

PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM CIRCUITOS EXPERIMENTAIS

Miriam A. Cegalla*

*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, SP, Brasil
e-mail: mcegalla@net.ipen.br

RESUMO

O trabalho compila resultados obtidos no programa de Controle de Qualidade da Água dos Circuitos Experimentais, utilizados no desenvolvimento do protótipo da Instalação Nuclear de Água Pressurizada, realizado no período de 1992 à 1994, dentro de um convênio entre o CTM-SP e o IPEN. O programa focalizava: estudar a química da água do refrigerante nos circuitos primário e secundário; monitorar a corrosão nos sistemas e estudar o mecanismo de transporte de produtos de corrosão nos sistemas.

INTRODUÇÃO

A maioria dos reatores nucleares em operação ou em fase de implantação, utilizam a água como refrigerante. Essa água a temperaturas elevadas, torna-se uma substância agressiva quando em contato com os diferentes materiais constituintes dos sistemas do reator nuclear. De modo que, a confiabilidade e a operação segura de vários sistemas está diretamente relacionada com o controle químico da água de refrigeração.

A experiência na operação de reatores nucleares de potência demonstram que, após um certo intervalo de tempo e sob condições normais de operação, podem ser observados problemas na integridade dos componentes metálicos devido a corrosão, erosão ou deposição nas superfícies de troca de calor de produtos de corrosão, ou de outras impurezas existentes no refrigerante.

O transporte e a migração de produtos de corrosão e de outras impurezas existentes no circuito primário, pode formar depósitos altamente radioativos no sistema, na tubulação e nos equipamentos, causando dificuldades para a manutenção dos sistemas, devido às altas taxas de dose. O Co-60 e o Co-58 têm sido identificados como os principais responsáveis pelas altas doses nas operações de manutenção do circuito primário de reatores tipo PWR. São originados da ativação do Co-59 e do Ni-58, que são despreendidos principalmente por corrosão e desgaste dos materiais em contato com o refrigerante.

Entre as Instalações Nucleares podem existir diferenças nos pontos de coleta e na avaliação dos dados referentes à química da água e à corrosão; de modo que, a padronização dos métodos de análise e dos procedimentos para interpretar os dados operacionais é necessária.

Com a finalidade de estudar a química da água dos circuitos de refrigeração de um reator tipo PWR, foi elaborado e implantado um programa de Controle de Qualidade da Água dos Circuitos Experimentais, utilizados no desenvolvimento do protótipo da Instalação Nuclear de Água Pressurizada, dentro de um convênio entre CTM-SP (Centro Tecnológico da Marinha - São Paulo) e o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

O programa de Controle de Qualidade da Água tinha como objetivos: estudar a química da água do refrigerante nos circuitos primário e secundário, estabelecendo uma base uniforme para caracterizar a água do refrigerante dos circuitos, monitorar a corrosão nos sistemas dos circuitos primário e secundário de modo a estabelecer um programa de inspeção, coletar dados para prever a vida útil da instalação, manter um banco de dados contendo informações dos sistemas com relação à corrosão, e estudar o mecanismo de transporte de produtos de corrosão nos sistemas.

PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Na fase inicial do Programa de Controle de Qualidade da Água dos Circuitos Experimentais foram definidos os critérios para a sua implantação, as diretrizes para padronizar a coleta de amostras de água do refrigerante dos circuitos e os procedimentos de análise das amostras de água.

O programa de controle de qualidade da água atingiu dois circuitos experimentais: o Circuito Térmico Experimental de 150 bar e a Bancada de Testes do Mecanismo de Acionamento de Barras.

O programa foi basicamente dividido em dois grupos de atividades. O primeiro consistia na coleta semanal de amostras de água de processo e de resfriamento, as quais eram submetidas à análise físico-química, para monitorar a qualidade da água de processo e de resfriamento. O segundo consistia em coletar amostras de água de processo, no início e no final de cada experimento realizado nos circuitos, as quais eram submetidas a análise para determinar o pH, a condutividade e a concentração de metais dissolvidos, para estudar a química da água do refrigerante nos circuitos primário e secundário e monitorar a corrosão dos sistemas.

Circuito Térmico Experimental de 150 bar. Esse circuito experimental opera em condições de pressão e temperatura típicas de um reator tipo PWR, possibilitando estudar o comportamento termo-hidráulico de seus componentes: reator, gerador de vapor, pressurizador e bomba, em condições isoladas ou avaliar a interação entre eles em condições dinâmicas ou de transientes, simulando as condições existentes em uma Usina Nuclear.

O Circuito Térmico Experimental é constituído por três circuitos: um de alta pressão para simular o circuito primário, um de média pressão para o circuito secundário e um de baixa pressão para rejeição de calor. Os circuitos primário e secundário são acoplados termicamente por um gerador de vapor.

No circuito, é possível coletar amostras da água de processo em seis pontos diferentes; dois no circuito primário (denominados por PR-1 e PR-2) e quatro no circuito secundário (denominados por SC-1, SC-2, SC-3 e SC-4). Na Figura 1, tem-se o esquema do Circuito Térmico Experimental, indicando os pontos de coleta de amostra.

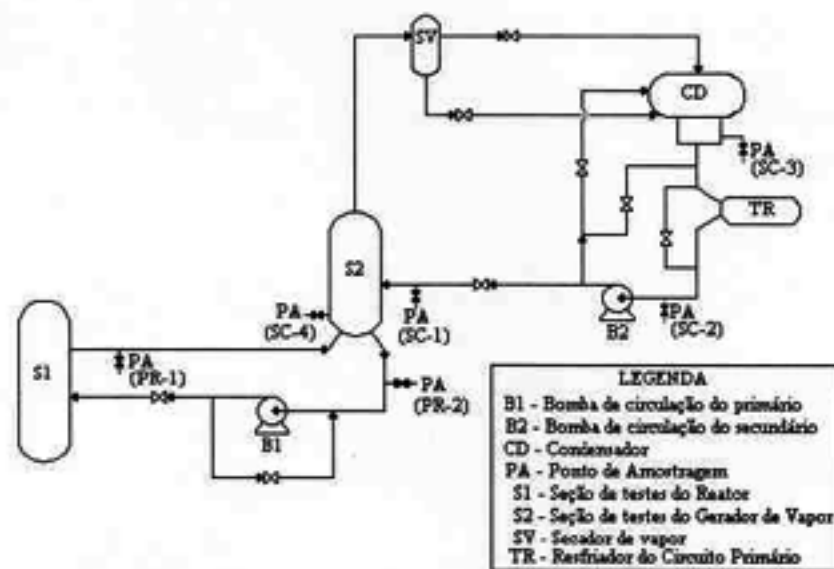


Figura 1. Esquema do Circuito Térmico Experimental

A água de processo utilizada no circuito é água desmineralizada, cuja especificação é apresentada na TABELA 1. Após ser produzida, é estocada num tanque apropriado e utilizada para repor o consumo de água nos circuitos. Para controlar o pH e a concentração de oxigênio

dissolvido, são adicionados amônia e hidrazina, respectivamente. O material em contato com a água desmineralizada é aço inoxidável.

TABELA 1. Especificação da Água de Processo utilizada nos Circuitos Experimentais.

PARÂMETRO	VALOR
Condutividade	1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	8,5
Sílica	0,005 mg/l
Oxigênio dissolvido	0,005 mg/l
Cloretos	0,150 mg/l
Fluoretos	0,150 mg/l
Hidróxidos alcalinos	isento
Sólidos totais dissolvidos	50 mg/l
Oxigênio dissolvido	5 $\mu\text{g}/\text{l}$

Bancada de Testes do Mecanismo de Acionamento de Barras. Esse circuito experimental permite testar o mecanismo de acionamento das barras de controle/elemento de controle, simulando o funcionamento desses componentes na pressão e temperatura de operação de um reator tipo PWR.

A água de processo utilizada nesse circuito é água desmineralizada, cuja procedência é a mesma da do Circuito Térmico Experimental. O circuito apresenta um único ponto para a coleta de amostra da água de processo. O principal material em contato com a água desmineralizada é aço inoxidável, apesar de o sistema conter muitos componentes revestidos com "stellite".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A filosofia do programa era que, mantendo-se os parâmetros operacionais sob controle, e observando-se aumento significativo na concentração de metais dissolvidos na água de processo, implicaria que o metal contaminou a água no decorrer do desenvolvimento do experimento, provavelmente decorrente dos processos de corrosão ou de desgaste.

Na TABELA 2 são apresentados as médias dos valores medidos do pH, da condutividade e da concentração de ferro total, das amostras de água de processo coletadas no início e no final dos experimentos realizados no Circuito Térmico Experimental.

Nas primeiras amostras foram determinadas as concentrações de cobalto e níquel, que encontravam-se abaixo do limite de detecção da técnica de análise utilizada, Absorção Atômica. Nas amostras subsequentes, somente foi determinada a concentração de ferro total. No caso de ser observado, um acréscimo significativo na concentração de ferro, seriam realizadas análises químicas para determinar as concentrações de cobalto, cromo e níquel.

TABELA 2. Médias dos Valores Medidos do pH, da Condutividade e da Concentração de Ferro Total nas Amostras de Água de Processo no início e no final de cada Experimento realizado no Circuito Térmico Experimental.

Data	pH		Condutividade		Concentração	
	Primário	Secundário	(μS/cm)		(mg/l)	
			Primário	Secundário	Primário	Secundário
13/07/93 ^a	9,37	7,45	9,86	1,74	0,03	0,07
16/07/93 ^b	9,67	8,82	20,20	3,75	0,06	0,06
17/08/93 ^a	9,88	9,14	15,20	5,75	0,16	0,14
20/08/93 ^b	10,06	9,59	14,49	6,15	0,17	0,06
20/09/93 ^a	10,28	9,50	13,40	5,52	0,17	0,10
24/09/93 ^b	9,56	8,97	10,76	4,15	0,09	0,10
10/11/93 ^a	9,35	8,95	8,71	4,52	0,08	0,06
12/11/93 ^b	9,36	8,55	7,43	4,09	0,07	0,07
06/12/93 ^a	8,98	8,69	5,57	3,69	0,07	0,05
10/12/93 ^b	8,84	8,68	3,25	2,82	0,08	0,10
31/01/94 ^a	8,94	8,77	2,50	2,24	0,07	0,15
03/02/94 ^b	8,76	8,82	2,59	1,66	0,10	0,10
17/05/94 ^{a,c}	-	-	-	-	-	-
19/05/94 ^b	8,51	8,51	2,22	1,56	0,07	0,12
20/07/94 ^a	8,45	8,56	2,35	1,63	0,07	0,09
25/07/94 ^b	8,64	8,56	2,04	1,56	0,08	0,06
12/09/94 ^a	8,60	8,60	3,25	2,20	0,04	0,03
15/09/94 ^b	6,81	6,98	2,85	1,95	0,07	0,07

a. Amostra coletada no início do experimento.

b. Amostra coletada no final do experimento.

c. Amostras não foram coletadas.

As Figuras 2 e 3 apresentam a variação do pH e da condutividade, respectivamente, da água de processo nos circuitos primário e secundário no início e no final dos experimentos realizados no circuito.

O aumento observado no valor da condutividade foi devido a adição de hidrazina, agente sequestrante de oxigênio. A velocidade da reação da hidrazina com o oxigênio depende da temperatura, a reação é rápida no intervalo de 66°C à 121°C, e decompõe-se a temperatura mais altas formando amônia, que aumenta o pH do meio. Com o decorrer do tempo de operação, observa-se diminuição dos valores do pH e da condutividade, provavelmente devido ao consumo e/ou a decomposição da hidrazina.

A Figura 4 apresenta a variação da concentração de ferro total da água de processo nos circuitos primário e secundário no início e no final dos experimentos realizados no circuito. Normalmente observa-se um aumento na concentração de ferro total do início para o final do experimento, apesar que, os resultados são insuficientes para afirmar se o sistema encontra-se em processo de corrosão.

Na TABELA 3 são apresentados os valores do pH, da condutividade e da concentração de ferro total, cobalto e níquel, das amostras de água de processo coletadas no início e no final dos experimentos realizados na Bancada de Testes do Mecanismo de Acionamento de Barras.

O propósito de se determinar a concentração de cobalto e níquel na água de processo da bancada de testes do mecanismo de acionamento de barras, foi o de verificar

experimentalmente se o “stellite”, é o principal contribuinte da massa total de cobalto, responsável pela formação de campos de radiação no circuito primário de reatores tipo PWR.

Como a operação da bancada de testes do mecanismo de acionamento de barras é a “frio”, não existe o núcleo do reator, não é possível gerar o Co-58 ou o Co-60, conseqüentemente foram realizadas análises químicas da água de processo para determinar a concentração de cobalto e níquel.

A Figura 5 apresenta as variações da concentração de ferro total, cobalto e níquel na água de processo da bancada de testes do mecanismo de acionamento de barras, no início e no final dos experimentos realizados no circuito. Analisando-se os resultados obtidos, verifica-se, eventualmente, um aumento da concentração de níquel na água de processo, provavelmente devido ao seu despreendimento dos materiais estruturais do circuito. No caso dessa massa de níquel ser submetida a um fluxo de nêutrons, o nível de atividade do meio aumentaria.

Observa-se ainda, que as vezes, o valor medido no início do experimento é maior que no final, provavelmente devido aos seguintes fatores: na operação de coleta das amostras, as linhas de amostragem não foram devidamente purgadas para remover a água estagnada na tubulação, conforme descrito no procedimento de coleta de amostra, e/ou a eventuais erros na execução das análises ou na calibração dos equipamentos.

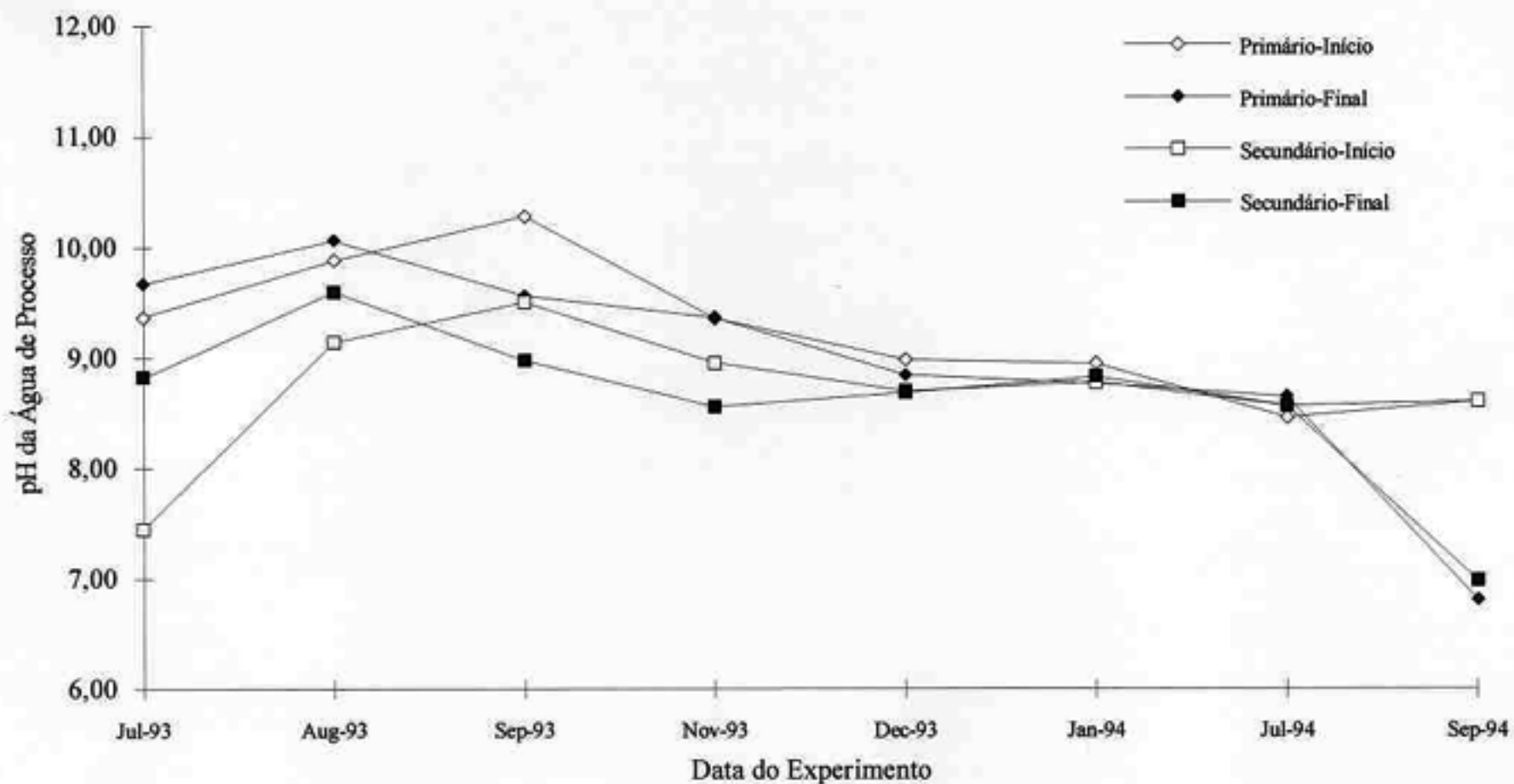


Figura 2. Variação do pH da Água de Processo nos Circuitos Primário e Secundário no início e no final dos Experimentos realizados no Circuito.

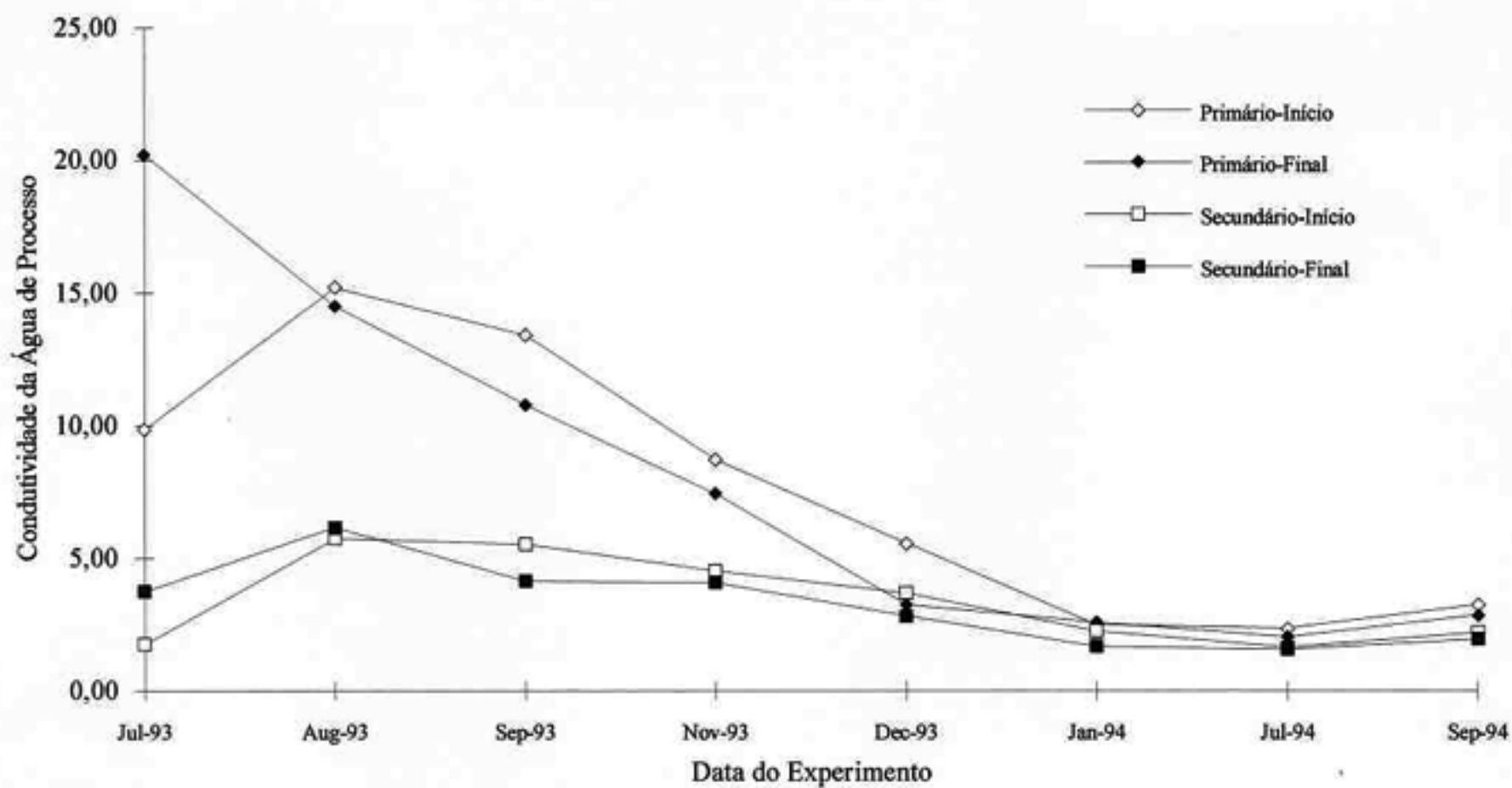


Figura 3. Variação da Condutividade da Água de Processo nos Circuitos Primário e Secundário no início e no final dos Experimentos realizados no Circuito.

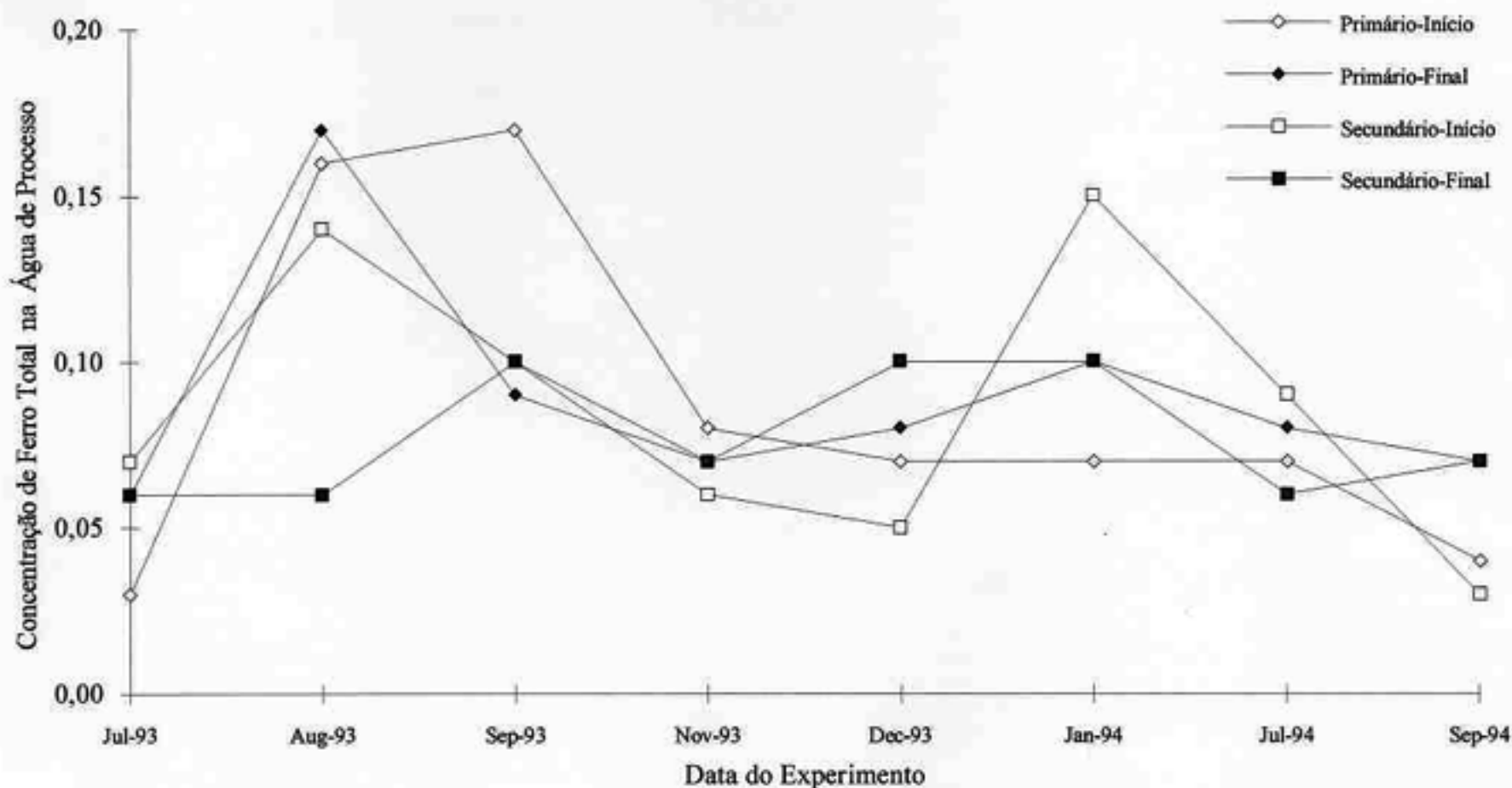


Figura 4. Variação da Concentração de Ferro Total na Água de Processo dos Circuitos Primário e Secundário no início e no final dos Experimentos realizados no Circuito.

TABELA 3. Valores do pH, da Condutividade, e da Concentração de Ferro Total, Cobalto e Níquel nas Amostras de Água de Processo no início e no final de cada Experimento realizado na Bancada de Testes do Mecanismo de Acionamento de Barras.

Data	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Concentração (mg/l)		
			Ferro	Cobalto	Níquel
01/09/93 ^a	8,20	6,54	0,10	< 0,01	0,514
03/09/93 ^b	6,83	6,47	0,02	< 0,01	0,264
22/09/93 ^a	7,90	4,38	0,10	< 0,01	< 0,01
24/09/93 ^b	7,88	6,29	0,06	< 0,01	0,014
27/10/93 ^a	8,83	6,42	0,15	0,191	0,072
29/10/93 ^b	8,09	6,62	0,15	0,190	0,072
01/02/94 ^a	8,98	6,32	0,06	< 0,05	0,430
03/02/94 ^b	9,09	6,10	0,17	< 0,05	0,280
24/03/94 ^a	9,55	4,78	0,03	< 0,01	< 0,01
25/03/94 ^b	8,95	4,54	0,11	< 0,01	< 0,01
27/09/94 ^a	9,93	2,40	0,04	0,018	0,056
29/09/94 ^b	8,28	2,60	0,05	0,007	0,190

a. Amostra coletada no início do experimento.

b. Amostra coletada no final do experimento.

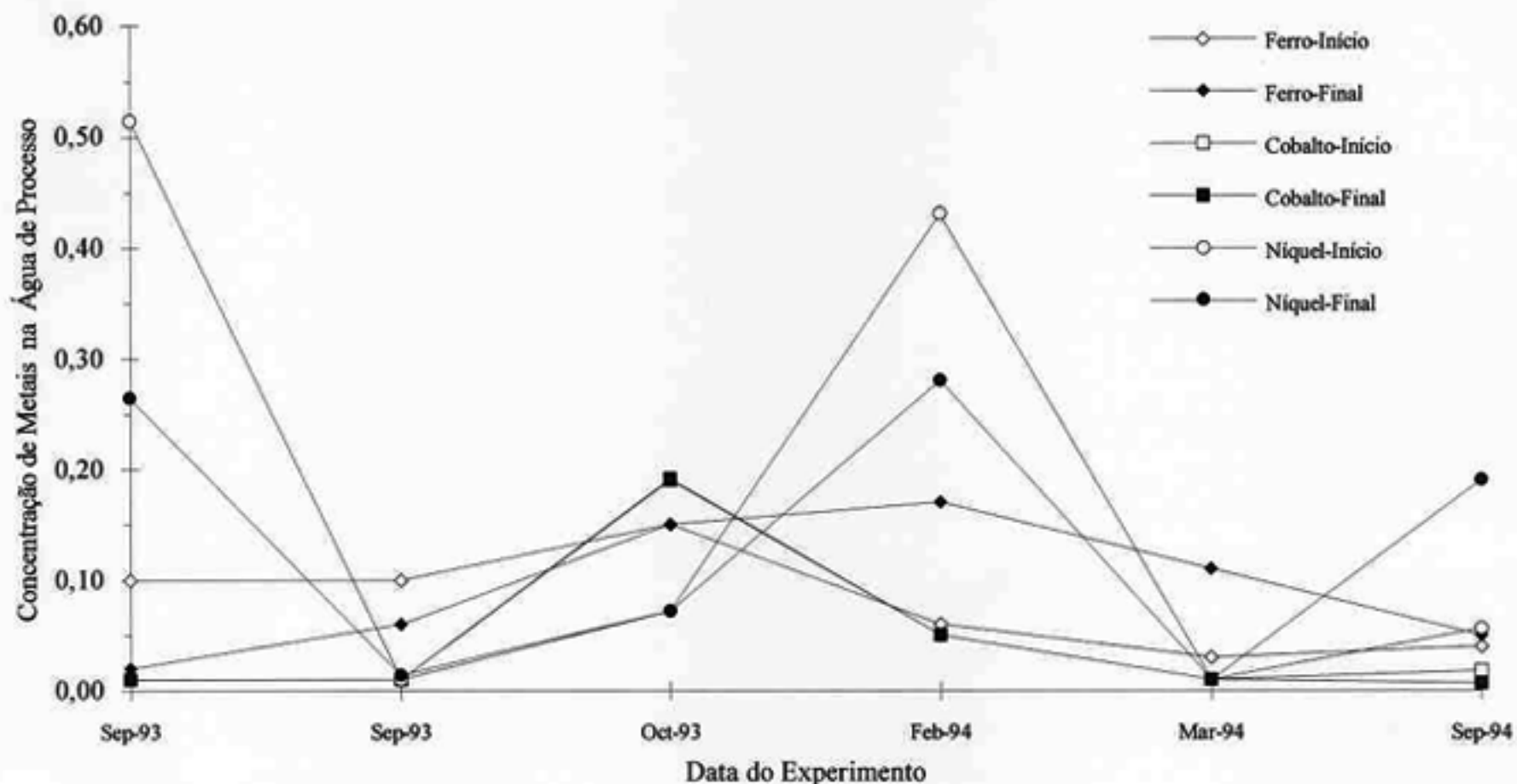


Figura 5. Variações da Concentração de Ferro Total, Cobalto e Níquel na Água de Processo no início e no final dos Experimentos realizados na Bancada de Testes do Mecanismo de Acionamento de Barras.

COMENTÁRIOS

Até o momento não se dispõe de resultados suficientes para avaliar a taxa de corrosão do material estrutural dos circuitos experimentais.

As informações obtidas, são importantes, para avaliar ensaios a serem realizados no Circuito Térmico Experimental, referentes à química da água do circuito primário e do circuito secundário, simulando as condições de operação de um reator tipo PWR.

Também seria interessante realizar ensaios para avaliar o efeito do pH do refrigerante no transporte do cobalto no circuito.

A continuidade do Programa de Controle de Qualidade da Água fornece informações, que permitem melhorar os procedimentos operacionais e otimizar os parâmetros operacionais dos circuitos experimentais.

Agradecimentos. A colaboração dos técnicos responsáveis pela operação dos Circuitos Experimentais, formada por funcionários do CTM-SP e IPEN.

REFERÊNCIAS

[1] SCHROEDER, H. J., VGB specifications for waters in Nuclear Power Stations with light water reactors, Water Chemistry of Nuclear Reactors, Proceedings of an International Conference organized by the British Nuclear Energy Society.

[2] SOLOMON, Y., An overview of water chemistry for pressurized water nuclear reactors, Water Chemistry of Nuclear Reactors, Proceedings of an International Conference organized by the British Nuclear Energy Society.

[3] VANBRABANT, R. and REGGE, P.DE, Corrosion products in the primary system of PWR Plants as the source of radiation field buildup, Water Chemistry and Corrosion Problems in Nuclear Power Plants, Vienna, November 1982.

[4] LISTER, D. H., The transport of radioactive corrosion products in high-temperature water, Nuclear Science and Engineering, vol. 59, p 406-426, 1976.

[5] Annual Book of American Society for Testing and Materials, Water and Environmental Technology, vol. 11.01, Water I, vol. 11.02, Water II, 1983.

[6] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th. edition, 1980.

Abstract. The Water Quality Control Program of the Experimental Circuits visualizes studying the water chemistry of the cooling in the primary and secondary circuits, monitoring the corrosion of the systems and studying the mechanism of the corrosion products transport in the systems.