

ESTUDO DE SISTEMAS PARA REMOÇÃO DE IMPUREZAS DA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1

FASE I: PROJETO DO CIRCUITO EXPERIMENTAL

Miriam A. Cegalla, Benedito Dias Baptista Filho e Omar C. Félix

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Com o objetivo de estudar a configuração ótima de sistemas para remoção de impurezas da água da piscina do reator IEA-R1 e, estabelecer um programa de controle de qualidade da água para as novas condições de operação do reator, na potência de 5MW e tempo de operação de 120 horas semanais, foi idealizado um circuito experimental empregando métodos estatísticos de projeto de experimentos.

I. INTRODUÇÃO

O IEA-R1 é um reator de pesquisa tipo piscina, moderado e refrigerado por água desmineralizada, a qual é continuamente purificada através de um sistema de troca iônica, denominado sistema de retratamento. Esse sistema tem como finalidade a manutenção da qualidade da água da piscina do reator, sujeita a contaminações de diferentes tipos, tais como:

- Partículas de poeira, através da superfície livre da piscina.
- Elementos radioativos formados por reações nucleares no alumínio estrutural dos elementos combustíveis.
- Contaminações acidentais, por ruptura de cápsulas, contendo materiais que são irradiados no reator.
- Produtos de fissão, devido a falhas ou contaminação nas placas dos elementos combustíveis.

O reator foi construído entre 1956 e 1957, segundo a regulamentação, códigos de projeto e normas da época [1]. Em decorrência do aumento da demanda de radioisótopos utilizados na produção de radiofármacos, foi iniciado um projeto para aumentar a potência de operação do reator de 2 MW para 5MW e, o tempo de operação para 120 horas semanais. Para isso foi necessária a implantação de novos sistemas de segurança e, a reforma e modernização dos sistemas existentes.

Para as novas condições de operação é previsto um substancial aumento na concentração de radionuclídeos, como o ^{24}Na e o ^{27}Mg . Inicialmente foi idealizada uma nova concepção para o Sistema da Camada Quente, para reduzir as taxas de dose na superfície da piscina, decorrente desses radionuclídeos porém, em função da

preocupação com possíveis aumentos de umidade no saguão da piscina, o projeto desse sistema foi cancelado.

Para acompanhar o impacto dessas alterações nas características radioquímicas da água da piscina foi idealizado um projeto experimental, utilizando métodos estatísticos de projeto de experimentos, que permitisse correlacionar o desempenho do sistema de retratamento da água da piscina com a sua configuração, fornecendo dados de projeto para novos sistemas ou para a correção de eventuais problemas no atual, ao mesmo tempo permitindo um controle mais criterioso das condições da água durante pelo menos os dois primeiros anos de operação a 5 Mw.

Este trabalho, apresenta o desenvolvimento do Circuito Experimental a ser utilizado, para otimizar e aperfeiçoar as características de desempenho do sistema de retratamento da água da piscina do reator, detalhando métodos e arranjo experimental.

O circuito experimental, permitirá estudar diferentes arranjos para o sistema de retratamento da água da piscina do reator IEA-R1, bem como parâmetros operacionais (vazão, volume e tipo de resinas, volume de carvão ativo), de modo a determinar a configuração ótima para a remoção de impurezas da água, para as novas condições de operação do reator, utilizando método estatístico de projeto de experimentos (método de Taguchi [2]).

A qualidade dos resultados a serem obtidos está relacionada com as diversas características do sistema de retratamento (arranjo) a ser estudado: instalações físicas, equipamentos, materiais utilizados, durabilidade, facilidade de operação e manutenção, e custo.

II. SISTEMA DE RETRATAMENTO DA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1

Descrição. O sistema de retratamento da água da piscina do reator IEA-R1 tem como função remover impurezas da água da piscina do reator, mantendo sua qualidade dentro dos limites especificados. As principais características físico-químicas da água da piscina do reator [3] são apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1. Características Físico-Químicas da Água da Piscina do Reator IEA-R1

Parâmetro	Valor
Condutividade	< 2.0 $\mu\text{S/cm}$
pH	5.5 à 6.5
Alumínio	0.02 mg/l
Ferro	0.001 mg/l
Sódio	0,4 mg/l
Cálcio + Magnésio	0,6 mg/l
Cloreto	< 0.2 mg/l

O sistema de retratamento da água da piscina é constituído por duas unidades, das quais uma é mantida em reserva, entrando em operação quando a outra unidade estiver necessitando de regeneração, quando a condutividade da água estiver próxima de 2,0 $\mu\text{S/cm}$. Cada unidade contém um filtro de carvão ativo e um leito misto de resinas de troca iônica.

As resinas utilizadas no sistema de retratamento da água da piscina do reator IEA-R1 são do tipo: catiônica fortemente ácida, na forma R-H e aniônica fortemente básica, na forma R-OH.

Principais contaminantes na água da piscina do reator IEA-R1. As impurezas, que eventualmente estejam presentes na água da piscina, são produtos de corrosão e produtos de fissão. Na TABELA 2 são apresentados os radionuclídeos, que podem ser detectados na água da piscina do reator IEA-R1 e seus respectivos métodos de produção [4, 5].

Os principais radionuclídeos encontrados em reatores tipo piscina, como o IEA-R1, são: ^{16}N , ^{41}Ar , ^{24}Na , ^{27}Mg e ^{28}Al .

O ^{16}N (meia-vida de 7,35 seg.) é formado pela reação do oxigênio da água com nêutrons rápidos. Para diminuir a sua concentração, a água de refrigeração é retida em um "tanque de decaimento" por 74 seg, que equivale a 10 vezes a sua meia-vida, tempo suficiente para reduzir praticamente a zero a sua concentração.

O ^{41}Ar tem sua origem na reação dos nêutrons térmicos com o ^{40}Ar do ar atmosférico e dissolvido na água, $^{40}\text{Ar} (n, \gamma) ^{41}\text{Ar}$. Sendo um gás nobre, o ^{41}Ar é

eliminado através da exaustão adequada do saguão da piscina.

O ^{24}Na e o ^{27}Mg podem ser originados:

- da ativação com nêutrons térmicos dos elementos ^{23}Na e do ^{26}Mg , existentes como impurezas na água da piscina e.
- através de reações de recuo $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ e $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$, que ocorrem no alumínio estrutural dos elementos combustíveis.

O ^{28}Al (meia vida de 2.24 min.) é formado pela reação do ^{27}Al com nêutrons térmicos e a sua concentração na água não é muito elevada.

TABELA 2. Radionuclídeos que podem ser Detectados na Água da Piscina do Reator IEA-R1 e seus respectivos Métodos de Produção.

Radionuclídeo	Método de produção
^{24}Na	$^{23}\text{Na} (n, \gamma)$
^{46}Sc	$^{45}\text{Sc} (n, \gamma)$
^{51}Cr	$^{50}\text{Cr} (n, \gamma)$
^{54}Mn	$^{54}\text{Fe} (n, p)$
^{58}Co	$^{58}\text{Ni} (n, p)$
^{60}Co	$^{59}\text{Co} (n, p)$
^{65}Zn	$^{64}\text{Zn} (n, \gamma)$
^{91}Sr	Fissão
^{91m}Y	Fissão
^{93}Y	Fissão
^{95}Zr	$^{94}\text{Zr} (n, \gamma)$ e fissão
^{95}Nb	Fissão
^{97}Zr	$^{96}\text{Zr} (n, \gamma)$ e fissão
^{97}Nb	Fissão
^{99}Mo	Fissão
^{99m}Tc	Fissão
^{103}Ru	Fissão
^{110m}Ag	$^{109}\text{Ag} (n, \gamma)$
^{121}Te	$^{121}\text{Sb} (p, n)$
^{122}Sb	$^{121}\text{Sb} (p, \gamma)$
^{124}Sb	$^{123}\text{Sb} (p, \gamma)$
^{131}I	Fissão
^{132}I	Fissão
^{132}Te	Fissão
^{133}I	Fissão
^{133}Xe	Fissão
^{135}I	Fissão
^{135}Xe	Fissão
^{140}Ba	Fissão
^{140}La	Fissão
^{141}Ce	Fissão
^{143}Ce	Fissão
^{144}Ce	Fissão
^{147}Nd	Fissão
^{187}W	$^{186}\text{W} (n, \gamma)$
^{239}Nd	$^{238}\text{U} (n, \gamma)$

III. MÉTODO DE PROJETO DE EXPERIMENTOS

O propósito da experimentação consiste na redução do processo, podendo ser tomadas decisões quanto aos parâmetros que afetam o desempenho do processo.

Para o desenvolvimento do Circuito Experimental utilizou-se os conceitos do Método de Taguchi, definindo parâmetros de otimização e planejando o experimento para variar os fatores que influenciam tais parâmetros.

Para exemplificar a abordagem adotada considerase, como um primeiro parâmetro de otimização a "eficiência de retenção do ^{24}Na ", e todos os fatores que influenciam esse parâmetro.

A "eficiência de retenção do ^{24}Na " ($\epsilon_{24\text{Na}}$) é definida pela Equação (1).

$$\epsilon_{24\text{Na}} = \frac{C_{\text{entrada}}^{24\text{Na}} - C_{\text{saída}}^{24\text{Na}}}{C_{\text{entrada}}^{24\text{Na}}} \quad (1)$$

onde, $C_{\text{entrada}}^{24\text{Na}}$ corresponde a concentração de ^{24}Na na água da piscina antes de circular através do Circuito Experimental, e $C_{\text{saída}}^{24\text{Na}}$ corresponde a concentração de ^{24}Na na água da piscina após circular através do Circuito Experimental.

A questão é como atingir a máxima "eficiência de retenção do ^{24}Na " alterando um mínimo de fatores

selecionados. Todos os fatores que influenciam a "eficiência de retenção do ^{24}Na " foram avaliados e selecionados.

A TABELA 3 apresenta as combinações possíveis dos fatores e dos níveis. O Método de Taguchi permite que um número mínimo de combinações possíveis sejam ensaiadas. Portanto não é necessário estimar todos os efeitos dos fatores e todas as possíveis interações, o que acarretaria um número elevado de ensaios.

Outro parâmetro de otimização que pode ser avaliado é a "capacidade de retenção para o ^{24}Na " ($CR_{24\text{Na}}$), definido pela Equação (2).

$$CR_{24\text{Na}} = \frac{\mu \text{Ci } ^{24}\text{Na}}{\text{litros resina}} \quad (2)$$

onde, $\mu \text{Ci } ^{24}\text{Na}$ corresponde a atividade do ^{24}Na na água da piscina. Do mesmo modo, a questão é como atingir a máxima saturação para a retenção do ^{24}Na alterando fatores selecionados. E assim outros parâmetros podem ser otimizados.

O Circuito Experimental foi idealizado para permitir a variação desses fatores em pelos menos dois níveis.

TABELA 3. Fatores que influenciam a "Eficiência de Retenção do ^{24}Na " (Parâmetro de Otimização).

FATORES	NIVEIS		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Configuração	Somente leito misto	Leito misto, amônico e catiônico	Com leito de carvão ativo
Tipo de Resina (Fornecedores/ Qualidade)	Resina 1	Resina 2	Resina 3
Taxa Operacional	Capacidade de troca mínima	Capacidade de troca média	Capacidade de troca máxima
Volume de Resina	Volume 1	Volume 2	Volume 3

IV. CIRCUITO EXPERIMENTAL

Crêterios[6, 7]. Na montagem do Circuito Experimental, concebido para permitir a variação dos fatores descritos acima, foram considerados os seguintes critérios:

1. O arranjo do circuito experimental é modular de modo a facilitar a montagem e a operação do circuito, permitindo testar diferentes configurações para a remoção de impurezas da água da piscina e parâmetros operacionais.

2. Os materiais utilizados na montagem do circuito experimental são compatíveis com as características da água da piscina do reator IEA-R1.

3. A água captada da piscina durante os experimentos, retorna para a piscina.

4. O material utilizado na construção do circuito experimental é de PVC ou similar.

5. O circuito experimental está localizado no Saguão da piscina do prédio do reator IEA-R1.

6. A água da piscina é água desmineralizada cujas características são apresentadas na TABELA 1.

7. O sistema apresenta dois pontos para a tomada de amostras de água, um na entrada e outro na saída do circuito experimental.

8. No decorrer da operação do circuito experimental, o nível de atividade (taxa de dose) nos leitos de resina e no filtro de carvão ativo são monitorados.

9. O material utilizado em cada experimento (resinas, carvão ativo ou similares) deverá receber tratamento adequado, de acordo com a caracterização dos mesmos.

10. O circuito experimental não dispõe de sistemas, normalmente utilizados para o tratamento de resinas exauridas (regeneração) e de carvão ativo (retro-lavagem).

11. A montagem e a operação do circuito experimental não interfere com a operação normal do reator.

Descrição. A Figura 1, apresenta o esquema do circuito experimental, constituído por:

- Quatro vasos, que contem carvão ativo e resinas de troca iônica (catiônica, aniônica e mista). O número de vasos em cada experimento depende do arranjo proposto.
- Uma bomba para circular a água da piscina através do circuito experimental.
- Válvulas de isolamento e para regular a vazão através do circuito experimental.
- Um filtro tipo CUNO, instalado na linha de retorno da água do circuito para a piscina, para evitar a fuga de resinas ou carvão ativo do circuito experimental para a piscina.
- Um rotâmetro, para monitorar a vazão através do circuito experimental.

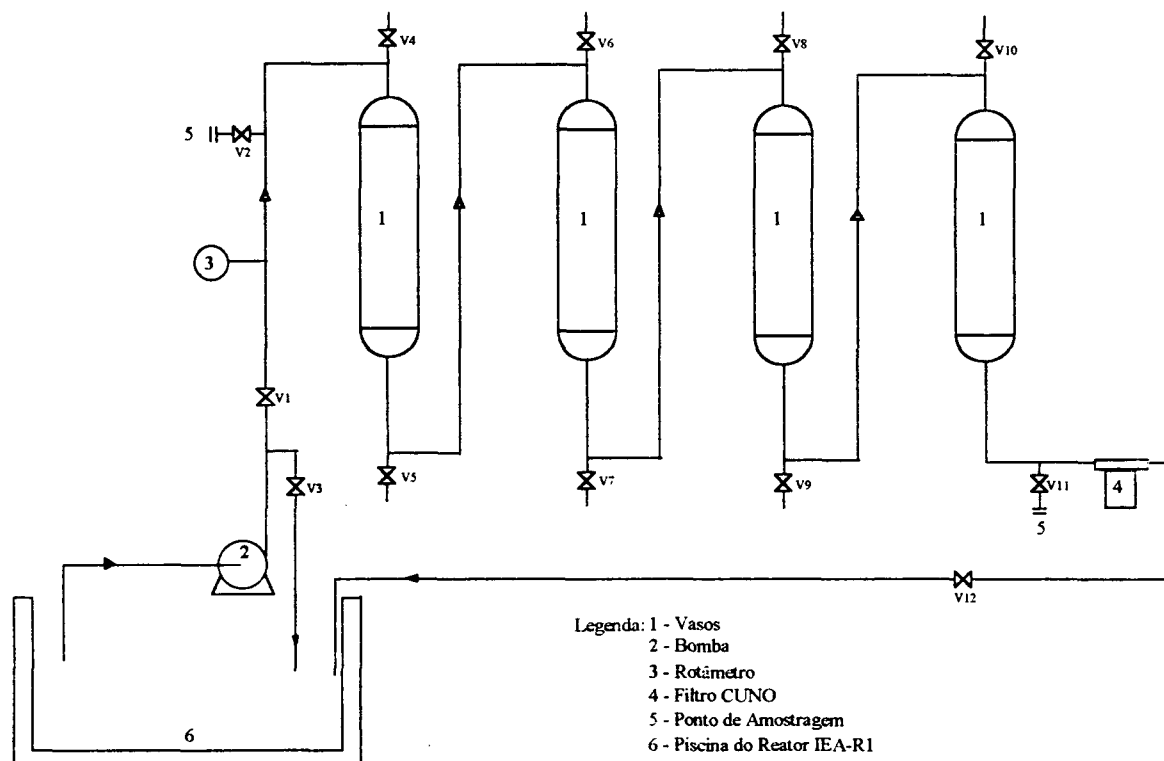


Figura 1. Esquema do Circuito Experimental

Características dos Equipamentos. As principais características operacionais dos equipamentos que constituem o Circuito Experimental são:

1. Dimensões dos Vasos:

Altura	1000 mm
Diâmetro externo	76,2 mm
Diâmetro interno	65,2 mm

2. Bomba:

Vazão	200 litros/hora
Velocidade	3500 rpm
Potência	0,5 CV
AMT	5 metros

3. Filtro CUNO:

Elemento Filtrante

Tipo	Cartucho
Modelo	Micro Wynd II
Grau de filtragem	1 micra
Manta	Fio de Algodão

Operação do Circuito Experimental. A operação do Circuito Experimental é manual.

A bomba (2) realiza a circulação da água da piscina através dos vasos (1) e o seu retorno para a piscina. As

válvulas VI e V3 permitem regular a vazão através do circuito.

Continuamente é monitorado o nível de atividade nos leitos de resina. A verificação da qualidade da água é realizada através da coleta de amostras em dois pontos do circuito, pontos de amostragem (5).

A coleta de amostra de água é realizada com o circuito experimental em operação. Os recipientes de amostragem devem ser feitos de materiais que não contaminem a amostra (de vidro quimicamente resistentes ou de polietileno). As amostras de água serão encaminhadas para o Laboratório, onde serão determinadas: a condutividade, o pH, a concentração de cloreto, a concentração de radionuclídeos, e outros parâmetros que venham a ser necessários com o desenvolver dos experimentos.

Ao término de cada experimento amostras das resinas serão analisadas.

CONCLUSÃO

A operação do Circuito Experimental fornece informações que permitem determinar a configuração ótima para remoção de impurezas da água da piscina do reator IEA-R1 e estabelecer um programa de controle de qualidade da água para as novas condições de operação do reator.

Abstract. With the objective of studying the excellent configuration of systems for the removal of water impurities from the pool of the IEA-R1 reactor and establish a water quality control program for the new operational condition of the reactor, at the power of 5MW and 120 hours of weekly operation time, it was idealized

an experimental circuit using statistical methods of experimental designs.

REFERÊNCIAS

- [1] The BABCOCK & WILCOX CO., **Open Pool Research Reactor - Instruction Book: 600-0037**, Aug. 1957.
- [2] Ross, P.J., **Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia de Qualidade**. São Paulo: Mkron, McGraw-Hill, 1991.
- [3] Paqualeto, H. and Batista, J., **Sistema de Água Desmineralizada do Reator IEA-R1**. Manual de Operação. Inspeções e Testes do Reator IEA-R1, 1980.
- [4] Lima, F.W., Abrão, A., Tognoli, L. and Pagano, C., **Fission Products in the Cooling Water of the Brazilian Swimming Pool Reactor**. 2nd International Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Session B-12, P/2256, Volume 10, p 532-538. September 1958.
- [5] Mancuso, R.V., and Ulinski, J.A., **Identification of Radioactive Isotopes in Reactor Pool Water**. AJP Volume 41/ 409, p 405 - 409. March 1973.
- [6] Feeney, E., **The Use of Ion Exchange Resin in the Nuclear Industry**, ROHM and HAAS COMPANY, 21st ANNUAL LIBERTY BELL CORROSION COURSE. Water and Waste Treatment Technology, September 21, 22, 23, 1983.
- [7] Davies, V. R., **Operação e Manutenção de Equipamentos de Troca Iônica**. ROHM and HAAS COMPANY, 2^a Edição, 1990.