

# DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DA CAMADA QUENTE DO REATOR IEA-R1 DO IPEN

Benedito Dias Baptista Filho

IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Foi projetado um novo sistema para reduzir a exposição à radiação no saguão da piscina do Reator IEA-R1, quando operando a 5 MW. O conceito do sistema é baseado na formação de uma camada de água quente e pura na superfície da piscina, blindando a radiação emitida pelos elementos radioativos presentes na água. Conceitos similares têm sido empregados em diversos reatores tipo piscina. Porém, devido a restrições do projeto original do IEA-R1, são necessárias algumas alterações de projeto nos sistemas de resfriamento. Neste trabalho são apresentados dados do projeto conceitual e do desempenho esperado do sistema.

## INTRODUÇÃO

Uma das principais vantagens de reatores tipo piscina é a facilidade de acesso ao núcleo para a introdução e retirada de amostras e dispositivos. Nessas situações, operadores e pesquisadores são solicitados a longos períodos de permanência nas proximidades da superfície da piscina, por isso é importante baixos níveis de radiação nessa região.

Estimativas baseadas em cálculos da Divisão de Física de Reatores do IPEN [1] indicam que 98% da taxa de dose na superfície da piscina é decorrente de elementos radioativos presentes na água, somente 2% é devido a radiação direta do núcleo do reator.

Conforme a Figura 1, dados dos reatores IRL (USA), Siloé e Melusine (França), e IEA-R1, indicam que a maior contribuição nessa taxa de dose é decorrente do  $^{24}\text{Na}$ , do  $^{27}\text{Mg}$ , e do  $^{41}\text{Ar}$  [2].

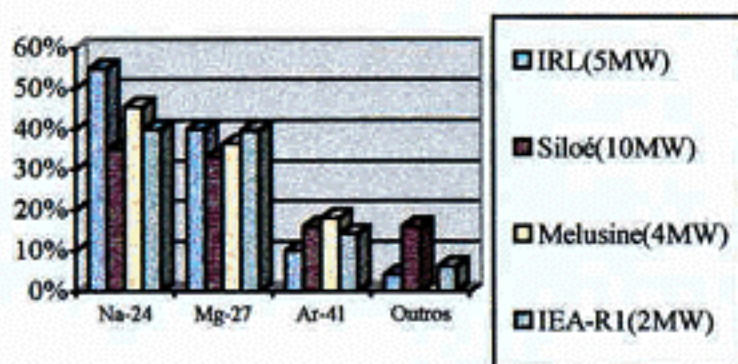


Figura 1 - Percentual da Taxa de Dose por Elemento.

O  $^{41}\text{Ar}$  é um gás nobre e portanto não há nada a fazer além da adequada exaustão do saguão da piscina. Em relação ao  $^{24}\text{Na}$  observa-se que apenas 2% de sua

concentração na água é decorrente da ativação do  $^{23}\text{Na}$ [1], 98% é decorrente de reações de recuo nos materiais do núcleo  $\{^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}\}$ . Para o  $^{27}\text{Mg}$ , a contribuição das reações de recuo pode atingir 99,98%. Desse modo, as únicas soluções para minimizar a taxa de dose na superfície da piscina são: a) promover uma adequada exaustão, tão próxima quanto possível da superfície da piscina; b) promover uma contínua purificação da água através da remoção tanto dos elementos radioativos quanto dos elementos resultantes de desgaste e corrosão; e, c) promover uma blindagem adequada, se possível com água pura.

O objetivo deste trabalho é apresentar a concepção do novo Sistema da Camada Quente proposto para o Reator IEA-R1. A função desse sistema é a formação de uma camada de água purificada na superfície da piscina do Reator IEA-R1 de modo a blindar as emissões oriundas dos elementos radioativos presentes no refrigerante do reator.

## ANÁLISE DOS DADOS DISPONÍVEIS

No final da década de 50, foi acrescentado ao projeto original do IEA-R1, um sistema para promover a formação de uma camada de água quente na superfície da piscina para reduzir os níveis de radiação principalmente devido ao  $^{24}\text{Na}$  e ao  $^{27}\text{Mg}$ . O conceito original dessa camada quente era baseado na separação física da piscina em dois níveis através de placas de lucite. A camada superior da piscina era aquecida através de um sistema que recirculava a água através do sistema de purificação de refrigerante e de um aquecedor elétrico de 10 KW. Após alguns anos essa separação física teve que ser removida e observou-se que a camada quente não era

mais mantida. Ensaio elaborado no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, mostraram a existência de correntes hidráulicas que provocavam o rompimento da camada quente [2,3]. Devido a essas dificuldades operacionais e à limitação da potência de operação do Reator em 2 MW todo o sistema foi desativado (medidas da taxa de dose nessa potência mostravam valores inferiores a 8 mR/h, portanto aceitáveis).

Em 1987, com o início de um projeto para o aumento da potência para 5 MW, voltaram as preocupações com os níveis de radiação. A principal referência disponível [2] mostrava a expectativa de uma taxa de dose na ordem de 30 mR/h sobre a piscina, para essa potência. No início de 1988, um estudo da Divisão de Física de Reatores [1] previa uma taxa de dose de 35 mRem/h a 50 cm acima do nível de água. Foi apresentado um relatório da Divisão de Termo-Hidráulica [4] onde se concluía pela necessidade de alterações na distribuição de vazões na piscina através de novo difusor e introdução de uma placa defletora. Em 1989 foi realizado um teste [5] para investigar possíveis efeitos adicionais decorrentes das alterações térmicas esperadas para a operação a 5 MW. Em 1994 o projeto de aumento de potência foi retomado e no início de 1995 foi solicitado, à Divisão de Engenharia de Sistemas, a concepção de um novo sistema da camada quente.

Uma análise mais apurada dos dados disponíveis de taxas de dose foi elaborado, obtendo-se as curvas de isodose mostradas nas Figuras 2, 3 e 4. A Figura 2 mostra a situação verificada no final da década de 70 por Pasqualetto [2]. A Figura 3 mostra a situação encontrada em 1989 com o reator operando nas condições nominais

de 2 MW, vazão no primário de 2600 gpm e temperatura de entrada da água na piscina de 28 °C. A Figura 4 mostra a condição obtida no experimento de 1989 com o reator operando a 2 MW, vazão no primário de 3500 gpm e temperatura de entrada da água na piscina em 38 °C.

Comparando-se as medidas realizadas em 76 com as de 89, verificam-se diferenças tanto nos contornos quanto nos valores (na ordem de 1 mRem/h). Devido terem sido utilizados instrumentos e distribuição de pontos de medida diferentes, e ao nosso atual interesse, não nos detivemos na justificativa dessas diferenças. Nossa análise enfocou os seguintes aspectos: 1<sup>o</sup>) independente dos níveis de taxa de dose, há uma nítida tendência de sua redução em direção ao compartimento de estocagem; e 2<sup>o</sup>) o aumento da vazão no primário, mesmo com um nível mais elevado de temperaturas, provocou uma redução nos níveis de taxa de dose na superfície. Essa análise nos levou às seguintes hipóteses: *a redução no nível de atividade para a condição de maior vazão pode ser decorrente da maior homogeneização da água da piscina (maior diluição dos elementos radioativos na água) e portanto o nível elevado com baixas vazões é decorrente principalmente da difusão dos elementos radioativos; o perfil de gradiente negativo das taxas de dose é decorrente de fracas correntes de água e sua forma induz também ao predomínio do efeito de difusão dos elementos radioativos do compartimento do reator para o compartimento de estocagem de combustível.*

Com base nessa análise e dada à solicitação dos operadores do reator de não se considerar a introdução de separação física de níveis, desenvolvemos a nova conceituação para o sistema da camada quente.

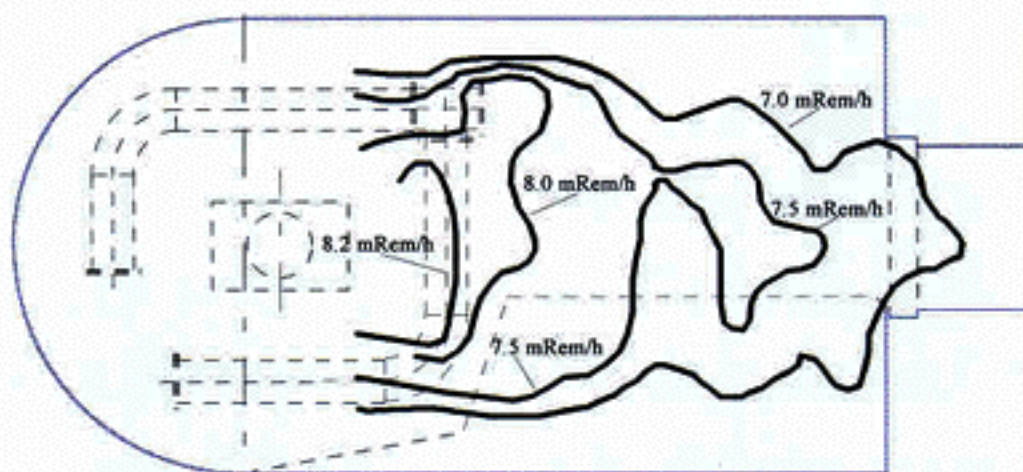


Figura 2 - Isodose em 1976 [2].

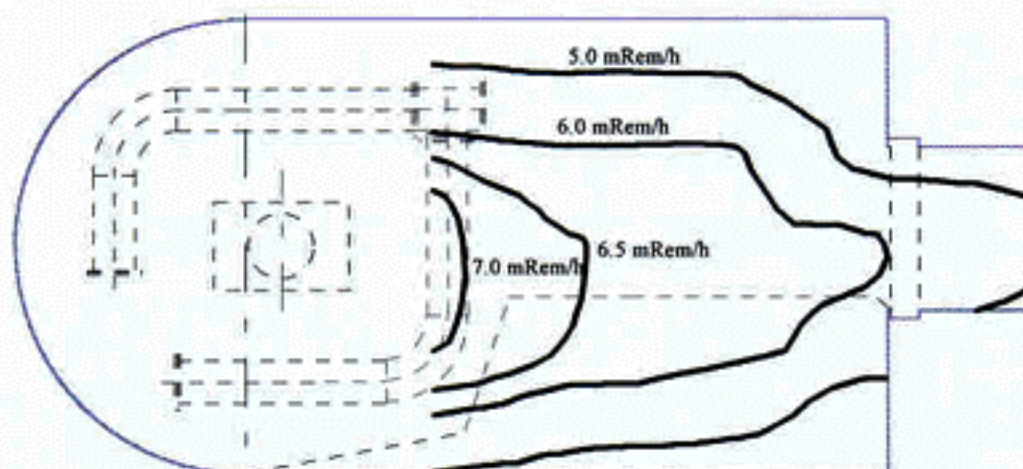


Figura 3 - Isodose em 1989 - Condição Nominal [5].

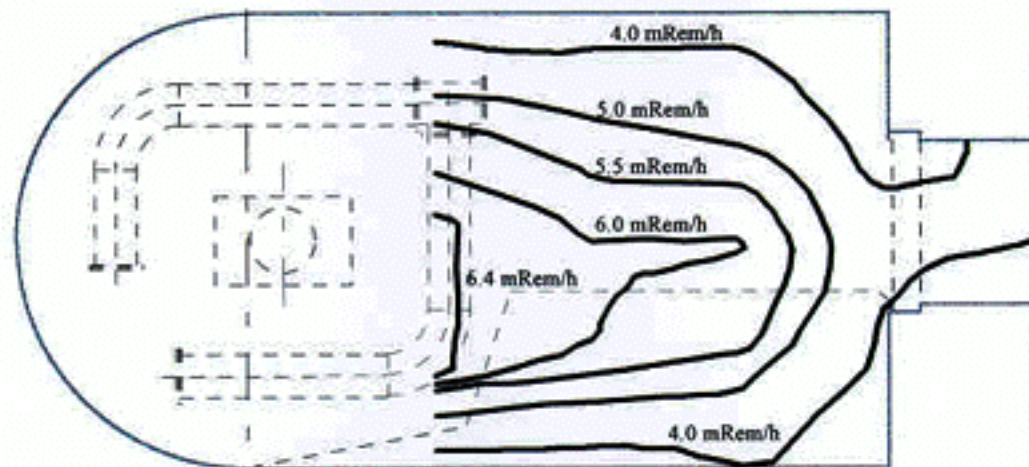


Figura 4 - Isodoses em 1989 - Vazão e Temperaturas Máximas.

### CONCEITUAÇÃO DO SISTEMA

O conceito funcional do sistema proposto é ilustrado na Figura 5. Nesse conceito consideramos a introdução de uma separação entre compartimentos, com o objetivo de eliminar as fracas correntes superficiais entre eles e ao mesmo tempo diminuir a superfície livre de água quente,

reduzindo o impacto de aumento da umidade no saguão da piscina. Consideramos a necessidade de melhorar a distribuição de água do sistema primário ao redor do núcleo do reator, evitando a formação de correntes de longo percurso e confinando uma região de refrigerante com altos níveis de elementos radioativos.

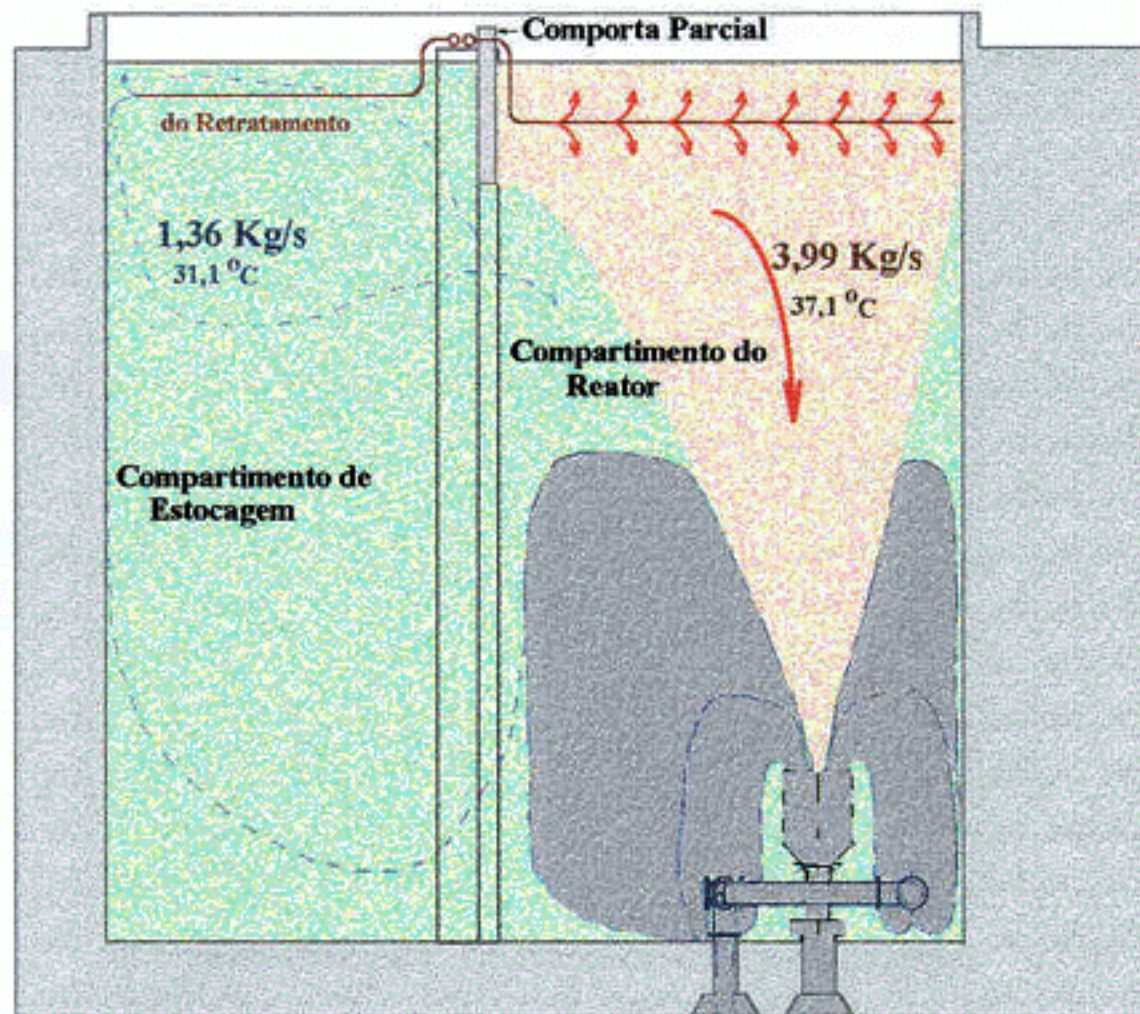


Figura 5 - Esquema Conceitual da Camada Quente.

O fluxograma da Figura 6 mostra que o sistema foi concebido considerando a realização de duas intervenções nas tubulações de descarga das bombas do primário, introdução de um leito misto de resinas de troca iônica, posicionamento de um distribuidor de água próximo à superfície da piscina, além da introdução de uma comporta parcial para separação do compartimento de estocagem de combustível e da alteração do difusor de água do Circuito Primário. Nessa concepção, eliminou-

se a necessidade de aquecedor elétrico pela utilização do calor do reator para o aquecimento da água.

A função do leito de resinas de troca iônica é a remoção das impurezas ativáveis e dos elementos radioativos, principalmente  $^{24}\text{Na}$  e  $^{27}\text{Mg}$ . O leito é do tipo "coluna mista de resinas de troca iônica", dimensionado para uma vazão de  $14 \text{ m}^3/\text{h}$  e uma temperatura máxima de operação de  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . O vaso contém 152 litros de resina catiônica e 228 litros de

resina aniônica e é blindado com tijolos curvos de chumbo de 100 mm de espessura.

O distribuidor de água da camada quente consiste de um tubo de 2" SCH 40S em aço inoxidável tipo 304 contendo 342 orifícios de 1/8" de diâmetro, distribuídos conforme Figura 7, para se obter uma perda de pressão máxima de 0,11 bar e para que  $\approx 60\%$  da vazão total seja distribuída na região de maior atividade. Foi idealizado de modo a ser possível alterar sua profundidade de instalação durante testes de ajuste do sistema. Para a conexão do distribuidor foi previsto um trecho inicial flexível.

O sistema possui 11 válvulas, sendo 6 ao longo do percurso principal. As válvulas de interface com o Circuito Primário têm a função de isolamento do sistema e são acionadas remotamente pelo sinal de nível de água na piscina (que também aciona o isolamento das tubulações principais do Circuito Primário). Essas válvulas podem ser acionadas pelo operador tanto para seleção do circuito operante quanto para isolamento em casos de manutenção.

A comporta parcial não é essencial para a operação do sistema. Foi idealizada para minimizar a evaporação e para eliminar correntes superficiais e atinge a profundidade de 1.5 m separando o compartimento de operação do compartimento de estocagem de combustível irradiado. Será fabricada de material leve podendo ser removida em qualquer instante.

As condições de projeto do sistema foram estabelecidas para a formação de uma camada quente de até  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura de entrada na piscina, limitando a temperatura máxima na superfície em  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$  de modo a não se atingir taxas de evaporação superiores a 4 vezes o máximo observado atualmente.

**Tabela 1 - Parâmetros de Projeto**

Vazão Volumétrica	:	18 m <sup>3</sup> /h
Temperatura	:	45 °C
Pressão de projeto: Tubulação	:	6,89 bar(g)
Pressão de projeto: Leito de Resinas	:	3,45 bar(g)

O sistema foi dimensionado considerando-se condições normais de operação do reator em regime permanente; condição de verão com temperatura de bulbo úmido de  $24,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; vazão nominal de operação do primário em 5 MW de 3000 gpm (188,3 Kg/s); e, disponibilidade de pressão para estabelecer a circulação de água na camada quente de 3,4 bar de pressão absoluta (valores medidos de pressão).

Como o projeto do difusor de água do primário não estava adequado para sua função [3,4,6] e, não se considerou viável a instalação de um novo difusor em cota superior à do núcleo (que seria o ideal), seu projeto foi alterado considerando-se sua manutenção na cota atual e mantendo-se algumas características do projeto anterior. O passo dos orifícios foi alterado para 2" (50,8 mm), com diferentes distribuições de orifícios por trecho. O Difusor denominado A-1 e dimensionado na referência [6], foi dividido em dois ramos (A e B) com a

utilização de 143 orifícios no trecho A e 181 orifícios no trecho B. As distribuições de vazão para esse novo projeto estão na Figura 8. Os resultados mostram que deverá passar  $\approx 50\%$  da vazão total em cada trecho.

## DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO

A operação normal do sistema da camada quente se inicia com a seleção e abertura da válvula de interface com o primário. A água passa a fluir através do sistema da camada quente impulsionada pela bomba do primário que estiver acionada para a circulação do refrigerante. A água, desviada na temperatura de saída do reator, passa através do leito de troca iônica onde é retido 90% do <sup>24</sup>Na e do <sup>27</sup>Mg. Em seguida é encaminhada ao topo da piscina onde é misturada com parte da vazão do Sistema de Retratamento. A mistura é distribuída na superfície propiciando a manutenção de uma camada de água "quente" e "pura", blindando a radiação proveniente da água do fundo.

As vazões são ajustadas em função dos testes pré-operacionais sendo posteriormente realizadas correções durante a operação do reator, em função dos níveis de temperatura atingidos. A máxima vazão no distribuidor pode atingir o valor de 5,0 kg/s. A máxima temperatura da água na saída do distribuidor pode ser regulada para  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no verão, com a temperatura da saída do reator em  $42,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Em geral se pretende obter uma camada com temperatura de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  superior à temperatura da água da piscina.

A eficácia do sistema será determinada através de medidas de taxa de dose na superfície da piscina e através de análises da água na saída do leito. A regeneração das resinas será realizada a cada dois ou três ciclos de operação do reator.

Os procedimentos operacionais para o Sistema da Camada Quente serão desenvolvidos através de um programa de testes que será realizado durante o seu comissionamento. No início da operação do reator na potência de 5 MW, antes de ser ativado o sistema da camada quente, serão realizadas medidas de taxa de dose na superfície da piscina e de concentração de <sup>24</sup>Na e <sup>27</sup>Mg na água da piscina. O distribuidor de água da camada quente estará posicionado a uma profundidade de 250 mm. Após a primeira semana de operação do reator, o sistema da camada quente será ajustado para sua vazão máxima de operação e após estabelecimento de um regime permanente serão realizadas medidas da temperatura da camada, concentração de radionuclídeos e taxas de dose na superfície. Serão variadas as condições, dentro de um plano de testes, e repetidas as medidas. Após cada etapa de testes, o distribuidor será reposicionado (de 250 a 750 mm) para novas medidas.

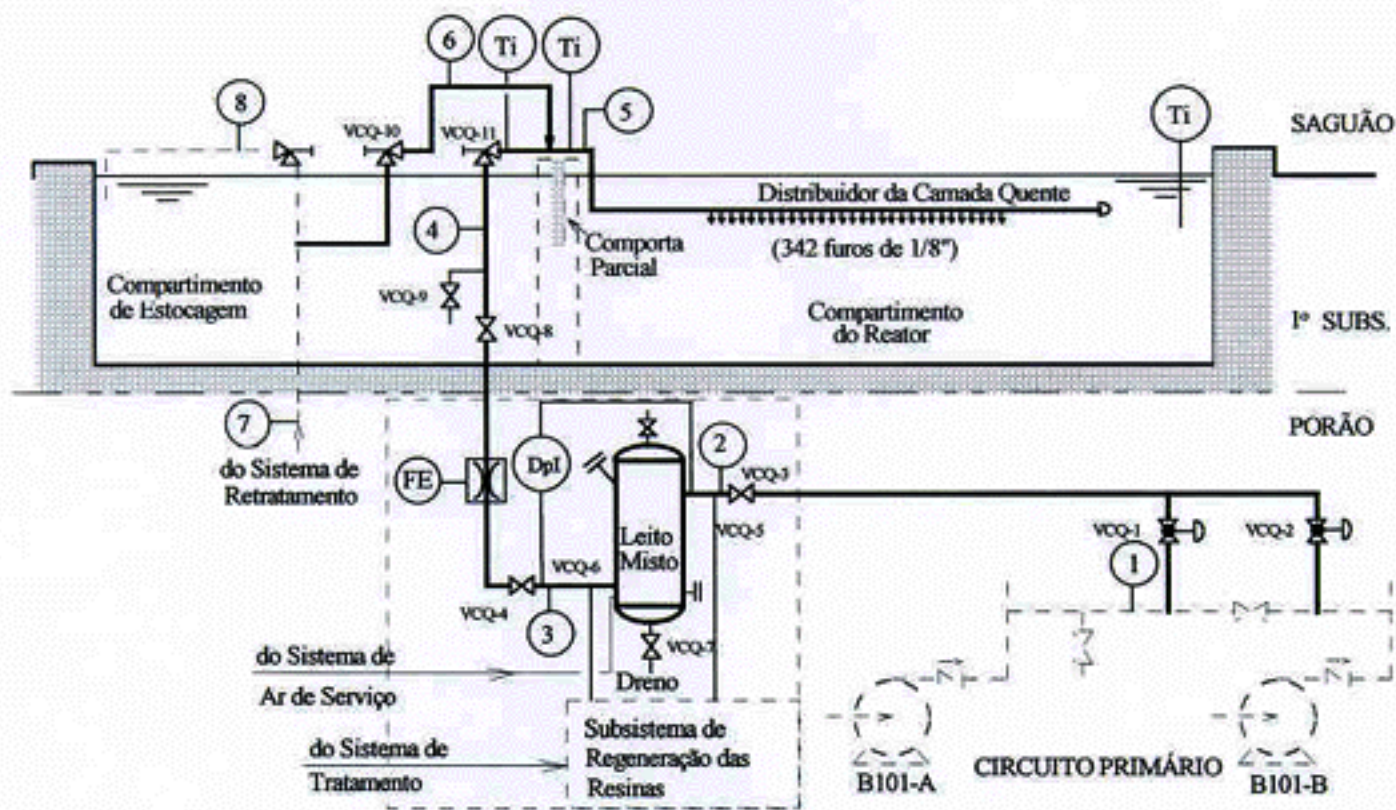


Figura 6 - Fluxograma de Processo do Sistema da Camada Quente.

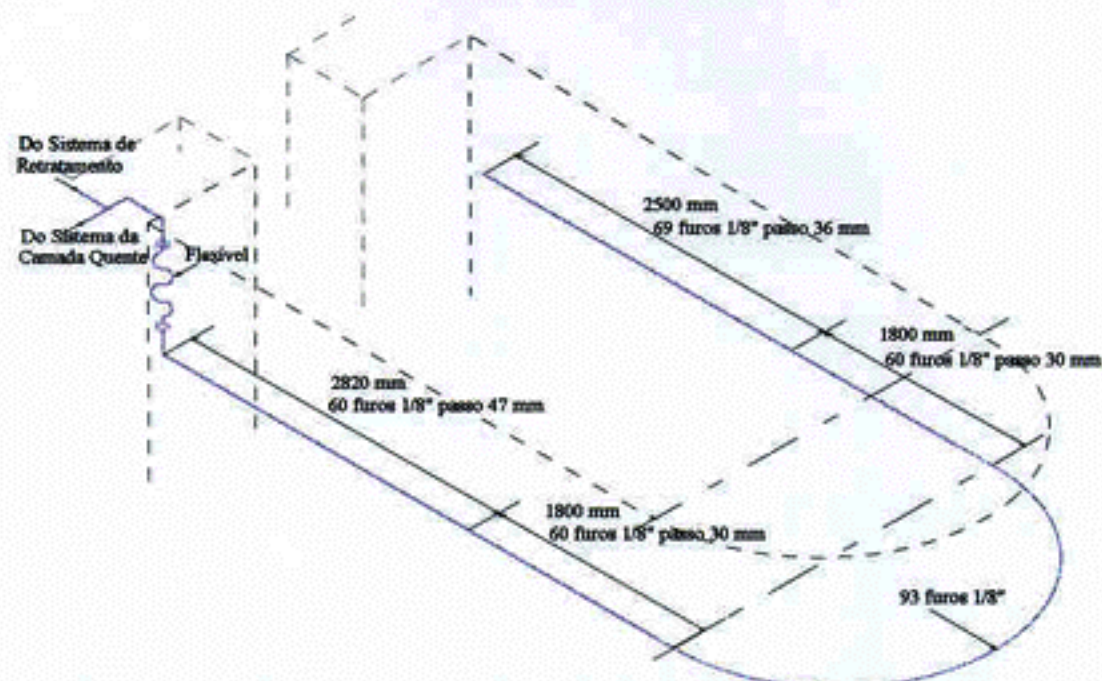


Figura 7 - Distribuidor da Camada Quente.

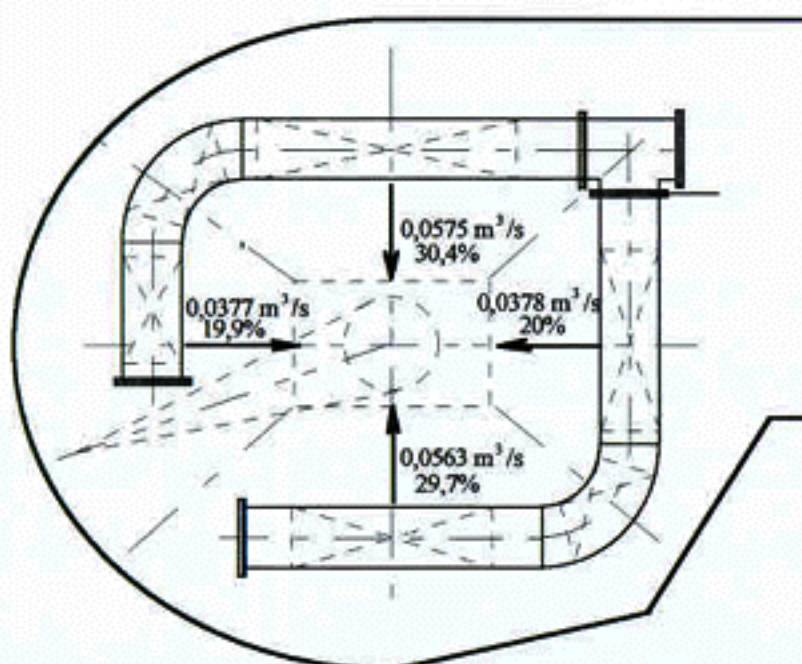


Figura 8 - Distribuição da Vazão - Difusor A-1.

## VERIFICAÇÕES FINAIS

Para verificar o resultado da concepção baseada na recirculação da água do primário e sua purificação através de um leito de resinas para remoção de  $^{24}\text{Na}$  e  $^{27}\text{Mg}$ , é necessária uma análise simplificada do termo-fonte de pelo menos um desses elementos, considerando dados existentes para a potência de 5 MW e avaliando as condições sem e com o novo leito de resinas. Considerando somente o  $^{24}\text{Na}$  e escolhendo os dados de concentração mais conservativos, encontrados na referência [1]:  $A_{24\text{Na}} = 8,19 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  que, para um volume de água de  $272 \text{ m}^3$  na piscina, resultam na atividade total de  $AT_{24\text{Na}} = 2,23 \text{ Ci}$ .

Como nessa referência não se considerou nenhum sistema adicional de purificação, pode ser estimado o termo fonte que inclui todas as condições de geração e remoção de  $^{24}\text{Na}$  atuais. O balanço de atividades é:

$$\frac{dN}{dt} = s - \lambda \cdot N \Leftrightarrow \frac{dA}{dt} = s - \lambda \cdot A$$

onde N é o número de átomos, correspondente à atividade total A e os demais termos são o termo-fonte (incluindo geração e remoção) e  $\lambda$ , a constante de decaimento.

$$\text{No equilíbrio, } \frac{dN}{dt} = 0,$$

dada a atividade total e dado  $\lambda = 54000 \text{ s}^{-1}$ , temos:

$$s = \lambda \cdot A = 28,6 \mu\text{Ci} / \text{s},$$

considerando a introdução do novo termo de remoção dado pelo novo leito de resinas conforme o esquema da Figura 9, temos:

$$\frac{dN'}{dt} = s - \dot{R} - \lambda \cdot N' \Leftrightarrow \frac{dA'}{dt} = s - \dot{R} - \lambda \cdot A'$$

Nesse esquema o termo de remoção pode ser relacionado com a eficiência de remoção do leito na forma:

$$A_s = (1 - \eta) \cdot A_e$$

$$\dot{R} = \dot{m} \cdot \eta \cdot A_e$$

procedendo os cálculos com os dados do sistema e considerando a eficiência de remoção para o  $^{24}\text{Na}$ ,  $\eta=0,90$  [6], obtemos:

$$\dot{R} = 1,257 \times 10^{-5} \cdot A_e \text{ (}\mu\text{Ci} / \text{s)}$$

Considerando a nova condição de equilíbrio verificamos que a nova atividade total de  $^{24}\text{Na}$  na piscina será:  $AT^{24\text{Na}} = 1,125 \text{ Ci}$ , ou seja, obtemos uma redução global de aproximadamente 50%, sem ainda considerar o efeito da camada quente.

A atividade específica na camada quente foi avaliada considerando os volumes:  $V_o = 160 \text{ m}^3$ ;  $V_s = 32 \text{ m}^3$ ; e,  $V_{\text{sist}} = 33 \text{ m}^3$ . Um balanço de atividades leva que  $A_e = 6,85 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ . Desprezando a atividade no compartimento de estocagem e considerando a eficiência de remoção de 90 %, obtivemos  $A_s = 0,685 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$  (25345 Bq/g).

Na referência [5], o valor médio da atividade específica do  $^{24}\text{Na}$  encontrado na superfície da piscina nas condições atuais de 2 MW é  $A_s = 25594 \text{ Bq/g}$ . Portanto, com o sistema da camada quente é possível obter a mesma concentração de  $^{24}\text{Na}$  com uma potência 2,5 vezes maior. O mesmo pode ser induzido para o  $^{27}\text{Mg}$ .

Considerando que 98 % da taxa de dose na superfície é devida aos elementos radioativos presentes na água, que 14,2% dessa dose é devida ao  $^{41}\text{Ar}$  [1], que podemos manter as concentrações superficiais atuais do  $^{24}\text{Na}$  e do  $^{27}\text{Mg}$  e ainda que a espessura da camada é suficiente para blindar as maiores concentrações da parte inferior da piscina, podemos esperar uma taxa de dose superficial da ordem de 10 mRem/h, o que justifica plenamente a concepção e as vazões definidas.

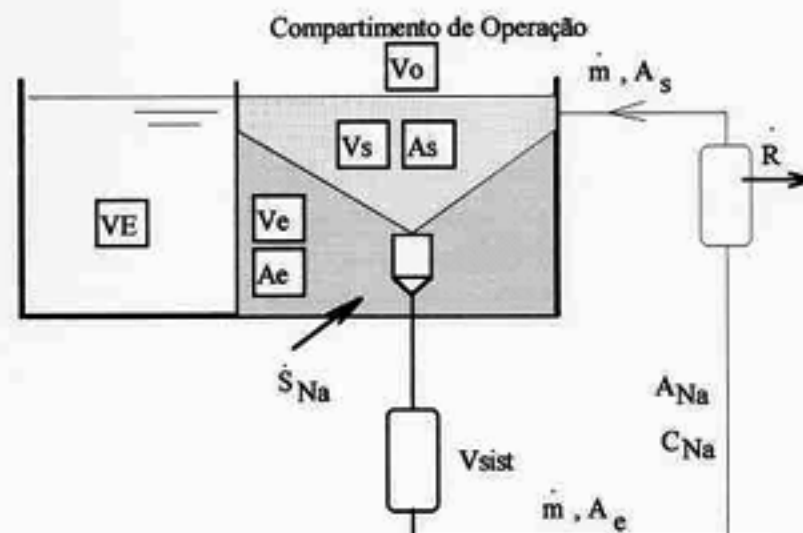


Figura 9 - Esquema para Novo Balanço de Atividades.

Na referência [6] foi ainda avaliado o aumento na taxa de evaporação superficial da piscina, obtendo-se taxas de evaporação entre 0,75 a 3,67 vezes as atuais.

## REFERÊNCIAS

- [1] Andrade e Silva, G.P. e Santos, A., **Avaliação das Taxas de Dose no Reator IEA-R1**, Relatório Técnico Interno R410-44-0035-413/00, junho de 1988.
- [2] Pasqualetto, H., **Níveis de Radiação na Superfície Livre da Piscina do Reator IEA-R1**, Tese de Mestrado IEA-064, Publicação de julho de 1978.
- [3] Pasqualetto, H. e Souza, J.A., **Estudos Visando a Redução dos Níveis de Radiação na Superfície do Reator IEA-R1**, Informação IEA-43, 1975.
- [4] Maprelian, E., **Estudo sobre Atividade Superficial no Reator IEA-R1**, Relatório Técnico Interno R320-2100-0052-321/00, fev. 1988.
- [5] Maprelian, E., **Análise de Dados da Rotina Experimental: Doses IEA-R1**, Relatório Técnico Interno RP23-0040-0017-421/01, fev. 1991.
- [6] Baptista F., B.D., **Memorial de Cálculo do Sistema da Camada Quente**, Relatório Técnico Interno PSL.RES.IEA-R1.001/RELT.002.R00, dez. 1995.

## ABSTRACT

A new system to reduce the radiation exposure on the pool working area of IEA-R1 Reactor, when operating at 5 MW, was designed. The concept of this system is based on a hot water layer that shields the pool surface from the  $\gamma$ - and  $\beta$ -radiation due to radioactive elements present in the pool water. Similar concept has been employed in several pool type reactors in the world but, due to design constraints of IEA-R1, it was necessary some design changes in the reactor cooling systems. In this work the conceptual design and the expected performance of the system are presented.