

# INSPEÇÕES VISUAIS NAS BARRAS ABSORVEDORAS DE NÊUTRONS DO REATOR IEA-R1

José Eduardo R. da Silva; Luís A. A. Terremoto; Myrthes Castanheira; Carlos A. Zeituni; Margaret de A. Damy

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP  
Centro de Engenharia Nuclear (CEN)  
jersilva@net.ipen.br; São Paulo – SP - Brasil

## RESUMO

O Grupo de Engenharia do Combustível (CENC) do IPEN/CNEN-SP desenvolveu uma metodologia para realização de inspeções visuais subaquáticas de elementos combustíveis irradiados, barras de controle e componentes do núcleo do reator, dentro da piscina do IEA-R1. Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para a realização das inspeções visuais das barras de controle do reator, as quais permitem avaliar e acompanhar o estado geral das mesmas, uma vez que estas encontram-se em uso no núcleo do reator desde o ano de 1972. São apresentadas avaliações gerais das barras de controle do IEA-R1 referentes às inspeções visuais realizadas nos anos de 1998, 2000 e 2001.

**Keywords:** underwater visual inspection, neutron absorber bar, Ag-In-Cd.

## I. INTRODUÇÃO

O reator de pesquisas IEA-R1, instalado no IPEN (São Paulo – Brasil), é do tipo piscina e opera desde o ano de 1957. Embora tenha sido projetado para operar à potência de 5 MW, tem operado, desde o início, à potência de 2 MW para a produção de radioisótopos para a medicina nuclear e para pesquisas.

O controle da reatividade e desligamento rápido do reator é feito por meio de quatro barras absorvedoras de nêutrons (BAs), sendo uma barra de controle (BC) e três barras de segurança (BS1, BS2 e BS3). Cada uma destas barras é composta de duas lâminas de Ag-In-Cd revestidas com película de Ni com 50 µm de espessura (niqueladas). As quatro BAs foram adquiridas da empresa francesa CERCA e estão sendo utilizadas no núcleo do IEA-R1 desde o ano de 1972.

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia utilizada para a realização de inspeções visuais periódicas das barras absorvedoras de nêutrons do reator IEA-R1, através das quais, o estado geral das barras tem sido acompanhado e avaliado.

A análise qualitativa sobre os aspectos e fenômenos observados nas inspeções visuais dessas BAs, sob os aspectos de oxidação e corrosão da liga e do revestimento de Ni e também sobre a contaminação da água do reator, é apresentada em outro trabalho, também incluído neste evento [3], complementando assim os resultados das inspeções visuais realizadas em 1998, 2000 e 2001 (Ref. [1]). Um outro trabalho, também incluído neste evento [4], complementa a avaliação sobre degradação, abordando aspectos relacionados à

depleção da liga Ag-In-Cd, efetividade de absorção de nêutrons e propriedades mecânicas das BAs do IEA-R1.

## II. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Com a aquisição pelo IPEN, em 1998, do Sistema de Inspeção Visual de Combustível Irradiado - SIVCI, tornou-se possível também o acompanhamento periódico das condições gerais das barras de controle em uso no reator IEA-R1.

O SIVCI é composto basicamente de uma câmera de vídeo subaquática, resistente à radiação, através da qual torna-se possível verificar a integridade e condições gerais de componentes irradiados, no interior da piscina do reator IEA-R1. Este sistema tem sido usado principalmente para as inspeções visuais periódicas dos elementos combustíveis de fabricação IPEN/CNEN-SP que se encontram em qualificação durante a irradiação no núcleo do IEA-R1, como também para inspecionar visualmente elementos refletores de grafite, a placa matriz do núcleo e outros componentes do núcleo do reator. Os fenômenos e ocorrências visuais que eventualmente podem ser observados em uma barra de controle ou em um componente do núcleo sob inspeção visual são manchas de corrosão, gradiente de coloração mostrando as diferentes regiões de potência do núcleo, pites de corrosão, perda de material devido a corrosão, perda de camada de níquel, riscos, desgastes, marcas de batidas e deformações devido a manuseio operacional inadequado. Algumas dimensões da barra absorvedora de nêutrons do IEA-R1 são apresentadas na Fig. 1

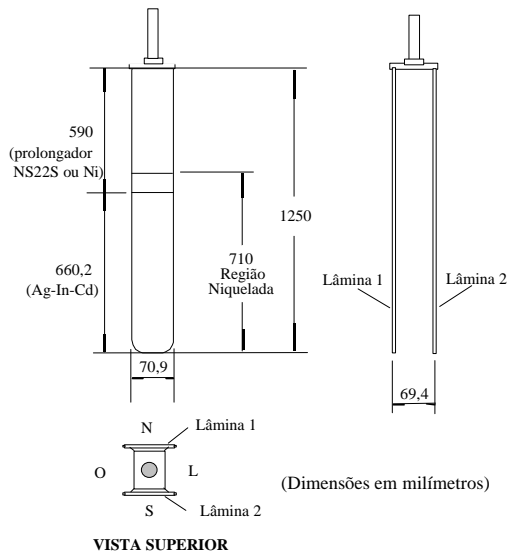


Figura 1. Algumas Dimensões da Barra de Controle do IEA-R1.

**Equipamentos.** O sistema SIVCI é composto por uma câmera de vídeo subaquática resistente à radiação IST-REES –modelo ETV 1258, para imagens Branco e Preto, equipada com um conjunto de lentes padrão (22mm – 90mm), equipada com sistema de movimentação (*pan* e *tilt*) e sistema de iluminação com duas lâmpadas de 75 watts. O controle de *zoom*, foco, abertura da íris, movimentação do sistema *pan* e *tilt*, intensidade das luzes (direita e esquerda) são controlados por controle remoto. Um monitor de vídeo branco e preto de 12 polegadas, marca Panasonic e um monitor adicional de 8 polegadas são usados para examinar as imagens provenientes da câmera. Para a gravação das imagens é usado um videocassete profissional Panasonic, modelo AG-1980P e, para a impressão de imagens, um video graphic printer Sony, modelo UP-880 tem sido usado. As imagens obtidas são gravadas em fitas de vídeo. Estas, podem ser transferidas para um arquivo digital utilizando uma placa de aquisição de imagens VITRA VGA+TV “ComboBoard”, instalada num computador PC.

**Metodologia.** A câmera subaquática é suportada por um tubo preso na ponte móvel do reator, como mostrado na Fig. 2. A câmera é posicionada cerca de 2,8 m de profundidade. Usando a ponte rolante principal, cada barra absorvedora é retirada da sua posição no núcleo e posicionada cerca de 0,70 m de distância da câmera, de maneira a obter as melhores imagens e para minimizar os danos na câmera devido à radiação.

A barra de controle é mantida em uma posição fixa em frente à câmera. A câmera é então movida por controle remoto usando o sistema de “*pan*” e “*tilt*” para executar a inspeção visual ao longo de todo o comprimento da barra absorvedora. Cada barra absorvedora é examinada atentamente do topo até as extremidades inferiores das lâminas. Se uma ocorrência visual é observada, a imagem é aproximada por meio do “*zoom*” para melhor exame da ocorrência. O controle de foco e da intensidade de iluminação deve ser feito a fim

de se buscar as melhores imagens para que seja possível um exame minucioso.

Antes da inspeção visual de uma barra de controle, um formulário padrão contendo o esquema da barra absorvedora é preenchido, anotando a identificação da barra, data e hora da inspeção. Eventuais ocorrências durante a inspeção são anotadas. As fitas de vídeo gravadas são os registros efetivos das inspeções visuais.

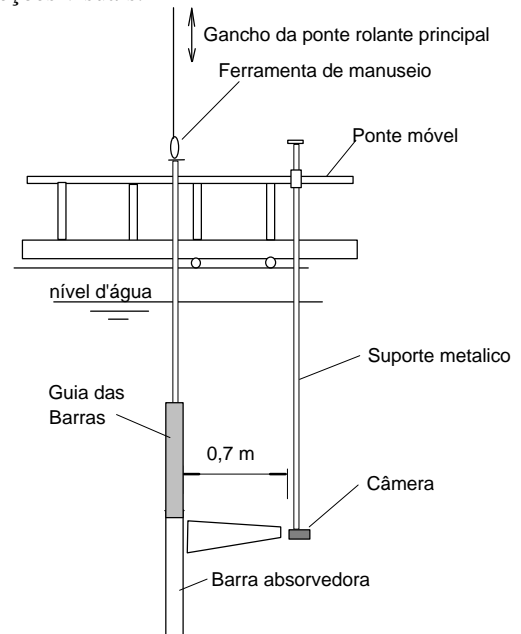


Figura 2. Arranjo para Inspeção Visual das Barras Absorvedoras.

As observações visuais com a câmera são feitas nas faces externa e interna de cada uma das duas lâminas absorvedoras, bem como no sentido do perfil destas, como indicado na Fig. 3.

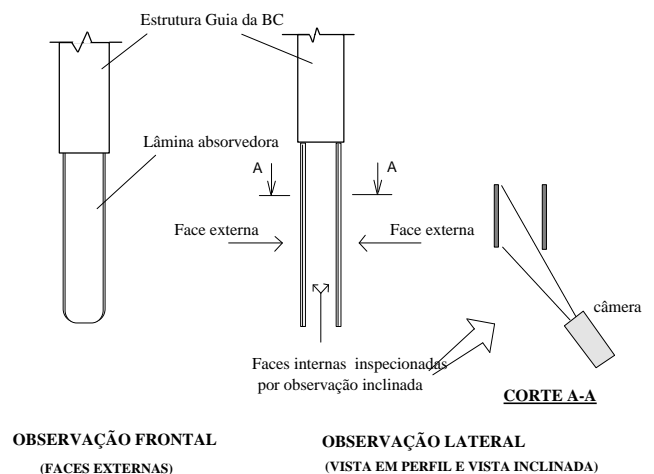


Figura 3. Direções de Observação das BAs.

Os procedimentos operacionais empregados para as inspeções visuais das barras de controle seguem os mesmos procedimentos adotados na Ref. [1].

### III. RESULTADOS OBTIDOS

São apresentados exemplos de ocorrências visuais referentes às inspeções visuais das barras absorvedoras do reator IEA-R1, realizadas em Dezembro de 2001 [2].

**Ocorrências de Oxidação e Perda do Revestimento de Ni.** Exemplos de ocorrências de oxidação das lâminas de Ag-In-Cd e perda do revestimento de Ni são mostradas nas Fig. 4, 5, 6, 7 e 8.

A corrosão observada nas lâminas de Ag-In-Cd com resultante desprendimento de material de diversas erosões, explicam a existência de prata na água e os altos níveis de dose observados atualmente no saguão da piscina do IEA-R1.

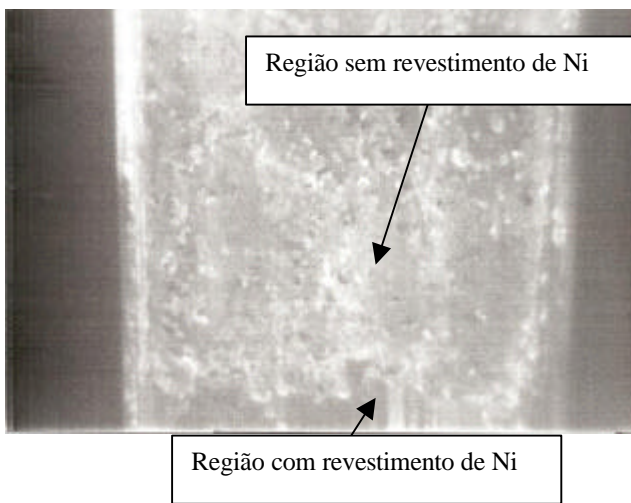


Figura 4. Região Central da Lâmina de Ag-In-Cd, Apresentando Corrosão Generalizada e Perda do Revestimento de Ni (BS1 - Lâmina 2, Face Interna) [2].

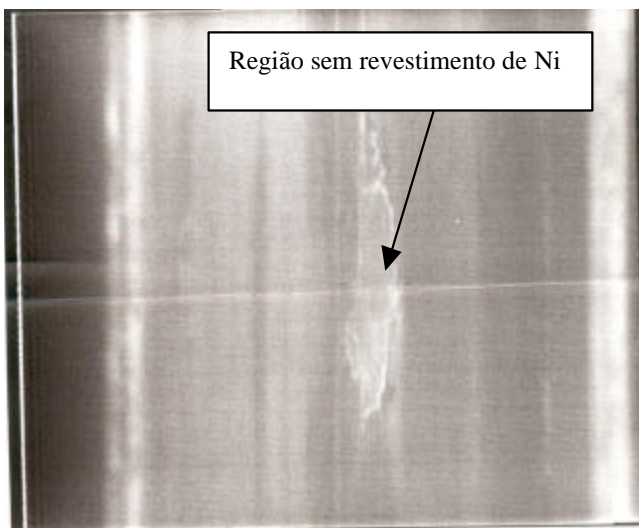


Figura 5. Perda do Revestimento de Ni na Região Central da Lâmina. (BC- Lâmina 1, Face Interna) [2].

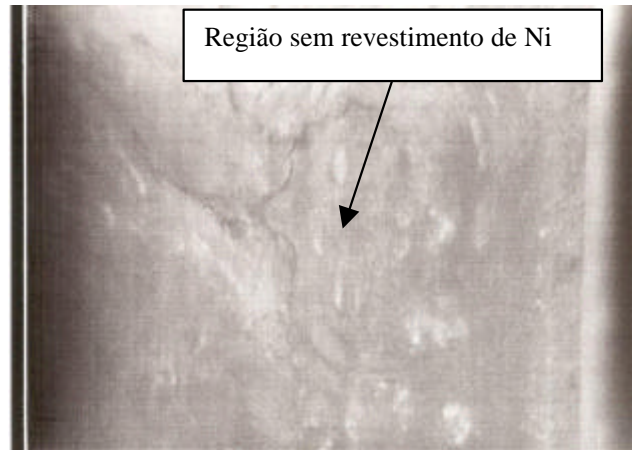


Figura 6. Perda da Camada de Níquel, na Região Central da Lâmina (BS1-Lâmina 1, Face Externa) [2].

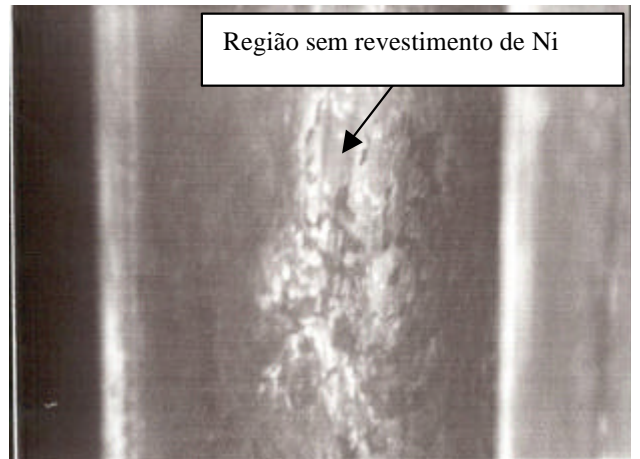


Figura 7. Oxidação com Perda Localizada da Camada de Niquelação na Região Central na Face Interna (BC, Lâmina 2, Face Interna) [2].

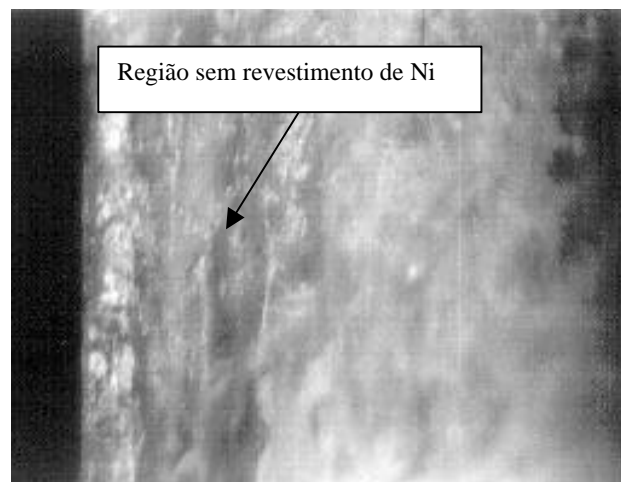


Figura 8. Região com Oxidação e Perda do Revestimento de Ni. (BC, Lâmina 2, Face Interna) [2].

**Ocorrências de Erosão (Perda de Material) por Corrosão.** Exemplos de ocorrências de erosão (perda de material) devido corrosão da Ag-In-Cd são mostradas nas Fig. 9 a 11.

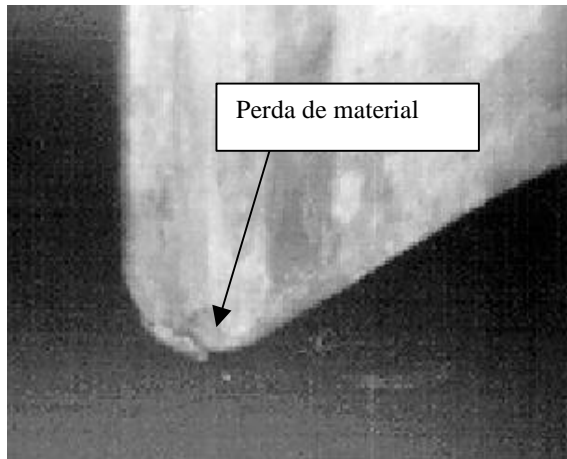


Figura 9. Erosão com Perda de Material na Extremidade da Lâmina Absorvedora. (BC- Lâmina 1, Face Externa) [2].



Figura 10. Oxidação e Erosão na Região da Junção da Lâmina de Ag-In-Cd com o Prolongador de Ni. (Vide Fig. 1). (BS1- Face Interna Da Lâmina 2) [2].

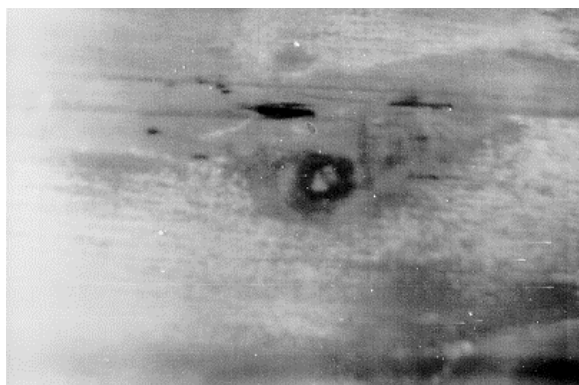


Figura 11. Erosão (Perda de Material) Provavelmente pelo Desprendimento de Bolha de Corrosão Anteriormente Existente no Local. (BC- Face Externa da Lâmina 1) [2].

**Ocorrências de Bolhas Sob o Revestimento de Ni.** Exemplos de ocorrências de bolhas (corrosão) sob o revestimento de Ni são mostradas nas Fig. 12 e 13.

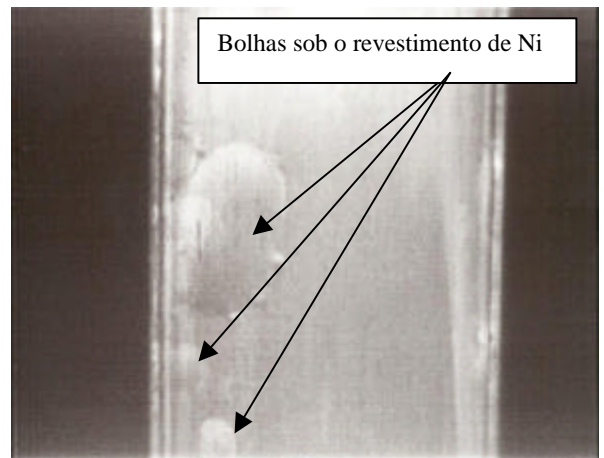


Figura 12. Presença de Bolhas Sob o Revestimento de Níquel, (BC- Lâmina 1, Face Externa) [2].

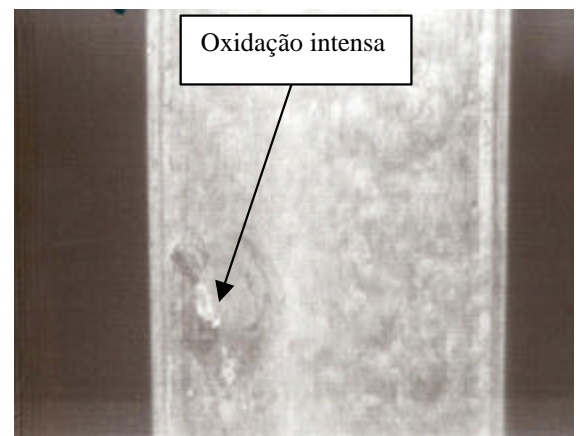


Figura 13. Presença de Bolhas Sob o Revestimento de Ni. Oxidação em Forma de Ferida, com Perda do Revestimento de Ni. (BS3- Lâmina 1, Face Externa) [2].

**Integridade dos Filetes Guias (Abas Laterais) das Lâminas de Ag-In-Cd.** Nas inspeções visuais realizadas não foram observadas discontinuidades nos filetes guias laterais das lâminas absorvedoras ou outros defeitos que possam ocasionar emperramentos durante a movimentação ou queda livre das BAs.

#### IV. ANÁLISE DOS FENÔMENOS OBSERVADOS

Análises da degradação das barras absorvedoras de nêutrons do IEA-R1 observadas nas inspeções visuais, abordando aspectos de comportamento quanto à corrosão e contaminação da água da piscina do reator, bem como aspectos da degradação da liga Ag-In-Cd durante a irradiação, depleção, efetividade de absorção de nêutrons e propriedades mecânicas são apresentadas em outros trabalhos apresentados neste evento [3] e [4].

## V. CONCLUSÕES

A metodologia empregada para a inspeção visual das barras de controle do IEA-R1 tem sido bastante satisfatória, sendo alcançados os objetivos propostos. As imagens obtidas com câmera de vídeo branco e preto oferecem excelente resolução para exame minucioso das ocorrências visuais.

As inspeções visuais das BAs permitiram avaliar as condições e estado geral das mesmas [2]. Devido o avançado estado de degradação das barras absorvedoras do IEA-R1, foram iniciados estudos para entendimento dos fenômenos envolvidos (vide trabalhos [3] e [4] apresentados neste evento).

Algumas das conclusões relativas às inspeções visuais das BAs do IEA-R1 são [2]:

- ✓ A corrosão observada nas lâminas das barras de Ag-In-Cd com resultante desprendimento de material de diversas erosões explicam a existência de prata na água e os altos níveis de dose observados atualmente no saguão da piscina.
- ✓ Não foram observadas descontinuidades nos filetes guias laterais das lâminas absorvedoras ou outros defeitos que possam ocasionar emperramentos durante a movimentação ou queda livre das BAs
- ✓ Embora bastante degradadas visualmente, as barras absorvedoras não apresentam rupturas ou deformações que inviabilizem a continuidade da utilização destas no reator, porém isto aumentará o nível de atividade no saguão da piscina, devido ao aumento da concentração de prata na água.

Entretanto, considerando-se a presença das atuais falhas na integridade das barras absorvedoras de nêutrons (pites de corrosão, perda localizada da camada de níquel, perda de material absorvedor de nêutrons para a água da piscina, etc.) e ainda o fato de que será aumentada a potência de operação do reator IEA-R1, de 2 MW para 5 MW, no segundo semestre de 2002, fato este que implicará na aceleração da degradação dos atuais defeitos e cinética de danos durante irradiação das barras absorvedoras. Isto certamente levará a uma elevação dos atuais níveis de contaminação da água e do saguão da piscina. Estes fatos, somados às análises da degradação das BAs apresentadas em [3] e [4] permitem embasar a recomendação de substituição imediata das atuais barras absorvedoras do reator IEA-R1.

## REFERÊNCIAS

[1] Rosa da Silva J.E., **Procedimento para Inspeção Visual de Elementos Combustíveis do Tipo Placa** – Documento Interno CEN-IPEN/CNEN-SP. 2001.

[2] Rosa da Silva J.E., Terremoto L. A., Teodoro C.A., **Inspeção Visual das Barras de Controle do IEA-R1-Dez/2001**. – PSE.CENC.IEAR1.049.00 – RELT.001.00-IPEN/CNEN-SP, 2002.

[3] Castanheira M., Zeituni C.A., Rosa da Silva, J.E., Terremoto L.A., **Análise da Degradação de Barras Absorvedoras de Nêutrons de Ag-In-Cd. Parte 1: Depleção da Liga, Efetividade de Absorção de Nêutrons e Propriedades Mecânicas**. (trabalho apresentado neste evento). XIII ENFIR, 2002.

[4] Castanheira M., Zeituni C.A., Rosa da Silva, J.E., Terremoto L.A. **Análise da Degradação de Barras Absorvedoras de Nêutrons de Ag-In-Cd. Parte 2: Comportamento Quanto à Corrosão e Contaminação da Água do Reator**. (trabalho apresentado neste evento). XIII ENFIR, 2002.

## ABSTRACT

The Fuel Engineering Division (CENC) at IPEN/CNEN-SP developed facilities for visual inspection of the IEA-R1 fuel elements and neutron absorbing control rod assemblies inside the research reactor pool. This work presents the method of visual inspection performed at IEA-R1 research reactor. These inspections were adopted to evaluate and to follow the state of the Ag-In-Cd control assemblies fabricated at CERCA in 1972 that remain in use at the reactor core. In 1998, 2000 and 2001, visual inspections were performed in these control rod assemblies, which the general conditions were evaluated.