

**Controle Químico da Corrosão do Sistema Primário (refrigeração do reator) da Central Nuclear de Angra 1**Einar S. Carvalho<sup>a</sup>, Diogo P. de Jesus<sup>b</sup>, Paulo Artur P. T. Silva<sup>c</sup>, Lauro Roberto Lopes<sup>d</sup>**Abstract**

---

The nuclear power plant Angra 1 has 3 water systems: Primary, Secondary and cooling water as shown in the diagram of Figure 1. These systems are independent of each other, that is, each water does not come into direct contact with each other.

Inside the reactor vessel, which is part of the primary object of this work, water system is heated by the energy released by the fission of uranium atoms.

The water in the primary system is heated to about 320 ° C, its pressure is kept around 157 Kg/cm<sup>2</sup>, so that it remains in a liquid state.

The purpose of this paper is to present the Chemical Control applied in Primary (the Reactor Coolant System - SRR) system Angra 1 Nuclear Power for corrosion monitoring, focusing on localized corrosion, with the plant in operation.

**Keywords:** chemical control, primary system, corrosion.

**Resumo**

---

A usina nuclear de Angra 1 possui 3 sistemas de água: circuito Primário, circuito Secundário e o sistema de água de refrigeração conforme mostrado no diagrama da figura 1. Esses sistemas são independentes um do outro, ou seja, a água de cada um deles não entra em contato direto com a do outro.

No interior do vaso do reator, que faz parte do sistema Primário, a água é aquecida pela energia liberada pela fissão dos átomos de urânio.

A água do sistema Primário é aquecida até cerca de 320 °C, sua pressão é mantida em torno de 157 Kg/cm<sup>2</sup>, para que permaneça no estado líquido, condição de operação.

A proposta deste trabalho é apresentar o Controle Químico aplicado do sistema Primário (Sistema de Refrigeração do Reator – SRR) da Central Nuclear de Angra 1 para a monitoração da corrosão, com foco na corrosão localizada, com a usina em operação.

**Palavras-chave:** controle químico, sistema primário, corrosão.

---

<sup>a</sup> Químico – ELETROBRAS ELETRONUCLEAR

<sup>b</sup> Engenheiro Químico - ELETROBRAS ELETRONUCLEAR

<sup>c</sup> Engenheiro Químico - ELETROBRAS ELETRONUCLEAR

<sup>d</sup> Engenheiro Metalúrgico - ELETROBRAS ELETRONUCLEAR

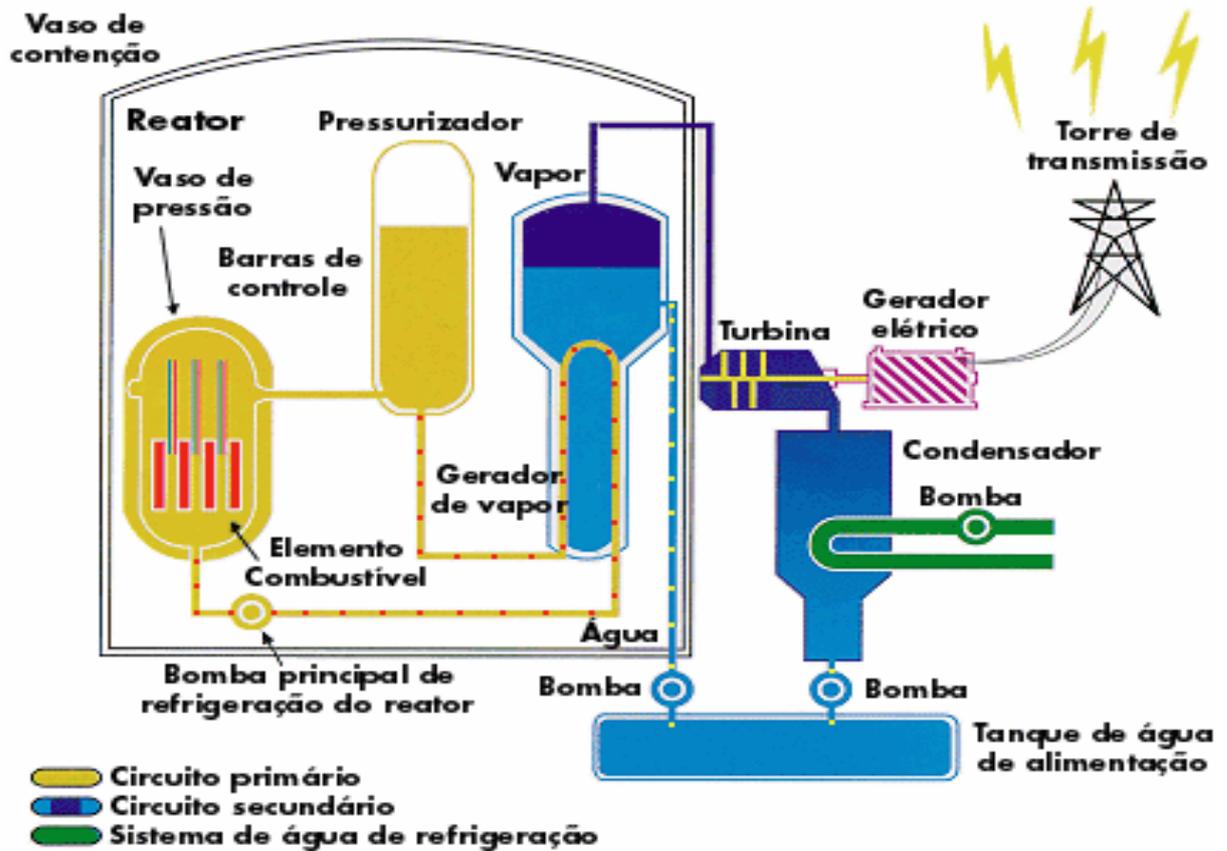


Figura 1- Diagrama

## Introdução

O controle químico aplicado ao sistema Primário tem como propósito assegurar a integridade dos materiais que compõe as barreiras do sistema e do desempenho do núcleo, conforme previsto em seu projeto básico e minimizar campos de radiação fora do núcleo.

A metalurgia do sistema é constituída de aço inoxidável austenítico (vaso do reator, tubulações e válvulas), inconel 690TT (tubos dos geradores de vapor), zircaloy 4 e zirlo (encamizamento das varetas de combustível).

O controle consiste na monitoração dos principais agentes causadores de corrosão, em especial a corrosão localizada, visando evitar os efeitos danosos aos componentes que compõe o sistema, através do controle das fontes contaminantes, do controle do pH do meio para redução da taxa de corrosão, influenciando na redução do transporte e depósitos de produtos de corrosão sobre as superfícies de transferência de calor de modo a minimizar a atividade no refrigerante, garantir a estanqueidade dos elementos combustíveis.

Para o controle da reatividade do núcleo é adicionado boro na forma de ácido bórico utilizado como moderador de nêutrons. Para neutralizar o efeito da acidez adiciona-se hidróxido de lítio como neutralizante e correção do pH.

A tabela 1 apresenta o resumo dos principais agentes causadores de corrosão localizada, as fontes, o tipo de corrosão e os materiais suscetíveis.

**Tabela 1- Agentes causadores de corrosão e as principais fontes contaminantes do sistema Primário**

Agentes	Fontes	Tipo de corrosão	Material suscetível
Cloretos	Água de reposição de inventário (água desmineralizada)	Corrosão sob tensão por cloreto em presença de oxigênio e alta temperatura	Aço inoxidável austenítico (vaso do reator, tubulações e válvulas)
Fluoretos	Produtos químicos adicionados (ácido bórico e hidróxido de lítio)	Corrosão sob tensão por fluoreto em presença de oxigênio e alta temperatura	Ligas de zircônio (encamizamento dos elementos combustíveis) e ligas de níquel (tubos dos geradores de vapor)
Oxigênio dissolvido	Água de reposição de inventário (água desmineralizada) e pela decomposição radiolítica da água pelo efeito da radiação $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	Corrosão sob tensão por cloreto e fluoreto em presença de oxigênio em alta temperatura e corrosão por buracos (pitting)	Ligas ferríticas, ligas de níquel e ligas de zircônio

## Metodologia

As metodologias aplicadas para o Controle Químico é constituído dos processos a seguir:

- Controle dos contaminantes que podem ser carregados pela água desmineralizada utilizada na reposição de inventário (sódio, cloreto, sulfato, sílica...);
- Redução da concentração de oxigênio dissolvido da água de reposição de inventário;
- Controle do pH do meio refrigerante, sendo mantido na faixa de  $\geq 6,9$  e  $\leq 7,4$  na temperatura de operação ( $\text{pH}_T$ );
- O sistema Primário possui leitos com resinas de troca iônica, alinhados em série, compostos de um leito catiônico e de um leito misto de forma a manter a purificação contínua com usina em operação;
- Monitoração radioquímica dos produtos de corrosão ativados que avalia os produtos de corrosão que são carregados e ativados ao passar pelo reator. O aumento da atividade desses produtos é indicativo do aumento da taxa de corrosão no meio refrigerante;
- Controle do oxigênio gerado pela decomposição da água causada pelo efeito da radiação (raiolise);
- Monitoração da radioatividade do meio refrigerante para detecção de elementos de fissão específicos para identificação de falhas em elemento combustível.

A tabela 2 apresenta um resumo do Controle Químico e os métodos de controle utilizado.

**Tabela 2- Resumo do Controle Químico**

<b>Parâmetro</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método de Controle</b>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle da corrosão</li> <li>• Proteger o filme de óxidos</li> <li>• Prevenir a corrosão sob tensão caustica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca iônica</li> <li>• Adição de hidróxido de lítio</li> </ul>
Oxigênio Dissolvido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inibir a corrosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degaseificação</li> <li>• Adição de hidrogênio</li> </ul>
Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para remoção de oxigênio</li> <li>• Para suprimir a decomposição radiolítica da água</li> <li>• Para evitar fragilização por hidrogênio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adição de hidrogênio</li> <li>• Degaseificação</li> </ul>
Cloretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir a corrosão sob tensão por cloreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca iônica</li> <li>• Troca da água</li> </ul>
Fluoreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir a corrosão das ligas de zircônio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca iônica</li> <li>• Troca da água</li> </ul>
Boro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para controle de reatividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adição de ácido bórico</li> </ul>
Lítio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste do pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adição de hidróxido de lítio</li> </ul>
Radioatividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar o aumento da taxa corrosão</li> <li>• Avaliar um defeito de combustível nuclear</li> <li>• Avaliar a eficiência dos desmineralizadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca iônica</li> <li>• Troca da água</li> </ul>

## **Resultados e discussão**

Para atendimento aos requisitos de projeto, foram estabelecidas especificações administrativas bem mais restritivas que as recomendadas pelo fabricante para os parâmetros de controle associado a um conjunto de ações mitigadoras para a usina em operação para garantir à integridade dos componentes. Dependendo da concentração do parâmetro a usina poderá ser levada até para a condição de desligado a frio (temperatura  $\leq 82^{\circ}\text{C}$ ) só retornando a operação em potência somente após o parâmetro retornar para especificação. A tabela 3 apresenta as especificações dos parâmetros de controle para operação em potência e os resultados médios obtidos em laboratório e a tabela 4 apresentam os níveis de ação.

**Tabela 3- Parâmetros de controle do Sistema Primário para operação em potência x resultados obtidos em laboratório**

Parâmetros de Controle	Valor de projeto	Valor administrativo	Níveis de Ação			Valor médio/ por ciclo de operação obtido em laboratório
			1	2	3	
Cloreto, mg/L	0,15	≤ 0,05	> 0,05	> 0,15	> 1,50	0,002
Fluoreto, mg/L	0,15	≤ 0,05	> 0,05	> 0,15	> 1,50	0,006
Sulfato, mg/L	0,15	≤ 0,05	> 0,05	> 0,15	> 1,50	0,002
Hidrogênio, cm <sup>3</sup> /kg H <sub>2</sub> O	25 – 50	25 – 50	< 25 ou > 50	< 15	< 5	43
Oxigênio dissolvido, mg/L	≤ 0,005	≤ 0,005	> 0,005	---	> 0,10	< 0,005
pHT (temperatura de operação)	-	6,9 – 7,4	-	-	-	7,1

:

**Tabela 4- Níveis de Ação para Especificações Químicas do Sistema Primário**

**Nível de ação 1**

Definição	O valor de um parâmetro químico neste nível indica que danos no sistema podem ocorrer em longo prazo. Ações devem ser tomadas para evitar que isto ocorra.
Ações	(a) Esforços devem ser feitos para retornar com o parâmetro químico para o valor de operação normal dentro de 7 dias. (b) Caso o parâmetro não retorne ao valor normal dentro dos 7 dias, uma avaliação técnica deverá ser efetuada e um programa para implementação de medidas corretivas instituído.

**Nível de ação 2**

Definição	O valor de um parâmetro químico neste nível indica que, significantes danos podem ocorrer no sistema em curto prazo, exigindo uma rápida correção da situação anormal.
Ações	(a) Esforços devem ser feitos para trazer o valor do parâmetro químico para os valores normais dentro de 24 horas. (b) Se o parâmetro não retornar para os valores dentro de 24 horas, levar a Usina para Desligado Frio (com temperatura < 82°C), conforme os procedimentos normais. Se o parâmetro químico retornar ao valor antes do desligamento, a Usina poderá retornar à potência desejada. (c) Após um desligamento da Unidade, causado pela ultrapassagem do tempo permitido de operação no Nível 2, uma revisão técnica do incidente deverá ser efetuada e medidas corretivas deverão ser tomadas antes da unidade retornar às condições de operação normal.

**Nível de ação 3**

Definição	O valor de um parâmetro químico neste nível indica que a usina não poderá continuar operando.
Ações	(a) Desligamento imediato da Unidade, seguida de redução de temperatura do SRR para < 82°C, tão rápido quanto permitido pelos procedimentos da Usina <sup>(*)</sup> . (b) Após um desligamento da Unidade, causado por atingir o Nível de Ação 3, uma revisão técnica do incidente deverá ser efetuada e medidas corretivas deverão ser tomadas antes da unidade retornar às condições de operação normal.

(\*) Se as condições químicas forem restabelecidas para os níveis estabelecidos para o Nível de Ação 3 antes do desligamento da usina, pode-se retomar a subida de potência, desde que sujeita aos requisitos dos demais níveis de ação e das Especificações Técnicas.

**Conclusões**

Nas paradas programadas para manutenção e troca dos elementos combustíveis após um ciclo de operação, inspeções visuais e ensaios instrumentais são realizados, tanto nos elementos combustíveis, bem como, em pontos do circuito que compõe o sistema Primário. Até o último ciclo nenhum processo de corrosão localizada foi identificado por esses métodos.

Os resultados médios obtidos em laboratório apresentados na tabela 3, mostram que através das metodologias aplicadas, controlando os principais parâmetros causadores de corrosão localizada em níveis de concentração muito baixos, inibe a possibilidade do surgimento de um processo de degradação que venha a comprometer a operação da usina.

**Referências bibliográficas**

- 5.1. BECKER, L. F., BURCHELL, R. C.; Chemical Analysis Procedures For Pressurized Water Reactors, Westinghouse, May 1974.
- 5.2. ELETRONUCLEAR; Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS), Volume 16, Especificações Técnicas da Usina de Angra 1.
- 5.3. ELETRONUCLEAR; PA-TG 08 - Identificação e Nomenclatura de Sistemas, Equipamentos e Compartimentos - Sistemática.
- 5.4. WESTINGHOUSE MTL-06-131 Rev.3 – Westinghouse Supplement to EPRI PWR Primary Water Chemistry Guidelines Revision 6, March 6th, 2008.
- 5.5. TR-1014986 - PWR Primary Water Chemistry Guidelines – Electric Power Research Institute (EPRI), volumes 1 e 2, Revisão 6 – Dezembro/2007
- 5.6. TR-1003407 - Fuel Integrity Monitoring and Failure Evaluation Handbook, Revision 1, Nov./2003