

PUBLICAÇÃO CDTN - 973

**Programa de Controle Físico-Químico
da Água de Refrigeração do Reator TRIGA IPR-R1**

Lúcia Maria L. de Alencar Auler, Eliana Aparecida Nonato

Milton Batista Franco, Geraldo Frederico Kastner

Andréa Vidal Ferreira

MAIO/2012

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear
CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

PUBLICAÇÃO CDTN - 973

**Programa de Controle Físico-Químico
da Água de Refrigeração do Reator TRIGA IPR-R1**

Lúcia Maria L. de Alencar Auler, Eliana Aparecida Nonato
Milton Batista Franco, Geraldo Frederico Kastner
Andréa Vidal Ferreira

Belo Horizonte

MAIO/2012

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear
CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

SUMÁRIO	Página
1 INTRODUÇÃO	4
2 CONTROLE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA ÁGUA DE REGRIGERAÇÃO DO IPR-R1	6
3 O PROGRAMA PARA CONTROLE QUÍMICO E RADIOQUÍMICO DA ÁGUA DO POÇO DO REATOR TRIGA IPR-R1	8
4 AÇÕES FUTURAS	10
5 REFERÊNCIAS	10

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

1 INTRODUÇÃO

O IPR-R1 é um reator TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics) Mark I fabricado pela General Atomics (EUA), Figura 1. Seu combustível é o urânio enriquecido a 20% e o moderador principal é o hidreto de zircônio. O controle do reator é efetuado através da operação de três barras absorvedoras de nêutrons contendo carboneto de boro. No reator, existem três dispositivos principais para irradiação de amostras: o tubo central, a mesa giratória e o sistema pneumático. Quatro detectores de nêutrons são utilizados para acompanhar a evolução do fluxo neutrônico e controlar o nível de potência do reator. A operação é efetuada através da mesa de controle onde se localizam os indicadores das variáveis do processo [1, 2].

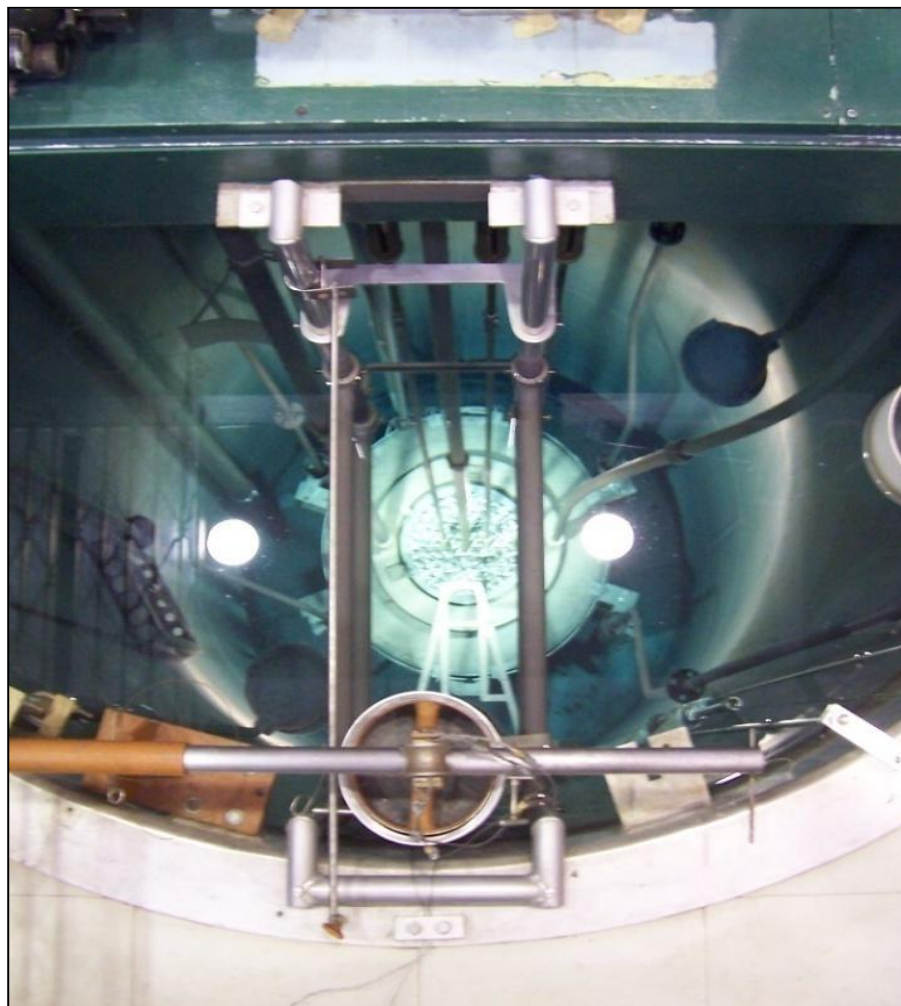


Figura 1 – Reator TRIGA IPR-R1

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

O núcleo do reator está posicionado no fundo de um tanque cilíndrico de diâmetro interno de 1,92m e uma profundidade de 6,63m em relação ao nível do piso da sala [3], Figura 2 [4]. A estrutura do tanque é constituída de cinco paredes cilíndricas. A parede mais interna é feita de uma liga especial de alumínio (liga AA-5052-H34), seguida de duas camadas de concreto separadas por uma estrutura de aço e finalmente um revestimento externo de aço. Esse núcleo possui um refletor de grafita e é refrigerado por água leve desmineralizada. A água do poço refrigera o núcleo e troca calor em um sistema de refrigeração água/água/ar. Além de responsável pela refrigeração do núcleo, a água também funciona como meio moderador adicional e blindagem biológica [3].

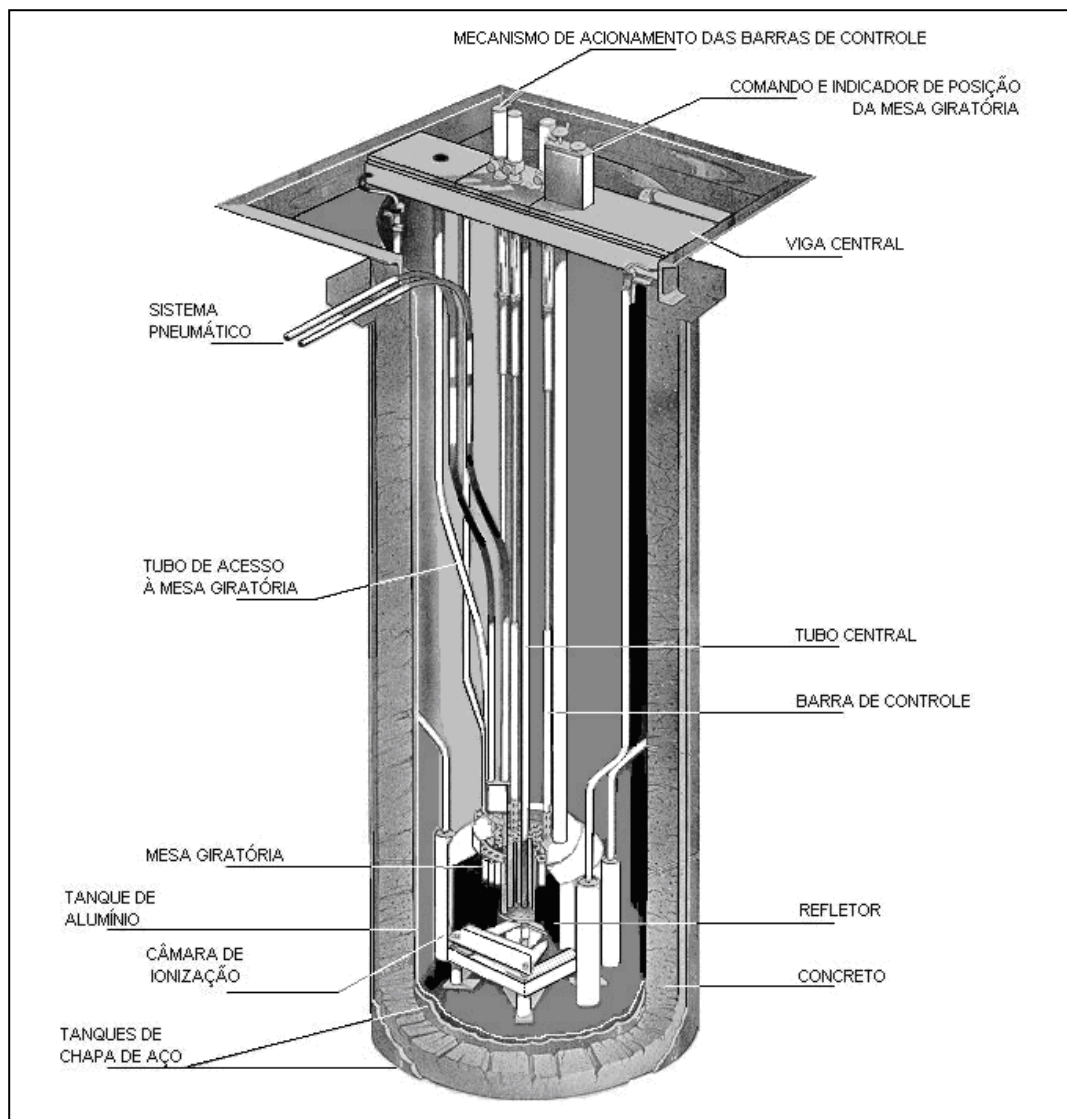


Figura 2 – Vista em Corte do Reator [4]

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

A purificação da água do reator é realizada em um sistema de resinas de troca-iônica em leito misto contido em um tanque de aço, com revestimento em epóxi, possuindo dois filtros (entrada e saída do tanque) de fibra de 50 μm para reter partículas sólidas em suspensão. A vazão da água nesse sistema é de aproximadamente $2,3 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. A circulação da água através das resinas é efetuada uma vez por mês, o que permite manter a condutividade entre 1,25 e $1,45 \mu\text{Scm}^{-1}$. Uma caixa de alumínio de aproximadamente, 250 litros mantém uma reserva de água desmineralizada usada para compensar a perda de água por evaporação [1-5].

2 CONTROLE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO DO IPR-R1

A água de refrigeração do reator deve ser tratada e controlada com o objetivo de manter baixa a sua condutividade para minimizar a corrosão dos componentes do reator e reduzir o nível de radioatividade pela remoção das partículas em suspensão e impurezas solúveis.

A composição, as inclusões, as impurezas da liga, o tratamento térmico, a microestrutura, natureza e a espessura do filme óxido protetor influenciam o processo de corrosão dos materiais do reator, mas não são controláveis durante a operação do reator. As condições ambientais e de serviço, que são normalmente controláveis, podem ser otimizadas para proteger o revestimento dos combustíveis nucleares [6] e outros componentes do reator.

A presença de íons amônio na água de refrigeração é devida a contaminações por impurezas introduzidas no ambiente por sistemas de ventilação e refrigeração do ar nas dependências do reator. As bactérias são capazes de oxidar íons amônio para nitrito e então converter nitrito em nitrato, servindo de nutrientes para os microorganismos presentes. Além disso, a poeira originária de fissuras nas paredes e resíduos de materiais de construção pode aumentar a concentração de íons de prata, chumbo, cobre, ferro, níquel, zinco, entre outros, que são reduzidos pelo alumínio [7, 8, 9].

Para se evitar ou minimizar a corrosão de ligas de Al e outros materiais alguns procedimentos devem ser seguidos [7]:

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

- a) a qualidade da água no poço do reator deve ser monitorada, submetida a contínuo tratamento, purificação e acompanhamento analítico dos parâmetros físico-químicos;
- b) a medida de condutividade deve ser monitorada constantemente e mantida entre 1 a 3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, faixa ótima de proteção contra processos corrosivos das ligas;
- c) as concentrações de íons carbonatos e bicarbonatos da água devem ser menores ou igual a $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ considerando que esses íons podem reagir com íons cloretos, cobre e chumbo potencializando a formação de pites de corrosão;
- d) o pH deve estar entre 5,5 a 6,5, considerando-se que a passivação do alumínio ocorre na faixa de pH entre 4 a 8,5;
- e) as concentrações de íons cloretos e sulfatos devem ser mantidas abaixo de $1,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ devido ao alto grau de penetração desses íons no filme protetor de óxido de alumínio.
- f) as concentrações de metais pesados devem ser mantida em baixos níveis, inferiores a $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, a fim de minimizar o processo de corrosão das ligas e/ou subprodutos após a operação do reator.
- g) outras impurezas como NO_3^- (nitrato), NO_2^- (nitrito), amônia devem ser mantidos abaixo de $1,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Além do controle químico das espécies não radioativas é importante considerar os produtos de fissões e as radiações produzidas pelo decaimento dos radionuclídeos presentes. Entre os fatores que aumentam a radioatividade no sistema de refrigeração podem ser relacionados os seguintes:

- a) a ativação de produtos de corrosão do material estrutural do reator e de materiais estranhos inadvertidamente introduzidos no sistema;
- b) a ativação de impurezas na água do tanque;
- c) a presença de produtos de fissão oriundos de falhas nos elementos combustíveis;
- d) a presença de ^{16}N resultante da reação $^{16}\text{O} (n,p) ^{16}\text{N}$.

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

3 O PROGRAMA PARA CONTROLE QUÍMICO E RADIOQUÍMICO DA ÁGUA DO POÇO DO REATOR TRIGA IPR-R1

Em maio de 2011 o programa de controle físico-químico da água de refrigeração do poço do IPR-R1 foi retomado após uma avaliação das reais necessidades de análise e de sua periodicidade. Os parâmetros atualmente monitorados no escopo deste programa são indicadores de possíveis processos de corrosão, atividade bacteriana, presença de algas, produtos de reações de decaimento e fatores que aumentam a radioatividade no sistema de refrigeração. A definição desses parâmetros foi realizada com base em normas de radioproteção e segurança e em um estudo temporal de avaliação de espécies químicas advindas do envelhecimento dos materiais estruturais do reator e as condições físicas das instalações [3].

Após seis meses de aplicação do programa algumas considerações e alterações foram feitas com base nos resultados obtidos durante esse período. As alterações tiveram como finalidade estabelecer as técnicas analíticas mais adequadas para os metais analisados devido aos baixos teores encontrados na água de refrigeração do poço do reator. A Tabela 1 apresenta uma síntese do programa atual, revelando a relação dos parâmetros avaliados, a quantidade de amostras envolvidas, os métodos de preservação, as técnicas analíticas utilizadas e a frequência das análises.

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Tabela 1 - Programa de controle físico - químico da água do reator IPR-R1

Parâmetro	Volume de amostra (mL)	Tipo de frasco	Preservação	Técnica analítica	Frequência
Condutividade	250	Polietileno	Nenhuma	Via úmida	Semanal
pH	100	Polietileno	Nenhuma	Via úmida	Semanal
Alfa e Beta	100	Vidro	Nenhuma	Radiometria	Semanal
Gama	1000	Marinelli	Nenhuma	Espectrometria	Semanal
B, Na, Fe, Si	500	Polietileno	Nenhuma	Absorção atômica e ICP-AES	Quinzenal
Ag, Al, Cs, Cu, Li, Mn Sr, U e Zn	100	Polipropileno	Acidular pH<2	ICP-MS e Absorção Atômica	Mensal
Hg	100	Polipropileno	Acidular pH<2	Espectrometria de Absorção Atômica à Vapor Frio	Trimestral
Íon amônio	50-100	Polietileno	Acidular pH<2	Cromatografia por Troca Iônica	Quinzenal
Sulfato, nitrato, nitrito e cloreto	50-100	Polietileno	Nenhuma	Cromatografia por Troca Iônica	Quinzenal
Dureza e alcalinidade	250	Polietileno	Nenhuma	Via úmida	Trimestral
Sólidos Totais	1000	Polietileno	Nenhuma	Via úmida	Semestral
Sólidos em Suspensão	1000	Polietileno	Nenhuma	Via úmida	Semestral

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

4 AÇÕES FUTURAS

Alterações nesse programa de controle em relação aos parâmetros e frequência de análise são esperadas com base na avaliação das variações temporais de cada parâmetro. Novos parâmetros poderão ser incorporados ao controle de acordo com as necessidades do momento.

Para uma avaliação mais completa dos parâmetros físico-químicos as amostras da água do poço deverão ser coletadas em três diferentes profundidades: na superfície, em um ponto intermediário do poço e um ponto mais profundo, em níveis ainda a serem definidos.

Paralelamente às análises de água, também deverão ser coletadas amostras de sedimentos que eventualmente são depositados no fundo do poço do reator. Nos sedimentos, deve-se verificar como acompanhamento de um processo de corrosão, a presença de óxidos de Fe, Si e Al e carbonatos de Ca e Mg. As análises deverão ser realizadas por espectrometria de absorção atômica AA, espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente ICPOES e espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente ICPMS.

Também para investigação de ataques corrosivos provocados por micro-organismos, testes de controle de fungos, bactérias e algas deverão ser realizados trimestralmente.

5 REFERÊNCIAS

1. CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN/CNEN. Curso de Treinamento de Operadores em Reatores de Pesquisa (CTORP), Volumes I e II, Belo Horizonte Março 2001, 406p.
2. CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR – CDTN/CNEN. Manual de Operação do Reator TRIGA IPR-R1, 2007, 221p.
3. FRANCO, M. B.; KASTNER, G. F.; AULER, L. M. L. A. Controle químico da água do reator Triga IPR-R1. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 2009. 15p. Nota interna NI-SERTA-04/11.
4. MESQUITA, A. Z. Investigação experimental da distribuição de temperaturas no reator nuclear de pesquisa TRIGA IPR-R1. Campinas: 2005, 168 p.
5. ZANGIROLAMI, D. M. Fluxo neutrônico a 100kw nos terminais de irradiação do reator Triga IPR-R1, Belo Horizonte: UFMG, 2011. 103p.

CNEN – Comissão nacional de Energia Nuclear

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

6. NEVES, C. DE F. C. et al. Corrosão de ligas de alumínio no reator TRIGA IPR – R1. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 2006. 19p. (CDTN-RD-EC2-001/06).
7. HOWELL, J. P. Criteria for corrosion protection of alluminium-clad spent nuclear fuel in interim wet storage. In: CORROSION, 2000, march 26 – 31, Orlando, Flórida. Proceedings. Houston: NACE, 2000. Paper n. 2000.
8. DICKSON, J.; GEORGE, R.; MOORE, L.; MOORE, M.; Analysis of the TRIGA Reactor Pool Water. AFRRRI TECHNICAL REPORT. 1993.
9. SABINO, C. de V. S.; OLIVEIRA, P. F. de; AMORIM, V. A. Estudos sobre a água do poço do reator TRIGA IPR – R1. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 1995. 8p. (CDTN-NI-AT4-010/95).