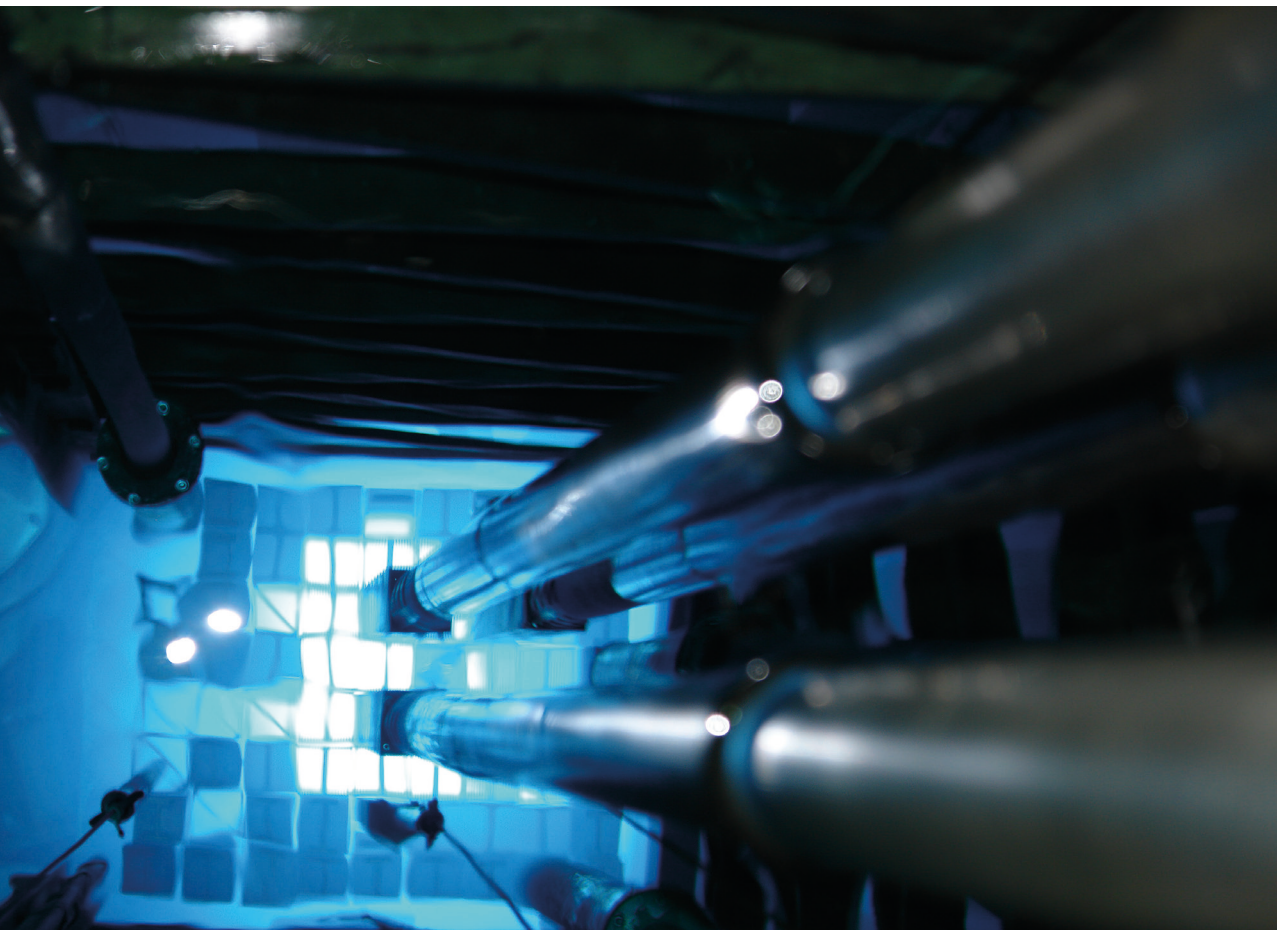


Paulo Sergio Cardoso Da Silva  
Guilherme Soares Zahn  
Francisco De Assis Souza  
organizadores

# CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR

*Conselho editorial*

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

**Blucher** Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA  
GUILHERME SOARES ZAHN  
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA  
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR  
WARP2: II Workshop Anual do  
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019  
Centro do Reator de Pesquisas  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

*Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear*

*WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas*

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher

*Editor* Eduardo Blücher

*Coordenação editorial* Jonatas Eliakim

*Produção editorial* Thaís Costa

*Diagramação* Taís do Lago

*Capa* Laércio Flenic

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel 55 11 3078-5366  
contato@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer  
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :  
São Paulo)  
Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa  
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso  
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis  
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.  
478 p : il.  
21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de  
Pesquisas  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Bibliografia  
ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)  
ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)  
1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,  
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.  
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

*COMITÊ ORGANIZADOR*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

*COMITÊ CIENTÍFICO*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

*APOIO*

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



# ESTUDOS E AÇÕES CORRETIVAS PARA AUMENTAR A VAZÃO DO NÚCLEO ATIVO DO REATOR IEA-R1

*Walmir M. Torres, Pedro E. Umbehaun, Delvonei A. Andrade*

Centro de Engenharia Nuclear – IPEN-CNEN/SP  
Av. Professor Lineu Prestes, 2242  
05508-000 São Paulo – SP  
wmtorres@ipen.br

## RESUMO

Este trabalho apresenta os estudos experimentais e medidas realizadas no reator IEA-R1, e as providências tomadas visando aumentar a vazão através do núcleo ativo do reator. A diminuição da vazão de desvio foi conseguida melhorando-se o posicionamento dos tampões e refletores de grafite e, também, pela colocação de uma peça, especialmente projetada e construída, na base do EIS obstruindo locais que permitiam a passagem de água. Uma câmara subaquática foi utilizada na investigação do problema. A correção da curva de vazão versus  $\Delta P$  do bocal de vazão em aproximadamente 13% teve influência direta na vazão pelo núcleo. As medidas de vazão pelo núcleo ativo foram feitas utilizando-se o elemento DMPV-01. Com as providências tomadas, obteve-se um aumento na vazão média pelo núcleo ativo da ordem de 26% (de 15,5 m<sup>3</sup>/h/elemento para 19,5 m<sup>3</sup>/h/elemento).

Com o aumento da vazão pelo núcleo também houve um aumento da queda de pressão e o transmissor de pressão teve que ser calibrado numa faixa de pressão mais ampla (0 – 1000 mmH<sub>2</sub>O), o dobro daquela que até então era usada (0 – 500 mmH<sub>2</sub>O). Por isso foi necessário alterar o set-point de desligamento por baixa vazão para 3,5 V.

## 1. INTRODUÇÃO

Medidas preliminares de distribuição de vazão no núcleo do reator IEA-R1 [1-2] mostraram que uma parcela considerável de vazão não estava passando pelo núcleo ativo do reator, portanto, não sendo efetiva no resfriamento do mesmo, diminuindo assim as margens de segurança do reator. Um estudo foi realizado com objetivo de diminuir a vazão de desvio e conseqüentemente aumentar a vazão nos elementos combustíveis. Para isso, foi usada uma câmara subaquática resistente à radiação, com a qual foi possível identificar e corrigir vários pontos de desvio de vazão. Havia uma desconfiança, que neste estudo foi confirmada, sobre a medida de vazão do circuito primário de resfriamento. Esse ponto também foi verificado e constatou-se que no cálculo do coeficiente de descarga do bocal usado para medir vazão foi considerado um valor incorreto de  $\beta$ . O valor correto de  $\beta$  foi implementado ao sistema de medida de vazão e com isso houve um aumento de aproximadamente 13% na vazão. À seguir, são apresentados alguns problemas observados durante a verificação.

## 2. ESTUDO PARA AUMENTO DA VAZÃO NO NÚCLEO DO IEA-R1

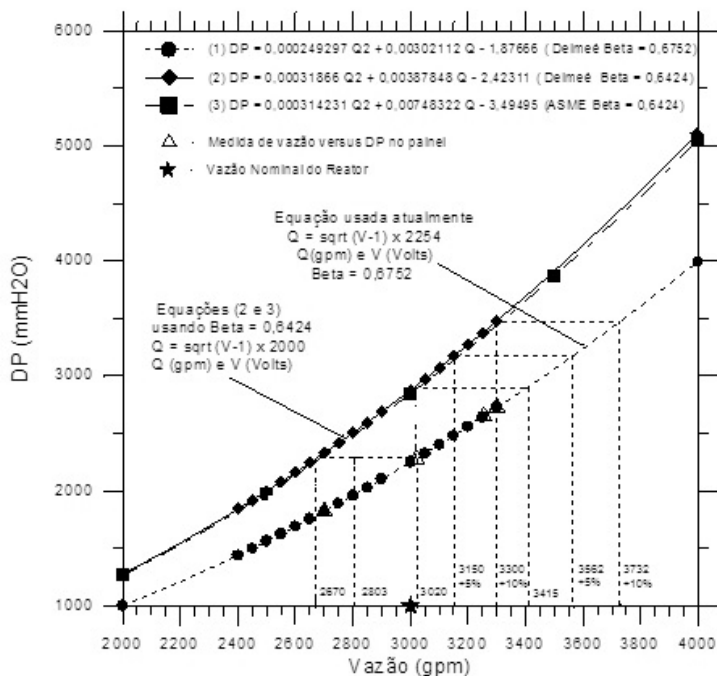
Medidas de distribuição de vazão realizadas anteriormente com o elemento DMPV-01 [1-2] e relatadas em [3], mostraram que a distribuição de vazão pelos elementos combustíveis do núcleo do IEA-R1 é praticamente uniforme e que o valor médio (15,5 m<sup>3</sup>/h/elemento) estava muito abaixo do valor estimado (19,86 m<sup>3</sup>/h/elemento) em [4]. Para operações a 2 MW não existem problemas em operar com 15,5 m<sup>3</sup>/h/elemento, pois os fluxos de calor são baixos e compatíveis com essa vazão, conforme demonstra a análise termo-hidráulica apresentada em [5], não violando as margens de segurança do reator. Contudo, para operações a 5 MW, essa vazão é muito baixa e a análise termo-hidráulica [6] mostra que a temperatura nas placas atinge valores acima do recomendado.



## 2.1. Verificação do sistema de medida de vazão do circuito primário

Foi realizado um estudo sobre o sistema formado pelo bocal de vazão e transmissor de pressão diferencial. Esse estudo teve por base o relatório [7] de 1993 que trata da calibração de potência do reator IEA-R1 por balanço térmico. Foi detectado que, nos cálculos do coeficiente de descarga do bocal de vazão foi usado uma relação  $\beta = 0,6752$  incorreta, enquanto a relação correta é  $\beta = 0,6424$ , conforme folha de dados do instrumento (observação:  $\beta$  é a relação entre o diâmetro da garganta do bocal de vazão e o diâmetro interno da tubulação onde ele está instalado). O uso da relação incorreta acarreta numa diferença para menos, da ordem de 13% na vazão, ou seja, para uma leitura de vazão no painel de 3000 gpm (681,3 m<sup>3</sup>/h), corresponderia a uma vazão real circulando no primário igual 2650 gpm (601,82 m<sup>3</sup>/h). Maiores detalhes podem ser vistos em [8]. Os cálculos da curva de vazão versus  $\Delta P$  do bocal usando  $\beta = 0,6424$  foram realizados por dois métodos distintos e os resultados praticamente coincidem. No primeiro, foi usado o método recomendado por Delmeé [9] sobre medidas de vazão, o mesmo que foi usado em [7], enquanto no segundo utilizou-se o método recomendado pela ASME [10]. A Figura 1 mostra as curvas obtidas e a curva que até então vinha sendo usada.

**Figura 1** – Curva de  $\Delta P$  versus Vazão do bocal de vazão do circuito primário do IEA-R1.



Tendo em vista o exposto acima, sugerimos adotar para o sistema de medida do circuito primário, a curva teórica de vazão *versus*  $\Delta P$  calculada usando  $\beta = 0,6424$ . A equação corrigida que foi implementada ao sistema de medida de vazão é

$$Q = (V-1)^{1/2} \times 2000 \quad (1)$$

onde, Q (gpm) – vazão no circuito primário, V (volts) – sinal (1 – 5 V) do transmissor de pressão diferencial associado ao bocal de vazão.

## 2.2. Tampões

Foram inspecionados os tampões (plugues) simples e duplos que estão no núcleo e observou-se que alguns não estavam bem encaixados nos furos da placa matriz, causando desvios de vazão (Figura 2a). Observou-se também que alguns tampões do furo secundário não estavam encaixados no furo secundário e sim apoiados na placa matriz. Esses tampões foram retirados e recolocados na placa matriz até que se conseguisse o melhor encaixe possível. Essa operação foi acompanhada com o auxílio do sistema de inspeção visual com câmera subaquática.

## 2.3. Refletores de grafite

Os refletores de grafite posicionados na periferia do núcleo ativo foram observados e notou-se também que alguns não estavam bem encaixados na placa matriz, conforme mostra a Figura 2b. Eles também foram retirados e recolocados até conseguirmos um posicionamento um pouco melhor na placa matriz, no entanto, alguns refletores encontram-se deformados de forma que a única solução é a substituição dos mesmos. A deformação desses componentes não compromete a segurança do reator.

## 2.4. Elemento de Irradiação de Silício (EIS)

O EIS foi observado e verificou-se que os seus dois bocais em diagonal não se encaixavam na placa matriz, uma vez que as recomendações apresentadas na referência [12] não foram atendidas, porque a parte inferior da caixa ficava assentada sobre os pinos guia da placa matriz, deixando um caminho livre para a passagem de água através dos dois outros furos da placa matriz, conforme mostra a Figura 2c.

Para solucionar esse problema foi projetada e construída uma placa de alumínio com apenas dois furos em diagonal para encaixe dos bocais do EIS e com os furos para encaixe dos pinos guia da placa matriz [13]. Essa placa foi colocada entre a

placa matriz e a parte inferior do EIS, tapando os dois outros furos que permitiam a passagem de água, conforme mostra a Figura 2d.

## **2.5. Acoplamento da válvula de convecção (HEADER)**

Foram feitas observações do acoplamento da válvula de convecção (header) com a flange inferior do cone de redução. Notou-se que o acoplamento da válvula não é perfeito pois existe um leve desalinhamento entre essas duas peças, conforme mostra a Figura 2e. Isso já havia sido observado anteriormente e foram feitas tentativas de alinhamento, sem, contudo, ter se obtido sucesso, conforme descrito em [3]. A Figura 2e mostra ainda que a borda do anel de vedação do header está visivelmente deformada, contribuindo para o acoplamento inadequado e desvio de vazão.

O núcleo foi afastado para permitir observações mais detalhadas das peças envolvidas no acoplamento. Notamos que o sensor que aciona o sistema de indicação de acoplamento (Figura 2f) não recolhe totalmente mesmo quando acionado por esforço mecânico da haste (acionamento manual). Isso indica que as duas peças não ficam face com face após o acoplamento e, portanto, existe um vão por onde ocorre a passagem de água. Testes feitos anteriormente [8], usando uma fita de tecido, acusaram vazão através do acoplamento sem, contudo, ser possível sua quantificação, mas que deve ser considerável, e portanto deve ser corrigida.

Aproveitou-se a oportunidade do núcleo estar afastado para a remoção do header. A peça foi colocada no saguão da piscina e então foi providenciado, na medida do possível, o reparo da região deformada do anel de vedação (Figura 2e). Após isso, ela foi recolocada em seu lugar e o núcleo reposicionado em seu local de operação. Contudo, devido ao desalinhamento observado, o anel perdeu a sua função de vedação.

## **2.6. Medidas com DMPV01**

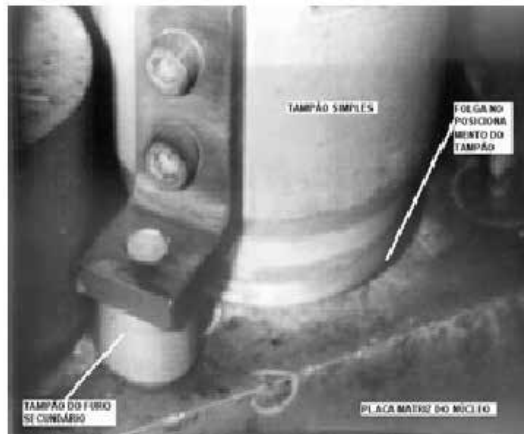
Para cada uma das providências tomadas foi realizada a medida de vazão com o DMPV-01. Entre as principais providências estão: a) correção da curva de vazão do bocal do circuito primário; b) fabricação de uma placa de alumínio para colocação sob o EIS; c) operação do reator com o EIBE e seus tubos de irradiação; e d) outras (substituição e reposicionamento de tampões, reposicionamento de refletores de grafite e melhoria no acoplamento do header com o flange do cone de redução). Com essas modificações, foi obtido um aumento de vazão no núcleo ativo da ordem de 26,5%. A Tabela 1 ilustra a contribuição de cada uma dessas

providências tomadas. A correção da curva do bocal teve uma parcela significativa no aumento da vazão.

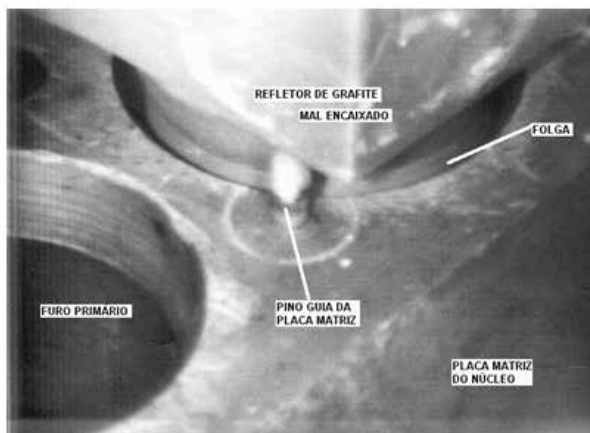
**Tabela 1** – Parcela de contribuição para aumento da vazão

Providência	Contribuição (%)
Correção da curva do Bocal	12,7
Placa sob o EIS	2,8
Operação com tubos no EIBE	2,2
Outras (tampões, refletores, header)	8,8
Total	26,5

**Figura 2a** – Tampões mal posicionados



**Figura 2b** – Refletores de Grafite sobre os pinos



**Figura 2c** – Elemento de Irradiação Silício sobre pinos

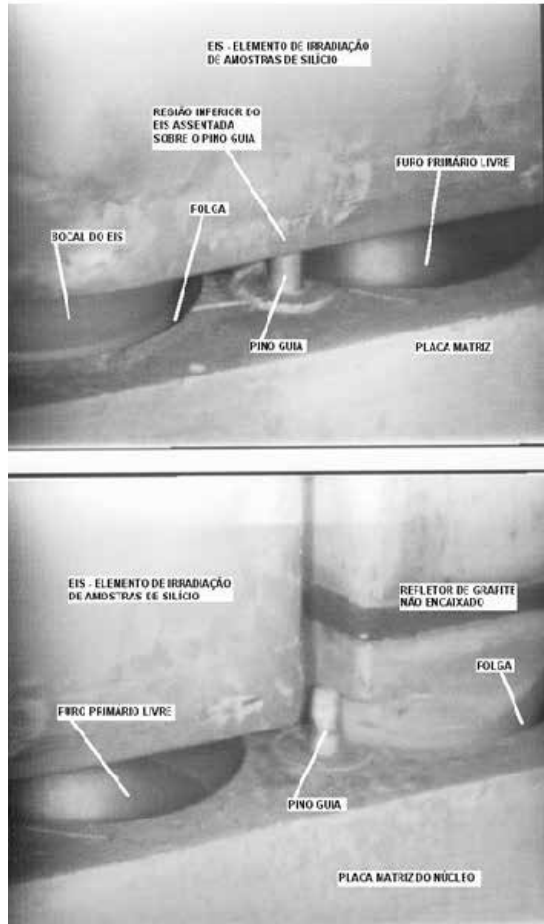


Figura 2d – Elemento de irradiação Silício sobre pinos com placa Alumínio

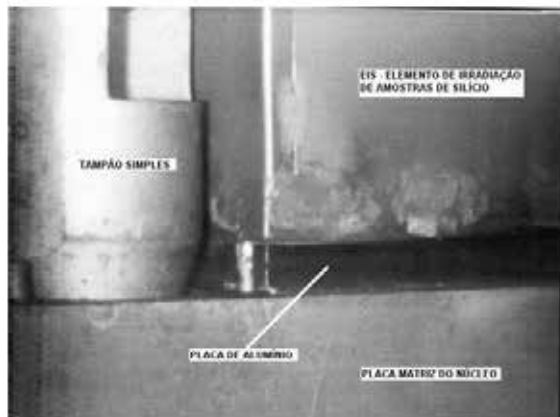
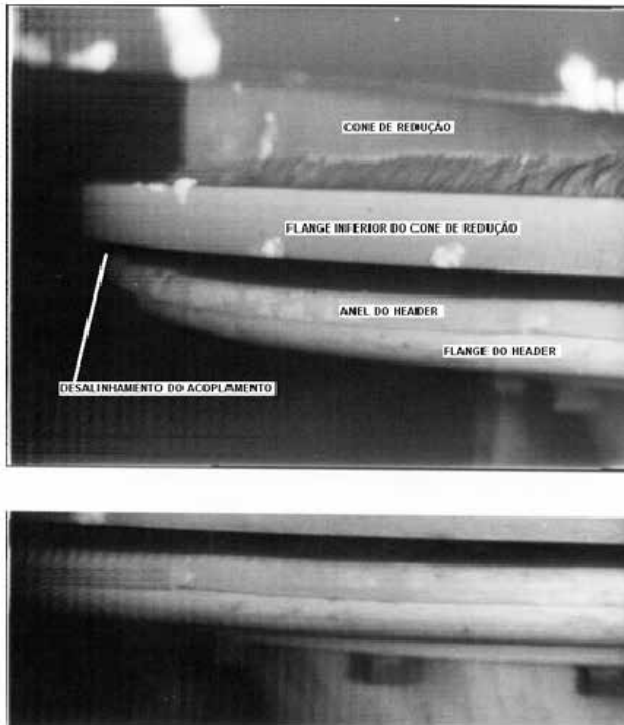
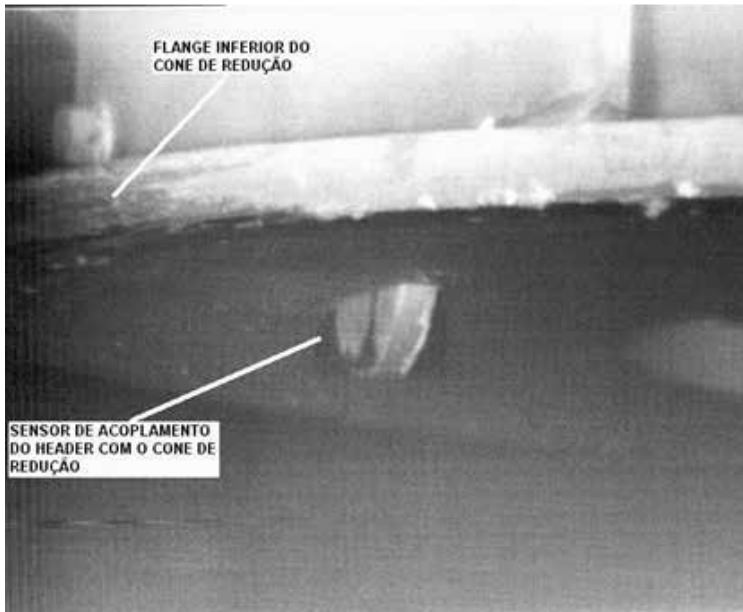


Figura 2e – Acoplamento do HEADER



**Figura 2f** – Sensor de acoplamento do HEADER



O estudo mostra também que é importante o acompanhamento do comportamento da queda de pressão no núcleo do reator IEA-R1, pois ele dá uma indicação muito boa da vazão através dos EC e da vazão no circuito primário, conforme mostrou a comparação com as medidas obtidas com o DMPV-01. Para isso, é necessário que o sistema de medida de  $\Delta P$  do núcleo esteja funcionando convenientemente. Uma das providências para que isso ocorra, é a necessidade de equalização das pressões nas linhas do transmissor de pressão antes do início das operações, ou seja, para a vazão no primário  $Q = 0$  gpm o sinal correspondente no painel de controle deve ser  $V = 1V$  ou muito próximo a este.

### 3. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os estudos, as ações e os resultados de uma série de medidas experimentais realizadas para verificar o efeito de ações corretivas tomadas no sentido de obter uma vazão maior através do núcleo ativo do reator IEA-R1. Com as modificações realizadas, foi obtido um aumento de vazão no núcleo ativo da ordem de 26,5%.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Engenharia Nuclear (CEENG), ao Centro do Combustível Nuclear (CECON) e ao Centro do Reator de Pesquisas (CRPq).

### REFERÊNCIAS

- 1 LIMA, R. M.; OLIVEIRA, F. S. *Relatório descritivo de fabricação do elemento DMPV-01*. Relatório Descritivo de Fabricação nº RDF-DMPV-01/01 – R:00. Set. 2000.
- 2 TORRES, W.M. *Desenvolvimento do elemento DMPV-01 para medida de vazão no núcleo do reator IEA-R1*. Relatório Técnico nº PSE.CENT.IEAR1.001.00 – RELT.003.00. Mar. 2001.
- 3 TORRES, W. M. *Medida da distribuição de vazão no núcleo do reator IEA-R1 usando o elemento DMPV-01*. Relatório Técnico nº PSE.CENT.IEAR1.001.00 – RELT.004.00. Mar. 2001.
- 4 UMBEHAUM, P. E.; ANDRADE, D. A. *Reavaliação das condições termo-hidráulicas do núcleo do reator IEA-R1 para produção de molibdênio*. Relatório Técnico nº PSI.ROI.IEAR1.055 – RELT.001.00. Jul.1999.

- 5 YAMAGUCHI, M.; UMBEHAUM, P. E. *Relatório de mudança de configuração do núcleo do reator IEA-R1 (configuração 210B)*. Relatório Técnico nº PSE.CENF.IEAR1.007.00 – RELT.001.00. Maio 2001.
- 6 UMBEHAUM, P. E.; YAMAGUCHI, M. *Estudo neutrônico e termo-hidráulico para redução de urânio nas placas laterais*. Relatório Técnico nº PSE.CENT.IEAR1.036.00 – RELT.001.00. Set. 2001.
- 7 HIROMOTO, Y.; PASQUALETTO, H. MADI Fº, T. *Calibração do reator IEA-R1 por balanço térmico*. Relatório Técnico nº RP5100400004441-00- rev.00. Nov. 1993.
- 8 TORRES, W. M. *Reavaliação do coeficiente de descarga do bocal de vazão do circuito primário do IEA-R1*. Informação Técnica nº PSE.CENT.IEAR1.001.00 – INFT.001.00. Mar. 2001.
- 9 DELMEÉ, G. J. *Manual de medição de vazão*. São Paulo: Blucher, 1983.
- 10 BEAN, Howard S. (ed.). *Fluid meters: their theory and application*. 6<sup>th</sup> ed. New York: ASME, 1971.
- 11 SILVA, O. P. *Relatório de medição de vazão*. IEF – Automação. Jun. 2001.
- 12 UMBEHAUN, P. E.; MENDONÇA, A. G. *Análise termo-hidráulica do EIS*. Relatório Técnico nº PSI.ROI.IEAR1.026.00 – RELT.001.R00. Set. 1997.
- 13 SILVA, J. E. R. *Projeto da placa adaptadora do EIS do IEA-R1*. Relatório Técnico nº PSE.CENC.IEAR1.046.00 – RELT 001.00. Nov. 2001.