

REATOR NUCLEAR DE PESQUISAS IEA-R1

DESCRIÇÃO GERAL

por

Joel Alvarenga de Sousa

RESUMO

O reator nuclear de pesquisas IEA-R1 é do tipo piscina, moderado a água leve e refletor de grafita. A primeira criticalidade foi em 16 de setembro de 1957. O combustível atual do tipo MTR é urânio enriquecido a 93% no isótopo U-235, mas a conversão para 20% de enriquecimento está em andamento. De maneira geral, nestes 31 anos o reator foi utilizado sem interrupção por usuários do IPEN-CNEN/SP e outras instituições, para realização de trabalhos nos campos da pesquisa básica e aplicada, para teses de mestrado e doutoramento e para desenvolvimento técnico. O presente trabalho fornece uma vista geral de alguns trabalhos realizados e o programa de adequação estabelecido para o reator de pesquisas IEA-R1, no qual vários aperfeiçoamentos e mudanças foram executados. São descritas, as atividades recentes em termos de produção de radioisótopos, nos campos da Radioquímica, Física Nuclear e Física de Reatores.

NUCLEAR RESEARCH REACTOR IEA-R1

GENERAL DESCRIPTION

by

Joel Alvarenga de Sousa

ABSTRACT

The Nuclear Research Reactor IEA-R1 is of swimming pool type, light water moderated and graphite reflected. The first start-up was on September 16th, 1957. The MTR current fuel is uranium enriched at 93% in the isotope U-235, but a conversion to 20% enrichment is being performed. In a general way, in these thirty one years the reactor was utilized without interruption by users of IPEN-CNEN/SP and other institutions, for the accomplishment of work in the field of applied and basic research, for master and doctoral thesis and for technical development. The present work describe in general view some works performed and the general programme established for the IEA-R1 research reactor in which several improvement and changes were made. Recent activities in terms of radio-

isotopes production and some current research program in the field of Radiochemistry, Nuclear and Reactor Physics are described.

INTRODUÇÃO

O reator nuclear de pesquisas IEA-R1, como mostrado na figura 1, um reator do tipo piscina, moderado a água leve, teve a sua primeira criticidade em 16 de setembro de 1957. Depois de superar os principais problemas e dificuldades nos ciclos iniciais de operação, o reator tem sido operado a mais de 30 anos sem um só acidente em relação à sua segurança no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear em São Paulo. O elemento combustível atual do tipo MTR, é urânio enriquecido em 93% no isótopo U-235 e está em andamento a conversão do núcleo do reator para utilizar o combustível 20% enriquecido. O reator utiliza refletores de grafita e foi projetado para operar em 5 MW, mas atualmente opera em 2 MW, num ritmo de 8 horas por dia, 5 dias por semana.

A equipe de operação do reator, responsável pelo ritmo de operação acima mencionado, é composta por nove pessoas, das quais quatro são operadores seniors, três operadores de reator e dois estagiários de nível médio. A equipe que opera o reator pertence a Divisão de Reatores e Experimentação Nucleares (REN) que é também encarregada da supervisão e orientação da manutenção da instalação e utilização do reator. O conjunto de duas Divisões compõe o Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais (RE) da Diretoria de Reatores (R) do IPEN-CNEN/SP.

De maneira geral, nestes trinta anos o principal objetivo a ser atingido com a utilização do reator tem sido o desenvolvimento de pesquisa acadêmica realizada principalmente por duas Divisões técnicas que tem seu pessoal permanentemente localizados próximo às instalações do reator: a Divisão de Radioquímica (TFR) e a Divisão de Física Nuclear (TFF). Mais recentemente a Divisão de Física de Reatores (RTF) tem utilizado o reator para determinação de parâmetros nucleares. Atualmente tem sido possível atingir uma condição em que serviços para a comunidade científica e também para indústria pode ser oferecida, sem prejuízo das atividades de pesquisa. O reator tem sido utilizado praticamente sem interrupção por usuários do IPEN, de outros Institutos e de empresas industriais. Os

vários trabalhos desenvolvidos nas áreas de pesquisa básica e aplicada tem sido usados para a obtenção de títulos acadêmicos de mestre e doutor atingindo finalidade de treinamento de pessoal. Paralelamente a estas atividades de pesquisa um programa de produção de radioisótopos de aplicação médica, na indústria e na agricultura tem sido executado. A fim de adequar as instalações do reator às normas de licenciamento mais recentes e também em atendimento à crescente demanda de radioisótopos e de fontes radioativas seladas foi iniciado um programa de modernização das instalações e de aumento efetivo de potência de operação do reator para 5 MW.

EXPERIÊNCIA OPERACIONAL E PROBLEMAS

A maioria dos reatores de pesquisas existentes no mundo que foram instalados nos últimos trinta anos, estão ainda sendo utilizados; é obvio que alguns componentes tem sido substituídos, desde que eles tornaram-se obsoletos. O desenvolvimento nos sistemas de instrumentação e controle do reator foram particularmente mais rápidos, levando às grandes modificações nas instalações existentes. Além disso mais do que uma simples mudança de seus componentes individuais através dos anos a modernização de uma instalação existente é muito mais do que uma mudança de seleção ou do projeto em si. Idealmente essa oportunidade deveria ser aproveitada para rever a base da segurança do sistema como um todo a fim de assegurar que não somente os parâmetros operacionais sejam melhorados, mas também o critério de segurança e a integridade do sistema. É de grande importância considerar um programa de renovação mais extensivo para toda a instalação, a fim de se ter operações econômicas e seguras para outros trinta anos ou mais.

Alguns resultados dos primeiros anos de operação do reator IEA-R1 são descritos no trabalho prévio relatado por Penteado e Santos (1961) e Toledo, Penteado e Franzen (1960). Os subitens a seguir descrevem alguns aperfeiçoamento e modificações executadas no programa de modernização e adequação estabelecido para o reator nuclear de pesquisas IEA-R1 e elaborado após uma experiência operacional de mais de trinta anos.

Revestimento da Parede da Piscina

O revestimento original da parede da piscina era azulejos , foram substituídos por revestimento de chapa de aço inoxidável devido a perda de água. A substituição dos azulejos foi feita após vinte anos de utilização do reator IEA-R1 e pelo fato deste revestimento ainda um caso incomum, desde que em outros reatores similares a substituição dos azulejos tinha sido feita logo no início dos primeiros ciclos de operação.

Mecanismo de Acionamento das Barras de Controle

O mecanismo original de acionamento das barras de segurança foi substituído por um sistema moderno, em que o acoplamento do mecanismo de acionamento através de um magneto é feito com a haste de extensão da barra absorvedora de nêutrons, fora da superfície da água da piscina. No sistema original o fato deste magneto estar imerso na água da piscina e próximo do núcleo do reator, trazia problemas devido a infiltração de água e danos de radiação nos magnetos.

Sistema Pneumático de Irradiação de Amostras

Durante o trabalho de revestimento das paredes da piscina, quando a piscina foi esvaziada, o sistema original pneumático de irradiação de amostras foi re-instalado. O sistema original, cujo acesso ao núcleo do reator era feito pelo fundo da piscina tinha sido eliminado após os primeiros dez anos de operação do reator, quando foi detectado vazamento de água da piscina por este sistema.

Durante esse período o sistema foi substituído por um outro com acesso através da superfície da piscina. Na renovação do sistema original, foram feitas algumas melhorias, tais como: mudança das posições dos terminais vizinhos ao núcleo do reator, a fim de se obter uma distribuição de fluxo homogênea entre as quatro posições no refletor do reator; substituição dos tubos de alumínio originais por tubos de aço inoxidável; novo projeto da flange de conexão no fundo da piscina a fim de se obter uma absoluta independência do circuito pneumático; renovação do

sistema elétrico, com total substituição de componentes do sistema eletro-eletrônicos.

Mesa de Instrumentação e Controle

Em 1976 foi colocada em serviço uma nova mesa de instrumentação e controle do reator para operação contínua. A mesa central para controle de fluxo neutrônico e sistema de monitoração de radiação foi adquirida junto a General Atomic e os sistemas adicionais auxiliares foram desenvolvidos e fabricados no IPEN. A tarefa nos sistemas auxiliares consistiu em modificações no circuito hidráulico de refrigeração, execução de sistemas de alarme de incêndio do edifício de contenção e modificação do sistema de circulação de ar. Foi instalado um grupo moto-gerador para suprir de energia elétrica a mesa central e bombas do circuito primário de refrigeração. Também foram instalados dois grupos moto geradores do tipo convencional com tempo de retardo de 10 segundos para suprir sistema auxiliares.

A instrumentação existente para o controle do reator tiveram de ser totalmente substituídas devido à falta de componentes de reposição, já que a maior parte dos módulos eletrônicos utilizavam válvulas.

Sistema de Refrigeração

A capacidade de troca térmica do circuito de refrigeração do reator foi aumentada para 5 MW. Um volante de inércia foi instalado nas bombas do circuito primário de refrigeração. A falta desse volante foi o motivo de se operar a instalação em 2 MW ao invés de 5 MW durante os anos passados, devido ao fato de que um eventual desligamento das bombas iria resultar em um refluxo de água com o conseqüente sobreaquecimento do núcleo do reator. Também foi instalado um tanque de retenção para decaimento no N^{16} no circuito primário e assim, tornou-se possível o acesso de pessoal à Sala das Máquinas durante a operação do reator.

Sistema de Ventilação

Realizaram-se melhorias no sistema de ventilação. Atualmente, conse

gue-se a recirculação de três quartos do volume de ar do edifício de contenção e introduz-se um quarto do volume em ar novo após filtragem. Um circuito de emergência, com filtros absolutos e filtros de carvão foi instalado no sistema de exaustão. Atualmente está em andamento o projeto para novas modificações neste sistema.

Remoção do Tubo Colimador Tangencial Inferior

Existiam dois tubos colimadores de fluxo de nêutrons, horizontais dispostos em um arranjo superior e inferior. Durante o revestimento da piscina do reator, aproveitou-se a oportunidade para remover o tubo inferior, já que ele não apresentava condições de segurança para operação do reator a níveis maiores de potência. Tomou-se a decisão devido às seguintes razões: o tubo estava instalado somente dois centímetros acima da parte inferior do núcleo do reator e, portanto muito perto do núcleo; ele possuía um grande volume interno e duas saídas para fora da piscina. Uma ruptura acidental do tubo inferior iria deixar 67% do núcleo do reator exposto. Concluiu-se com auxílio de cálculos computacionais que essa situação seria crítica no caso de operação a 5 MW.

Sistema de Refrigeração de Emergência

É considerada no Relatório de Análises de Segurança a possibilidade de um esvaziamento acidental da piscina do reator. Instalou-se um sistema de alimentação de água com o intuito de uma rápida reposição de água e drenagem da água corrente. Em caso de acidente a água é fornecida de um reservatório com 600 m³ de capacidade e a água corrente que sai da piscina é coletada em um tanque de retenção via tanque de decaimento.

Modificações no Interior do Prédio do Reator

A mais recente modificação foi iniciada no final de 1987 e concluída no início de 1988 e foi feita no interior do prédio do reator, como mostrado na figura 2, figura 3, figura 4, figura 5 e figura 6. A modificação consistiu em criar áreas quentes e áreas frias do aspecto de nível de radiação que possa atingir em regime de operação normal do reator e

em situação de emergência radiológica e também um duto em concreto para transferência de material irradiado do 3º andar para 1º andar do prédio.

As áreas quentes compreendem o saguão da piscina, a casa de máquinas do sistema de ventilação, o saguão experimental e a casa de máquinas dos sistemas de refrigeração e tratamento da água do reator. As áreas frias compreendem a sala de controle do reator, o corredor de acesso, as escadas de comunicação entre os diferentes andares do prédio do reator.

Na passagem da área fria para a área quente foram instaladas antecâmaras com sistema de intertravamento para não permitir a abertura simultânea das portas, bem como duas antecâmaras para o acesso de carga ao prédio do reator feito pelo 1º andar.

Em cada uma das áreas foi criado um sistema de ventilação independente e projetado de tal forma que é mantido uma depressão da ordem de 20 mm de coluna de água da área quente a área fria e uma depressão de 10 mm de coluna de água da área fria para o exterior do prédio. Desta maneira, está assegurado um duplo selo do prédio do reator para a radiação gerada no seu interior.

Adequação do Reator para Atender a Demanda de Radioisótopos

Recentemente, a demanda por alto fluxo de nêutrons para os experimentos, em física nuclear e o crescente consumo de radioisótopos, tem estimulado a necessidade de aumento de potência efetiva do reator para 5MW e mudança do ritmo de operação para contínuo. Com as modificações já realizadas nas instalações do reator e estudos neutrônicos e termohidráulicos tem demonstrado possibilidade de aumento de potência de operação do reator.

Contudo, devido a impossibilidade de se obter urânio altamente enriquecido (93%) no mercado internacional, o IPEN tem-se empenhado em produzir em suas instalações o elemento combustível necessário para a operação do reator, mas com baixo enriquecimento em U-235 (20%). Diante de tal situação, tem desenvolvido estudos técnicos para obtenção de configuração do núcleo do reator de forma a atender a necessidade de fluxos de

nêutrons que possa atender a produção de radioisótopos, como ^{99}Mo e fontes radioativas seladas de ^{192}Ir de alta atividade específica.

Dispositivos para Irradiação de Amostras

Como mostrado na figura 7 estão o diagrama esquemático do núcleo do reator e as posições dos dispositivos para irradiação da amostra do reator.

A piscina do reator possui dez metros de profundidade e foi projetada para ser instalada dentro de um edifício de 24 metros de altura possuindo um sub-solo e três níveis. O reator é equipado com sistema pneumático de irradiação de amostras com compressor próprio e equipamento eletro-mecânico associado colocado no sub-solo. Estão instalados quatro sistemas pneumáticos de transferência em diferentes posições ao lado do núcleo do reator. Dois desses sistemas (1 e 2) estão instalados dentro do edifício de contenção: a superfície da piscina alcança o terceiro andar, aonde a estação nº 1 está localizada; a estação nº 2 localiza-se no primeiro andar em um amplo ambiente aonde também existem 12 tubos colimadores de fluxo neutrônico para experimentação. Os pontos terminais das outras duas estações estão localizados nos laboratórios de Radioquímica ao lado do edifício de contenção do reator. As quatro estações são idênticas e os coelhos são transferidos usando-se vácuo nos tubos de trajeto. Os coelhos possuem diâmetro externo de 30 mm e altura de 75 mm. Os tempos de trajeto são: 6 segundos para as estações 1 e 2 e 10 segundos para as estações 3 e 4. Esse sistema foi instalado para receber amostra com pequeno tempo de irradiação, da ordem de 20 minutos ou menos, onde o envio e o recebimento da amostra é feito automaticamente através de um dispositivo de tempo o fluxo neutrônico térmico nas posições de irradiação é da ordem de $2 \text{ a } 4 \times 10^{11} \text{ ncm}^2\text{s}$.

Os coelhos pneumáticos são principalmente utilizados para análise por ativação e produção de traçadores para pesquisa radioquímica. Por outro lado, quase todos os radioisótopos usados para aplicações médicas e industriais foram produzidos em diferentes dispositivos localizados na placa matriz perto da zona refletora. Esses dispositivos são feitos de tubos de alumínio com dimensões externas similares às dos elementos com

bustíveis colocados na placa matriz. Essas caixas chamadas "elementos de irradiação", são utilizados para irradiações longas (tempos maiores de 8 horas) em fluxos neutrônicos altos, da ordem de 10^{13} ncm²s, principalmente para produção de fontes seladas e radioisótopos. Existem vários tipos de elementos de irradiação instalados no reator IEA-R1:

- a) EIRA - Elemento de Irradiação refrigerado a água: consiste de dois tubos concêntricos de alumínio. O tubo guia externo (diâmetro = 1 1/4") tem orifícios que permite a passagem de água pelo seu interior. O tubo interno deslizante (diâmetro = 1") tem 8 prateleiras para alojar as cápsulas estanques para irradiação de amostras. São irradiados frequentemente telúrio elementar, enxofre e ouro metálico.
- b) MUDI - Elemento Multi-Disco. Consiste de tubos de alumínio de perfil retangular (2" x 1"), com prateleiras internas com 26 posições duplas. Nas prateleiras é possível armazenar dois magazines possuindo cada um 10 discos de irídio ou cobalto metálicos. O dispositivo é colocado dentro de um elemento combustível de controle fixado na placa matriz, de maneira similar a uma barra absorvedora. Existem dois MUDI instalados perto do núcleo do reator, com 52 posições cada um.
- c) EIGRA - Elemento de Irradiação de Grafite. Consiste de um tubo de alumínio de perfil retangular (3" x 1 1/4") com uma prateleira interior possuindo 24 posições para cápsulas padrão. O EIGRA é colocado na placa matriz utilizando-se uma outra estrutura de alumínio de (3" x 1 1/4") que é preenchido com grafite que age como refletor e é utilizado principalmente para a produção de ¹³¹I.
- d) GRESIL - Um dispositivo construído sob acordo de cooperação entre Grenoble (França) e o Brasil, utilizado para irradiação de ligas metálicas para estudos de desordem em matrizes cristalinas com ação conjugada de irradiação e aquecimento. É fixado diretamente na placa matriz.

e) GI - Guia de Irradiação. Consiste de um tubo cilíndrico de alumínio (diâmetro = 3") que é fixado na posição 32 na placa matriz onde existe fluxo neutrônico da ordem de 6×10^{12} ncm²s. Está disponível somente uma GI e é utilizada para irradiação de amostras com tempos menores que 8 horas.

UTILIZAÇÃO DO REATOR

Produção de Radioisótopos e Fontes Radioativas Seladas

A maioria da produção de radioisótopos está concentrada em: ¹³¹I, ³²P, ¹⁹⁸Au, ⁵¹Cr, ²⁴Na e ⁸²Br, embora vários isótopos de aplicação especial tem também sido produzido. Uma grande parte desta produção é distribuída entre os vários Instituto de pesquisas e hospitais no país.

Com relação à produção de fontes seladas de aplicação industrial o maior interesse está na produção de ⁶⁰Co e ¹⁹²Ir. De maneira geral as fontes de ⁶⁰Co tem atividades até 500 mCi e para ¹⁹²Ir é possível o fornecimento com até 20 Ci no sistema atual.

Com o aumento de potência e a operação em ritmo contínuo do reator novas metas serão atingidas como: produção de ⁹⁹Mo, ¹²⁵I e fontes radioativas seladas de ¹⁹²Ir de atividade até 100 Ci.

Para a produção de radioisótopos as amostras são irradiadas em diferentes dispositivos de irradiação localizados na placa matriz do reator; o sistema pneumático de irradiação de amostras tem sido usado especialmente para a produção de traçadores para pesquisas em Radioquímica; para os experimentos em física nuclear são utilizados principalmente os tubos colimadores de radiação.

Podemos estimar a utilização do reator observando que catorze mil amostras são irradiadas anualmente pelo pessoal de operação do reator. Ir radiações especiais podem ser atendidas desde que atendam às normas de segurança do reator.

no. páq. impra
↓

Atividades na Área de Radioquímica

São relacionados a seguir as principais atividades na área de Radioquímica, relatadas no trabalho prévio por Fulfaro, Sousa, Nastasi, Vinhas e Lima (1982):

- a) Estudo e pesquisa em reações químicas e processos, usando traçadores, especialmente aplicações radioanalítica de tetraciclina como agente extrator de alguns metais de fissão, trabalho prévio relatado por Saiki, Nastasi e Lima (1981).
- b) Pesquisa e desenvolvimento de método radioanalítico, principalmente análise por ativação com nêutrons e diluição isotópica.

Atividades na Área de Física Nuclear

No trabalho prévio relatado por Fulfaro, Sousa, Nastasi, Vinhas e Lima (1982) são apresentados os trabalhos desenvolvidos na área de Física Nuclear com experimentos e estudos nos seguintes principais campos de pesquisa: Física de Nêutrons, Reações Nucleares e Metrologia Nuclear.

Atividades na Área de Física de Reatores

O reator IEA-R1 tem sido utilizado pelo pessoal da Divisão de Física de Reatores para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos de obtenção de parâmetros de reatores, utilizando-se de diferentes técnicas, como: análises de ruídos, reatímetro, câmara de fissão miniatura para medida de fluxo de nêutrons e calorímetro gama para medida de contribuição de gama durante a operação de reator.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresentamos uma descrição geral das atividades realizadas com o reator nuclear de pesquisas IEA-R1 e podemos afirmar que

uma instalação nuclear de pesquisas, independente de quando foi instalada, desde que se proceda as modificações para a sua modernização quanto às normas de segurança e adequações para atendimento de novos programas de utilização, esta instalação pode servir aos usuários por mais trinta anos.

REFERÊNCIAS

FULFARO, R.; SOUSA, J.A.; NASTASI, M.J.C.; VINHAS, L.A.; LIMA, F.W. (1981) Experience and Research with the IEA-R1 Brazilian Reactor, IPEN-Pub-43.

PENTEADO, A.C.; SANTOS, M.D. (1961) Operational experience and utilization of the brazilian 5 MWth swimming pool reactor IEA-R1, São Paulo, IEA-Pub-44.

TOLEDO, P.S.; PENTEADO, A.C.; FRANZEN, H.R. (1960) Some results of the brazilian swimming pool reactor IEA-R1, São Paulo, IEA-Pub-18.

SAIKI, M.; NASTASI, M.J.C.; LIMA, F.W. (1981) Use of tetracycline as complexing agent in radiochemical separations, J.Radioanal. Chem., 64 (1-2):87-120.

me pag imp...

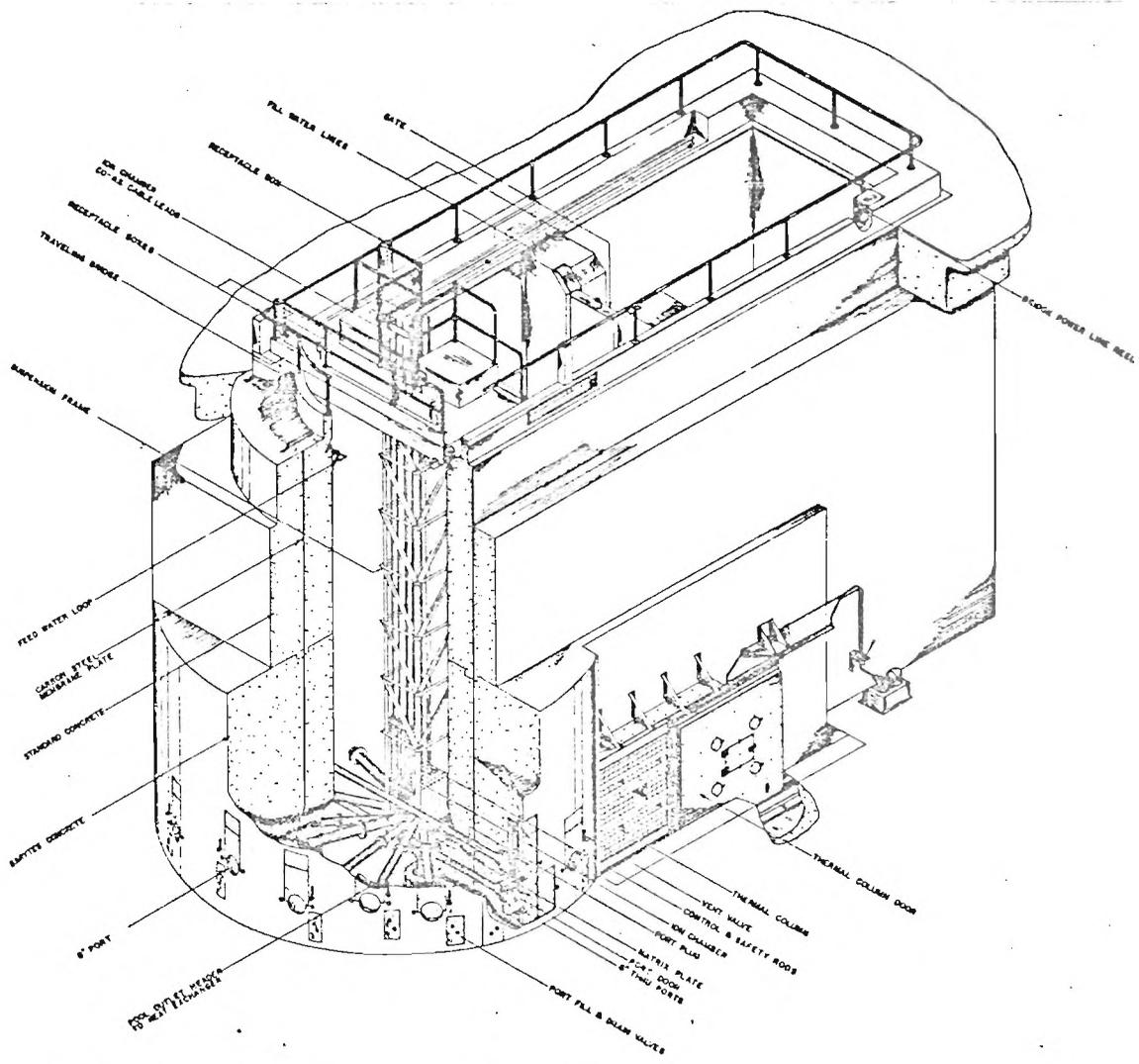


Figura 1. Vista Isométrica do Reator IEA-R1.

ITENS PRINCIPAIS DAS MODIFICAÇÕES

- 1.1. Parede de fechamento do saguão da piscina
- 1.2. Antecâmara de acesso ao saguão da piscina
- 1.3. Visor
- 1.4. Vedação das infiltrações de água nos tubos de armazenamento
- 1.5. Antecâmara de acesso de material

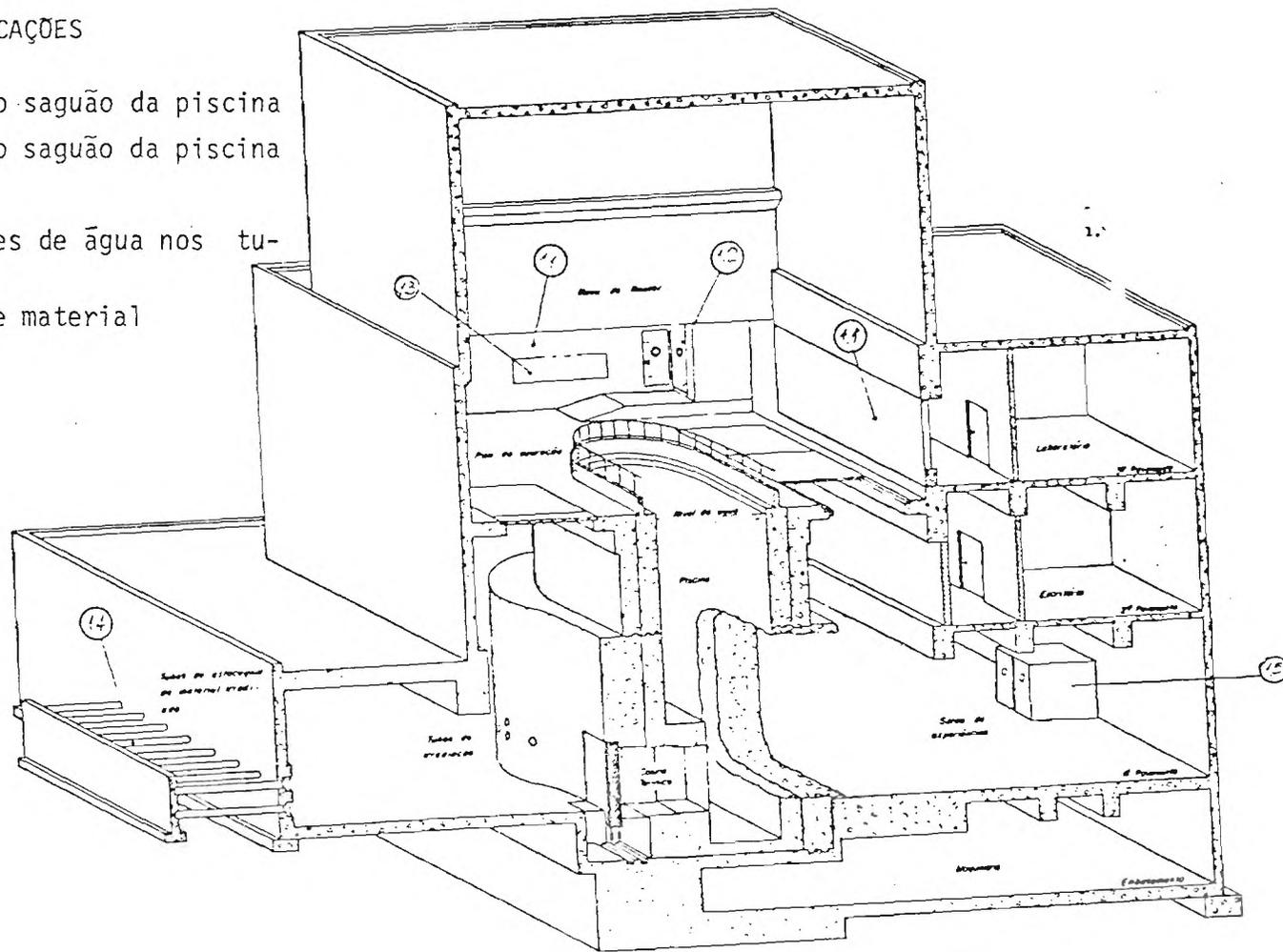


Figura 2. Principais Modificações no Prédio do Reator

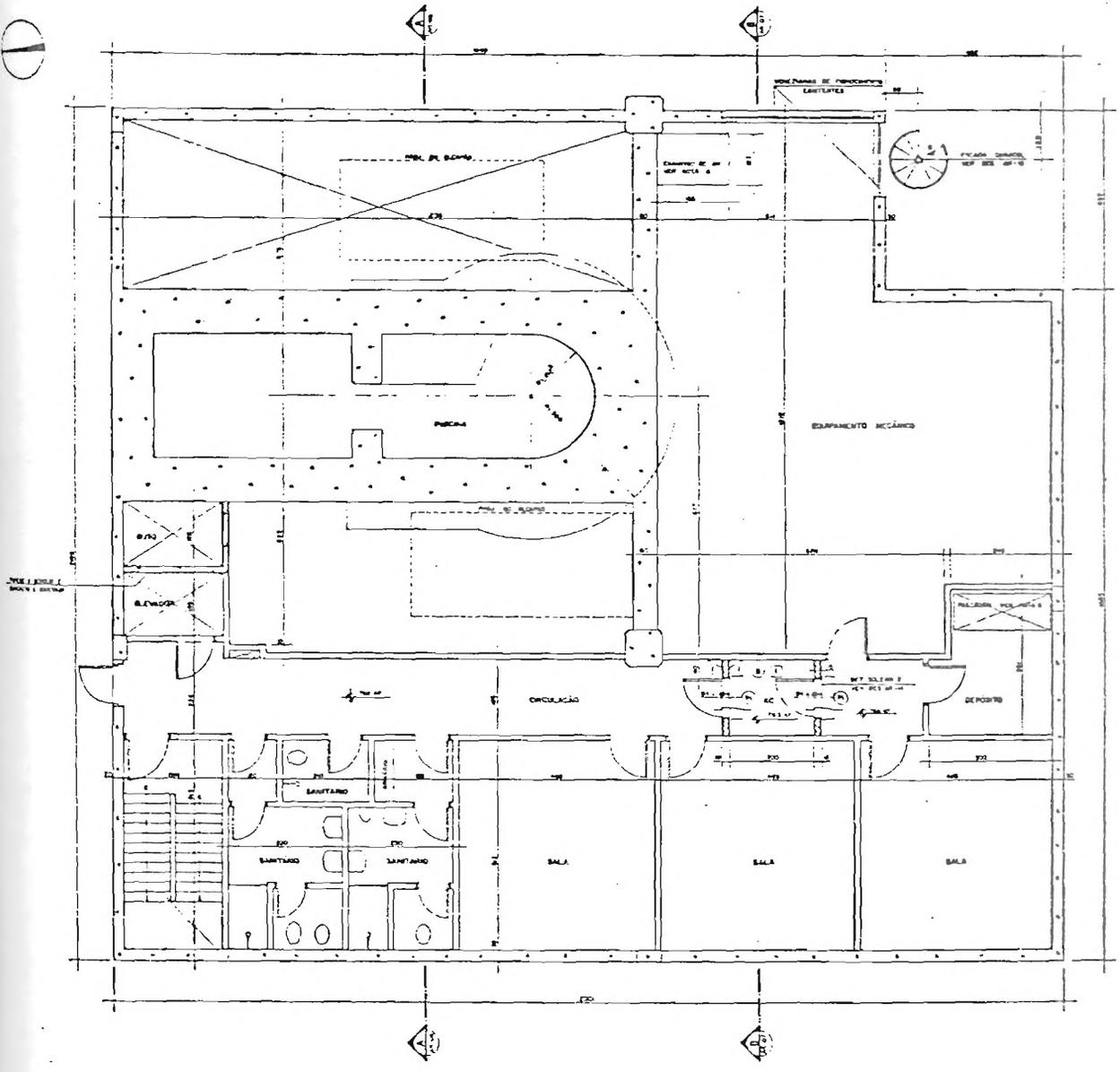


Figura 4. Planta do 29 pavimento mostrando as áreas quente e fria

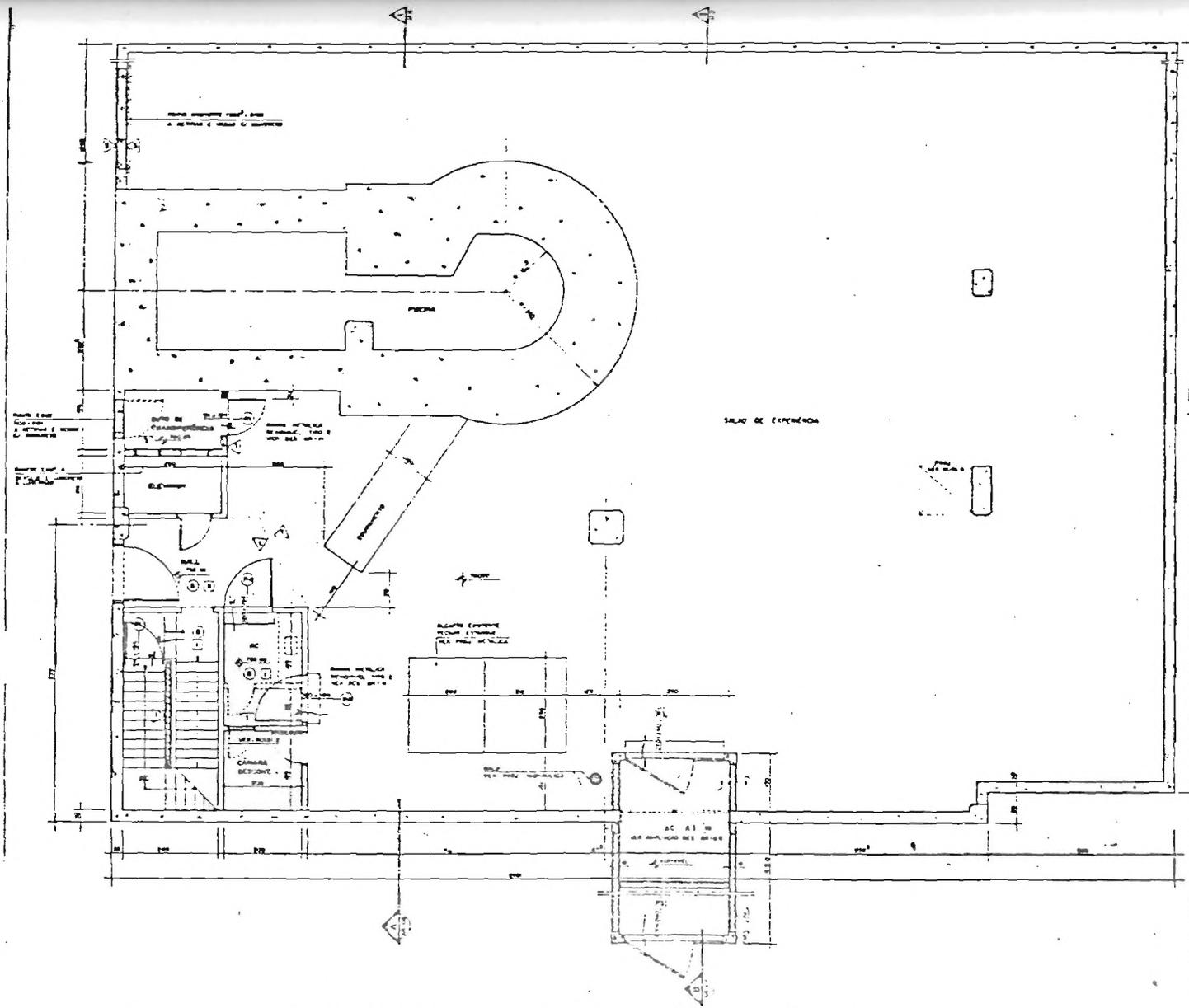


Figura 5. Planta do 19º pavimento mostrando as áreas quente e fria

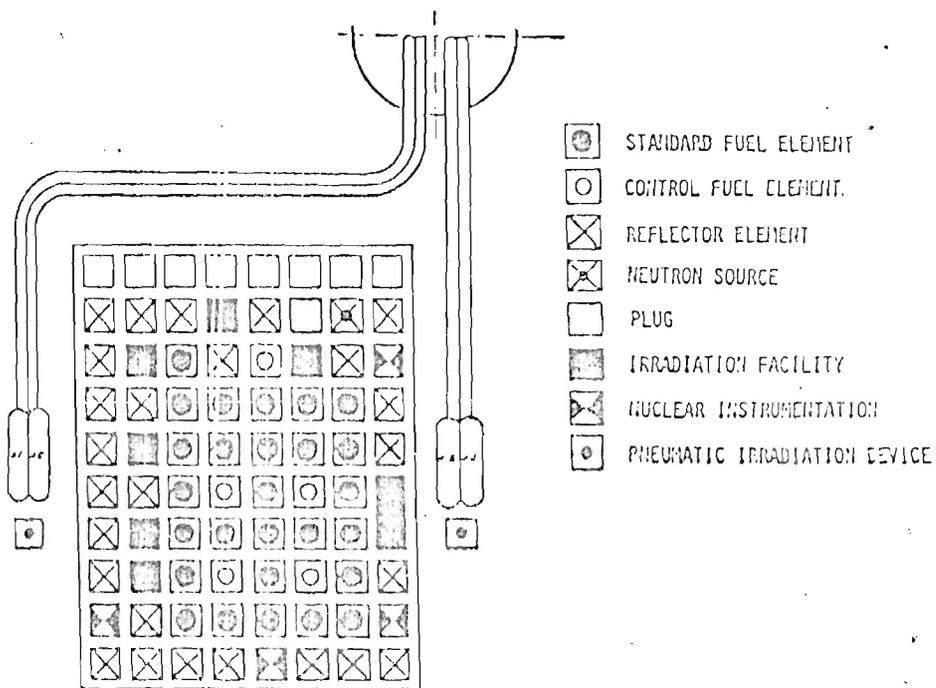


Figura 7. Mapa da Configuração do Núcleo do Reator e os Dispositivos de Irradiação.