

# CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1

Miriam A. Cegalla, Antonio J. Sara Neto e Edison S. Longo

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

## RESUMO

O trabalho tem por objetivo a compilação dos resultados obtidos na monitoração da qualidade da água da piscina do reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP, em regime de operação normal. O período considerado, foi anterior à reforma e modernização dos sistemas existentes e as implantações de novos sistemas de segurança, que visaram o aumento de potência do reator de 2 MW para 5MW e do tempo de operação para 100 horas semanais.

**Palavras-Chave:** Reator IEA-R1, Química da Água, Operação de Reatores, Reator tipo Piscina.

## I. INTRODUÇÃO

Dos reatores nucleares em operação, a maioria utiliza a água como meio refrigerante, que não funciona somente como meio de transporte de calor do núcleo do reator, mas também como moderador dos nêutrons de fissão. Nas condições de operação do reator a água pode tornar-se uma substância agressiva, não devendo contudo afetar a operação normal e nem causar problemas de corrosão dos materiais de construção.

O controle de qualidade da água de refrigeração permite minimizar: a taxa de desgaste dos materiais metálicos, o depósito de produtos de corrosão nos elementos combustíveis e o nível de contaminação.

Os mecanismos de transporte de produtos de corrosão possíveis de ocorrer são: (1) produtos de corrosão do material estrutural ativado são dissolvidos no refrigerante e depositados fora do núcleo; (2) produtos de corrosão de componentes fora do núcleo são dissolvidos no refrigerante e depositados nas superfícies sujeitas ao campo de radiação de nêutrons, e transportados após diferentes tempos de exposição para componentes fora do núcleo; (3) produtos de corrosão no refrigerante são ativados no campo de nêutrons e depositados fora do campo de ativação.

O reator IEA-R1 é do tipo piscina, moderado e refrigerado por água leve e desmineralizada (fornecida pelo sistema de tratamento), a qual é continuamente purificada através de um sistema de troca iônica (sistema de retratamento). Em operação normal, os sistemas de

tratamento de água devem atender as especificações de qualidade da água da piscina do reator IEA-R1 [1].

Esses parâmetros definem as condições que devem ser mantidas durante a operação normal do reator. Desvios dos valores podem necessariamente não causar danos imediatos ou consequências graves, mas indicam a existência de algum problema. No caso da ocorrência de desvios, medidas corretivas devem ser tomadas e as causas investigadas.

O trabalho apresentará a evolução dos valores medidos do pH, da condutividade, da concentração de cloretos e de radionuclídeos em amostras de água da piscina do reator, operando a uma potência de 2 MW, bem como comentários e ações tomadas decorrentes de alterações observadas das especificações da qualidade da água da piscina do reator IEA-R1.

## II. TRATAMENTO DA ÁGUA DO REATOR IEA-R1

**Sistema de Tratamento.** O sistema de tratamento da água do reator IEA-R1 tem como função a produção de água desmineralizada para abastecer a piscina do reator, completando o seu nível decorrente de perdas, tais como, evaporação superficial e gotejamento através das gaxetas das bombas hidráulicas.

O sistema é suprido com água potável, proveniente da rede normal de abastecimento de água do prédio do reator. Sendo constituído por uma unidade de

abrandamento (“Softner”), um filtro de carvão ativo e dois leitos mistos de resina, dos quais um é mantido em reserva, entrando em operação quando um leito estiver necessitando de regeneração.

**Sistema de Retratamento.** 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 (Tab. 1).

O sistema de retratamento é constituído por duas unidades, uma é mantida em reserva, entrando em operação quando a outra unidade estiver necessitando de regeneração. Cada unidade contém um filtro de carvão ativo e um leito misto de resinas de troca iônica.

**Resinas.** As resinas utilizadas nos sistemas de tratamento da água do reator IEA-R1 são do tipo: catiônica fortemente ácida, na forma R-H e aniônica fortemente básica, na forma R-OH.

**Coleta de amostras.** Tanto a coleta quanto as análises das amostras de água da piscina são realizadas de acordo com procedimentos preestabelecidos [2, 3].

A determinação do pH, da condutividade e da concentração de cloreto são realizados diariamente com o reator em operação. A coleta de amostra de água da piscina para a análise radiométrica é realizada semanalmente e logo após o desligamento do reator. O laboratório de Monitoração Ambiental do IPEN é responsável pela execução da análise radiométrica.

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

Condutividade	< 2,0 $\mu$ S/cm
pH à 25°C	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

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos na monitoração da água da piscina do reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP, o período considerado foi de janeiro de 1995 a julho de 1997.

A partir de novembro de 1995, o regime de operação do reator IEA-R1, foi alterado de 8 horas diárias para 60 horas semanais contínuas de operação, a 2 Mw de potência. Em de julho de 1997 as atividades foram interrompidas, e iniciados os trabalhos de reforma e modernização no reator, visando o aumento de potência e o tempo de operação.

**Características físico-químicas.** O comportamento dos valores medidos do pH, da condutividade e da concentração de cloreto na água da piscina do reator IEA-R1, podem ser observados nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

O aumento da condutividade é uma indicação do aumento inadmissível da concentração de sais dissolvidos no refrigerante do reator. A causa mais provável para o aumento da condutividade é a entrada de sais através da água de reposição (sistema de tratamento) ou do sistema de retratamento. A eficiência dos leitos de resina são monitorados medindo-se a condutividade da água na saída dos leitos de resina, devendo ser regenerados quando a condutividade estiver próxima de 2,0  $\mu$ S/cm.

O valor especificado do pH, nas condições de operação do reator, fornece uma condição química favorável para a formação de camadas protetoras sobre a superfície metálica, reduzindo as taxas de liberação do metal.

Quanto mais baixa a concentração de cloreto no refrigerante do reator, menor a probabilidade de ocorrência de formas seletivas de corrosão.

Da análise dos gráficos verifica-se que os valores medidos encontram-se dentro dos limites especificados para operação do reator (Tab. 1).

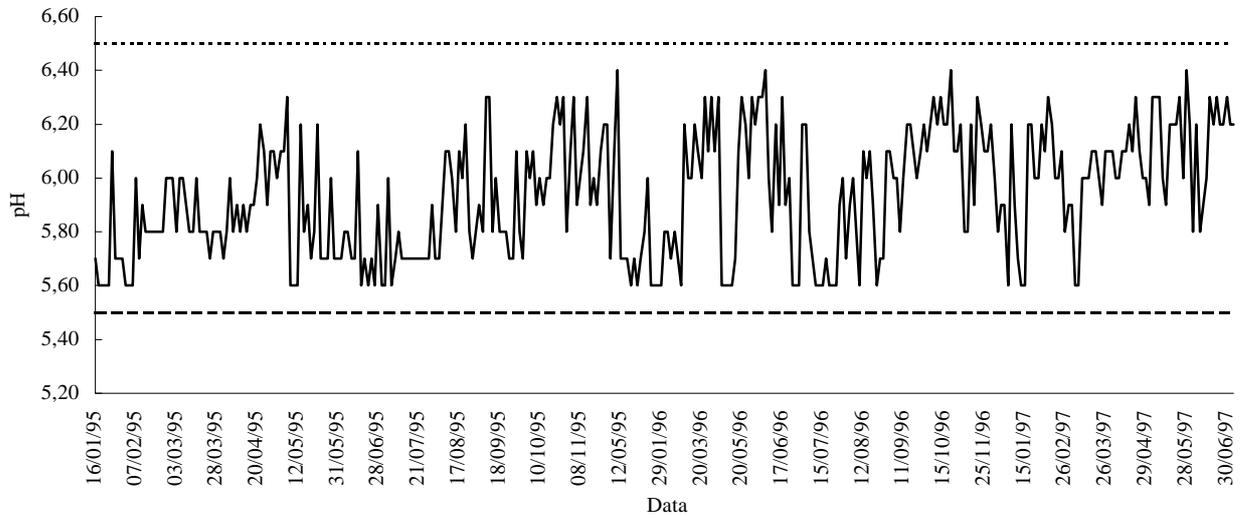


Figura 1. pH da água da piscina do reator IEA-R1, valores medidos em janeiro de 1995 a julho de 1997.  
Limite Operacional: 5,5 - 6,5.

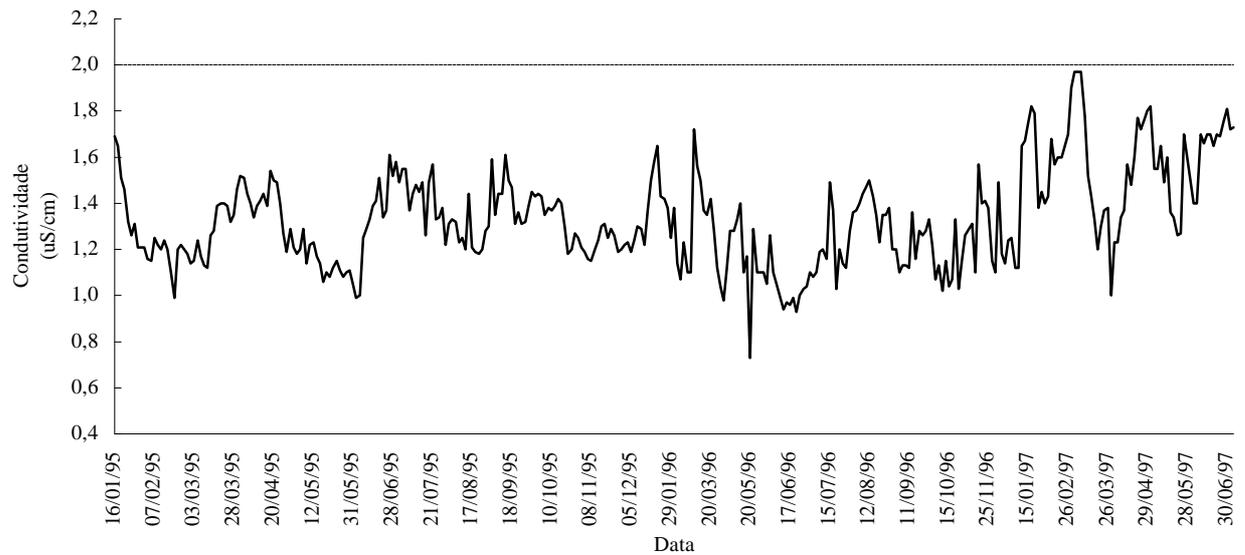


Figura 2. Condutividade da água da piscina do reator IEA-R1, valores medidos em janeiro de 1995 a julho de 1997.  
Limite Operacional:  $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

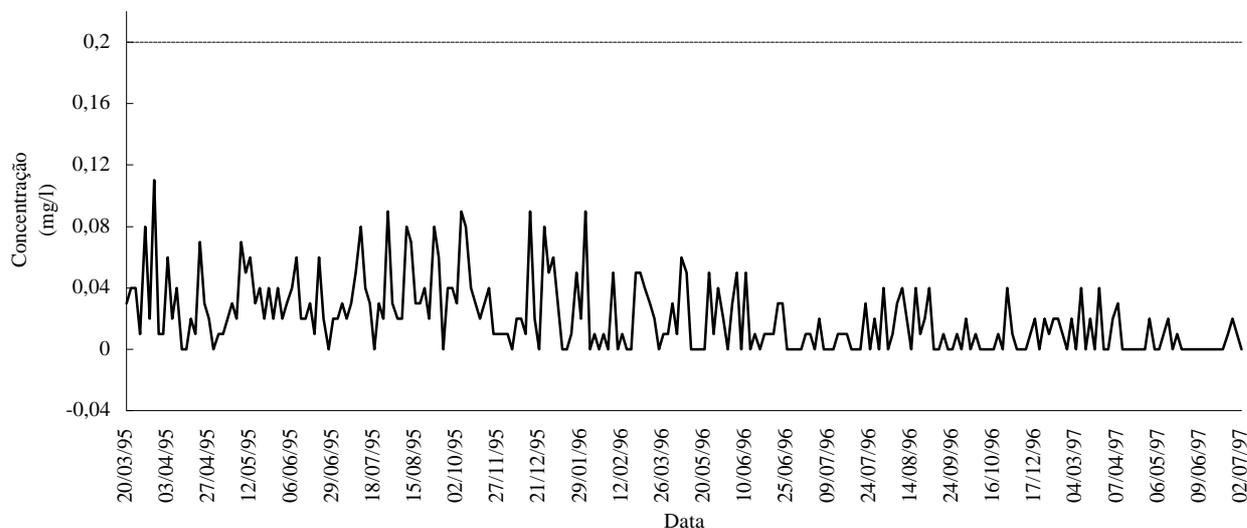


Figura 3. Concentração de cloreto na água da piscina do reator IEA-R1, valores medidos em março de 1995 a julho de 1997. Limite Operacional: < 0,2 mg/l.

**Características Radioquímicas.** A água da piscina do reator IEA-R1 pode ser contaminada por: partículas de poeira (através da superfície livre da piscina); elementos radioativos formados por reações nucleares no alumínio estrutural dos elementos combustíveis; ruptura de cápsulas, contendo materiais que são irradiados no reator; e produtos de fissão, devido a falhas ou contaminação nas placas dos elementos combustíveis. O sistema de retratamento é responsável pela remoção dos produtos de fissão e de ativação, de modo a limitar a um valor mínimo a contaminação e a taxa de dose na superfície da piscina.

Na Tab. 2 tem-se as concentrações de atividade dos radionuclídeos encontrados nas amostras da água da piscina do reator IEA-R1, apenas quando observaram-se alterações com relação a análises anteriores. Além dos radionuclídeos identificados e suas respectivas concentrações, a tabela indica os radionuclídeos que poderiam ser provenientes das fissões [4] e aqueles que são normalmente utilizados como indicadores de vazamentos/falhas dos elementos combustíveis em reatores tipo PWR [5].

O Na-24 é produto de ativação do material estrutural, podendo ter duas origens distintas: (a) pela ativação com nêutrons térmicos do Na-23, existente como impureza na água da piscina e, (b) através da reação de recuo  $^{27}\text{Al} (n, \alpha) ^{24}\text{Na}$  que ocorre no alumínio estrutural dos elementos combustíveis.

Os produtos de fissão podem ser liberados para a piscina através: da liberação contínua por um pequeno defeito no encamisamento do elemento combustível, ou da liberação instantânea por uma ruptura do elemento combustível. Os radionuclídeos determinantes da ocorrência de rompimento do revestimento do elemento

combustível são o Kr-85, Xe-135 e o I-131, apenas o último foi detectado na água da piscina.

Quando o regime de operação do reator foi alterado de 8 horas diárias para 60 horas semanais (29/11/95), observou-se um aumento da concentração de determinados radionuclídeos na água da piscina do reator, permanecendo abaixo dos limites estabelecidos para o reator IEA-R1.

Os radionuclídeos Cr-51 e Ba-140 começaram a ser observados a partir 15/05/96, e suas concentrações permaneceram em níveis equivalentes no decorrer das análises. É possível que esses radionuclídeos já estivessem presentes em amostras anteriores, quando o reator não operava em regime de 60 horas semanais contínuas, e em concentrações abaixo do limite de detecção do método de análise radiométrica utilizado.

No período de 11 de junho à 13 de junho de 1996 o reator operou a 5 MW, concluindo-se uma das etapas para o aumento da potência de operação do reator de 2MW para 5 MW, neste caso observou-se o aumento da concentração de determinados radionuclídeos, principalmente do I-133 e Np-239, que são indicadores da presença de elemento combustível com falha no núcleo do reator. Como não foram detectados a presença do Kr-85 e do Xe-135, e os elementos combustíveis passaram por inspeção visual em junho de 1996, após o experimento a 5 MW, não apresentando sinais de falhas ou corrosão nas superfícies de suas placas combustíveis externas, não foi possível concluir a presença ou não de elemento combustível com falha no núcleo do reator.

A Figura 4 apresenta a variação das concentrações do I-131, I-133, Cs-137, Ba140 e Np-239 (indicadores de elemento combustível com falha) ocorrida no período de janeiro/95 à julho/97. As curvas apresentam

comportamento irregular e distinto entre si, observa-se que as concentrações dos radionuclídeos permanecem abaixo

dos limites estabelecidos para o reator IEA-R1.

TABELA 2. Concentração de Radionuclídeos na Água da Piscina do Reator IEA-R1.

Radio-nuclídeo	Concentração (Bq/l)										Produto de Fissão	Indicador de Falhas
	1995				1996				1997			
	20/01	27/10	29/11	20/12	15/05	05/06	13/06	19/06	29/01	02/07		
Na-24	2,1E4	2,5E4	7,0E4	8,6E4	8,8E4	9,3E4	2,0E5	7,5E2	7,2E4	7,6E4	não	não
Cr-51	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	6,6E1	9,8E1	1,3E2	1,0E2	6,3E1	7,5E1	não	não
Co-58	3,2E1	7,3E1	7,2E1	6,4E1	7,2E1	4,9E1	6,6E1	5,2E1	6,3E1	7,6E1	não	não
Co-60	4,0E2	5,6E2	3,1E2	2,9E2	5,2E2	2,8E2	2,5E2	2,3E2	3,9E2	4,2E2	não	não
Mo-99	3,3E1	3,6E1	7,4E1	6,4E1	6,3E1	8,5E1	1,6E2	9,2E1	7,5E1	9,2E1	sim	não
Te-132	2,4E1	2,8E1	5,9E1	5,8E1	4,6E1	5,6E1	1,1E2	8,0E1	6,9E1	5,4E1	sim	não
I-131	2,9E1	2,5E1	3,9E1	4,6E1	3,7E1	4,3E1	7,5E1	4,5E1	3,8E1	3,9E1	sim	sim
I-133	1,1E2	1,3E2	2,2E2	3,4E2	2,0E2	2,3E2	4,3E2	2,2E2	2,3E2	2,1E2	sim	sim
Cs-137	9,0E0	9,0E0	1,0E0	4,0E0	5,0E0	3,0E0	4,0E0	2,0E0	3,5E0	2,7E0	sim	sim
Ba-140	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	4,3E1	4,7E1	7,4E1	1,2E2	3,5E1	4,3E1	sim	sim
W-187	5,5E2	6,0E2	1,3E3	1,3E3	1,2E2	1,5E3	2,2E3	1,2E3	8,8E2	6,7E2	não	não
Np-239	2,6E2	1,9E2	5,7E2	6,5E2	5,5E2	6,8E2	1,1E3	6,1E2	3,4E2	2,8E2	não	sim

a. ND = Não Detectável.

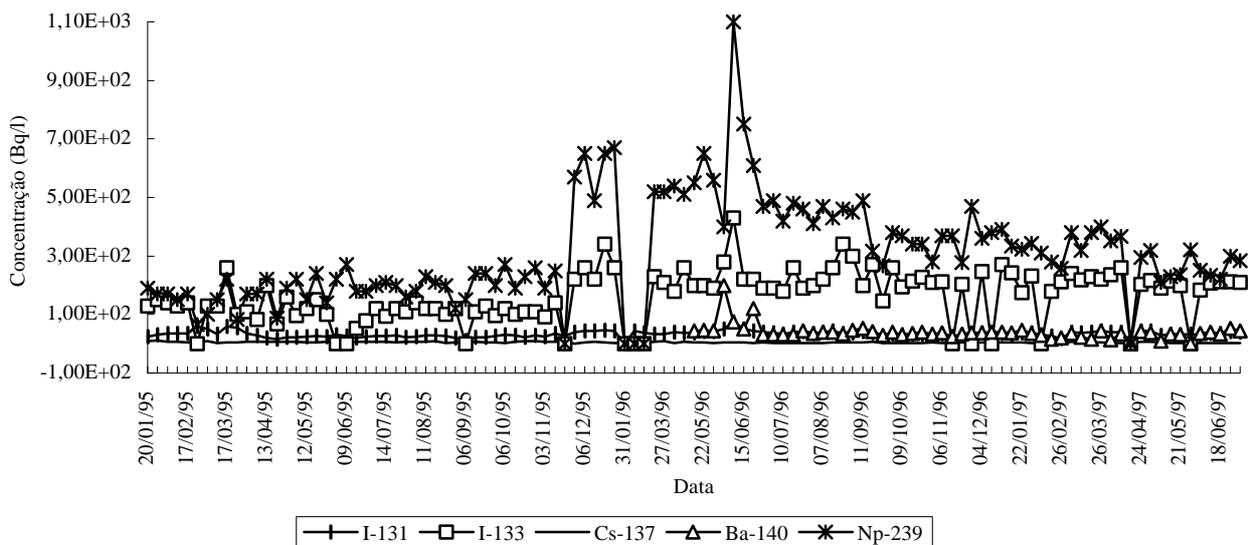


Figura 4. Concentração de radionuclídeos detectados na água da piscina do reator IEA-R1.

Concentração limite [6]:  
 I -131 = 2,2E3 Bq/l.  
 I -133 = 7,4E3 Bq/l.  
 Cs-137 = 1,5E4 Bq/l.  
 Ba-140 = 1,9E5 Bq/l.

Np-239 = 1,5E5 Bq/l.

#### IV. CONCLUSÃO

A confiabilidade e a operação segura de vários sistemas do reator está diretamente relacionada com o controle de qualidade da água de refrigeração.

É importante que os operadores tenham conhecimento do significado dos limites especificados, a fim de fornecer subsídios aos responsáveis pela manutenção dos sistemas de tratamento de água, para que possam manter a qualidade da água de refrigeração sempre em excelentes condições, durante o período de operação do reator.

Agradecimentos. A colaboração dos técnicos responsáveis pela operação do reator IEA-R1.

#### REFERÊNCIAS

- [1] **“Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1m”**, IPEN-CNEN/SP, 1997.
- [2] **“Análise da Qualidade da Água da Piscina do Reator IEA-R1 - Rotina de Operação”**, Manual de Operação do Reator IEA-R1, IPEN-CNEN/SP, 1989.

[3] Lima, T.C.; Cegalla, M. **“Coleta de Amostra da Água da Piscina do Reator IEA-R1m para Análise Radiométrica - Rotina de Operação”**, Manual de Operação do Reator IEA-R1, IPEN-CNEN/SP, Abril 1998.

[4] MENDONÇA, A.G.; SANTOS, A.; FERREIRA, C.R. **“Inventário fissil”**, Relatório Interno, IPEN-CNEN-SP, Outubro 1988.

[5] **“Onsite Nondestructive Examination Techniques for Irradiated Water-Cooled Power Reactor Fuel”**, IAEA TEC DOC-245, 1981.

[6] **“Part 20, Standards for Protection Against Radiation, Appendix B - Table I”**, Code of Federal Regulations, Title 10 - Energy, Rules and Regulations.

#### ABSTRACT

This paper presents the results of the pool water monitoring program of the IEA-R1 reactor of IPEN/CNEN-SP in normal operation. The considered period was previous to the systems upgrade and modernization for the new reactor operation condition: a power of 5MW and operation time of 100 hours weekly.