

# TRATAMENTO QUÍMICO DA ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO DO CIRCUITO SECUNDÁRIO DO REATOR IEA-R1

Miriam A. Cegalla e Marcos Rodrigues de Carvalho

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Av. Prof. Lineu Prestes 2.242  
05508-000 - Butantã, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

A alteração do regime de operação do reator IEA-R1, do IPEN/CNEN-SP, para 120 horas contínuas, visando atender a demanda de produção de radioisótopos, os quais são utilizados na área médica (diagnósticos e terapias); na indústria e em instituições de pesquisa, acelerou a implantação do programa de manutenção preventiva e corretiva dos sistemas auxiliares do reator. O trabalho apresenta os resultados obtidos no programa de condicionamento químico da água de refrigeração do circuito secundário do reator.

**Keywords:** water chemistry, reactor operation, secondary cooling, corrosion.

## I. INTRODUÇÃO

O reator nuclear de pesquisas IEA-R1 é do tipo piscina, projetado pela "Babcock & Wilcox Company", tendo atingido sua primeira criticalidade em setembro de 1957. O sistema de resfriamento do núcleo do reator compreende o circuito primário, que é responsável pela remoção do calor gerado no núcleo do reator, através da circulação de água desmineralizada; e o circuito secundário, responsável pela dissipação do calor retirado do primário, através de torres de refrigeração [1].

Com a alteração do regime de operação do reator IEA-R1, foram estabelecidos programas de manutenção preventiva e corretiva para o sistema de resfriamento do reator e sistemas conectados. Principalmente, no caso do tratamento químico da água de refrigeração do circuito secundário, considerando-se que as tubulações foram substituídas, devido ao seu avançado estado de corrosão, ocorrido ao longo do tempo.

## II. CIRCUITO SECUNDÁRIO DO REATOR IEA-R1

**Circuito Secundário.** É responsável pela transferência do calor gerado no reator para a atmosfera. O sistema tem capacidade para operação contínua, em qualquer potência até o máximo de 5 MW (térmicos). É constituído por duas unidades similares e em paralelo. Os principais parâmetros de projeto do circuito secundário são apresentados na TABELA 1.

O circuito-A é do projeto original da Babcock & Wilcox e o circuito-B foi instalado na década de 70. Cada unidade apresenta: bomba de recirculação (B1A, B1B), torre de refrigeração (TR-A, TR-B), lado secundário do trocador de calor (TC-A, TC-B), tubulações, válvulas e

instrumentos. A Figura 1 apresenta o fluxograma do circuito secundário [1].

A tubulação do circuito secundário é de aço carbono, não enterrada e foi substituída no início de 1996. O arranjo das tubulações permite utilizar qualquer configuração de bomba, trocador de calor e torre de refrigeração, além da operação simultânea dos dois circuitos.

A monitoração da temperatura é realizada através de termopares instalados em diferentes pontos do circuito secundário, e o sinal é encaminhado para um registrador do tipo multiponto. A monitoração da pressão é feita através de transmissores de pressão.

TABELA 1. Principais Parâmetros de Projeto do Circuito Secundário do Reator IEA-R1

Vazão volumétrica (máx.)	590 m <sup>3</sup> /h
Temperatura de projeto	65,5 °C
Pressão de projeto (tubulação)	6,89 bar (g)
Pressão no trocador de calor TC-1A	5,16 bar (g) (casco)
Pressão no trocador de calor TC-1B	5,16 bar (g)(tubos)
Capacidade térmica (máx.)	5 MW (térmico)

**Torres de Refrigeração.** A função das torres de refrigeração é de dissipar o calor para a atmosfera. Elas estão instaladas em paralelo e podem operar isoladamente ou em conjunto. As torres são do tipo corrente cruzada simples com duas células, e cada célula possui um ventilador para a circulação do ar. As características das torres são apresentadas na TABELA 2.

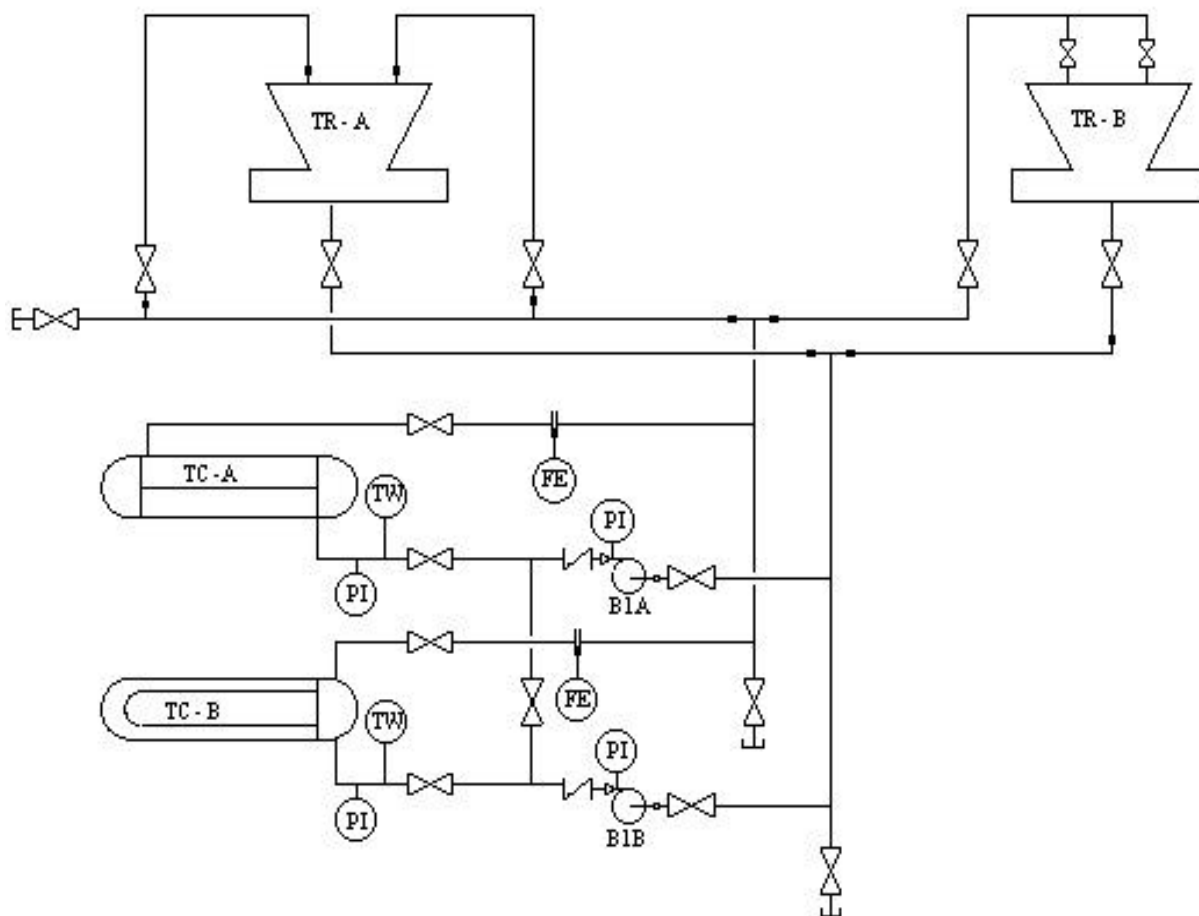


Figura 1. Fluxograma do Circuito Secundário.

TABELA 2. Características das Torres de Refrigeração

Características	Torre TR-A	Torre TR-B
Fabricante	Alpina	Garcia & Bassi
Modelo	2x180/4 - A19 -I	C53SRSF-2C
Carga térmica total	4,33x10 <sup>6</sup> Kcal/h (5 MW)	4,58x10 <sup>6</sup> Kcal/h (5,3 MW)
Volume de água no tanque	200 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>
Vazão de Operação	432 a 590 m <sup>3</sup> /h	432 a 590 m <sup>3</sup> /h
Temperatura de entrada da água	37,5°C	37,5°C
Temperatura de saída da água	27,5°C	29,0°C
Temperatura de bulbo úmido	24,7°C	24,7°C
Ventiladores	30 HP	30 HP

**Sistema de Resfriamento Aberto com Recirculação** [2]. O Sistema de Resfriamento do Circuito Secundário do reator IEA-R1 é do tipo aberto com recirculação. A água de refrigeração aquecida nos trocadores de calor, retorna para a parte superior da torre de refrigeração, e ao cair através do enchimento da torre é dividida em pequenas gotículas. Na queda as gotas são atravessadas pelo fluxo de ar gerado pelos ventiladores. Isto faz com que parte da água seja evaporada e, conseqüentemente, diminui a sua temperatura. Uma parte da água é arrastada sob a forma de

pequenas gotículas pelo fluxo de ar. A água resfriada é armazenada na bacia de água fria, de onde é novamente bombeada para os trocadores de calor.

Como parte da água que evapora não arrasta sólidos dissolvidos, a água em recirculação tende a se concentrar. De maneira que, o número de ciclos de concentração equivale a relação entre a concentração de um componente solúvel na fase líquida do sistema e a concentração deste mesmo componente na corrente de alimentação. Para

compensar as perdas por evaporação, arraste, respingos e purga, o sistema é alimentado com água de reposição.

A água de refrigeração reúne uma série de variáveis que favorecem a oxidação dos metais, podendo ocasionar a corrosão nos feixes tubulares dos trocadores de calor e nas tubulações do sistema. Os sais dissolvidos, sólidos em suspensão existentes na água de refrigeração, em conjunto com características operacionais do sistema, podem provocar o aparecimento de depósitos e incrustações, principalmente sobre a superfície de troca térmica das tubulações dos trocadores de calor.

A qualidade da água de refrigeração, a possibilidade da mesma ser contaminada por substâncias nutrientes para microorganismos, e o fato da torre de refrigeração promover a oxigenação e a insolação da água, originam um meio propício para a proliferação de microorganismos, principalmente algas, bactérias e fungos. Esses microorganismos se depositam ou aderem na superfície em contato com a água, originando um depósito não endurecido denominado “slime”.

Portanto a corrosão, a incrustação e o “slime” formados são os principais problemas que podem ocorrer em um sistema de resfriamento, se a água de refrigeração não receber um tratamento adequado. A dosagem de produtos químicos utilizados no tratamento da água de refrigeração é realizada com base nas perdas totais da fase líquida.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos no programa de condicionamento químico estabelecido para a água de refrigeração do circuito secundário do reator IEA-R1. O período considerado foi de setembro de 2000 à março de 2002, quando as atividades de tratamento da água de refrigeração do circuito secundário foram terceirizadas.

A prestadora de serviço realiza visitas regulares a instalação e executa as seguintes atividades: fornecimento e dosagem de produtos químicos, coleta e análise de amostras da água de refrigeração, instalação e remoção de cupons de prova e assessoria técnica à equipe de operação/manutenção do reator, para corrigir eventuais anomalias. Neste período a torre TR-A encontrava-se em reforma, para substituição do enchimento e reparos na estrutura metálica.

Antes de iniciar o programa de condicionamento químico para a água de refrigeração do circuito secundário

do reator IEA-R1, a torre TR-B foi drenada e submetida a limpeza mecânica.

A água de reposição para as torres, provém da rede normal de abastecimento do IPEN, água potável, fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. Os resultados da análise físico-química da água de reposição são apresentados na TABELA 3.

TABELA 3. Parâmetros Físico-Química da Água de Reposição para as Torres de Refrigeração

Parâmetros	Valor
pH	7,04
Dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	42,0
Alcalinidade total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	25,0
Alcalinidade bicarbonato (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	25,0
Cloretos (mg/l Cl)	21,3
Sólidos totais dissolvidos (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	53,2

A eficiência de um programa de condicionamento químico para a água de refrigeração depende: dos produtos utilizados, da sua correta aplicação, orientação técnica para corrigir eventuais anormalidades. Os produtos utilizados no tratamento da água de refrigeração do circuito secundário do reator IEA-R1, são do tipo: inibidor de corrosão, dispersante de dureza e ferro, e microbiocida.

A TABELA 4 apresenta os valores ideais de parâmetros que são utilizados no controle de qualidade da água de refrigeração. No caso, de algum parâmetro estiver fora dos limites especificados, medidas corretivas devem ser adotadas. Dependendo do parâmetro que estiver fora do valor ideal, o modo de correção a ser adotado pode ser o indicado na TABELA 4.

Periodicamente, são coletadas amostras da água de refrigeração e submetidas à análise físico-química e bacteriológica. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 5. Estes são devidamente avaliados e se for detectada alguma anormalidade, medidas corretivas e preventivas são adotadas. Por exemplo: na análise do dia 11/09/00 o residual de fosfato orgânico na água de refrigeração estava abaixo do limite especificado na TABELA 4, de modo que, foi adicionado dose extra de inibidor de corrosão, para corrigir o teor residual de fosfato orgânico na água de refrigeração.

TABELA 4. Valores Ideais de Parâmetros para a Água de Refrigeração e Modo de Correção

Parâmetros	Valor Ideal	Modo de Correção
pH	7,0 – 8,0	Ajuste do pH
Dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	máximo 300	Dispersante/Purga
Alcalinidade total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	máximo 200	Purga
Cloretos (mg/l Cl)	máximo 142	Purga
Fosfatos (mg/l PO <sub>4</sub> )	10 - 20	Inibidor de Corrosão
Sólidos totais dissolvidos (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	máximo 2000	Purga
Bactérias (col/ml)	máximo 50000	Microbiocida

TABELA 5. Análise Físico-Química e Bacteriológica de Amostras da Água de Refrigeração

Data	pH	Dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Alcalinidade total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Cloretos (mg/l Cl)	Sólidos totais dissolvidos (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Fosfato orgânico (mg/l PO <sub>4</sub> )	Bactérias (col/ml) (E+04)
11/09/00	7,10	274	40	28,4	421	3,5	-
03/10/00	7,12	100	50	42,6	311	6,0	795
23/10/00	7,23	132	75	49,7	387	9,1	-
06/11/00	7,11	134	45	63,9	493	8,4	-
05/12/00	7,21	144	40	63,9	411	10,6	3,58
15/12/00	7,39	150	35	71,0	477	11,9	-
02/01/01	7,22	164	45	49,7	433	10,5	-
17/01/01	7,15	146	35	56,8	394	10,6	2,80
05/02/01	7,26	172	80	71,0	412	11,0	-
19/02/01	7,31	196	100	78,1	613	13,7	-
05/03/01	7,30	168	90	71,0	633	11,6	-
19/03/01	7,44	206	85	85,2	648	12,9	-
02/04/01	7,49	192	80	92,3	685	10,7	-
20/04/01	7,36	170	70	78,1	633	11,0	-
07/05/01	7,30	230	60	78,1	382	12,5	-
21/05/01	7,26	250	85	63,9	369	15,9	2,05
25/06/01	7,37	52	30	14,2	415	6,5	-
13/07/01	7,29	58	45	28,4	431	6,5	-
30/07/01	7,33	178	65	28,4	613	8,1	-
13/08/01	7,18	96	40	42,6	397	10,2	-
27/08/01	7,21	100	45	35,5	497	11,3	-
11/09/01	7,11	112	60	28,4	687	10,9	-
24/09/01	7,20	94	45	35,5	695	11,7	-
08/10/01	7,24	102	50	42,6	689	13,5	-
22/10/01	7,20	98	45	49,7	594	13,0	1,81
05/11/01	7,38	126	70	63,9	639	11,6	-
27/11/01	7,63	154	90	127,8	684	14,3	-
10/12/01	7,69	152	140	85,2	673	15,0	-
21/01/02	7,48	192	100	78,1	633	24,2	-
04/03/02	7,31	194	85	92,3	661	16,2	-

**Taxa de Corrosão.** Para avaliar a taxa de corrosão provocada pela água no circuito secundário, utilizam-se cupons planos de linha metálico, de aço “doce” e de cobre, os quais são colocados na árvore de corrosão instalada na derivação da tubulação da entrada de água fria dos trocadores de calor, TC-A e TC-B, denominados respectivamente, árvore A e árvore B. Na TABELA 6 tem-se as massas específicas dos materiais.

TABELA 6. Massa Específica

Material	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Aço doce	7,86
Cobre	8,91

Em cada árvore são colocados dois cupons de aço e dois de cobre, que permanecem na árvore por um período mínimo de trinta dias. A taxa de corrosão calculada para os cupons encontra-se na TABELA 7.

TABELA 7. Taxa de Corrosão Calculada para os Cupons Instalados no Circuito Secundário

Árvore	Taxa de Corrosão (mpy)			
	Cobre	Cobre	Aço	Aço
A	0,16	0,18	1,27	0,65
A	0,30	0,32	0,66	0,79
A	0,11	0,07	0,72	0,36
B	0,21	0,16	0,56	0,56
B	0,20	0,13	0,26	0,26

Este teste simula satisfatoriamente as condições de serviço da tubulação e permite avaliar o grau de corrosão que eventualmente esteja ocorrendo.

Taxas de corrosão inferiores a 0,13 mmpy são consideradas baixas, e são indicações genéricas de um tempo de vida operacional satisfatório para os materiais testados e expostos na tubulação.

Comparando-se os valores calculados para taxa de corrosão dos cupons, com os limites especificados na literatura (TABELA 8), os cupons de prova apresentam excelente controle de corrosão.

TABELA 8. Relação dos Limites para Taxa de Corrosão dos Cupons com Controle de Corrosão

Controle de Corrosão	Taxa de Corrosão (mpy)	
	Cobre	Aço Doce
Excelente	0 - 1	0 - 2
Bom	1 - 2	2 - 5
Fraco	2 - 3	5 - 8
Pobre	3 - 4	8 - 10
Intolerável	4	10

#### IV. CONCLUSÃO

É recomendável observar, que não existe um tipo universal de tratamento químico para a água de refrigeração. Cada tipo de sistema, equipamento, operação e água requer produtos, e acompanhamento específicos, a fim de obter uma proteção adequada. Além disso, com o problema de racionamento de água, o seu uso deve ser otimizado.

No caso da água de refrigeração do circuito secundário do reator IEA-R1 não receber um tratamento adequado, os problemas que podem ocorrer devido corrosão, incrustação e "slime" são: redução da resistência mecânica dos materiais estruturais do sistema de resfriamento; queda na eficiência dos trocadores de calor; aumento da perda de carga e redução da vazão do sistema; queda na eficiência das torres de refrigeração; adsorção e aumento do consumo de produtos químicos usados no tratamento; deformação ou despreendimento do enchimento das torres de refrigeração, os quais podem ocasionar: parada do processo produtivo para a realização de manutenção nos trocadores de calor, com consequente perda em termos econômico; redução da vida útil dos equipamentos; aumento do consumo de energia no motor da bomba de recirculação e ventiladores.

#### REFERÊNCIAS

[1] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). **Relatório de Análise de Segurança do IEA-R1**, 1974.

[2] DANTAS, E.; **Geração de Vapor e Água de Refrigeração, Falhas – Tratamento - Limpeza Química**, 1992.

#### ABSTRACT

The IEAR1 is a nuclear research reactor used mainly as a neutron source for research and radioisotope production. The produced radioisotopes are used in several research and industrial applications, and in clinics of nuclear medicine, for diagnosis and therapy. The decision was taken to increase the national production of radioisotopes, consequently some modifications were required in the reactor, to increase its power from 2 to 5 MW, and the operating condition from continuous 64 to 120 hours, per week. Also, a preventive program was established to allow the maximum availability of the reactor. One important activity of the preventive program is the quality control of the water in the secondary cooling system, to avoid corrosion of the system components and others problems. This paper presents the results of this specific activity.