

A IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DO AGEING NO REATOR IEA-R1 .

José Patricio Náhuel Cárdenas* e Roberto Frajndlich**

*IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970 São Paulo, SP, Brasil
e-mail : ahiru@net.ipen.br

**IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970 São Paulo, SP, Brasil
e-mail : frajndlich@net.ipen.br

RESUMO

O reator IEA-R1 do IPEN_CNEN/SP (Comissão Nacional de Energia Nuclear), de São Paulo, Brasil, é um reator nuclear de pesquisa do tipo piscina, moderado e refrigerado à água leve e do tipo MTR (Material Testing Reactor), o qual teve sua primeira criticalidade em 16 de Setembro de 1957 . De uma forma geral, nesses trinta e oito anos o reator tem sido utilizado praticamente sem interrupção, por usuários do próprio IPEN, de outros Institutos de pesquisa além de organizações industriais . O volume de trabalhos científicos desenvolvidos no campo da pesquisa básica e aplicada têm sido usado para treinamento e trabalhos de teses .

Varias substituições de instrumentos e equipamentos (aperfeiçoamentos) foram introduzidos durante esse período, sendo as duas mais importantes, as que ocorreram durante o primeiro período de modernização (1974-1978) e o primeiro programa de readequação da instalação (1987-1988).

O reator IEA-R1 já permaneceu desligado por um período de 18 meses devido a importantes trabalhos de substituições e readequação das tubulações do circuito primário e secundário, revestimento da piscina, reforma na mesa de controle, monitoração de radiação, torre de refrigeração, instalações elétricas, etc .

O objetivo deste trabalho é o de descrever as principais tarefas desenvolvidas no reator IEA-R1 durante sua vida no que se refere as substituições, readequação e modernização dos equipamentos do reator e suas instalações assim como estabelecer critérios e recomendações para a continuação do programa de gerenciamento do Ageing (Envelhecimento/Degradação) .

INTRODUÇÃO.

Desde que o primeiro reator nuclear de pesquisas atingiu a criticalidade em 1942, foram construídos aproximadamente 550 reatores de pesquisa através do mundo, sendo que 300 deles, aproximadamente, estão atualmente em operação .

Aproximadamente 66% desses reatores estão com 20 anos de serviço e 30% têm mais de 30 anos em operação.

Esses reatores foram projetados e construídos utilizando normas , materiais e componentes e práticas industriais do país de origem da época da construção.

O projeto, operação e a filosofia de utilização dos reatores nucleares de pesquisa é muito diferente de uma usina nuclear.

Isto é devido ao fato de que o propósito de um reator de pesquisa é o uso como um experimento de si próprio ou a condução de experimentos separados durante a sua operação.

Por outro lado a utilização pode levar a modificações frequentes no reator.

Estas diferenças levam ao estabelecimento de critérios separados para reatores de potência e de pesquisa, embora muitos mecanismos de envelhecimento sejam similares [2] .

DESCRIÇÃO DO REATOR IEA-R1

O IEA-R1 é um reator de pesquisa do tipo piscina aberta e foi projetado e construído sob a responsabilidade da firma Babcox & Wilcox dos Estados Unidos de América, de acordo com as especificações fornecidas pela Comissão Nacional de Energia Atômica.

Sua primeira criticalidade foi atingida em Setembro de 1957, e tem sido utilizado extensivamente na produção de radioisótopos (Iodo-131, Fósforo-32 e Cromo-51) , em análises por ativação, em experiências que utilizam tubos de irradiação e no treinamento de pessoal atendendo a todas as áreas da Instituição e também às solicitações externas.

Nos três primeiros anos de funcionamento, a máxima potência de operação nominal foi de 1 MW, posteriormente elevada para 2 MW . Atualmente trabalha em operação

contínua na potência de 2 MW (60 horas por semana) para atender a produção de Samário-153 e, a médio prazo, criar condições técnicas necessárias para operação contínua em uma potência de 5 MW .

O núcleo do reator tem a forma de um paralelepípedo e é composto por elementos combustíveis e refletores que são encaixados verticalmente em furos na placa matriz, a qual é suspensa por uma estrutura de alumínio presa a uma ponte móvel localizada na parte de cima da piscina .

O elemento combustível é do tipo MTR (Material Testing Reactor), sendo as dimensões de aproximadamente (77,1 x 81,0) mm por 880 mm de altura .

Atualmente o núcleo compõe-se de três tipos de combustível, a saber :

a) o fabricado nos Estados Unidos, com 93% de enriquecimento, composto de uma liga de urânio-alumínio,

b) o fabricado na Alemanha, com 20% de enriquecimento e composto de uma liga de urânio-alumínio -U-Alx- (o x refere-se a porcentagem de Al², Al³ e Al⁴) .

c) o fabricado no IPEN, com 20% de enriquecimento, composto de urânio disperso numa matriz de alumínio (U₃O₈-Al) .

Os Elementos Refletores são constituídos de blocos de grafita encamisados em alumínio e têm a mesma geometria e dimensões externas dos elementos combustíveis. Estão instalados ao redor do núcleo, na placa matriz, permitindo uma grande economia de nêutrons, por reflexão dos mesmos e, conseqüentemente, sensível redução na massa crítica.

A piscina é construída em concreto com as dimensões seguintes : 5,2 m (L) x 13,7 m (C) x 9,5 m (A) e está dividida em dois compartimentos que podem ser isolados um do outro . A água é desmineralizada e serve de moderador , refrigerante e de blindagem radiológica .

Quando a potência de operação é superior a 200 KW, a circulação do refrigerante é forçada de cima para baixo através de uma bomba localizada no Circuito de Resfriamento e para operação abaixo de 200 KW o resfriamento é feito por convecção natural, não havendo, portanto, necessidade das bombas .

O Sistema de Resfriamento têm como função retirar o calor produzido nas placas de combustível através da circulação de água da piscina.

O calor é eliminado para a atmosfera por meio de Torres de Refrigeração .

O Controle do Reator é feito por meio de quatro barras absorvedoras de nêutrons sendo que três são Barras de Segurança e uma de Controle . Todas elas são formadas de uma liga de Prata, Índio e Cádmiio (80% de Ag + 15% de In + 5% de Cd) e sustentadas por um magneto preso a uma haste acoplada ao mecanismo de acionamento preso à ponte de sustentação do núcleo .

No caso de uma emergência , o magneto é desligado e as quatro barras são inseridas no núcleo por gravidade garantindo assim o desligamento do reator (SCRAM) .

A Barra de Controle é movimentada continuamente para compensar as flutuações de potência durante a operação [3] .

DEFINIÇÃO

AGEING é definido como um processo geral no qual as características dos componentes, sistemas e estruturas sofrem mudanças em forma gradual com o tempo ou uso. Este processo conduz à degradação dos materiais sujeitos às condições de serviço, incluindo operação normal e transiente nas quais é necessário que o equipamento, sistema ou estrutura funcione (opere).

Na instalação de um reator de pesquisa, os efeitos de tal degradação podem resultar na redução ou perda da capacidade de funcionamento dos componentes, sistemas e estruturas os quais devem sser mantidos dentro de um critério aceitável.

Dessa forma a segurança e utilização do reator podem ser afetadas a não ser que sejam tomadas medidas preventivas e estabelecidas as medidas corretivas [2] .

IMPORTÂNCIA DO AGEING

O principal objetivo da segurança para um reator de pesquisas é o de proteger as pessoas, sociedade e o meio-ambiente estabelecendo e mantendo um cuidado e uma preocupação efetiva com o risco radiológico. Para atingir esse objetivo um número de requisitos e princípios de segurança são utilizados na etapa do projeto assim como são utilizadas medidas adicionais durante a operação do reator ou sejam :

- Defesa em Detalhe
- Confiabilidade
- Análise de segurança
- Garantia da qualidade
- Revisão e avaliação da documentação de segurança (Operação +Modificações + Manutenção)
- Tecnologia Avançada e Requisitos de Segurança

Devido ao Ageing, deve existir um compromisso sério com estes princípios e requisitos de segurança [2] .

TÓPICOS ESPECÍFICOS PARA REATORES DE PESQUISA

Os reatores de pesquisa têm problemas específicos próprios e os operadores têm convivido com tais problemas por muitos anos .

Os principais itens dos programas relacionados com o Ageing de reatores de pesquisas são :

- Tanque de alumínio do reator e outros componentes .
- Efeitos no Grafite e Berílio (materiais para refletor e moderador) .
- Obsolescência de equipamento eletrônico .
- Corrosão dos componentes do Sistema de Resfriamento e outros .
- Deterioração dos tubos do Trocador de Calor .
- Degradação das Torres de Resfriamento .
- Degradação ads estruturas de concreto.

- Novos requisitos de segurança.

O primeiro item, sobre efeitos do Ageing em componentes de alumínio, é próprio de reatores de pesquisas e pouca informação pode ser encontrada na literatura técnica sobre usinas nucleares.

A taxa de desgaste pode não ser muito grande em reatores de pesquisas em comparação com as usinas nucleares, mas a frequência de desligamentos, variações de potência e a idade relativa dos reatores de pesquisas aumenta sua importância [2].

OBJETIVOS E METAS A SEREM ATINGIDOS

Desde que o processo de ageing pode afetar a segurança de um reator de pesquisa, existe a necessidade de detectar e avaliar o seu efeito em componentes de segurança desgastados.

Por isso, deve ser estabelecido um programa para a detecção de efeitos de Ageing na estrutura de atividades para o gerenciamento do Ageing.

A avaliação dos efeitos do Ageing depende fortemente da provisão feita para a aquisição, armazenamento e avaliação de Dados, bem como da categorização dos componentes portanto será dada uma atenção apropriada a estes tópicos sendo eles os seguintes :

- Seleção e classificação do equipamento susceptível ao Ageing. Está baseada em fatores tais como a importância da segurança, reparação e substituição, assim temos :

Categoria I .- Equipamento de importância primária, não redundante, não reparável ou substituível facilmente (tanque do reator, tubulações do sistema de refrigeração do circuito primário).

Categoria II .- Equipamento de importância primária, porém redundante ou que pode ser inspeccionado ou reparado facilmente (fonte de alimentação elétrica, barras de controle).

Categoria III.- Equipamento sem importância primária, mas de difícil inspeção ou reparação (sistema de purificação da água).

Categoria IV.- Outros equipamentos (gerador diesel de energia auxiliar).

- Atividades de Vigilância do Ageing.

- Inspeção e exame visual.

- Monitoração

- Testes

- Teste de Performance

- Aquisição de Dados e Registros.

- Experiência do reator IEA-R1

- Experiência de outros reatores de pesquisas

- Avaliação dos efeitos do Ageing.

- Experiência do reator IEA-R1

- Consultoria de Especialistas (Experts)

- Avaliação final de um componente relacionado com o Ageing.

PREVENÇÃO E DIMINUIÇÃO DOS EFEITOS DO AGEING

A prevenção e diminuição do Ageing pode ser realizada através de:

Previsão apropriada feita durante o projeto do reator. Existem códigos da IAEA sobre Segurança de Reatores Nucleares de Pesquisa que contém requisitos específicos relativos ao Ageing .

Atividades de Vigilância e testes para avaliar a degradação de componentes e sistemas. Através dessa atividade podem ser desenvolvidos perfis do Ageing, permitindo a substituição de um componente envelhecido antes de seu desgaste ou falha .

A frequência da vigilância e testes seria otimizada com base no projeto, dados, experiência industrial e recomendações dos fabricantes (irradiação de amostra do material do componente) .

Programa de Manutenção Preventiva. Uso dos Códigos da IAEA sobre Segurança dos Reatores Nucleares de Pesquisa.

Avaliação periódica da experiência operacional. Essa avaliação deve incluir revisão periódica e análise de operação, vigilância, registros e relatórios sobre testes e manutenção, devendo ser sistemática . É recomendável designar-se uma comissão de segurança (reuniões de especialistas) para fazer essas avaliações.

Otimização das condições de Operação. As condições de operação têm sido definidas como parte das condições de serviço que afetam o processo de Ageing.

Essa avaliação periódica pode indicar a necessidade de mudar as condições de operação tais como : modo de operação, arranjo do núcleo e parâmetros químicos do fluido.

A frequência de inspeções é também um parâmetro que precisa de otimização. Se a frequência de inspeção e trabalho de manutenção ou testes é muito grande, isto pode acelerar o Ageing, sendo necessário avaliar esse efeito.

Reparação, substituição ou modernização de componentes. A avaliação periódica pode conduzir a uma decisão para conter um processo de deterioração ou substituição de um componente.

Um relatório sumário seria preparado sobre toda a informação disponível referente ao problema [2] .

MODIFICAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO REATOR

O IEA-R1 é submetido a revisões de segurança periódicas, acompanhadas de estudos da necessidade de modernização, visando selecionar os componentes críticos e analisando a viabilidade técnica e econômica . Nestes 39 anos de funcionamento, o Reator IEA-R1 já sofreu várias modificações, com a finalidade única de adequá-lo às normas de segurança mais recentes podendo-se destacar as seguintes :

1971 - Alterações no Sistema de Ventilação do prédio do reator .

1974 - Neste ano foram feitas as seguintes modificações :

1. Ampliação do Circuito de Refrigeração do reator de 5 Mw para 10 Mw . Introdução de Volante de Inércia nas Bombas Hidráulicas do Circuito Primário
2. Instalação de um Tanque de Decaimento para monitoração do Nitrogênio-16 .
3. Reforma do Sistema de Ventilação, instalação de um Sistema de Emergência com filtros absolutos e de carvão ativado para atuar junto ao Sistema de Exaustão .
4. Instalação de um Sistema de Água de Emergência para repor rapidamente a água que possa vazar desde a piscina sendo o reservatório de 600 m³ e a água coletada no Tanque de Retenção .
5. Reformulação do Sistema Elétrico de Alimentação com a instalação de Grupos Moto-geradores diesel .

1977-1978 - Neste período foram feitas as seguintes modificações :

1. Substituição do revestimento original de azulejos das paredes da piscina (depois de 20 anos de funcionamento) por chapa de aço inoxidável devido à infiltração de água . O projeto foi elaborado pela PROMON ENGENHARIA, em conjunto com o Dr. J.D. Randall da Universidade do Texas (A &M), em Dezembro de 1976 .

A tarefa foi executada em 6 meses a partir de dezembro de 1977, retornando o reator à sua operação normal em Outubro de 1978 .

Aproveitando o esvaziamento da piscina, foi reinstalado o Sistema Pneumático de Irradiação de Amostras, o qual tinha sido desativado em 1966, devido a problemas de vazamento, foi implantado novo arranjo nos terminais de irradiação para obter uma distribuição de fluxo homogêneo entre as 4 posições no refletor do reator, também foram substituídos os tubos originais por aço inoxidável .

Na posição de irradiação do "coelho", o fluxo térmico é da ordem de $2 \text{ a } 4 * 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$, para produção de fontes seladas e radioisótopos. Nos elementos de irradiação instalados acima do núcleo do reator, o fluxo térmico é da ordem de $10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$.

2. Serviços gerais no Sistema de Ventilação, no Trocador de Calor, Sistema de Tratamento e Retratamento de Água e instalação da Ponte Rolante no saguão da piscina do reator, (atingindo de novo a criticalidade em 2 Mw em 24/08/78).
3. Modernização da Instrumentação e Mesa de Controle do reator :

Substituição dos equipamentos eletrônicos originais que eram constituídos por elementos valvulados por módulos com componentes semicondutores.

Isto foi feito para a mesa de controle (projeto novo) e monitores de radiação de Áreas todos da General Atomic (San Diego, USA) foi implantado também o novo Sistema de Medição de Temperatura (Honeywell, USA) e o Sistema de Monitoração de Dutos do Sistema de Ventilação (Victoreen, USA) e instrumentação para medida de Condutividade dos Sistemas de Tratamento e Retratamento de Água (Berkeley, USA) .

4. Substituição do mecanismo de acionamento das barras de segurança e de controle. Sua principal inovação, foi que o magneto de acoplamento não ficava imerso na água como

no projeto original o qual apresentou problemas devido aos danos por irradiação .

5. Substituição dos sistemas elétricos auxiliares, comando, alarmes e monitoração de força e luz por outros novos projetados pelo IPEN, para os Circuitos Primário e Secundário, para o Sistema de Monitoração e Alarmes de Incêndio no prédio do reator e o Sistema de Circulação de Ar .

Instalação de um Grupo-gerador No-break para alimentar a mesa de controle e outro para as bombas hidráulicas do Circuito Primário do reator .

Outros 2 Grupos-geradores foram instalados para o sistema auxiliar adicional .

1979. Modernização dos Quadros de Comando e Controle das 4 estações do Sistema Pneumático de Irradiação de Amostras .

1985-1986. Programa de modernização para o projeto de três módulos da Mesa de Controle do reator :

1. Módulo para Medição do Período .
2. Módulo Amplificador de Corrente para os canais de Segurança 1, 2 e 3 .
3. Módulo da Fonte de Alta Tensão para os detectores Nucleares do reator .

1987 -1988. Separação das áreas internas do prédio do reator com a criação de áreas quentes e frias em termos de radiação, construção de antecâmaras de acesso, construção de um duto vertical de transferência de material irradiado, instalação de uma Torre de Resfriamento nova e revisão nos geradores de emergência .

1991. Construção de Blindagem de retratamento de água da piscina .

1994. Programa de Modernização para a instalação de nova instrumentação para registro da Vazão do Circuito Primário e do Circuito Secundário e do Delta-P, assim como dos registros de 20 pontos de temperatura fazendo uso de Instrumentação Digital Industrial .

1995. Neste ano foram feitas as seguintes modificações :

1. Troca da tubulação do Circuito Secundário (Trocador de Calor) devido ao problema de corrosão .
2. Projeto-5 Mw , visa a reforma e a introdução de novos sistemas, componentes e estruturas do reator de maneira a adequá-lo para operação contínua num nível de potência de 5 Mw.

As adequações visam atender à substituição dos itens devido ao envelhecimento e, principalmente, atender os requisitos de certificação da instalação junto à CNEN .

O objetivo desse aumento da potência do reator é atender a demanda de radioisótopos que são importados atualmente , (Mo-98, I-131, Sm-153, P-32) a um nível de fluxo de $10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$, compreendendo os seguintes subprojetos :

- Sistema de Combate a Incêndio, de Resfriamento, de Exaustão, Elétrico, de Resfriamento de Emergência, de Camada Quente, de Monitoração de alarmes, além da

reforma da Tubulação do Tanque de Drenagem e o Projeto do Núcleo para 5 Mw .

- A Modernização visa atualizar sistemas, estruturas, componentes (estocagem de combustível, sistema de controle, sala de controle, etc.) .

1996. Nova Modernização (em estudo) da Mesa de Controle e Instrumentação do reator .

Dentro da modernização está a previsão de aquisição de refletores de Berílio e irradiadores parciais de Berílio (tipo EIBE), para melhorar os níveis de fluxo nas posições de irradiação [1] [4].

RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUAR EM OPERAÇÃO

O alto custo do capital para substituir as instalações nos reatores de pesquisas fornece forte incentivo para assegurar a continuação da operação destes.

No entanto o primeiro requisito importante da operação é que o reator de pesquisa deve estar capacitado para cumprir com suas metas ou objetivos de segurança a qualquer hora, independente da antiguidade ou de outras considerações.

Dessa forma se esses objetivos não podem ser satisfeitos ou alcançados por qualquer razão o reator deve ser posto fora de serviço, independente da sua idade.

A maioria dos reatores de pesquisas em operação atualmente foram construídos entre 1950 e 1960 e tem sido submetidos a algum tipo de modernização em um ou mais dos seus sistemas entre 1970 e 1980.

Esse projetos de modificações tiveram como base principalmente estudos de modernização e Ageing.

As palavras "extensão (do ciclo) de vida" ou do "tempo de vida" não se aplicam aos reatores de pesquisa.

Com o intuito de avaliar a continuação da operação de um reator de pesquisas do ponto de vista da segurança, devem-ser seguidas as etapas de :

-Revisão da segurança do reator adaptado para conhecer-se a situação atual dos sistemas, considerando o desgaste devido ao Ageing e outros mecanismos específicos.

-Estudo das necessidades de modernização, estabelecendo uma lista dos sistemas e componentes categorizando-os e priorizando-os.

-Seleção de componentes críticos e identificação do mecanismo de Ageing relevante à uma avaliação preliminar dos itens críticos.

-Estabelecimento da viabilidade técnica e econômica do programa de modernização.

-Identificação de estudos e inspeções futuras para aprimorar a avaliação preliminar, podendo usar resultados de Probabilidade de Risco para tais refinamentos [2] [4].

REFERÊNCIAS

[1] Fulfaro R., Sousa J.A., Nastasi M.J.C. , Vinhas L.A., and Lima F.W., **Experience and research with the IEA-R1 Brazilian Reactor** , Publicação IPEN 43, Junho,1982

[2] IAEA-TECDOC No.792 , **Management of Ageing in Nuclear Research Reactor** , March, 1995 .

[3] Instituto de Energia Atômica. **Relatório de Análise de Segurança do IEA-R1 modificado**, São Paulo, Maio de 1974 .

[4] IPEN_CNEN/SP ,**Livro de Registro de Manutenção e Operação do reator IEA-R1**, período de1971 até 1996 .

ABSTRACT

The IEA-R1 reactor of IPEN-CNEN/SP (Comissão Nacional de Energia Nuclear), of São Paulo, Brasil a lightwater moderated swimming-pool research reactor of MTR type, went critical for the first time on September, 16, 1957 . In a general way, in these thirty eight years the reactor has been used practically without interruption by users of IPEN, of others Institutes and of industrial organizations as well . The several scientific papers developed in the field of basic and applied research have been used for personnel training purpose such as master and doctoral thesis publications . Several replacements of instrumentation and equipment (improvements) were introduced during this period, the two more important occurring in the first modernization period (1974 - 1978) and in the first refurbishment program period (1987 - 1988) .

The IEA-R1 reactor has been shut-down for a total of 18 months due to important works of replacements and refurbishment of the primary and secondary piping, pool lining, control console, radiation monitoring, cooling tower, electrical improvements, ..etc .

This paper is aimed at describing the main works performed on the IEA-R1 reactor during its life concerning replacements, upgrading and modernization of reactor equipment and installations and give recommendations, measurements and guidelines in order to continue the management of Ageing .[1] .

APÊNDICE

Tabela Cronológica dos Principais Trabalhos de Modificação e Modernização do Reator IEA-R1

ANO	POTÊNCIA	TEMPO SEM OPERAR	TIPO DE TRABALHO
1957	00		Primeira Criticalidade (16 Setembro 1957) .
1958 - 1960	1 MW		Operação em Potência Nominal .
1970	2 MW		Operação em Potência Nominal .
1971	2 MW		Alterações no Sistema de Ventilação do prédio do Reator .
1974	Reator desligado	6 meses	1. Ampliação do Circuito de Resfriamento do reator . 2. Reformulação do Sistema Elétrico de Alimentação com a instalação de grupos Moto-Geradores diesel .
1979	2 MW		Modernização do sistema de Comando das Estações Pneumáticas para Irradiação de Amostras .
1977 - 1978	Reator desligado	8 meses	1. Substituição do revestimento original de azulejos das paredes da piscina por chapa de aço inoxidável . 2. Substituição da mesa original de Instrumentação e Controle do reator .
1985 - 1986	2 MW		Programa de modernização para três módulos da mesa de Controle do reator : 1. Módulo para Medição do Período . 2. Módulo Amplificador de Corrente para os Canais de Segurança 1, 2 e 3 3. Módulo da Fonte de Alimentação de Alta tensão para os detectores nucleares do reator .
1987 - 1988	Reator desligado	3 meses	1. Separação das áreas internas do prédio do reator . 2. Construção de Antecâmaras de Acesso . 3. Nova Torre de Resfriamento . 4. Revisão dos Grupos-geradores de Emergência.
1991	Reator desligado	3 semanas	Construção de blindagem para o sistema de retratamento de água da piscina .
1994			1. Instalação de nova instrumentação para registro de Vazões e Delta-P . 2. Instalação de novo instrumento para Registro de 20 pontos de temperatura .
1995	Reator desligado	1 mes	1. Troca da tubulação do Circuito Secundário devido ao problema de corrosão . 2. Início do Projeto de Adequação do reator para operar em regime contínuo a 5 Mw .
1996	2 MW (regime de operação contínua de 60h/sem)		Nova modernização (em estudo) do reator