baseado em CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e softwares de controle e supervisão. trata-se de um controlador lógico programável Siemens SIMATC S5-155U, muito utilizado em processos de automação de grande porte. A comunicação do CLP com o microcomputador é realizada via interface de comunicação serial RS-232C.

Um software de supervisão, executado em ambiente WindowsTM num microcomputador PC compatível IBM, faz o monitoramento e controle do ciclotron de 30 MeV rapidamente. Por se tratar de um programa totalmente gráfico, permite que pessoas sem longa experiência em ciclotrons comecem a operar o Cyclone 30 rapidamente.

As falhas na máquina são comunicadas ao usuário por mudanças de cores dos objetos e através de mensagens de erro.

No microcomputador, além do armazenamento dos "presets" de feixes, está disponível um gerador de registros dos parâmetros de operação da máquina. Todas as rotinas de operação são monitoradas, controladas e registradas pelo software. A intensidade de corrente de feixe pode ser monitorada na linha de injeção, no ponto de extração, na entrada e saída da linha de transporte de feixe. Estas medidas são mostradas na tela do computador e utilizadas pelo sistema de controle para o ajuste em tempo-real dos parâmetros do feixe (feedback). Também são utilizadas como sinais de intertravamento de segurança pessoal e do equipamento". (MATSUDA, 2002, p. 36)

A Figura 4.6 apresenta a sala de controle do ciclotron de 30 MeV do CAC/IPEN.



Figura 4.6 – Sala de controle do Cyclone 30

Como resultante da automação no processo de produção, o CAC possui uma equipe de 11 trabalhadores de operação, 1 gerente, uma secretária e 4 supervisores de radioproteção que trabalham em 3 turnos, com 4 trabalhadores cada (3 de operação mais 1 de radioproteção).

A Tabela 4.2 apresenta uma lista de locais que possuem ciclotron de 30 MeV similares às do CAC/IPEN.

Tabela 4.2 – Ciclotrons de 30 MeV similares às do IPEN existentes no mundo (Fonte: Araújo, 2001).

CONTINENTE	PAÍS	INSTITUIÇÃO
Ásia e Oceania	Irã	Atomic Energy Organization
	Austrália	ANSTO (Australiaan National Science & Tecnology Organization)
	Japão	Daiichi Radioisotope Labs
	Japão	Nihon Medi-Physics
	Japão	Nihon Medi-Physics
	China	Shanghai Institute of Nuclear Research
	China	Institute of Atomic Energy
Europa	França	CIS Bio International
	Bélgica	Erasmus Hospital
	Bélgica	Nordion Europe S.A.
	Bélgica	UCL (University of Louvain)
	Holanda	Mallinckrodt Diagnostica
América do Norte	Estados Unidos	Amersham Medi-Physics Inc.
	Estados Unidos	DuPont Merck Pharma
	Estados Unidos	Mallinckrodt Medical Inc.
	Estados Unidos	VA-Suny at Buffalo
América Latina	Brasil	IPEN-CNEN/SP

4.1 Relatório de Análise de Segurança dos Ciclotrons 24 MeV e 30 MeV

No processo de licenciamento ou certificação (unidades da CNEN) de uma instalação radiativa, o requerente deve elaborar e encaminhar para aprovação o Relatório de Análise de Segurança da instalação, em conformidade com os requisitos da Instrução Normativa CNEN-IN-01/94 e CNEN-NE-6.02

O RAS, Procedimentos Operacionais e Administrativos elaborados pelo CAC/IPEN e encaminhados à CNEN, constituem-se nos principais documentos impressos para efeito de análise das medidas de segurança adotadas na instalação.

O Relatório de Análise de Segurança dos referidos ciclotrons foi estruturado com os seguintes capítulos:

- 1 - Descrição da Instalação
- 2 - Características do Local
- 3 - Edifícios e Estruturas
- 4 - Descrição dos Ciclotrons
- 5 - Instrumentação e Controle
- 6 - Sistemas Auxiliares
- 7 - Proteção Radiológica e Gerência de Rejeitos
- 8 - Condução da Operação
- 9 - Análise de Segurança
- 10 - Especificações Técnicas

4.1.1 Descrição das Instalações

Como o próprio título indica, neste capítulo é feita a descrição do IPEN, assim como das características gerais dos equipamentos (ciclotrons) e de segurança. Além da Instrução Normativa e Normas da CNEN, já anteriormente citadas neste trabalho, são mencionados os seguintes documentos que servem de base para o projeto e construção da instalação:

- NCRP-REPORT 51 (Radiation Protection Design Guidelines for 0,1-100 MeV – Particle Accelerator Facilities);
- IAEA – Technical Report 283 (Radiological Safety Aspects of Operation of Proton Accelerators);
- IAEA – Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities – Safety Series nº 107 – Viena 1992.

No item 1.5 – Características Gerais de Segurança, não se adota qualquer norma de segurança que não seja radiológica.

4.1.2 Características do Local

As informações contidas neste capítulo dizem respeito a: Eventos Externos; Geologia e Sismologia; Meteorologia Hidrologia; Instalações Militares, de Transporte e Industriais Próximas; População e Distribuição Populacional; Uso do Solo, Água e Áreas de Lazer; Monitoração Ambiental (Impacto Radiológico). Tais dados são úteis na avaliação do impacto da instalação, em caso de operação normal e de situações de acidente, para a população em geral.

4.1.3 Edifício e Estruturas

Neste capítulo é descrito o Edifício dos Ciclotrons, suas Estruturas Civis internas e anexas, sistemas ligados às estruturas civis de proteção

contra a liberação de radiação para o exterior do prédio e barreiras de proteção física. Não se faz menção a qualquer detalhe pertinente a situações de incêndio ou de emergência, seja esta radiológica ou não, tampouco há direcionamento para outros capítulos ou itens do RAS.

4.1.4 Descrição do Ciclotrons

O RAS, neste capítulo, apresenta os princípios elementares de operação dos ciclotrons, lista os sistemas básicos dos mesmos, descreve as características de projeto, assim como as especificações básicas das unidades, e por fim a descrição dos Equipamentos Periféricos Relevantes [Sistema de Transporte de Feixe; Sistema de Irradiação de Alvos Sólidos; (Estação de Irradiação; Estação de Recepção; Sistema Pneumático de Transporte; Unidade de Controle)].

No item 4.4 do RAS (Parâmetros Críticos Quanto aos Aspectos de Segurança) afirma-se que pelo fato dos Aceleradores de Partículas se tratarem de fontes de radiação onde a ocorrência de alguma falha, acarreta a extinção do feixe de partículas aceleradas, não existem parâmetros críticos, restando apenas limites operacionais para vários parâmetros, visando unicamente à proteção de equipamentos quanto à sobrecarga.

Ainda neste item menciona-se a necessidade da monitoração contínua nos pontos de acesso e circulação dos operadores, com a sinalização, alarme e bloqueio de operação, em caso de superação dos limites ajustados no Sistema de monitoração da Radiação, em função dos elevados níveis de radiação nas Salas de Irradiação, principalmente com o ciclotron em operação.

A seguir atesta-se que “nas atividades de manutenção, a excitação de R.F. em alta tensão (50 kV) e alta frequência, bem como a presença de campo magnético intenso no entreferro, constituem-se em fontes de risco”.

Neste contexto “todas as fontes de alimentação destes sistemas são dotados de dispositivos de bloqueio e aterramento, quando de sua abertura, requerendo procedimentos especiais para ações de manutenção e testes”.

No item 4.5 do RAS (Equipamentos de Segurança) afirma-se que: “a instalação dispensa equipamentos de segurança, com atuação restrita às situações de risco ou emergência, exceto o equipamento usual de proteção contra incêndio”.

Por fim, neste capítulo do RAS, destaca-se que: “são imprescindíveis, entretanto, os seguintes equipamentos de atuação constante:

- Equipamento de proteção radiológica, devidamente incorporado ao sistema de controle e intertravamento do Cíclotron;
- Dispositivos de proteção contra sobrecarga dos equipamentos relevantes;
- Sistema de exaustão do ar nas ‘cavernas’ dos Aceleradores e Salas de Irradiação, dotado de filtros absolutos;
- *Hot cell* para manipulação e transferência de alvos irradiados;
- Sistema automático de transporte dos alvos irradiados para a *hot cell*; e
- *Interlocks* de bloqueio de emergência, ou condicionantes para o início de operação e acesso ao equipamento, cuja lógica de atuação assegure a necessária segurança física e radiológica”.

4.1.5 Instrumentação e Controle

Este capítulo é importante para a compreensão da filosofia de segurança adotada na instalação. Neste sentido destaca-se, na introdução do mesmo, que se requerem precauções quanto aos seguintes aspectos:

radiação ionizante; alta tensão / sistema de radiofrequência; sistema de vácuo; fontes de íons e injeção axial; e componentes da linha de feixe.

A seguir são descritos os Painéis de Controle; sistema de segurança e proteção (baseado na classificação das áreas quanto ao aspecto radiológico); sistema de monitoração de radiação; e sistemas de alarmes e intertravamento.

A única referência bibliográfica apresentada neste capítulo é o Manual de Operação, Manutenção e Funcionamento do Cíclotron fornecido pelo fabricante do equipamento. Não há qualquer outro documento referenciado.

4.1.6 Sistemas Auxiliares

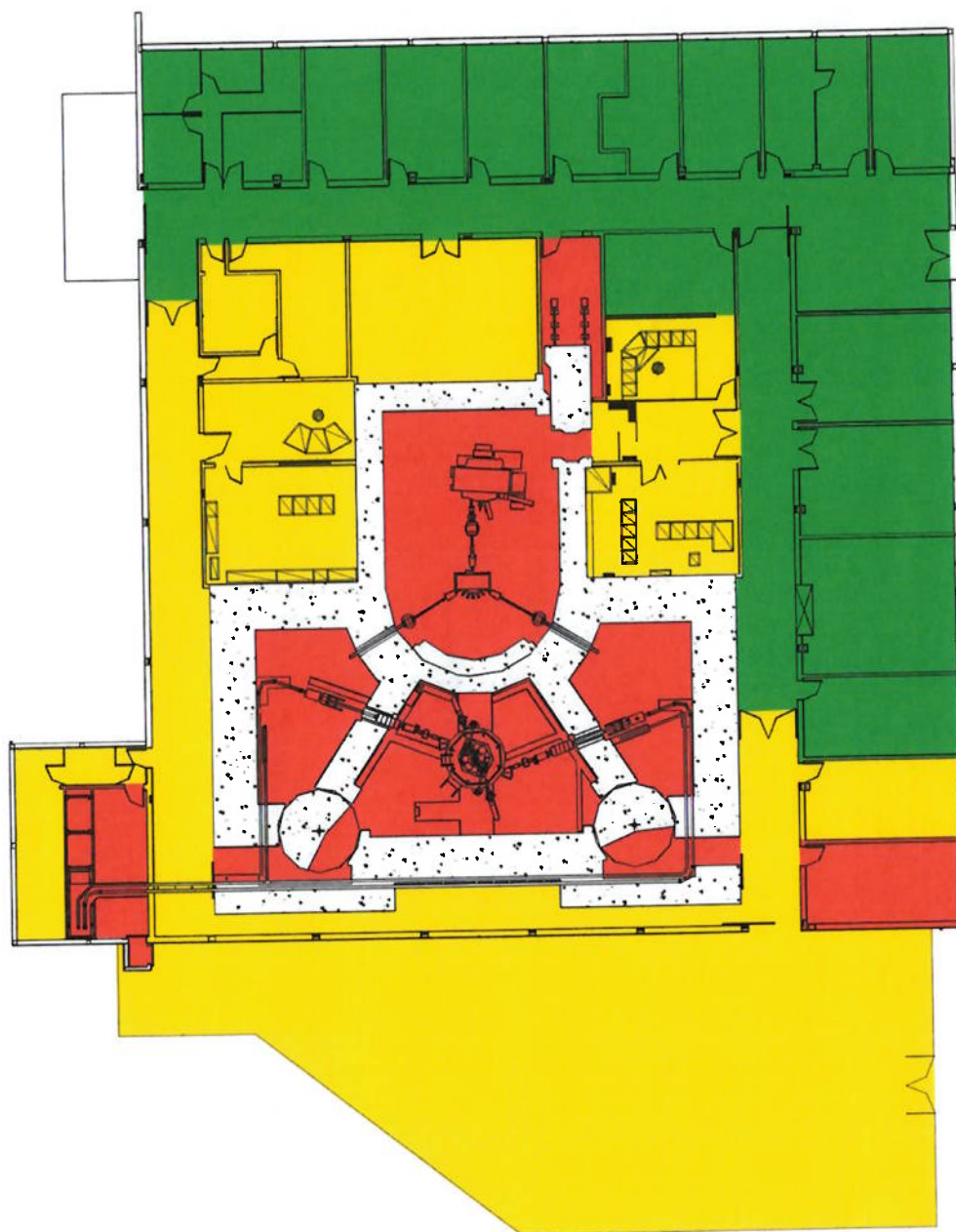
No RAS, estes sistemas estão telegraficamente descritos. As poucas informações fornecidas dizem respeito a algumas características dos transformadores trifásicos (500 kVA e 300 kVA); do grupo gerador; compressores de refrigeração e ar comprimido; água de resfriamento; sistemas de exaustão e de segurança contra evento crítico nas "hot cells".

Assim como nos demais capítulos, não se faz menção a normas, padrões técnicos, procedimentos de teste e manutenção.

4.1.7 Proteção Radiológica e Gerência de Rejeitos

Este capítulo apresenta os seguintes tópicos: Política de Segurança Radiológica; Características do Programa de Radioproteção; Programa de Monitoração para Efluentes e Rejeitos Radioativos; Características do Projeto de Radioproteção; Gerenciamento de Rejeitos Radioativos; Impacto Ambiental decorrente de operação Normal do Cíclotron; Cálculo de Blindagens; Análise dos Resultados dos Levantamentos Radiométricos na Instalação dos Cíclotrons.

As áreas da instalação são classificadas em função do risco de exposição e radiação. A Figura 4.7 apresenta a classificação das áreas de trabalho.



■ Área Restrita Controlada ■ Área Restrita Supervisionada ■ Área Livre

Figura 4.7 – Classificação das áreas de trabalho

Fonte: IPEN, 2001.

No Relatório de Análise de Segurança, o grupo responsável pela Segurança Radiológica classificou as áreas de trabalho da seguinte forma:

“a) Área Restrita Controlada

Locais onde possam ocorrer contaminações radioativas acima dos valores estabelecidos nas diretrizes básicas de radioproteção, norma CNEN-NE-3.01, para o ar e superfície, e onde os níveis de radiação externa possam resultar em doses individuais superiores a $7,5 \mu\text{Sv/h}$ ou superiores a 15 mSv acumulados em um ano.

O acesso a estes locais é controlado, somente pessoal autorizado tem acesso à mesma. Na Figura 4.7 estes locais apresentam-se em cor vermelha. Nestes locais prevê-se o uso obrigatório de vestuário específico para o exercício das tarefas, bem como a monitoração individual regulamentária e de alerta, e a monitoração dos níveis de contaminação.

b) Área Restrita Supervisionada

Locais onde os níveis de radiação externa possam resultar em doses individuais superiores a $0,5 \mu\text{Sv/h}$, porém inferiores a $7,5 \mu\text{Sv/h}$ ou inferiores a 15 mSv acumulados em um ano e onde existe a possibilidade, ainda que remota, de contaminação radioativa.

O acesso a estes locais é controlado, somente pessoal autorizado tem acesso à mesma. Na Figura 4.7 estes locais apresentam-se em cor amarela. Nestes locais prevê-se o uso obrigatório de vestuário específico para o exercício das tarefas, bem como a monitoração individual regulamentária e de alerta, e a monitoração dos níveis de contaminação.

c) Área Livre

Locais onde a possibilidade de radiação externa é remota, resultando em doses individuais inferiores a $0,5 \mu\text{Sv/h}$, ou inferiores a 1 mSv acumulado em um ano, e onde não existe a possibilidade de contaminação radioativa, cor verde.

Basicamente o critério para a classificação de áreas fundamentou-se na quantidade e forma como são apresentados os materiais radioativos". (IPEN, 2001 p.7.2-2)

O Programa de Monitoração para os Efluentes (líquidos e gasosos), assim como de rejeitos, diz respeito a materiais radioativos presentes nas amostras. Não se leva em consideração a presença de elementos não radioativos, para efeito de controle.

Embora se tenha conhecimento que o Tálio é um elemento carcinogênico e que o mesmo é manipulado remotamente na instalação, não há qualquer forma de controle adicional quanto a sua eventual liberação. Neste capítulo do RAS menciona-se que há a possibilidade de liberação de Ga-67 e Tl-201, como particulados na Sala de Manipulação de Alvos Irrradiados.

O Programa de Monitoração de Rejeitos Sólidos também é pertinente a material radioativo. Os demais materiais fogem do escopo do serviço de radioproteção.

4.1.8 Condução da Operação

Neste capítulo é apresentada a Estrutura Organizacional do CAC; Os Procedimentos de Operação do Cyclotron; o Programa de Manutenção, Testes e Inspeção do Cyclone -30; Segurança Física; Procedimento em

Situação de Emergência Radiológica; Garantia da Qualidade; Comissionamento. No início do capítulo destaca-se que o IPEN, hoje, tem mais de 20 anos que atua na produção de radioisótopos, pesquisa e desenvolvimento, valendo-se do ciclotron de 24 MeV. A produção de Gálio-67 teve início em 07/1986; a de Iodo-123 em 09/1991, e a de Flúor-18 em 04/1997. A produção de Tálio-201 teve início mais recentemente. O treinamento de pessoal, ao que tudo indica, se deve às jornadas de trabalho, ao longo de muitos anos, nas instalações dos ciclotrons. A Tabela 4.3 apresenta o programa de manutenção estabelecido para o ciclotron de 30MeV.

Tabela 4.3 – Rotinas de manutenção testes e inspeção do Cyclone-30
(Fonte: IPEN,2001)

ÍTEM	ATIVIDADE
1	Manutenção da Cabine de Alta Tensão
2	Manutenção do Sistema de Ar Comprimido
3	Manutenção do Sistema de Ar Condicionado
4	Troca dos filtros do Sistema de Exaustão do Ar
5	Inspeção e limpeza dos filtros de água do Sistema de Refrigeração do <i>Cyclone-30</i>
6	Inspeção e limpeza dos filtros de ar do Sistema de Controle (CLP)
7	Inspeção do nível e troca do óleo das bombas do Sistema de Vácuo do <i>Cyclone-30</i>
8	Inspeção e troca dos cilindros de gás do Sistema de Injeção de Gás do <i>Cyclone-30</i>
9	Manutenção preventiva da Fonte de Íons e Injeção Axial do <i>Cyclone-30</i> (filamento)
10	Manutenção preventiva do Sistema de Extração do <i>Cyclone-30</i> (<i>stripper forks</i>)
11	Inspeção dos componentes internos do <i>Cyclone-30</i>
12	Calibração dos monitores de corrente de feixe do Sistema de Controle do <i>Cyclone-30</i>
13	Inspeção e testes de conformidade das chaves limites

4.1.9 Análise de Segurança

Neste importante capítulo do RAS são descritas, de modo resumido, os métodos e abordagens utilizados na “análise de acidentes” dos ciclotrons.

De acordo com o texto do relatório, o método utilizado para identificar os eventos iniciadores postulados, em outras palavras, as ocorrências que podem conduzir a cenários de acidentes, toma como base a orientação contida, nos já referenciados anteriormente, documentos da INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: *Safety Series 107*; *Technical Reports Series 283*. (IAEA,1992; IAEA,1998)

“O *Safety Series 107* cita as seguintes condições que devem ser examinadas no relatório de análise de segurança para aceleradores:

- Perda de controle de acesso;
- Mau funcionamento ou falha de estruturas, sistemas e componentes;
- Falha na distribuição elétrica, das falhas mais localizadas até a completa perda de fontes de energia externas;
- Falhas resultantes de causas externas como tempestades, inundações, terremotos ou explosões;
- Falha humana pela não observação correta dos procedimentos de segurança (por qualquer razão);
- Quebra de procedimento para prevenir o acesso à instalação por pessoal não autorizado;
- Quebra de procedimento administrativo, levando a práticas inseguras.

O *Technical Reports Series 283* da IAEA cita os seguintes aspectos, dos aceleradores de partículas, que devem merecer um cuidado especial quanto à segurança:

- Segurança elétrica - pela variedade não usual de circuitos encontrados nas instalações de pesquisa, a segurança elétrica deve merecer atenção especial. Um aspecto fundamental é o treinamento de pessoal na operação do equipamento usado. Todos os códigos elétricos pertinentes devem ser bem compreendidos pelo pessoal responsável e toda atenção deve ser feita para a certeza da compreensão deles. As instalações devem permitir acesso conveniente ao equipamento elétrico, e estes devem ser instalados em lugares secos e bem iluminados. As provisões para fechamento, intertravamento e aterramento dos circuitos devem ser adequadas. Um gancho de aterramento ou preferivelmente um dispositivo de descarregamento mecânico automático deve ser fornecido para as fontes de tensão de alta voltagem e particularmente para bancos de capacitores. Em alguns casos uma pessoa somente para acompanhamento é essencial;
- Incêndio e explosões - proteção contra incêndio deve ser planejada em termos de prevenção, provisão para pronta detecção e contimento;
- Hidrogênio - hidrogênio líquido é usado freqüentemente em experimentos em física nuclear e física das partículas elementares. Cilindros de gás devem ser etiquetados, manuseados cuidadosamente, armazenados na posição correta e presos para evitar quedas. Devem ser usados os reguladores específicos para o gás;
- Materiais perigosos - uma variedade de materiais perigosos pode ser usada em instituições de pesquisa. Materiais como mercúrio, berílio metálico, lítio, resinas epóxi, ácidos e fluidos cáusticos são achados facilmente em laboratórios. Eles devem estar devidamente etiquetados, usando palavras como CUIDADO, AVISO, PERIGO, VENENO, junto com uma breve explicação do perigo representado;
- Solventes - proteção contra solventes perigosos devem incluir proteção para a respiração (ventilação, máscaras etc.), e proteção para a pele (luvas, cremes etc). Solventes extremamente tóxicos como tetracloreto de carbono e dissulfeto de carbono não devem ser usados;

- Microondas - onde componentes de microondas, incluindo klystrons, magnetrons, separadores de RF, cavidades de RF e conectores de guias de onda, estão operando em áreas acessíveis, há a possibilidade de exposição a microondas provenientes de aberturas nos sistemas. Devem ser feitas avaliações da intensidade das microondas com frequências entre 10 MHz e 100 GHz, que não devem exceder 10 mW. cm⁻²;
- Fixação e manuseio de objetos pesados - a fixação de blocos de blindagem, grandes objetos para serem radiografados, e equipamentos de transporte de feixe e do acelerador aumentam a chance de acidentes. Operadores de talhas e empilhadeiras devem ser devidamente treinados e trabalhar com equipamentos adequados;
- Campos magnéticos - magnetos devem ter um sinal de aviso e, quando energizados, deve haver uma indicação luminosa no local, para que não haja pessoal técnico trabalhando no local, pois há o risco de ferramentas e objetos metálicos serem atraídos pelo campo magnético causando ferimentos. Não deve ser permitido ao pessoal técnico entrar em áreas onde seus corpos são imersos em campos magnéticos de grande intensidade, como permanecer entre dois pólos ou nas proximidades de um grande magneto;
- Gases nocivos - ozônio e óxido de nitrogênio formados no ar por radiação devem ser avaliados. Se necessário, medidas devem ser tomadas para mitigar este perigo à saúde;
- Nível de ruído - em salas onde há motores geradores e compressores o nível de ruídos permitidos por padrões locais podem ser excedidos. Quando controles administrativos não podem levar a exposição de pessoal a níveis abaixo do permitido protetores auriculares devem ser utilizados;
- Segurança de vácuo - um especial perigo está presente nos grandes sistemas de vácuo com finas janelas como, por exemplo, nos extensos e de largo diâmetro tubos usados nas instalações de tempo-de-vôo de nêutrons. A ruptura de uma janela pode resultar em um sério, até fatal,

acidente para uma pessoa nas proximidades. Há o perigo de objetos ou pessoas serem sugados para dentro do sistema através de uma grande janela, e a possibilidade de danos no ouvido, se a janela for pequena. Quando o sistema não estiver em uso, finas janelas em grandes sistemas de vácuo devem ser protegidas por coberturas temporárias capazes de suportar a pressão atmosférica. Alternativamente, uma válvula próxima de cada final de um grande tubo de vácuo poderia ser instalada, pois pode ser fechada para isolar o grande volume. Sinais de aviso na janela devem ser usados para alertar o pessoal técnico do perigo e a ocupação não necessária da vizinhança deve ser evitada;

- Portas de blindagem de radiação - os pesados motores de operação das portas de blindagem de radiação que são usados em muitas instalações de pesquisa devem ser projetados para permitir uma operação segura. O botão de operação deve ser projetado para uma operação manual contínua para que a porta se movimente. Um sinal de aviso deve soar quando a porta está em movimento. *Switches* de limite devem prevenir o movimento além do necessário. Cada porta deve ter um sistema de movimentação manual no caso de falha na energia elétrica". (IPEN, 2001)

De acordo com o texto do RAS, neste item (9.1.1 - Método de Identificação e Seleção de Eventos iniciadores), não há nas dependências da instalação, Materiais Perigosos armazenados! Em adição, afirma-se que como Métodos de Análise, "as seqüências de eventos foram avaliadas, desde a ocorrência do evento iniciador, até o estado final de danos aos aceleradores ou ao pessoal técnico, acompanhando todo o desenrolar do acidente". (IPEN, 2001, item 9.1.2.1)

O item 9.2 do RAS apresenta as Características dos Sistemas dos Aceleradores Relativos à Segurança que, segundo o relatório, tomou como base o *Safety Series 107* da IAEA.

No item 9.3 do RAS é apresentada uma “análise qualitativa dos eventos postulados iniciadores de possíveis acidentes nos aceleradores”.

Os eventos iniciadores são divididos em cinco categorias:

- Perda de Alimentação;
 - Falha no Sistema de Distribuição Elétrica normal;
 - Falha no Grupo Gerador;

- Eventos Internos Especiais;
 - Incêndio;
 - Explosões;
 - Fixação e manuseio de Objetos Pesados;
 - Nível de Ruído;
 - Gases Nocivos;
 - Portas de Blindagem de Radiação;
 - Perda no Controle de Acesso.

- Eventos Externos;
 - Terremotos;
 - Inundações;
 - Tornados e furacões;
 - Tempestades e descargas Elétricas;
 - Colisões de Aeronaves;
 - Fogos e Explosões;
 - Derramamento de Tóxicos.

- Falha de Equipamentos, Sistemas e Componentes;
 - Falha no Sistema de Ventilação e ar Condicionado;
 - Falha no Sistema de Segurança e Proteção
 - Falha no Sensor Fotoelétrico;
 - Falha no Detector de Radiação;

- Falha no Primeiro *Switch*;
 - Falha no Segundo *Switch*.
- Falhas Humanas.
 - Quebra de Procedimento.

Na conclusão deste capítulo no RAS da instalação, afirma-se que não foram identificados acidentes limitantes para os cíclotrons, visto que os aceleradores são fontes de radiação que, na ocorrência de alguma falha, ocorre a extinção do feixe de partículas. Em adição, O Sistema de Alarme e Intertravamento também desliga os aceleradores no caso de qualquer violação de um dos seus sensores (*microswitches*, Geiger Muller etc.), impedindo que tais acidentes ocorram!

Todo o capítulo de Análise de Segurança do RAS, de acordo com o que é afirmado no texto, apresenta uma análise qualitativa, mas que, entretanto, não cita qualquer documento técnico que lhe dê respaldo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

- ❖ O processo de licenciamento e/ou certificação de uma instalação radiativa, no Brasil, possui forma de encaminhamento que foge dos modelos adotados nos demais setores industriais, por se tratar de segmento situado na esfera de monopólio do Governo Federal.
- ❖ A primeira questão que se destaca na abordagem deste processo, diz respeito ao fato de que o operador da instalação (IPEN/CNEN-SP) é também a autoridade competente (CNEN) responsável pelo licenciamento da mesma. Trata-se, no mínimo, de questão jurídica polêmica, não considerada de modo extensivo, por fugir do escopo principal deste trabalho, mas que, entretanto, não deixa de ter valor ou mesmo de levantar dúvidas quanto ao procedimento como um todo.
- ❖ A segunda questão trata do trabalhador da instalação radiativa que é um servidor público civil regido pela RJU, fato este que, por si só, lhe retira o respaldo das Normas Regulamentadoras – NRs, a que tem direito os trabalhadores regidos pela CLT. A inexistência de Lei ou outro instrumento legal equivalente, que estabeleça, de modo análogo, deveres / obrigações do empregador no que diz respeito à Segurança e Saúde do servidor público civil (RJU), deixa tais trabalhadores desamparados legalmente, na hipótese de qualquer solicitação / reivindicação normal ou judicial.
- ❖ Esta diferença nos deveres do empregador, e nos direitos dos trabalhadores, traz desconforto a estes últimos, visto que não há como justificar tal situação quando se sabe que na prática, os agentes físicos, químicos, biológicos, além das questões de ergonomia, presentes num ambiente de trabalho, não fazem distinção do vínculo empregatício do empregado.

❖ Em outubro de 2006, com a publicação da portaria nº 1675, pela Secretaria de Recursos Humanos do Ministério do Planejamento, “os órgãos públicos federais tornam-se responsáveis pela qualidade das condições de trabalho do servidor, devendo conduzir a realização de exames periódicos em intervalos de seis meses – para trabalhadores expostos a radiações – a dois anos – para servidores que desenvolvam trabalhos burocráticos. O texto também torna obrigatória a aplicação das Normas Regulamentadoras do Trabalho nº 7 e nº 9 que estabelecem o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais e o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional”. (ANEXO A)

❖ Não se pode esquecer que Portaria não tem força de Lei ou Medida Provisória, portanto, o empregador pode ainda não se ver obrigado a adotar tal conduta de imediato.

❖ No que tange ao licenciamento / certificação da instalação radiativa, junto à CNEN, observa-se que o IPEN apesar de estar produzindo radioisótopos a mais de 20 anos e ter elaborado e encaminhado à autoridade competente, os documentos que fazem parte do processo, ainda não recebeu da mesma o CRASI - Certificado de Aprovação do Relatório de Análise de Segurança da Instalação. Este fato quer se crer, não é pertinente a falhas que comprometam a segurança da instalação.

❖ O Relatório de Análise de Segurança – RAS do Centro de Aceleradores Ciclotron – CAC, encaminhado à autoridade competente, atende quanto ao formato, as Normas da CNEN ou mesmo aos requisitos dos dois documentos mencionados neste estudo, da Agência Internacional de Energia Atômica, entretanto o faz de modo superficial. Por exemplo, no capítulo que trata da Análise de Acidentes, não há menção a qualquer documento que dê suporte às afirmações lá feitas. Pura e simplesmente se afirma que as análises das seqüências de eventos foram realizadas e não

apresentaram qualquer fato negativamente relevante! Não há como chegar a esta ou outra conclusão, com os dados apresentados.

❖ Neste mesmo capítulo (Análise de Acidentes), no item 9.1.1 afirma-se que o prédio dos ciclotrons não armazena materiais perigosos, entretanto, no item 9.3.2.2 (Explosões – Eventos Internos Especiais) menciona-se que o acetileno, existente na instalação, pode provocar um incêndio ou explosão quando em contato com o oxigênio!

❖ Um dos radioisótopos trabalhados na instalação é o Tálcio, conhecido como material carcinogênico. No item 7.3.1.2 do RAS (Características do Sistema de Amostragem de Ar e Resultados Preliminares) menciona-se que “no conjunto de células da Sala de Manipulação de Alvos Irrradiados são manipulados F-18, I-123, Ga-67 e TI – 201, onde se prevê a possibilidade de liberação de F-18 e I-123 na forma física gasosa, e eventualidade de emissão de Ga-67 e TI-201 como particulado”. Em função desta possibilidade de liberação, crê-se que, no mínimo, tal assunto deveria ser tratado em profundidade, no que tange a procedimentos de manipulação dos filtros do sistema de tratamento do ar das células da referida sala de manipulação.



Figura 5.1 – Sala de Manipulação de Alvos Irrradiados do CAC

❖ Ainda no item 9.3.2.2 (Explosões) do RAS, afirma-se que “todos os cilindros do prédio do ciclotron estão seguindo as normas de segurança”. Na verdade não se menciona quais normas, além das evidências obtidas no local, darem outra visão para tal procedimento.



Figura 5.2 – Cilindros de Gás armazenados no CAC

Após a entrevista que teve a participação do *Chefe* da instalação e do Supervisor credenciado de Proteção Radiológica da mesma, bem como das visitas técnicas realizadas na unidade estudada, algumas constatações foram feitas e merecem reflexão:

- Não há no CAC, tampouco na instituição que o abriga (IPEN) um técnico ou engenheiro de segurança do trabalho que esteja exercendo atividades correlatas a sua formação, mesmo porque não há nestes locais, grupo ou atividades voltadas a segurança e saúde do trabalho, em toda a sua extensão. O IPEN constituiu, na década de 90, o Serviço de Engenharia de Segurança do Trabalho – SEST, com boas atribuições de reconhecimento, avaliação de controle de riscos não radioativos existentes no local de trabalho. Na prática, sua participação

é efetiva, sem discutir o mérito, na área de proteção contra incêndio. (IPEN, 1999)

- No Plano Diretor 2006, do IPEN, afirma-se no item Valores Organizacionais (Segurança) que há compromisso em desenvolver, continuamente, uma cultura de segurança e responsabilidade ambiental. Vale lembrar que o instituto de pesquisas, com mais de mil funcionários, embora tenha algumas instalações com certificação NBR ISO 9001:2000, não tem aprovada qualquer política de gestão integrada, tampouco política da qualidade, meio-ambiente, segurança, isoladamente. No CAC, assim como em outros Centros do IPEN, há atividades relacionadas à segurança nuclear, de onde se infere que ao menos um agente físico (radiação ionizante) é considerado, no que tange às atividades de segurança e saúde ocupacional.
- Embora haja um programa de manutenção, testes e inspeção no Ciclone-30, os trabalhadores da área não possuem formação e/ou treinamento específico para tal. A manutenção dos sistemas de ar-comprimido; ar-condicionado e cabine de alta tensão são executados por firmas contratadas, mas que não tem acompanhamento de trabalhadores qualificados, de forma documentada;
- Não há programa de treinamento e reciclagem rotineira no CAC e tampouco no IPEN, para os trabalhadores da instalação ora estudada;
- Apesar de citado no Código de Ética do IPEN, não há no CAC e tampouco no IPEN, Gestão de Risco que identifique e monitore os riscos associados às atividades desenvolvidas naqueles locais; (IPEN, 2006b).

- A inexistência da Gestão de Risco, no sentido mais amplo, desabona os Exames Periódicos da Instituição, haja vista que não se conhece efetivamente todos os agentes presentes na área de trabalho, ou então o seu significado além dos aspectos radiológicos, para os trabalhadores expostos. Em outras palavras, os Exames Periódicos determinados para os trabalhadores da unidade estudada, não consideram todos os perigos existentes na área de trabalho.
- Não há no CAC, tampouco no IPEN, um Plano de Emergência Não Radiológica. Cabe lembrar que o instituto possui diversas instalações radiativas; quatro instalações nucleares, sendo dois reatores nucleares de pesquisa; algumas instalações que se valem de variada gama de produtos químicos, gases etc.
- Embora o CAC e o IPEN possuam atuantes equipes de Proteção Radiológica, não houve constatação de que os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) possuam alguma espécie de certificação dos mesmos, ou seja, comprovação da sua validade e eficiência. Não se soube responder, se para o setor nuclear há tal tipo certificação, aos moldes do que se faz com EPIs utilizados em outros segmentos, junto ao Ministério do Trabalho e Emprego.
- No item 4.5 do RAS (Equipamentos de Segurança) afirma-se que: “a instalação dispensa equipamentos de segurança, com atuação restrita às situações de risco ou emergência, exceto o equipamento usual de proteção contra incêndio”, mas no item 9.3.2.2 (Explosões – Eventos internos Especiais) dá a entender que há risco de explosão.
- Como a manutenção de alguns sistemas auxiliares da instalação, tem o serviço de manutenção terceirizado, não há pleno conhecimento

quanto à responsabilidade do contratante com relação à segurança e saúde dos contratados, quando da execução dos serviços nas dependências dos primeiros.

5.1 Sugestão para Trabalho Futuro

Como a milhares de empregados formalmente estabelecidos no mercado de trabalho, [servidores públicos civis (RJU)], que trabalham em unidades de produção, no Brasil, seria de grande valia a elaboração de um estudo comparativo das condições de segurança e saúde, destes funcionários, com relação àquelas existentes para os empregados regidos pela CLT.

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho, lembrando o que foi estabelecido no início do mesmo, é analisar criticamente as atividades de licenciamento e operação de uma instalação radiativa no Brasil, em função da segurança e saúde do trabalhador.

Após a apresentação dos resultados e discussão sobre as questões levantadas ao longo do estudo, pode-se concluir que:

- O “auto – licenciamento” de uma instalação radiativa levanta dúvidas quanto à validade legal do mesmo, bem como sobre a eficiência de tal procedimento, que podem resultar na redução da segurança do trabalhador e conseqüentemente prejuízos à sua saúde;
- A inexistência de Lei ou Ato Legal equivalente, no que tange ao estabelecimento de deveres e/ou obrigações do empregador, quanto à preservação da segurança e saúde ocupacional do empregado, deixa o servidor público regido pela RJU, fragilizado na defesa de seus interesses pessoais e profissionais;
- As inconsistências encontradas no Relatório de Análise de Segurança da instalação estudada (Análise de Acidentes superficial; informações conflitantes no texto do RAS; inexistência de Plano de Emergência Não Radiológica; Falta de Programa de Treinamento e Reciclagem para os funcionários eventualmente envolvidos em atividades de manutenção e inspeção; inexistência de Gestão de Risco etc.) evidenciam diversos problemas que podem comprometer a segurança e saúde dos trabalhadores;

- A manipulação de material carcinogênico e a declaração de que há a possibilidade da sua emissão, mesmo que em ambiente confinado, sugerem que deveria haver a conscientização de todos os funcionários quanto a sua exposição a este agente nocivo. O comunicado aos funcionários não deve isentar o empregador de tomar medidas preventivas eficazes, de modo a preservar a segurança e saúde dos trabalhadores;
- A publicação da Portaria nº 1675, em outubro de 2006, demonstra o reconhecimento das Autoridades Públicas que os servidores regidos pela RJU não dispõe de respaldo para que lhes seja garantida a preservação da sua segurança e saúde ocupacional. Cabe, mais uma vez, lembrar que a Portaria não tem força de Lei ou Medida Provisória;
- A inexistência de técnicos ou engenheiros de segurança que estejam exercendo as suas competências na instalação ou mesmo no instituto como um todo, evidencia a falta de compromisso com este assunto, ou ainda relevância secundária a ele atribuída, apesar de ser mencionada no Código de Ética do IPEN (IPEN, 2006b);
- O risco que taxativamente é mencionado no RAS se refere à exposição ou contaminação na presença de materiais radioativos. Tal preocupação é pertinente, mas não deveria ser única, visto que há a presença de outros agentes físicos e químicos, sem esquecer-se das questões de ergonomia. Esta abordagem não ponderada pode trazer prejuízos à segurança e saúde do trabalhador.

ANEXO A

Notícias

10-11-2006

Portaria torna órgãos públicos federais responsáveis por qualidade das condições de trabalho do servidor.

Por Paulo Monte

Com a publicação da Portaria nº 1675 de 6 de outubro de 2006, pela Secretaria de Recursos Humanos do Ministério do Planejamento, os órgãos públicos federais tornam-se responsáveis pela qualidade das condições de trabalho do servidor, devendo conduzir a realização de exames periódicos em intervalos de seis meses - para trabalhadores expostos a radiações - a dois anos - para servidores que desenvolvem trabalhos burocráticos.

A Portaria, publicada no Diário Oficial da União de 10 de outubro, determina aos órgãos públicos federais a adoção do Manual para os Serviços de Saúde dos Servidores Civis Federais como referência aos procedimentos periciais, clínicos e epidemiológicos em saúde. O texto também torna obrigatória a aplicação das Normas Regulamentadoras do Trabalho nº 7 e nº 9, que estabelecem o Programa de Prevenção de Riscos de Ambientes e o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional.

Para que os novos procedimentos sejam adotados, a Coordenação Geral de Seguridade Social e Benefícios do Servidor irá promover um curso presencial e um curso à distância. O objetivo é preparar os profissionais da área de saúde que trabalham diretamente com o servidor público para que adaptem suas rotinas.

O Manual Para os Serviços de Saúde dos Servidores Públicos Civis Federais foi elaborado com a intenção de uniformizar e padronizar o atendimento ao servidor público civil do executivo federal acometido de algum agravo à sua saúde, ou que necessite de outros tipos de licença amparados pela legislação, que requeiram avaliação por uma Equipe Profissional de Saúde. A publicação especifica as competências dos profissionais de saúde participantes de tal Equipe - orientando rotinas e esclarecendo procedimentos - e está inserida dentro da Política de Seguridade Social e Benefícios do Servidor Público Civil Federal, que possui como norteador o Sistema Integrado de Saúde Ocupacional do Servidor Civil da administração Pública Federal.

Serviço:

[Portaria nº 1675 de 6 de outubro de 2006](#) (pdf)

Fonte : Área Técnica de Saúde do Trabalhador

[Voltar para Notícias](#)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, S.G. **Projeto e Implantação de Automação em Sistemas de Irradiação de Alvos Sólidos, Líquidos e Gasosos em Ciclotrons visando a Produção de Radioisótopos**. 2001, 153p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2001.

ATLAS. **Segurança e Medicina do Trabalho**: Lei Nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977. 56.ed. São Paulo: Atlas, 2005. 803p.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Radioproteção**. Rio de Janeiro, 1988. (CNEN NE-3.01-88).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Certificado do Atendimento aos requisitos de Segurança e Radioproteção pelas Instalações Nucleares e pelas Instalações Radiativas da CNEN**. Rio de Janeiro, 1994. 23p. (CNEN-IN-01-94).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Radiativas**. Rio de Janeiro, jul. 1998. 26p. (CNEN NE-6.02-98; CNEN RES. 09/84; CNEN/DExI Portaria 059/98).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Atividades**. Disponível em: <http://www.cnwn.gov.br/acnen/atividades.asp>. Acesso em: 16 de abr. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Manual de Normas e Procedimentos de Segurança**. São Paulo, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Relatório de Análise de segurança do Centro de Aceleradores Cíclotron**. São Paulo, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Informe Anual 2005**. São Paulo, jun. 2006a. 40p.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Código de Ética**. São Paulo, dez. 2006b. 12p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities**. Vienna, 1992 (Safety Series Nº 107).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiological Safety Aspects of The Operation of Próton Accelerators. Vienna, 1998 (Technical Report Series Nº 283).

MATSUDA, H. Monitoração do Feixe Externo do Ciclotron Cyclone 30 do IPEN-CNEN/SP. 2002, 107p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2002.

MELDONIAN, N.L.; MATTOS, L.A.T. A Influência do Acidente Radiológico de Goiânia na Aceitação Pública de Novas Usinas Nucleoelétricas. In: Conferência Internacional sobre o Acidente Radiológico de Goiânia – 10 anos Depois. 26-31 de outubro de 1997, Goiânia – GO, p.248-255.

RODRIGUES, D.L. Otimização no Controle dos Valores de Radiação nas Dependências do Ciclotron de 30 MeV do IPEN. 2002, 106p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2002.

