



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS NO REATOR IPEN/MB-01 COM CÂMARA DE FISSÃO MINIATURA

ANSELMO FERREIRA MIRANDA

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Reatores Nucleares de Potência e
Tecnologia do Combustível Nuclear.**

Orientador:

Dr. João Manoel Losada Moreira

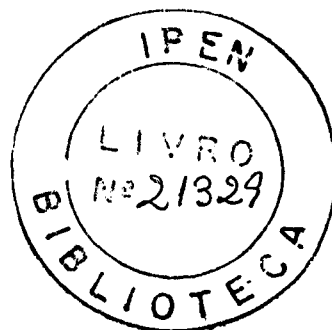
São Paulo

1997

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS
NO REATOR IPEN/MB-01
COM CÂMARA DE FISSÃO MINIATURA**

ANSELMO FERREIRA MIRANDA



Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear.

Orientador:
Dr. João Manoel Losada Moreira

SÃO PAULO

1997

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN-SP), pelo fornecimento das instalações e equipamentos, e pelos cursos de pós-graduação oferecidos.

Ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), pelo fornecimento das instalações e equipamentos.

Ao Prof. Dr. João Manoel Losada Moreira pela valiosa orientação, incentivo e auxílio no desenvolvimento e elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores da Divisão de Física de Reatores do IPEN/CNEN-SP.

Aos amigos e colegas da Divisão de Operação do Reator IPEN/MB-01.

Aos amigos e colegas pesquisadores da Divisão de Neutrônica do CTMSP.

A todos, enfim, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS NO REATOR IPEN/MB-01 COM CÂMARA DE FISSÃO MINIATURA

Anselmo Ferreira Miranda

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de mapeamento de fluxo de nêutrons térmicos com câmara de fissão miniatura no reator IPEN/MB-01. Inicialmente, foi estabelecida uma metodologia para a caracterização de uma câmara de fissão miniatura, com depósito fissil de ^{235}U . Essa câmara foi utilizada para obtenção de taxas de reação em 42 posições radiais, com 36 cotas axiais cada, no núcleo do reator IPEN/MB-01, cujos valores relativos são comparados com os respectivos valores calculados pelo código "CITATION".

Os resultados dessa comparação indicam que o fluxo de nêutrons térmicos fornecidos pelo sistema "NJOY/AMPX II/HAMMER-TECHNION/CITATION" apresentam discrepâncias médias de 5 % no núcleo ativo; 14 % no refletor; 10 % no núcleo todo (núcleo ativo + refletor); 3 % no núcleo assintótico e 12 % na periferia do núcleo ativo.

RELATIVE NEUTRON FLUX DISTRIBUTION IN THE IPEN/MB-01 REACTOR WITH A MINIATURE FISSION CHAMBER

Anselmo Ferreira Miranda

ABSTRACT

This work presents the results obtained from measurements of the neutron flux distribution with a miniature fission chamber in the IPEN/MB-01 reactor, presenting a methodology for performing the characterization of a miniature fission chamber. Then it shows the results from flux mapping for 42 radial positions with data acquisition in 36 axial positions in the core and reflector of IPEN/MB-01 reactor. From these data, the relative values for the fission reaction rates are compared to the corresponding obtained from the CITATION code. The results presents average discrepancies of 5 % in the active core, 14 % in the reflector, 10 % in the total core (active core + reflector), 3 % in the assintotic core and 12 % in the non assintotic active core.

SUMÁRIO

Capítulo	Página
I INTRODUÇÃO	
1.1 Definição do tema	1
1.2 Histórico	3
1.3 Objetivos deste trabalho	6
II UNIDADE CRÍTICA REATOR IPEN/MB-01	
2.1 Introdução	8
2.2 Reator IPEN/MB-01	9
2.3 Arranjo crítico	10
2.4 Condução da operação	12
2.5 Programa experimental	13
III CÂMARA DE FISSÃO	
3.1 Introdução	19
3.2 Câmara de fissão miniatura MCFU-17	22
3.3 Arranjo experimental	22
3.4 Caracterização da câmara MCFU-17	23
3.4.1 Verificação do isolamento elétrico entre eletrodos	24
3.4.2 Teste de qui-quadrado	25
3.4.3 Levantamento da tensão de operação do detetor	26
3.4.4 Obtenção da distribuição da altura de pulsos da câmara MCFU-17	26
3.4.5 Discriminação dos pulsos originados de ruído eletrônico e partículas alfa	27
3.4.6 Verificação da linearidade de resposta da câmara MCFU-17 em função do fluxo de nêutrons	28

3.4.7	Obtenção da sensibilidade da câmara MCFU-17 aos nêutrons térmicos	29
3.5	Considerações finais	29
IV	MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS COM A CÂMARA MCFU-17	
4.1	Introdução	43
4.2	Estabelecimento das posições a serem mapeadas no reator	44
4.3	Procedimento operacional do reator para o mapeamento	45
4.4	Procedimento para a aquisição de dados	45
4.5	Análise de incertezas dos dados experimentais obtidos	46
4.6	Apresentação dos resultados experimentais obtidos	50
4.7	Considerações finais	51
V	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM OS VALORES CALCULADOS DE FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS	
5.1	Introdução	57
5.2	Metodologia de cálculo neutrônico	58
5.3	Comparação entre cálculo e experimento	59
VI	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
6.1	Conclusões	70
6.2	Recomendações	71
	APÊNDICE A	
	Tabelas de Valores de Medidas de Contagem no Detetor e Comparação com Valores de Fluxo de Nêutrons Térmicos do Código “CITATION”	72
	APÊNDICE B	
	Gráficos de Comparação de Valores Normalizados de Medidas de Taxa de Reação no detetor com Valores de Fluxo de Nêutrons Térmicos em 42 Posições no núcleo	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
2.1 Características técnicas do reator IPEN/MB-01	5
3.1 Características constitucionais da câmara de fissão MCFU-17.....	31
3.2 Características operacionais da instrumentação eletrônica associada à câmara de fissão MCFU-17.....	32
3.3 Valores obtidos para teste de qui-quadrado.....	33
3.4 Valores obtidos para levantamento da tensão de operação da câmara de fissão MCFU-17.....	34
3.5 Valores para verificação da linearidade de resposta da câmara de fissão MCFU-17 em função do fluxo de nêutrons	35
3.6 Obtenção da sensibilidade da câmara de fissão MCFU-17 aos nêutrons térmicos	36
4.1 Posições radiais mapeados com correspondentes posições de barra de bontrol.	52
4.2 Valores de contagens de pulsos no detetor com respectivos tempos de medida, valores médios e desvios-padrão na posição LO-10	53
5.1 Valores normalizados de taxa de reação no detetor e fluxo de nêutrons térmicos obtidos com o código CITATION e respectiva razão na posição LO-110.....	65
5.2 Valores médios das discrepâncias do cálculo em relação ao experimento.....	66
5.3 Valores máximos de discrepância do cálculo em relação ao experimento no núcleo ativo e assintótico	67

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
2.1 Desenho da planta do reator IPEN/MB-01	16
2.2 Foto da vista frontal do tanque do moderador	17
2.3 Foto da vista da placa matriz.....	18
3.1 Desenho do detetor.....	37
3.2 Desenho esquemático da instrumentação eletrônica associada à câmara MCFU-17 e respectiva localização	38
3.3 Curva de tensão de operação versus contagem da câmara MCFU-17 na posição central do núcleo do reator IPEN/MB-01, operando na potência de 0,1 W.....	39
3.4 Distribuição da altura de pulsos de tensão obtidos na câmara MCFU-17	40
3.5 Espectro de pulsos proporcionais às ionizações na câmara por partículas alfa e ruído eletrônico	41
3.6 Linearidade da resposta da câmara com fluxo de nêutrons térmicos.....	42
4.1 Desenho esquemático da placa matriz do reator IPEN/MB-01, mostrando os furos mapeados com a MCFU-17.....	54
4.2 Desenho esquemático mostrando a localização da placa suporte inferior e início do núcleo ativo	55
4.3 Gráfico de contagem de pulsos no detetor na posição LO-10	56
5.1 Comparação entre valores normalizados de taxa de reação no detetor com valores de fluxo de nêutrons térmicos calculados	68
5.2 Gráfico de razões de cádmio obtidas por ativação de fios de ouro e razões de fluxo de nêutrons total por fluxo de nêutrons rápidos na posição LO-10	69

I INTRODUÇÃO

1.1 Definição do tema

O mapeamento de fluxo de nêutrons em reatores nucleares tem grande importância no seu projeto, desenvolvimento e operação. O mapeamento de fluxo de nêutrons consiste na obtenção da distribuição espacial e energética do fluxo de nêutrons em um reator nuclear. Esse mapeamento pode ser feito por intermédio de detetores de ativação como folhas (discos), fios ou esferas, por detetores tipo SPND (“self powered neutron detector”) e câmaras de fissão miniatura, entre outros.

Medidas com folhas de ativação fornecem resultados de taxas de reação nas posições onde são fixadas. Fios de ativação fornecem resultados ao longo de todo o fio ativado, possibilitando a análise mais detalhada quanto à distribuição espacial do fluxo de nêutrons. Esses detetores realizam medidas indiretas do fluxo neutrônico por intermédio de reações nucleares de captura neutrônica com emissão de radiação gama proporcional ao fluxo existente no local. Esses detetores fornecem medidas bastante precisas, por vezes medidas absolutas destes fluxos; possuem o inconveniente de ser necessário a sua retirada do núcleo para a análise espectrométrica, não possibilitando desta maneira medidas ‘on line’, ou seja, em tempo real.

Detetores SPND são detetores de nêutrons, também por ativação, auto-energizáveis, desenvolvidos e utilizados de maneira comercial, em reatores de potência, mais recentemente. Esses detetores possuem a vantagem da não-necessidade da associação de eletrônica sofisticada para a aquisição de dados, além de possibilitarem medidas em tempo real no núcleo do reator. Como desvantagem, temos a sua sensibilidade a fluxos de nêutrons elevados ser limitada pelo nível inferior de potência para a aquisição de dados e, devido a estes detetores, por serem constituídos de materiais absorvedores de nêutrons, que com o passar do tempo são consumidos, necessitarem de trocas periódicas.

Geralmente, detetores SPND são utilizados fixos no núcleo em reatores de potência; sendo utilizados, por exemplo, com a ativação de esferas de vanádio para a calibração periódica de potência desses reatores.

Câmaras de fissão são detetores baseados em reações de fissão. Essas câmaras são largamente utilizados em usinas nucleares para mapeamento de fluxo de nêutrons. Estes detetores possuem a vantagem de resposta a uma faixa ampla de fluxo de nêutrons e pela possibilidade de medidas em tempo real. As medidas podem ser obtidas pela varredura dos canais de instrumentação, parando nas posições pré-selecionadas, fornecendo medidas de taxas de reação, pontuais, nas várias posições, como neste trabalho, ou varrer esses canais de maneira contínua fornecendo o perfil característico da posição mapeada. Esses perfis axiais recebem tratamento computacional adequado de forma a possibilitarem obter-se informações, por exemplo, quanto a fatores de canal quente no núcleo do reator utilizado.

No projeto e desenvolvimento de reatores nucleares, mapeamentos de fluxo de nêutrons, realizados em unidades críticas, são utilizados juntamente com outros parâmetros neutrônicos para a verificação e adequação de métodos de cálculo, capacitando desta maneira a utilização desses métodos para o projeto e desenvolvimento de reatores de maior porte por extrapolação para situações de potência, conforme estabelecido em normas como as referências /1,2,3,4/.

O mapeamento de fluxo de nêutrons é bastante utilizado em reatores de pesquisa, tal como o reator IEA-R1 no IPEN/CNEN-SP, onde essa medida é de fundamental importância para a operação, experimentação em física nuclear básica e produção de radioisótopos.

Em reatores de potência, os mapeamentos de fluxo de nêutrons são utilizados para determinar distribuições de potência, verificando fatores de canal quente, picos de potência, consumo de combustível, calibração de canais nucleares, desvios axiais e radiais de potência e para a avaliação de danos, devido à fusão do núcleo, em caso de acidentes. Esses mapeamentos, juntamente com as informações de distribuições de temperatura no núcleo são importantes para a determinação de parâmetros termo-

hidráulicos, permitindo avaliar a razão de afastamento da ebulição nucleada (DNBR). Tais mapeamentos têm como finalidade principal garantir um desempenho seguro, confiável e econômico da condução de operação do reator.

1.2 Histórico

As técnicas de obtenção de distribuição de fluxo de nêutrons, por intermédio de detetores de ativação tipo folhas, foram bastante utilizadas em trabalhos no país. A obtenção da Distribuição Espacial do Fluxo de Nêutrons no Núcleo do Reator IEA-R1 foi obtida por meio da ativação de folhas de ouro /5/. Este trabalho apresenta a distribuição espacial tridimensional do fluxo de nêutrons no núcleo do reator IEA-R1, onde o erro total estimado no fluxo é de 5 %.

No trabalho da medida do fluxo térmico, epitérmico e rápido no reator IEA-R1 pelo método de ativação de folhas /6/ são utilizadas folhas de ouro, cobalto e manganês para medidas de fluxo térmico e, alumínio, ferro e níquel para energias que caracterizam nêutrons rápidos.

No trabalho de medida e cálculo da distribuição espacial e energética de nêutrons no núcleo do reator IEA-R1 /7/ são obtidos fluxos rápidos pela ativação de folhas de índio e, fluxos térmicos pela ativação de folhas de ouro. Os valores obtidos experimentalmente foram comparados com os calculados pelo código "CITATION", apresentando boa concordância.

Foram obtidos os fluxos rápidos e térmicos em vários pontos para irradiação de amostras no reator IEA-R1 /8/. Nesse experimento foram utilizadas folhas de ouro para a obtenção de fluxos térmicos e folhas de alumínio para a determinação de fluxos rápidos. Esse trabalho contribuiu significativamente no planejamento da utilização desse reator.

Foram também realizados no país trabalhos com câmaras de fissão, onde destacam-se os trabalhos comentados a seguir.

Um mapeamento de fluxo térmico no reator IEA-R1 /9/ foi realizado em 1986. Esse trabalho mostra o mapeamento de fluxo térmico no reator IEA-R1 em vários elementos combustíveis com a câmara de fissão miniatura WL-23292; onde é evidenciada a boa qualidade das medidas obtidas. Foram levantados alguns problemas quanto ao mapeamento e algumas sugestões para trabalhos futuros.

A apresentação de técnicas de eletrodeposição de urânio natural e tório em forma de óxidos foi feita no trabalho Câmaras de Fissão - Construção e Características /10/. Nesse trabalho também são apresentadas as características de funcionamento desse tipo de detector, assim como limites de espessura de eletrodeposição dos materiais físeis estudados.

A determinação da instrumentação eletrônica associada às câmaras de fissão e estabelecimento de um procedimento padrão para a operação das diversas câmaras que foram utilizadas no programa experimental do projeto "COBRA" são apresentadas no trabalho Testes e Levantamento das Características de uma Câmara de Fissão /11/, realizado no Instituto de Energia Nuclear (IEN).

O desenvolvimento de câmara de fissão para controle de reatores nucleares /12/ mostra o desenvolvimento de câmaras de fissão no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), descrevendo matérias-primas e tecnologias utilizadas, as características funcionais e os testes realizados com o primeiro protótipo.

Em outros países utiliza-se esse tipo de detector, câmara de fissão, para vários estudos e utilizações, entre eles destacam-se os citados abaixo.

A aplicação de detectores com tempo de vida longo, tipo câmara de fissão regenerativa com tubos de gás de zircaloy, como monitores de potência local. Esse tipo de detector foi testado por mais de 10 anos no reator de água pesada FUGEN /13/ tendo o seu desempenho em concordância com o esperado.

No desenvolvimento de sistemas móveis e fixos baseados em câmaras sub-miniaturizadas regenerativas para soluções futuras de medidas de potência fixas internas ao

núcleo em reatores tipo PWR, permitindo análises contínuas durante todo o ciclo de operação da instalação /14/.

Na análise e qualificação de câmaras de fissão miniaturas para: a) medidas relativas em reatores nucleares de potência ou irradiação, levando em conta o problema de queima do material fissil e, b) medidas de parâmetros físicos integrais em reatores experimentais por intermédio da deposição dos elementos da série dos Actínídeos. Esses estudos foram realizados no reator tipo piscina TRITON e no reator experimental MINERVE /15/.

Para o estudo da combustão do depósito fissil utilizando depósitos regeneráveis com tipo e proporções de isótopos selecionados em função do local de irradiação /16,17/.

Na caracterização dosimétrica de vasos de pressão por intermédio de medidas com câmaras de fissão e ativação de folhas em reatores com simuladores de vaso de pressão. Os fluxos de nêutrons e características espectrais são medidas, calculadas e comparadas com o propósito de validar cálculos com teoria de transporte, estabelecendo correlações entre metalurgia e resultados de dosimetria /18/.

Na resolução em energia de produtos de fissão na faixa de 89 a 570 KeV por intermédio de câmaras com alta resolução e obtenção de câmaras com supressão intrínseca de contagens de fundo devido as partículas alfa entre 5 e 6 MeV, de maneira que esses pulsos não interfiram na obtenção dos espectros de produtos fissão /19,21/.

Na utilização de depósitos por vapor para avaliar as propriedades da deposição de óxidos de urânio. Esse trabalho foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Oak Ridge, obtendo-se um aumento significativo na sensibilidade com esse tipo de deposição, quando comparado com os detetores de fissão comerciais /20/.

Na década de oitenta, esse tipo de detetor foi utilizado no reator Super Fênix para testes iniciais e validação de metodologias de cálculo /22/.

1.3 Objetivos deste trabalho

Os objetivos deste trabalho são:

1) Realizar a caracterização de uma câmara de fissão miniatura de forma sistemática, para que possa ser utilizada em mapeamentos de fluxo.

2) Realizar medidas de taxas de reação com a câmara de fissão em uma região significativa do reator. Apresentar os dados coletados de forma bastante abrangente para que possam ser utilizados na comparação com metodologias de cálculo neutrônico utilizadas em seu projeto.

3) Realizar comparações entre taxas de reação da câmara de fissão medidas e calculadas, visando determinar incertezas de cálculo com o sistema “NJOY/AMPX II/HAMMER-TECHNION/CITATION” /51, 52, 53, 54/ para determinação de distribuição de densidade de potência.

Com esse intuito foram realizados testes pré-operacionais estabelecendo-se as características de operação desse detetor como tensão de operação e sensibilidade ao fluxo de nêutrons térmicos.

Em seguida foram selecionadas algumas posições no núcleo do reator IPEN/MB-01 para a obtenção de taxas de reação no detetor. Esses valores são comparados, de forma relativa (normalizada pela potência no núcleo), com valores calculados, de fluxo de nêutrons térmicos, pelo sistema “NJOY/AMPX II/HAMMER-TECHNION/CITATION”, fornecendo subsídios para a obtenção de tendências e margens de incertezas para validação do método de cálculo utilizado.

O Capítulo II apresenta a Unidade Crítica na qual as medidas foram realizadas. O Capítulo III apresenta a caracterização da câmara de fissão miniatura MCFU-17 utilizada nas medidas. No Capítulo IV encontram-se os resultados das medidas de mapeamento de fluxo realizadas no reator. No Capítulo V as comparações entre cálculo e

medida de mapeamento de fluxo no reator e, finalmente, no Capítulo VI o resumo das conclusões do trabalho e algumas recomendações.

II UNIDADE CRÍTICA REATOR IPEN/MB-01

2.1 Introdução

Um conjunto crítico é definido como uma montagem de material fissil, onde a reação em cadeia é auto-sustentada e controlada a baixos níveis de potência. Em geral a potência é de poucos watts, de maneira que os efeitos de realimentação de temperatura não sejam significativos. Esse tipo de reator é denominado de reator de potência zero, por operar a baixos níveis de potência. A instalação que contém o conjunto crítico, quando bem equipada, é flexível a ponto de permitir que outros conjuntos críticos sejam montados. Ela é utilizada na obtenção de informações e características neutrônicas de determinados núcleos sem a necessidade de se construir um reator de maior porte (potência).

A maioria das características neutrônicas de interesse possui uma dependência com a potência, por meio da temperatura do combustível e do moderador, podendo ser contabilizada analiticamente ou extrapolada. Uma unidade crítica pode fornecer informações sobre a distribuição de potência, reatividade de elementos de controle e segurança, além de outras informações úteis sobre núcleos que podem ser utilizadas posteriormente em reatores de potência e pesquisa.

Existem basicamente duas classes de unidades críticas: homogêneas e heterogêneas. As primeiras críticas homogêneas constituíram-se de composição e geometria relativamente simples, tendo servido no início do desenvolvimento da tecnologia nuclear para a comprovação experimental de teorias neutrônicas, para o estudo dos processos de fissão e interação de nêutrons com materiais e para a validação de dados nucleares, constituindo desta forma uma ferramenta útil para a pesquisa básica. Como exemplo dessas críticas homogêneas temos as denominadas Godiva e Jezebel /23,24/.

As unidades críticas heterogêneas são reatores semelhantes ao abordado neste trabalho. Elas têm como objetivo representar neutronicamente o projeto do núcleo de

um reator, permitindo comprovar a validade do projeto e garantir que o núcleo operará conforme suas especificações.

Desta forma, uma crítica heterogênea é de interesse para o desenvolvimento tecnológico, compondo-se normalmente dos mesmos materiais empregados em núcleos dos reatores de potência ou pesquisa, possibilitando avaliar problemas de projeto neutrônico desses reatores.

É interessante salientar que unidades críticas têm sido construídas para operar numa faixa de potência que vai desde aproximadamente zero até mil watts, equivalendo a fluxos neutrônicos da ordem de 10^7 à 10^9 n/cm² seg. Como exemplo de críticas heterogêneas temos ROSPO na Itália, ALIZE na França, KRITO na Holanda, etc./25/.

2.2 Reator IPEN/MB-01

O reator IPEN/MB-01, com potência nominal de 100 W, tem como objetivo principal a simulação de reatores moderados à água leve. Esse reator localiza-se nas dependências do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, situado no campus da Cidade Universitária “Armando Salles de Oliveira”, no bairro Butantã em São Paulo.

Esse reator, de forma geral, foi implantado atendendo aos critérios recomendados pelas normas CNEN-NE 1.04 e no Safety Series número 35 da Agência Internacional de Energia Atômica, IAEA, sendo desenvolvido utilizando-se parcialmente o guia de projeto BNL 50831-I /26/.

Seu projeto e desenvolvimento foi realizado pelo corpo técnico da Diretoria de Pesquisa de Reatores do IPEN/CNEN-SP junto com a Coordenadoria para Projetos Especiais, COPESP, atualmente Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, CTMSP, participando também outros institutos e empresas nacionais. Esse reator teve sua primeira criticalidade no dia 09 de novembro de 1988.

O reator IPEN/MB-01 é constituído de três edifícios: célula crítica, edifício de apoio e edifício auxiliar, que por requisito de segurança, relacionado com o tipo de atividade desenvolvida, foi subdividido em cinco setores: célula crítica, sala de controle, laboratórios, administração e edifício auxiliar. A Figura 2.1 mostra a planta deste reator /27/.

No setor da célula crítica são realizados os experimentos críticos. Ele tem a forma quadrada em planta com dimensões de $14 \times 14 \text{ m}^2$. A edificação é construída em concreto protendido, com paredes de 1,5 m de espessura até a altura de 6 m acima do nível térreo. Essas paredes têm como funções principais a blindagem biológica e o confinamento do ambiente interno, para impedir a liberação não controlada de gases radioativos. Neste setor situam-se, entre outros equipamentos: tanque do moderador, estrutura metálica de sustentação do núcleo, sub-sistema de controle de reatividade e instrumentos de medidas. A Figura 2.2 mostra uma fotografia da vista lateral da plataforma de sustentação do núcleo, tanque do moderador e alguns instrumentos de medida.

O setor da sala de controle é uma área estanque, constituída pela sala de controle, sala de aquisição de dados e sala de eletrotécnica. O isolamento é obtido por paredes de concreto e portas duplas estanques a gases. Na sala de controle estão instalados os painéis de instrumentação e controle do conjunto crítico bem como dos sistemas de água e ar condicionado. Na sala de aquisição de dados estão instalados os equipamentos de monitoração e registros dos experimentos realizados na célula crítica. Na sala de eletrotécnica estão localizados os centros de comando de motores (CCM's) e os quadros principais de luz.

2.3 Arranjo crítico

O reator IPEN/MB-01 é uma instalação destinada ao estudo das características neutrônicas de núcleos moderados à água leve e tem para isto, na sua concepção, a flexibilidade necessária para testar diferentes configurações de núcleo.

O núcleo que foi utilizado neste trabalho possui a forma de um paralelepípedo com dimensões de $39 \times 42 \times 54,6 \text{ cm}^3$, sendo geometricamente dividido em

quadrantes, com elementos de controle e segurança colocados, respectivamente, em quadrantes diametralmente opostos. Esse núcleo é constituído de 680 varetas combustíveis, independentes e idênticas em geometria e quantidade de material fissil e estrutural, e 48 posições para varetas absorvedoras, formando um arranjo de 28x26. A Figura 2.3 mostra uma vista da placa matriz do núcleo com varetas combustíveis e elementos de controle e segurança.

As varetas combustíveis são constituídas de pastilhas cilíndricas de UO_2 sinterizadas com enriquecimento de 4,3 % em ^{235}U , encapsuladas num revestimento de aço inoxidável. Internamente, para posicionamento da coluna de pastilhas, existem pastilhas de Al_2O_3 , um tubo espaçador e uma mola de fixação. As varetas são preenchidas internamente com gás hélio à pressão de 1 bar.

O nível de potência do conjunto crítico é ajustado por intermédio da inserção ou retirada dos elementos de controle da região ativa do núcleo. Os elementos de segurança têm a função de garantir o desligamento do reator, quando necessário. Os elementos de controle e segurança possuem características geométricas idênticas diferindo somente quanto ao tipo do material absorvedor.

As varetas dos elementos de controle possuem como absorvedor uma liga de Ag-Cd-In, na proporção de 80, 5 e 15 % respectivamente, encapsulada num revestimento de aço inoxidável. As varetas dos elementos de segurança são geometricamente idênticas as do elemento de controle, com exceção do absorvedor, que é carbetto de boro na forma de pó compactado. Essas varetas absorvedoras são guiadas dentro do núcleo por tubos guia de aço inoxidável.

O núcleo constituído pelas varetas combustíveis está assentado numa estrutura composta basicamente por 3 placas de aço inox: uma placa suporte inferior que sustenta as varetas placa intermediária e matriz, que garantem o espaçamento adequado entre elas. As três placas suporte contêm furos circulares dispostos num reticulado quadrado, distanciados de 1,5 cm centro a centro, para posicionamento das varetas combustíveis. Estas placas estão ligadas entre si pelos tubos guias das varetas absorvedoras e por colunas, formando um conjunto rígido de posicionamento do núcleo. O

posicionamento entre as placas é posto de tal forma que permite uma fácil inserção das varetas combustíveis, como também não interfere no comprimento ativo do núcleo /28/.

A instrumentação de controle e operação do conjunto crítico é constituída de dois canais de partida, dois canais de potência, dois canais lineares, um canal de segurança de partida e três canais de segurança para a faixa de potência.

O projeto neutrônico estabelece uma configuração do núcleo que, juntamente com o projeto dos sistemas de reatividade, garantem uma segurança adequada ao reator.

2.4 Condução da operação

A condução da operação da unidade crítica é executada, seguindo rotinas previamente preparadas, de modo que as operações rotineiras e operações de emergência sejam executadas de maneira segura. Essas rotinas levam em consideração todos os aspectos técnicos relevantes e interfaces. Tais rotinas foram escritas conforme estabelecido no programa de garantia da qualidade da instalação e fazem parte do manual de operação, tendo sido aprovadas pelo Comitê de Revisão de Segurança (CRS) /29/.

No manual de operação, manutenção e teste da unidade crítica /30/ estão previstos testes e inspeções periódicas, para assegurar que a condução das atividades da operação está de acordo com as especificações de segurança e, que a segurança da instalação não foi deteriorada desde o seu comissionamento inicial.

A frequência dos testes e inspeções periódicas é tal que se obtenha um grau suficiente de confiabilidade, levando em consideração a importância relativa para a segurança da instalação e os requisitos estabelecidos no relatório de análise de segurança da instalação.

O supervisor de operação é responsável pela operação segura da unidade crítica, devendo assegurar que a operação seja conduzida em conformidade com os programas de operação estabelecidos /31/.

2.5 Programa experimental

A unidade crítica é uma instalação projetada e construída para permitir a capacitação técnica em física de reatores e em projetos nucleares. A verificação experimental dos parâmetros neutrônicos é a principal atividade executada na instalação, sendo efetuada por medidas diretas e indiretas no núcleo do reator. O programa experimental atual da instalação atende, entre outras atividades, ao programa de desenvolvimento de propulsão nuclear da Marinha Brasileira /32/.

Com a finalidade de definir parâmetros de projeto, comprovar métodos de cálculo e avaliar o comportamento da instrumentação destacam-se os parâmetros mais importantes a serem medidos:

- Carregamento de combustíveis e aproximação de criticalidade;
- Calibração dos elementos de controle e segurança;
- Determinação da reatividade de desligamento;
- Obtenção da criticalidade para diferentes configurações;
- Mapeamentos de fluxo neutrônico e densidade de potência;
- Calibração dos canais de potência;
- Determinação do excesso de reatividade;
- Medida das taxas de reação no combustível;
- Medida de parâmetros cinéticos.

Este trabalho está relacionado ao mapeamento de fluxo neutrônico. O programa de garantia de qualidade estabelece que as atividades experimentais sejam realizadas de maneira ordenada, com controle das interfaces entre as áreas envolvidas, de forma a garantir a segurança do experimento.

Os experimentos são planejados individualmente sendo que, todos os passos a serem cumpridos, assim como os pré-requisitos necessários estão contidos em planos experimentais, os quais definem os grupos responsáveis pelas várias etapas a serem realizadas. Outro documento importante para a realização de cada experimento é a rotina experimental, que contém o detalhamento das atividades que devem ser cumpridas para a realização do experimento. As rotinas experimentais são submetidas à avaliação da coordenadoria da operação e são guias experimentais para os operadores e para as áreas técnicas que definiram o experimento. A Tabela 2.1 apresenta as características técnicas do reator IPEN/MB-01.

Tabela 2.1 - Características técnicas do reator IPEN/MB-01.

Características constitucionais	
Potência máxima	100 W
Moderador	Água leve
Combustível	UO ₂
Forma do Combustível	Pastilhas cilíndricas encapsuladas em varetas
Seção transversal do núcleo	42x39 cm
Altura ativa do núcleo	54.6 cm
Número total de varetas combustíveis	680
Número total de varetas absorvedoras	48
Número de varetas absorvedoras por quadrante	12
Arranjo de varetas no núcleo	28x26
Espaçamento entre varetas combustíveis	1.5 cm
Reatividade total do núcleo	3160 pcm
Vareta combustível	
Tipo	Tubo de aço contendo pastilhas sinterizadas de UO ₂
Comprimento da vareta combustível	1194.0 mm
Comprimento ativo	546.0 mm
Diâmetro externo do encamisamento	9.80 mm
Diâmetro interno do encamisamento	8.60 mm
Material do encamisamento	AISI 304
Gás de preenchimento	He à pressão de 1 bar
Massa da vareta (total)	680 g (aproximadamente)
Massa de UO ₂	309.2 g
Combustível	
Forma	Pastilhas cilíndricas
Diâmetro da pastilha	8.49 mm
Altura da pastilha	10.5 mm
Densidade do combustível	94 % DT
Enriquecimento	4.3 % (em peso)
Tampões de extremidade	
Material	AISI 304 L
Comprimento	13.0 mm
Mola de compressão	
Material	Inconel 600
Comprimento	110.5 mm
Pastilhas de Al ₂ O ₃	
Quantidade	16 pastilhas
Altura de cada pastilha	9.0 mm
Diâmetro da pastilha	8.47 mm
Tubo espaçador	
Material	AISI 304 L
Comprimento	396.0 mm
Massa de aço	270 g
Enriquecimento	4.3 %

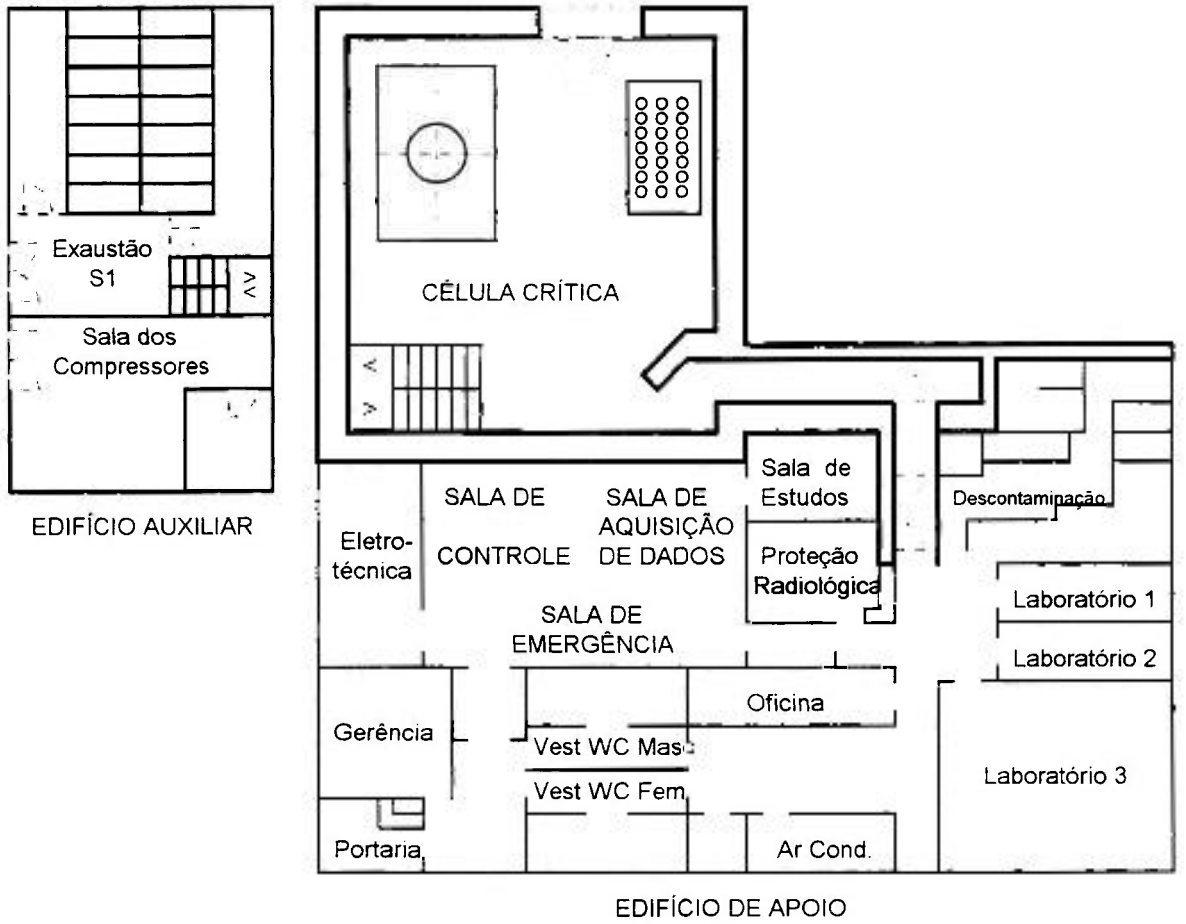


Figura 2.1 - Desenho da planta do reator IPEN/MB-01.



Figura 2.2 - Foto da vista frontal do tanque do moderador do reator IPEN/MB-01.

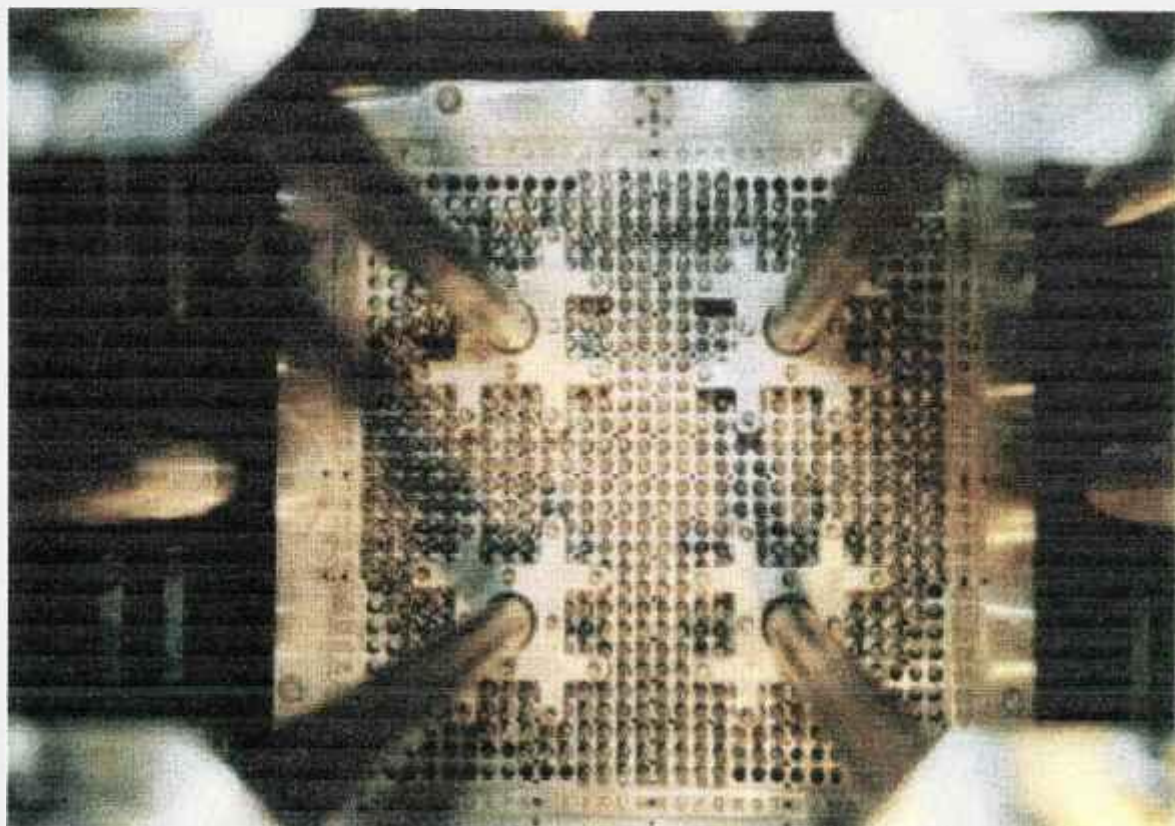


Figura 2.3 - Foto da vista frontal da placa matriz do reator IPEN/MB-01.

III CÂMARA DE FISSÃO

Para a obtenção do mapeamento de fluxo no reator IPEN/MB-01 foi utilizada uma mini-câmara de fissão de urânio número 17, que será então designada por câmara MCFU-17.

Este capítulo aborda uma introdução aos detetores tipo câmara de ionização por fissão, a descrição física da câmara de fissão MCFU-17 e a metodologia empregada para a sua caracterização.

3.1 Introdução

Reações de fissão podem servir como meio de converter nêutrons, partículas não-ionizantes, em produtos de fissão altamente ionizantes que podem ser detectados por meio de câmaras de ionização convencionais. Câmaras de fissão, tipo câmaras de ionização, são detetores que têm, como meio ativo, material fissil, no caso da câmara MCFU-17, o meio ativo é urânio enriquecido; a interação causadora de cargas elétricas é a fissão e os ions coletados são, geralmente, correspondentes a ionizações primárias. Uma característica da reação de fissão é a enorme quantidade de energia liberada na reação, que aparece na forma de energia cinética dos produtos de fissão, em torno de 160 MeV. Dessa maneira, reações de fissão induzidas por nêutrons são de maior magnitude nesses detetores que outras reações ou eventos como a radiação gama e partículas alfa e beta e alguns ruídos espúrios respectivamente.

Devido a possibilidade de discriminação das contagens de fundo, por estas terem amplitudes menores quando comparadas com reações de fissão, podemos obter contagens no detetor com baixos fluxos de nêutrons.

A forma mais utilizada desse tipo detetor em reatores nucleares é a câmara de fissão fechada. Este tipo particular de câmara de ionização tem sua superfície interna

coberta com depósitos de material fissil. Uma outra forma, pouco utilizada devido as propriedades químicas e físicas adversas, seria a incorporação de material fissil no próprio gás de enchimento.

As câmaras de ionização podem funcionar em dois modos distintos: modo flutuação de corrente e modo pulso de tensão ou corrente. O modo de operação é função do nível de taxa de contagem; para baixos níveis de taxa de contagem a câmara funciona no modo pulso; para altos níveis de taxa de contagem funciona em modo flutuação de corrente. Em algumas aplicações, como canais de monitoração de fluxo de nêutrons em reatores, as câmaras atuam sob os dois modos; inicialmente, até determinados níveis de taxa de contagem atua sob o modo pulso, e a partir de então, por intermédio de circuitos eletrônicos, denominados “campbell”, atua sob o modo flutuação de corrente /33/.

O espectro de altura de pulso esperado para uma câmara de fissão depende da espessura e tipo do depósito fissil, da geometria do detetor e do tipo e pressão do gás de enchimento. Para depósitos pouco espessos comparados com o alcance dos produtos de fissão o espectro de altura de pulsos se assemelha à distribuição de fragmentos de fissão com picos, devidos a fragmentos leves e pesados em torno de 100 e 70 MeV, respectivamente. A perda de energia do fragmento na própria espessura do depósito tende a diminuir a energia média do fragmento, distorcendo a forma da distribuição medida. Essas distorções limitam a espessura do depósito em torno de 1 mg/cm^2 /34/.

O urânio contido no depósito de uma câmara de fissão, principalmente o isótopo ^{234}U , decai naturalmente, emitindo partículas alfa de energia em torno de 5 MeV. Os pulsos gerados por essas partículas devem ser minimizados e, possíveis de serem discriminados, para se obter apenas os pulsos gerados pelos fragmentos de fissão.

Considerando um detetor com certo tipo de gás e pressão, a ionização produzida pelas partículas alfa é máxima no final da trajetória, enquanto que, para os fragmentos de fissão, ela é máxima no começo de sua trajetória dentro do gás. Assim, dados o tipo e pressão do gás, o detetor pode ser dimensionado de forma que a distância entre eletrodos seja tal que as partículas alfa percam o mínimo de energia, nesta distância, promovendo pouca ionização no detetor.

Nesse tipo de detector, câmara de fissão, o produto da distância entre os eletrodos pela pressão do gás na câmara é aproximadamente constante. Esse valor, quando a câmara é preenchida com gás argônio ou algumas misturas gasosas conhecidas e usuais, é da ordem de 5 a 6 mm.mbar /12/.

Esses detectores são bastante utilizados internamente em reatores nucleares de potência com a finalidade de se obter mapeamentos de fluxo de nêutrons (distribuição relativa dos fluxos) e distribuição de densidade de potência, permitindo a verificação da localização e a intensidade relativa de picos de densidade de potência e assegurar os limites termo-hidráulicos necessários à operação segura do reator. Esses mapeamentos são utilizados também para a calibração dos detectores externos ao núcleo do reator, assim como para a verificação de variações axiais e radiais de fluxo de nêutrons.

A utilização desse tipo de detector dentro do núcleo do reator, comumente chamado de detector “incore”, caracteriza-se pelas seguintes vantagens:

- Sensibilidade a baixos fluxos neutrônicos;
- Resposta instantânea aos fluxos medidos;
- A detecção neutrônica pode ser realizada por intermédio de fissão nuclear, que é o próprio mecanismo envolvido na geração de nêutrons;
- Possibilidade de miniaturização;
- Boa amplitude dos sinais elétricos coletados.

A queima do material sensível a nêutrons é um efeito apresentado pelos detectores internos ao núcleo, quando submetidos à irradiação por longos períodos e altos fluxos de nêutrons. Por exemplo, uma câmara utilizando ^{235}U mostra um decréscimo em sensibilidade de aproximadamente 50 % após a exposição a uma fluência de nêutrons de aproximadamente $1,7 \times 10^{21}$ n/cm² /35/. Um método para reduzir esses efeitos é combinar

materiais fisséis e férteis no depósito destas câmaras. A utilização dessas câmaras regenerativas convertem isótopos férteis em núcleos fisséis, contribuindo na compensação da queima do material fissil original /16/.

Um outro efeito importante é devido à exposição desse detetor aos altos fluxos de nêutrons. Para baixos fluxos de nêutrons, a saturação iônica (alta densidade de ionização) é alcançada em faixas de tensão de operação do detetor menores do que para altos fluxos de nêutrons. Para altas densidades de ionização, do gás de enchimento, os efeitos de recombinação podem ocorrer mais facilmente do que para baixas densidades de ionização. Este fato mostra a importância de se selecionar a tensão de operação, para estas câmaras, nas maiores taxas de irradiação a que serão submetidas.

3.2 Câmara de fissão miniatura MCFU-17

Após estudos realizados pelo grupo de projeto e desenvolvimento de detetores, na época denominado TE do IPEN/CNEN-SP, foi desenvolvida a câmara MCFU-17, com o objetivo de utilização dentro do núcleo do reator IPEN/MB-01. Esse detetor, tendo as características apresentadas na Tabela 3.1, foi utilizado pela Divisão de Física de Reatores do IPEN/CTMSP para a obtenção da distribuição do fluxo de nêutrons no reator IPEN/MB-01, conforme é relatado neste trabalho. O primeiro trabalho realizado com a câmara foi ligado a sua caracterização e verificação de comportamento.

A Figura 3.1 mostra o desenho simplificado desta câmara de fissão com suas respectivas dimensões. O centro ativo do detetor localiza-se a 6,9 cm da extremidade do tubo guia. Os furos para inserção de aparatos experimentais, nas placas suporte intermediária e superior do núcleo, são de 5 mm, o que limita o diâmetro externo máximo da câmara em 2 mm.

3.3 Arranjo experimental

Para promover isolamento elétrico, o detetor foi revestido com um plástico termo-contrátil. Após revestido, o conjunto detetor-revestimento, foi inserido em um tubo

de alumínio de 4,7 mm de diâmetro para estabelecer a estanqueidade quando imerso no tanque de água do moderador e atribuir uma estrutura rígida para o manuseio no núcleo do reator. Esse tubo de alumínio foi acoplado a um sistema de movimentação, constando de um motor-de-passo com velocidades constantes de 2 mm/seg e 1 mm/seg, conectado a um sistema de controle e indicação digital com precisão de décimo de milímetro.

Associou-se ao detetor uma instrumentação eletrônica caracterizada por uma fonte de alta tensão Ortec mod. 556, que fornece a diferença de potencial entre os eletrodos concêntricos da câmara, polarizando-a de maneira que, o eletrodo central seja o pólo positivo; um pré-amplificador de carga Ortec mod. IH-210 suprido por uma fonte de baixa tensão Ortec mod. 114, que pré-processa os pulsos obtidos pela câmara e os envia para um amplificador; um amplificador Ortec mod. 673 que processa os pulsos de tensão que são monitorados pelo osciloscópio Phillips mod. PM 3266 e enviados para um analisador multicanal. O analisador multicanal Ortec-Seiko mod. 7800 possibilita a obtenção das contagens dos pulsos de interesse /36/. A Tabela 3.2 mostra as condições operacionais dos principais instrumentos eletrônicos associados à câmara MCFU-17 e, a Figura 3.2 mostra um esquema da instrumentação utilizada.

Durante os experimentos, a câmara de fissão, a fonte de baixa tensão, o pré-amplificador e o mecanismo de movimentação da câmara no núcleo do reator localizaram-se no interior do setor da célula crítica do reator IPEN/MB-01, enquanto o amplificador, a fonte de alta tensão, o osciloscópio, o analisador multicanal e módulo de acionamento e indicação de posição do mecanismo de movimentação da câmara foram colocados na sala de aquisição de dados do setor da sala de controle. A comunicação dos cabos de instrumentação nestes dois recintos é realizada por intermédio de módulos de comunicação localizados na sala de aquisição de dados e célula crítica.

3.4 Caracterização da câmara MCFU-17

O detetor foi disposto na posição central do núcleo do reator com a finalidade de ser caracterizado. A rotina experimental foi aprovada pelo Comitê de Revisão de Segurança da instalação /37/. O processo de caracterização da câmara de fissão

miniatura, pelo qual são obtidas as condições operacionais da câmara, consta das seguintes etapas /38,9/:

- Verificação de isolamento elétrico entre eletrodos;
- Teste de qui-quadrado;
- Levantamento da tensão de operação do detetor;
- Obtenção da distribuição de altura de pulsos da câmara;
- Discriminação dos pulsos originados de ruído eletrônico e partículas alfa;
- Verificação da linearidade de resposta em função do fluxo de nêutrons;
- Obtenção da sensibilidade da câmara de fissão aos nêutrons térmicos.

3.4.1 Verificação do isolamento elétrico entre os eletrodos

Essa primeira etapa visa a verificação do isolamento elétrico entre os eletrodos da câmara e também do cabo de transmissão de sinal entre o detetor e pré-amplificador. Esta verificação foi feita pelo acoplamento de um ohmímetro na extremidade do cabo de transmissão, de maneira a verificar a sua resistência elétrica. Esse valor foi superior à 10^{14} ohms.

Tal procedimento aplica-se devido a possibilidade de trincas ou umidade no isolamento do detetor e do cabo, assim como, um mal contato no conector que liga o detetor ao pré-amplificador, ou perda da pressão do gás de enchimento do detetor.

3.4.2 Teste de qui-quadrado

Com o objetivo de se utilizar um modelo estatístico apropriado para tratamento dos dados experimentais obtidos, compara-se esses dados com uma dada função de distribuição de probabilidade, como a de Poisson, ou no caso de um número muito grande de medidas, a função distribuição de Gauss.

Essa comparação pode ser feita de maneira qualitativa avaliando-se a forma e amplitude dos dados e a função a ser comparada por simples sobreposição das curvas obtidas, ou de maneira quantitativa, por intermédio do valor médio e variância. Por vezes, quando compara-se valores médios dos dados experimentais com respectivas funções distribuição de probabilidade, observa-se que a variância dos dados experimentais e da função distribuição apresentam discrepâncias.

Para se determinar o quanto essas discrepâncias são significativas, utiliza-se um teste mais quantitativo, que consiste na obtenção do parâmetro qui-quadrado, o qual é definido como o número de graus de liberdade multiplicado pela variância e dividido pelo valor médio.

O parâmetro qui-quadrado é listado para vários graus de liberdade (N-1) /39/, mostrando a probabilidade com que uma amostra aleatória de dados experimentais tendo um determinado valor de qui-quadrado seja concordante com uma distribuição de Poisson de referência, onde probabilidades pequenas (menores que 0,02) indicam flutuações grandes nos dados da amostra, assim como, probabilidades muito grandes (maiores que 0,98) indicam flutuações pequenas, ambas anormais. O resultado experimental que apresenta um ajuste perfeito com a distribuição de Poisson é aquele que apresenta probabilidade de 0,50.

Neste trabalho, o teste de qui-quadrado foi utilizado para a verificação operacional do sistema e para a associação ao desvio padrão da medida como sendo sua própria raiz quadrada.

Na Tabela 3.3 constam os valores de medidas para o teste de qui-quadrado com os quais obtemos valores de probabilidade em torno de 0,50, destes conclui-se a boa operacionalidade do sistema, detetor-eletrônica associada, e possibilita a associação do desvio padrão, da medida, como a sua raiz quadrada.

3.4.3 Levantamento da tensão de operação do detetor

Nesta atividade busca-se determinar a faixa de tensão de operação da câmara MCFU-17 como câmara de ionização. Dados experimentais de contagens em função da tensão no detetor na faixa de 10 à 120 V, para a potência de 0,1 W, foram levantados e encontram-se na Tabela 3.4. No gráfico ilustrado na Figura 3.3 obteve-se o patamar do modo de operação, como câmara de ionização, onde estabeleceu-se que a tensão de operação deste detetor é de 80 V. A inclinação do patamar, pelos dados tomados em 70 e 90 V é de 7,9 contagens/volt ou 0,05 %. Essas medidas foram realizadas para outros níveis de potência obtendo-se resultados similares.

Utiliza-se normalmente as tensões em 2/3 do início do patamar, nesse tipo de detetor, e procura-se obter essa curva nas maiores taxas de contagens, as quais o detetor será submetido com a finalidade de que, mesmo nessas taxas de contagens, efeitos de recombinação iônica sejam minimizados, obtendo-se uma faixa maior de operação para a câmara utilizada.

3.4.4 Obtenção da distribuição de altura de pulsos da câmara MCFU-17

Com o reator operando na potência de 0,1 W, a câmara de fissão localizada na posição central do núcleo e, a instrumentação eletrônica associada e ajustada, foi obtida a distribuição de pulsos de tensão em função dos canais com o analisador multicanal.

O analisador multicanal utilizado possui constante de tempo de 100 MHz e foi estabelecida a divisão das amplitudes dos pulsos de tensão de 0 a 10 V em 1024 canais, sendo apresentados nas figuras correspondentes neste trabalho somente os canais de 0 a 500, uma vez que são suficientes para a visualização dos referidos espectros.

Observa-se na Figura 3.4 que a forma da distribuição dos pulsos obtida é semelhante à distribuição, em energia ou massa, dos produtos de fissão. Essa distribuição não corresponde aos picos em 70 e 100 MeV. Devido a perda de energia dos produtos de fissão na camada eletrodepositada, essa distribuição é distorcida equivalendo às energias de 0 à 100 MeV.

A integração é realizada pelo próprio multicanal que corrige o tempo morto, fornecendo as contagens líquidas das quais devem ser descontadas as contagens de fundo apresentadas no item 3.4.5 para posterior análise dos dados.

3.4.5 Discriminação dos pulsos originados de ruído eletrônico e partículas alfa

O decaimento natural do urânio constituinte da câmara, principalmente do isótopo ^{234}U , emite partículas alfa com energia em torno de 5 MeV, que provocam ionizações no interior do detector, originando pulsos proporcionais a essas ionizações. A instrumentação eletrônica também gera pulsos proporcionais ao ruído eletrônico, devendo esses efeitos serem contabilizados com o objetivo de se obter somente contagens correspondentes a ionizações por produtos de fissão no detector.

A Figura 3.5 mostra a distribuição de altura de pulsos proporcionais às ionizações produzidas pelos produtos de fissão, partículas alfa e ruído eletrônico. Os produtos de fissão produzem pulsos de maior altura enquanto os outros fenômenos produzem pulsos de menores alturas. A Figura 3.5 também mostra que a maioria dos pulsos das partículas alfa e ruídos eletrônicos tem altura menor que o canal 70 (aproximadamente 700 mV), enquanto que a maioria dos pulsos, devido aos produtos de fissão, tem altura de pulso maior como pode ser visto na Figura 3.4.

Tomou-se como nível de discriminação de altura de pulso, para as medidas de fluxo, o canal 70. A escolha deste canal deve-se ao fato de possibilitar a contagem do espectro em sua maior parte (ver Figura 3.4).

Uma vez determinado o nível de discriminação, buscou-se contar a contribuição das partículas alfa e ruído eletrônico. Com o detetor suprido com a tensão de 80 V, procedeu-se a obtenção do espectro característico dos pulsos provenientes de partículas alfa e ruído eletrônico sem influência dos pulsos provenientes da fissão do ^{235}U realizando-se as contagens com o reator desligado.

As contagens obtidas correspondentes à integração das contagens a partir do canal número 70, no multicanal utilizado, totalizaram 312. Todas as medidas de fluxo de nêutrons passaram a ter nível de discriminação no canal 70 e todas as contagens tiveram descontadas a contagem de fundo de 312. A linha perpendicular ao eixo das abcissas, no canal número 70, na Figura 3.4, indica o nível de discriminação a partir do qual foi realizada a integração dos pulsos.

3.4.6 Verificação da linearidade da resposta da câmara MCFU-17 em função do fluxo de nêutrons

A câmara MCFU-17 deve ter resposta linear em diversos níveis de fluxo neutrônico, garantindo que não hajam efeitos de recombinação iônica devido as altas densidades de ionização; geralmente a faixa de operação desse tipo de detetor é de 5 ordens de magnitude.

Após determinada a tensão de operação e estabelecido o nível de contagem de fundo, foi verificada a linearidade de resposta da câmara em função da potência pela obtenção de medidas em alguns níveis de potência, conforme mostram a Tabela 3.5 e a Figura 3.6.

Embora a Figura 3.6 apresente uma boa linearidade, observou-se aumento significativo do tempo morto no analisador multicanal conforme o aumento da potência do reator. Pela linearidade da curva é possível a operação do reator em potências maiores que 0,1 W, porém, foi estabelecida essa potência, utilizando-se como critérios: o baixo tempo morto obtido; a não exposição da câmara aos fluxos altos, favorecendo a uma menor queima do material fissil e uma boa estatística de contagem.

Na potência escolhida, 0,1 W, esse tempo morto fixou-se em torno de 2 %, o qual foi corrigido pela própria eletrônica do multicanal, sendo então obtidas as contagens líquidas correspondentes.

3.4.7 Obtenção da sensibilidade da câmara MCFU-17 aos nêutrons térmicos

A sensibilidade da câmara aos nêutrons térmicos foi obtida por intermédio da irradiação de folhas de ouro nuas e cobertas com cádmio, utilizando detetores de ativação /40/. Por essa técnica foram obtidos os valores de fluxo térmico em quatro posições radiais na direção leste-oeste do núcleo, a meia altura do núcleo ativo. As posições foram de dois “pitch” (distância entre os centros de duas varetas combustíveis que é de 1,5 cm) externos ao núcleo e 4, 7 e 14 “pitch” internos ao núcleo. Nessas posições foram também obtidas as contagens da câmara de fissão. A razão entre os valores de contagem da câmara e o fluxo térmico, obtido pelos detetores de ativação, fornece a sensibilidade do detetor. Os valores de fluxo térmico, razão de cádmio e sensibilidade, nas respectivas posições, encontram-se na Tabela 3.6. Tal procedimento mostra a dependência da sensibilidade da câmara de fissão em relação aos diferentes espectros de nêutrons no reator, evidenciado pelas razões de cádmio mostradas no núcleo e refletor. Calculando-se uma média dessas medidas, temos o valor de sensibilidade de $(5,3 \pm 0,3) 10^{-4} \text{ CPS/nv}$.

3.5 Considerações finais

Na verificação da operacionalidade da câmara foram encontrados inicialmente problemas quanto à obtenção da distribuição de altura de pulsos, devido o detetor ser metálico, longo e estar em contato com a estrutura metálica do núcleo, favorecendo o funcionamento deste como antena, gerando ruído eletrônico indesejado. Esse problema foi sanado pelo isolamento do detetor com plástico termo-contrátil.

Um outro problema refere-se ao pré-amplificador, devido o pequeno comprimento do cabo que o liga ao detetor, que é de 1,5 metros. O pré-amplificador é fixado na haste de movimentação do detetor, ficando próximo do nível de água do tanque

do moderador que, quando cheio, favorece a umidade. Esse problema foi sanado com a introdução de um tubo fornecendo ar seco e mantendo uma melhor condição de operação.

A variação quanto à estabilização térmica e elétrica da instrumentação foi solucionada pela manutenção dessa instrumentação energizada, intermitentemente, sendo que, quando desligada foi energizada por um período mínimo de duas horas, sendo monitorada por testes de qui-quadrado.

Tabela 3.1 - Características físicas da câmara de fissão MCFU-17.

Constituição	aço inox 304
Diâmetro externo	2 mm
Diâmetro interno	1,1 mm
Comprimento ativo	50 mm
Revestimento	eletrodo central - U_3O_8 93% em massa de ^{235}U eletrodepositado com espessura de 1 mg/cm^2
Preenchimento	gás argônio UP+ 3 % nitrogênio à pressão de 10 Kgf/cm^2
Isolantes	Al_2O_3 (alumina)
Cabo	coaxial com isolamento mineral com 1,5 m de extensão
Conector	BNC macho
Modo de operação	tipo pulso de tensão

Tabela 3.2 - Características operacionais da instrumentação eletrônica associada à câmara de fissão MCFU-17.

Multicanal Seiko-Ortec mod. 7800	<ul style="list-style-type: none"> - Ganho de conversão - "Conv. Gain" - 1024 - Discriminador Nível Superior - "ULD" - 9999 mV - Discriminador Nível Inferior - "LLD" - 160 mV - Tempo Morto - "DT" - 2%
Amplificador Ortec mod. 673	<ul style="list-style-type: none"> - Ganho Fino - "Fine Gain" - 0 - Ganho Grosso - "Coarse Gain" - 50 - Forma do Pulso - "Shapping Time" GI 1 μsec , Amp 3 μsec - Restaurador de Linha de Base - BLR - auto - Tensão - positiva - Saída para o Multicanal - Unipolar - Saída para o Osciloscópio - GI
Fonte de alta tensão Ortec mod. 556	<ul style="list-style-type: none"> - Tensão - 80 V, positiva

Tabela 3.3 - Valores obtidos para teste de qui-quadrado.

Número da medida	Valor da medida (cpm)	Valor da medida (cpm)	Valor da medida (cpm)
1	27516	22997	71175
2	27656	22642	71158
3	27446	22734	71608
4	27558	22627	71182
5	27216	22635	71190
6	27477	22852	71829
7	27286	22835	71514
8	27664	22856	71718
9	27660	22708	71009
10	27662	22878	71637
Qui-quadrado	8.527	6.204	10.521
Probabilidade	0.54	0.71	0.39

Tabela 3.4 - Valores obtidos para levantamento da tensão de operação da câmara de fissão MCFU-17.

Tensão (V)	Contagem (cpm)
10	7125
15	10630
20	13510
30	15247
40	15830
50	16403
60	16542
70	16907
80	16943
90	17065
100	17474
110	18016
120	18690

Tabela 3.5 - Valores para verificação da linearidade de resposta da câmara de fissão MCFU-17 em função do fluxo de nêutrons.

Potência (W)	Contagem (cpm)
0,1	17474
1	130300
4	530600
6	776000
10	1295000

Tabela 3.6 - Obtenção da sensibilidade da câmara de fissão MCFU-17 aos nêutrons térmicos *.

Posição radial leste-oeste	Fluxo de Nêutrons Térmicos **(n/cm^2s)	Razão de Cádmiu	Sensibilidade (CPS/nv)
1 (refletor)	$(1,53 \pm 0,05)10^6$ ***	5,71	$(4,88 \pm 0,17)10^{-4}$
2 (núcleo ativo)	$(5,38 \pm 0,18)10^6$	1,73	$(5,38 \pm 0,18)10^{-4}$
3 (núcleo ativo)	$(9,47 \pm 0,30)10^6$	1,75	$(5,20 \pm 0,17)10^{-4}$
4 (núcleo ativo)	$(7,20 \pm 0,24)10^6$	1,72	$(5,55 \pm 0,18)10^{-4}$

* Os valores de fluxo de nêutrons térmicos foram obtidos pela técnica de ativação de folhas de ouro, nas posições 1, 2, 3 e 4 correspondendo as distâncias de 2 "pitch" externo ao núcleo, 4, 7 e 14 "pitch" interno ao núcleo, sendo a largura do núcleo nessa direção de 28 "pitchs". Cada "pitch" tem a dimensão de 1,5 cm.

** Os valores de fluxo térmico foram obtidos pela técnica de ativação de folhas, sendo a energia de corte térmico de 0,55 eV.

*** Foram utilizados os mesmos valores de seção de choque efetiva do detetor no refletor e interior do núcleo.

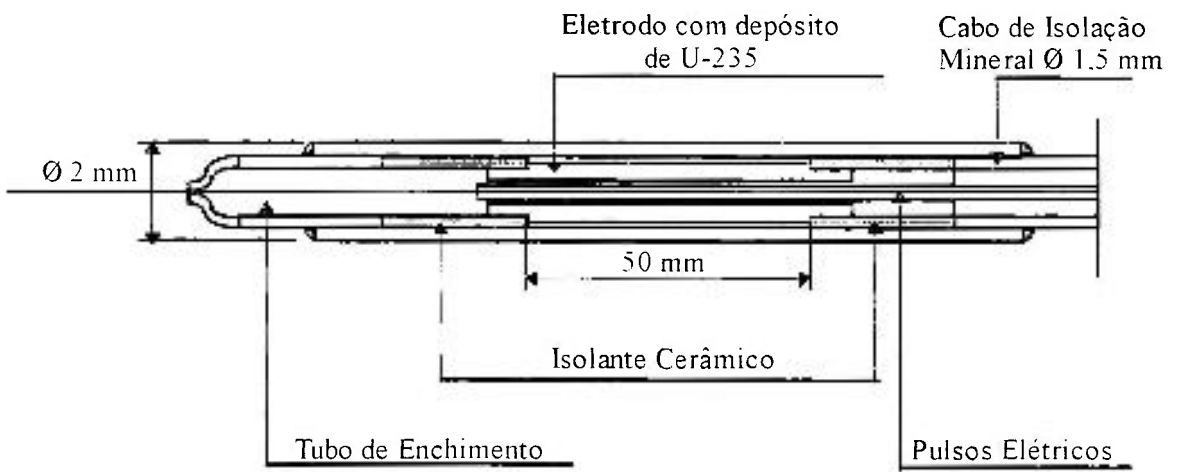


Figura 3.1 - Desenho do detetor.

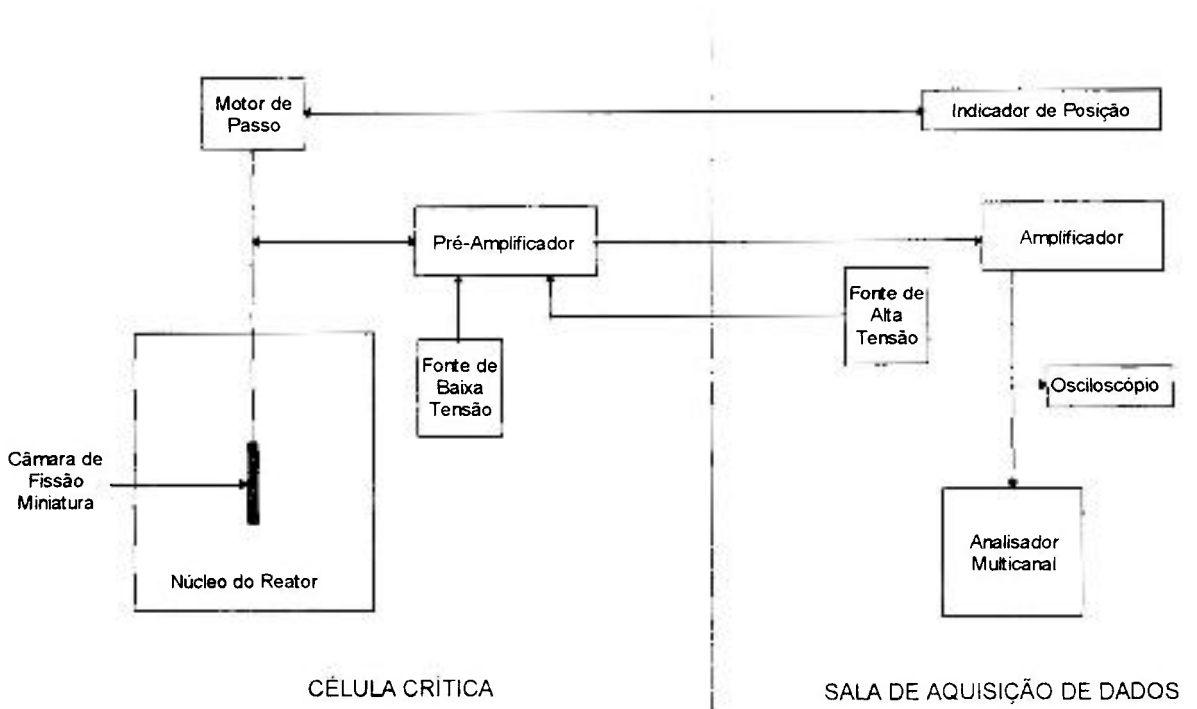


Figura 3.2 - Desenho esquemático da instrumentação eletrônica associada a MCFU-17 e respectiva localização

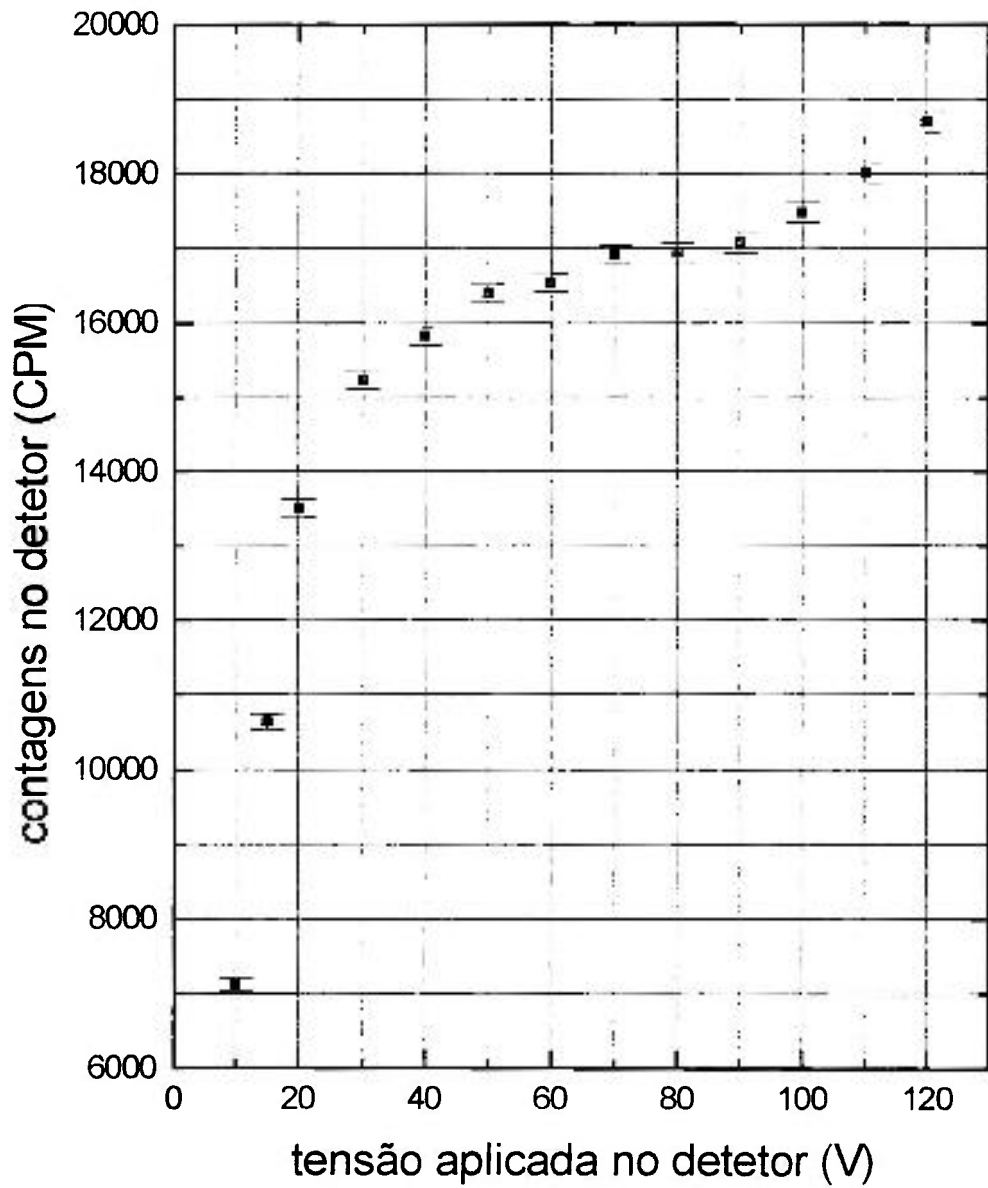


Figura 3.3 - Curva de tensão de operação versus contagem da MCFU-17 na posição central do reator IPEN/MB-01 operando na potência de 0,1 W.

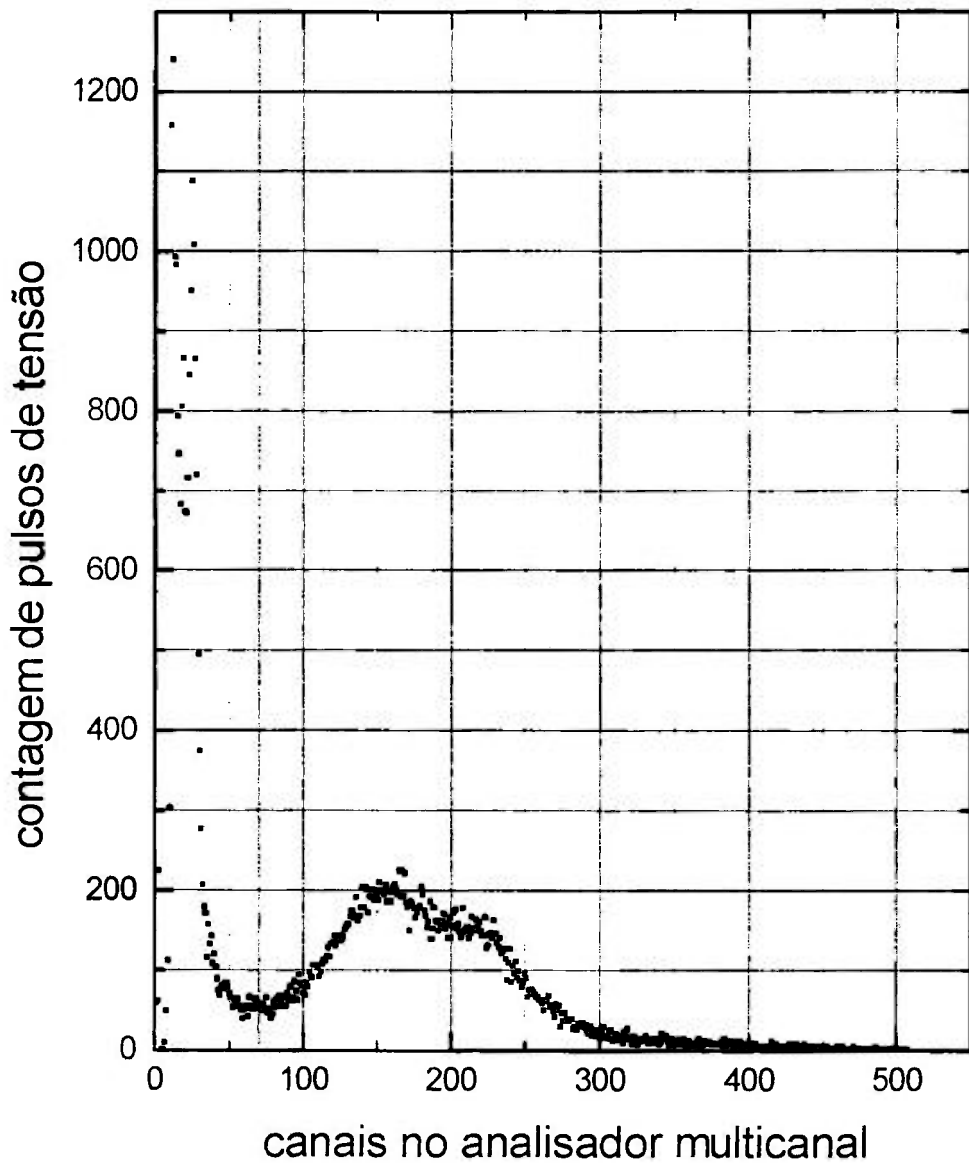


Figura 3.4 - Distribuição da altura de pulsos de tensão obtidos na câmara MCFU-17.

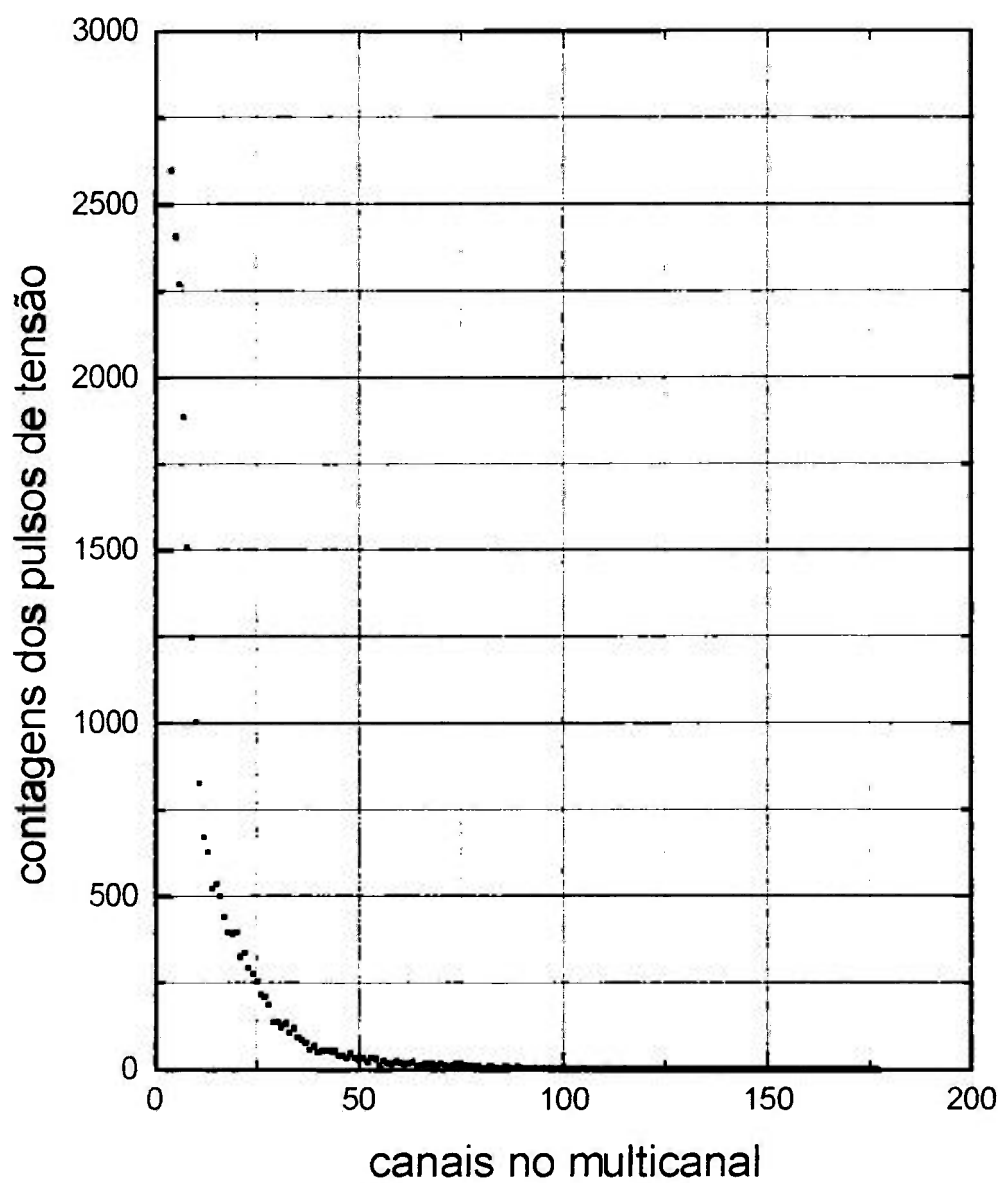


Figura 3.5 - Espectro de pulsos proporcionais às ionizações na câmara por partículas alfa e ruídos eletrônicos.

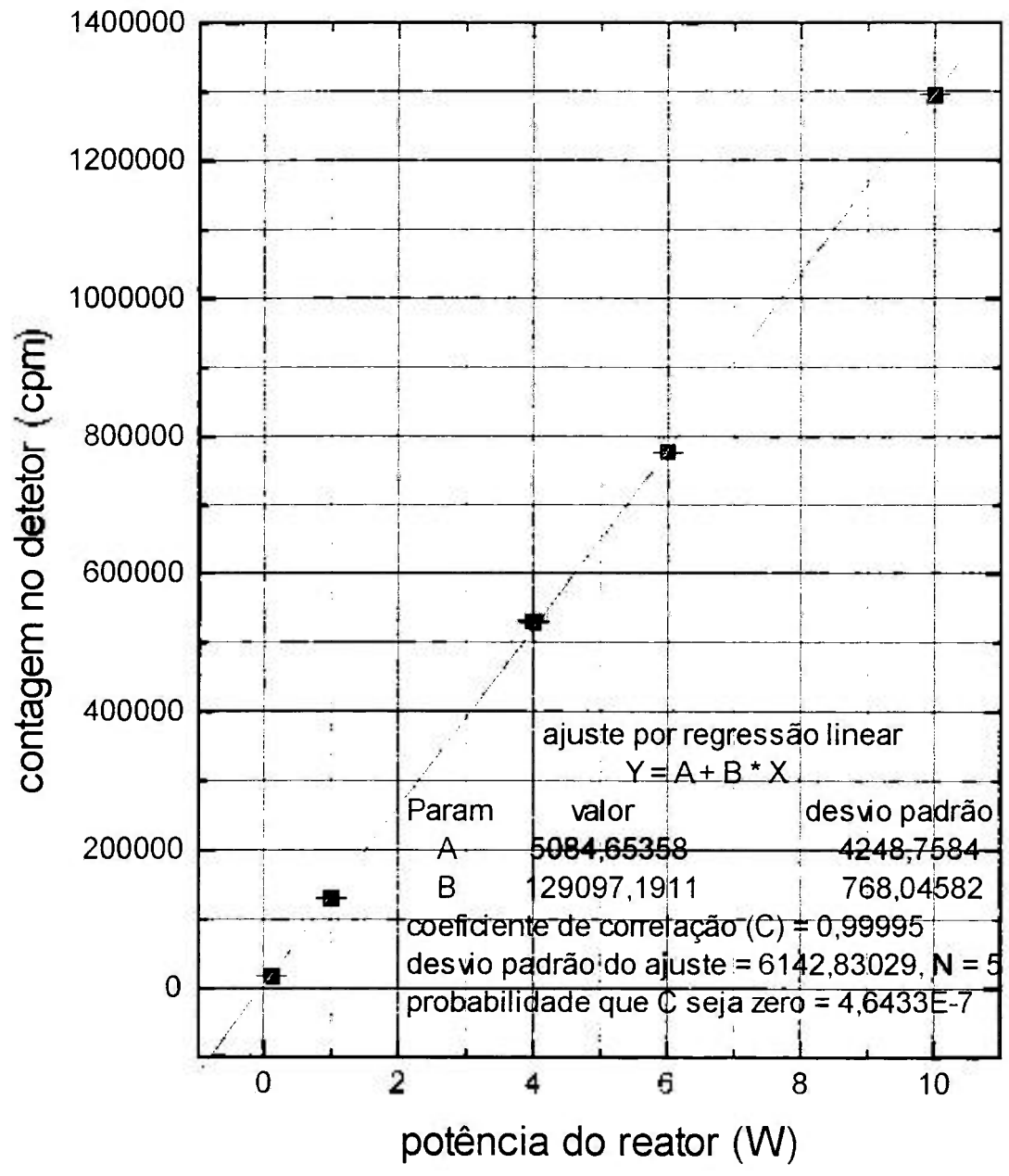


Figura 3.6 - Linearidade de resposta da câmara com a potência do reator que é proporcional a resposta ao fluxo de nêutrons.

IV MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS COM A CÂMARA MCFU-17

4.1 Introdução

Após a adequação da instrumentação eletrônica e caracterização da câmara MCFU-17 estabeleceram-se procedimentos para a determinação das posições radiais e cotas axiais a serem mapeadas no reator, para a operação do reator e para a obtenção das medidas experimentais, conforme descrito nos itens 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente.

A movimentação axial em cada posição radial foi realizada por intermédio do mecanismo de acionamento da câmara conforme descrito no item 3.3. Porém a mudança de posição exige a movimentação radial do dispositivo de sustentação da câmara manualmente, sendo, para isso, necessário o desligamento do reator, de modo que as posições foram mapeadas em operações distintas.

O tempo para a realização do mapeamento em uma posição subdividiu-se em média da seguinte forma:

- 30 minutos para a montagem e testes de movimentação do arranjo experimental;
- 1 hora para criticalização do reator;
- 30 minutos para a estabilização da potência do reator e testes operacionais no detetor;
- 3 horas para o mapeamento da posição selecionada;
- 30 minutos para o desligamento do reator.

Esses mapeamentos foram realizados, na sua maioria, no período da tarde, sendo que no dia seguinte, após estabelecer-se níveis radiológicos adequados, ocorria o acesso à célula crítica para o posicionamento do detetor em uma nova posição.

O estabelecimento dos procedimentos e execução das tarefas acima mencionadas foi feito em comum acordo entre os grupos de operação, experimental, de análise neutrônica e de proteção radiológica envolvidos na realização do experimento.

4.2 Estabelecimento das posições a serem mapeadas no reator

As medidas de contagem no núcleo do reator foram realizadas em duas fases: na primeira fase realizaram-se mapeamentos na direção leste-oeste num total de 20 posições /41/ e, na segunda fase, realizaram-se mapeamentos na direção norte-sul num total de 22 posições /42/. Essas posições (furos) encontram-se na placa matriz superior e intermediária de sustentação do arranjo crítico e podem ser vistas na Figura 4.1.

A escolha dessas posições deu-se devido a possibilidade de inserção do aparato experimental nestas posições do reator sem interferência na movimentação das barras absorvedoras de controle e de segurança, devido serem as posições disponíveis nessas direções e devido propiciarem informações significativas da distribuição espacial do fluxo de nêutrons no reator IPEN/MB-01. As medidas encontram-se na região central do núcleo, entre elementos de controle e na periferia junto a interface núcleo refletor.

Em cada uma dessas 42 posições radiais (horizontais) foram mapeadas 36 cotas axiais (verticais) sendo que nas regiões próximas à interface núcleo-refletor e refletor, na direção axial, esses pontos foram obtidos em distâncias menores que nos pontos internos do núcleo do reator. Isto foi feito com o intuito de um estudo mais detalhado da interface núcleo refletor e refletor do reator. A primeira cota axial mapeada foi estabelecida com o tubo guia do detetor encostado na placa suporte inferior. Esta posição corresponde ao centro ativo do detetor localizado a 6,9 cm desta placa. O início da região ativa do núcleo do reator localiza-se a 9,1 cm desta mesma placa suporte inferior. O posicionamento da vareta combustível em relação à placa suporte inferior, com a respectiva localização do início da região ativa do núcleo, pode ser visualizada na Figura 4.2.

No mapeamento na direção radial no sentido leste-oeste, a primeira posição do lado leste é designada neste trabalho como LO-01, sendo as posições consecutivas LO-

02, LO-03 até LO-20. No sentido norte-sul, a primeira posição no lado norte foi designada por NS-01 e assim sucessivamente até a posição NS-22.

4.3 Procedimento operacional do reator para o mapeamento

Como procedimento operacional foram utilizados os procedimentos para ligar e desligar o reator /43,44/. Foram tomados os devidos cuidados de manter o posicionamento das barras de controle na mesma altura, conservando a simetria radial no fluxo de nêutrons, também quanto às possíveis variações de potência durante o mapeamento, observando os registros dos canais lineares de potência, além de manter o reator no modo de operação automático na potência pré-estabelecida de 0.1 W.

A potência do reator foi acompanhada pelo registrador gráfico linear da câmara de ionização correspondente ao canal 5 da instrumentação nuclear do reator IPEN/MB-01 /45/. Essa câmara opera em modo corrente e foi pré-calibrada por intermédio da técnica de ativação de folhas de ouro /46/, onde a corrente de $0,680 \cdot 10^{-8}$ A corresponde a potência média no reator de 0.1 W.

Os registros dos parâmetros operacionais como posição de barras de controle e acompanhamento de potência encontram-se nas folhas de operação e registros gráficos dos canais lineares de potência do reator respectivamente /47/. Na Tabela 4.1 pode-se visualizar a data da operação, o número da operação, o número da posição radial mapeada correspondente e posição das barras de controle.

4.4 Procedimento para a aquisição de dados

Para cada cota axial fez-se 3 medidas de 60 segundos. Em alguns casos, onde as contagens, no intervalo de tempo de 60 segundos, foram baixas, optou-se pela obtenção da medida em um tempo de contagem maior, de maneira a totalizar em torno de 10000 contagens. Nessas posições, tomadas em intervalo de tempo maior, os valores foram normalizados para o intervalo de tempo de 60 segundos. A cada mudança na posição axial,

do detetor, aguardou-se um período de tempo em torno de 30 segundos, evitando perturbações transitórias devido a movimentação do detetor.

Com o objetivo de evitar os ruídos eletrônicos, a eletrônica associada foi energizada por intermédio de um barramento elétrico devidamente estabilizado, aterrado e separado dos demais instrumentos eletro-eletrônicos da instalação. Procurou-se manter a instrumentação eletrônica, associada ao detetor, energizada intermitentemente em todo o período do experimento, mapeamento das 42 posições, garantindo sua estabilidade térmica. Sendo que, quando desenergizada, após um período mínimo de duas horas desta energizada para estabilização, foram realizados teste de qui-quadrado para verificar a confiabilidade das medidas obtidas com o sistema detetor-eletrônica.

4.5 Análise de incertezas dos dados experimentais obtidos

Os resultados de mapeamento de distribuição de fluxo neutrônico com a câmara de fissão CFMU-17 são apresentados na seção 4.6.

As possíveis fontes de incertezas nesses dados são:

- A eletrônica associada à câmara de fissão;
- O posicionamento da câmara dentro do núcleo;
- A variação das barras de controle durante e entre as medidas realizadas;
- A estatística de contagem.

A incerteza devido a instrumentação eletrônica associada à câmara, principal fonte de incerteza nas medidas obtidas, ocorre devido às flutuações intrínsecas aos próprios equipamentos utilizados, flutuações na tensão de operação do sistema de detecção, às flutuações de tensão na rede de alimentação, à temperatura da instrumentação, à umidade e

aos ruídos espúrios. Foram tomados os devidos cuidados para evitar problemas como os já citados na seção 4.4.

Um outro fato está relacionado ao cabo metálico do detetor, com comprimento de 1,5 m, que funciona também como antena quando em contato com a estrutura metálica do núcleo, promovendo ruídos espúrios na detecção, problema este que foi minimizado pelo isolamento elétrico do cabo metálico do detetor.

A precisão de indicação axial de posição da câmara de fissão dentro do núcleo, axialmente, é de 0,1 mm. Esta incerteza não afeta o resultado experimental propriamente dito, mas sim, a comparação com resultados teóricos calculados com códigos computacionais.

As comparações entre cálculo e experimento são realizadas para o mesmo ponto do reator e, dependendo do gradiente do fluxo de nêutrons na região, podem ser fortemente influenciados pela incerteza no posicionamento da câmara. Outro aspecto importante ligado à comparação cálculo-experimento é o da dimensão finita da câmara que é de 50 mm. A câmara perturba o fluxo de nêutrons no local de sua presença, além de produzir pulsos decorrentes dos nêutrons detectados em todo o seu volume ativo. Os resultados de medida não são pontuais e os cálculos devem levar tal fato em consideração. Estes dois efeitos, a incerteza no posicionamento da câmara e o seu tamanho finito serão abordados no capítulo V.

O posicionamento das barras de controle varia durante a realização das medidas, num mesmo dia, devido o controle da potência do reator ser feito em modo automático. A posição da barra varia também de um dia para o outro devido a alterações nas condições ambientais que afetam a temperatura da água do tanque do moderador e da instrumentação nuclear. A pequena variação de reatividade é compensada pela movimentação das barras de controle. Esta segunda variação, a de um dia para o outro, é maior que a variação devido a atuação do controle automático do reator para manter a potência constante.

O posicionamento das barras de controle foram tomados nos vários dias de experimento segundo a Tabela 4.1. O desvio em torno do valor médio dessas posições é de 0,4 %, o que corresponde a uma variação de reatividade de aproximadamente 10 pcm. Esse valor foi obtido pela média aritmética entre as posições das barras nos dias de operação, e obtenção da reatividade pelas curvas de calibração das barras de controle do reator /48/. Tal incerteza não afeta o resultado experimental propriamente dito mas sim, a comparação com cálculos teóricos que exigem a configuração do reator bem determinada. Este impacto na comparação da teoria com o experimento será abordado no capítulo V.

As contagens realizadas foram corrigidas, no próprio multicanal, devido ao tempo morto do sistema de medidas. A Figura 3.6 mostra a boa linearidade entre a contagem da câmara de fissão e o nível de potência de operação, mesmo para contagens bastante altas, evidenciando a boa qualidade da medida em toda a faixa utilizada.

Foi aplicado um teste de qui-quadrado aos resultados de contagem fornecidos por esse sistema de medida para verificar sua confiabilidade. Constatou-se por este teste que os resultados obedecem uma distribuição de Poisson, possibilitando a associação do desvio-padrão como sendo a raiz quadrada da medida.

Para a análise das incertezas utilizou-se os métodos convencionais de propagação de erros, admitindo-se que as medidas sejam eventos independentes, não estando correlacionadas com a queima do material fissil do detetor ou do reator. A contagem de fundo foi descontada das medidas, após serem ambas corrigidas, pelo próprio multicanal, do respectivo tempo morto.

Na obtenção dos dados experimentais usamos duas metodologias: uma de medidas independentes de 60 segundos cada e outra com o tempo suficiente para acumular 10000 contagens. Foram utilizados Utilizaram-se procedimentos específicos para a análise das incertezas de cada caso, sendo que em ambos há uma contagem de fundo de 312 contagens.

A análise estatística dos dados experimentais obtidos por três medidas independentes de 60 segundos cada é feita da seguinte forma /49/:

Para a obtenção do valor médio de contagem no ponto utilizou-se a expressão (1), que calcula a média aritmética entre três medidas, descontando as contagens de fundo. As contagens de fundo foram determinadas conforme o item 2.4.3, tendo o valor de 312 contagens em 60 segundos.

$$X_m = \left(\frac{X_a + X_b + X_c}{3} \right) - CF \tag{1}$$

onde,
 X_m = valor medio das medidas
 X_a, X_b e X_c = primeira, segunda e terceira medida
 CF = contagem de fundo

A variança dessa expressão é determinada pela expressão (2):

$$(\sigma_{X_m})^2 = \left(\frac{\partial X_m}{\partial X_a} \right)^2 (\sigma_{X_a})^2 + \left(\frac{\partial X_m}{\partial X_b} \right)^2 (\sigma_{X_b})^2 + \left(\frac{\partial X_m}{\partial X_c} \right)^2 (\sigma_{X_c})^2 + \left(\frac{\partial X_m}{\partial CF} \right)^2 (\sigma_{CF})^2 \tag{2}$$

onde,
 $\sigma_{X_a} = \sqrt{X_a}$, $\sigma_{X_b} = \sqrt{X_b}$, $\sigma_{X_c} = \sqrt{X_c}$ e $\sigma_{CF} = \sqrt{CF}$

Tendo o desvio padrão como a raiz quadrada da variança obtém-se (3).

$$\sigma_{X_m} = \sqrt{\frac{(\sigma_{X_a})^2 + (\sigma_{X_b})^2 + (\sigma_{X_c})^2}{9} + (\sigma_{X_{CF}})^2} \tag{3}$$

No caso de um intervalo de tempo maior para a medida, adotamos a padronização para o tempo de 60 segundos. Para a obtenção do valor médio utilizamos a expressão (4).

$$\boxed{X_{m60} = \frac{X_t}{n} - CF} \quad (4)$$

onde,

X_{m60} = valor médio da medida em 60 segundos

X_t = total de contagens no tempo t

$n = \frac{\text{tempo total de medida}}{60 \text{ segundos}}$

CF = contagem de fundo

Da mesma forma obtém-se a variância e o desvio-padrão, respectivamente:

$$\boxed{(\sigma_{X_{m60}})^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 (\sigma_{X_t})^2 + (\sigma_{CF})^2} \quad (5)$$

$$\boxed{\sigma_{X_{m60}} = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{n}\right)^2 (\sigma_{X_t})^2 + (\sigma_{CF})^2\right)}} \quad (6)$$

4.6 Apresentação dos resultados experimentais obtidos

Após a obtenção dos mapeamentos das 42 posições pré-estabelecidas iniciou-se a análise desses dados para a sua apresentação. Nas Tabelas A1 à A42, no Apêndice A, são apresentados a identificação da posição mapeada, cotas axiais mapeadas na respectiva posição, valores de contagem obtidos, tempo líquido de contagem, valores médios de contagem e respectivo desvio-padrão. As médias dessas medidas foram obtidas de acordo com a Equação (1) para medidas de 60 segundos, ou Equação (4) para tempos superiores a 60 segundos e o desvio-padrão de acordo com a Equação (3) para tempos de 60 segundos, ou Equação (6) para tempos superiores a 60 segundos.

Nas Figuras 4.3 e Tabela 4.2 são apresentadas as distribuições de contagens correspondentes à posição LO-10. O gráfico e o manuseio dos valores apresentados foram realizados por intermédio do aplicativo “ORIGIN” /50/.

4.7 Considerações finais

As posições selecionadas para o mapeamento permitem uma análise bastante abrangente de regiões significativas dentro do núcleo do reator. A escolha dessas posições mapeadas foi de modo a não interferir no sistema de movimentação das barras de controle do reator e serem possíveis de varredura pelo detetor. Não há a possibilidade da movimentação deste detetor na direção radial.

Os valores de contagens obtidos são mostrados no Apêndice A. Esses valores apresentam algumas discrepâncias significativas quando comparados em algumas posições simétricas no reator, o que é contraditório, sendo o reator simétrico. Esse fato decorre principalmente dos mapeamentos terem sido realizados em dias distintos, evidenciando possíveis variações ambientais e de flutuações na instrumentação eletrônica do detetor e reator, de um dia para o outro. Torna-se necessário, portanto, um fator de intercalibração do sistema de detecção e do reator, para medidas em dias distintos, para que se obtenha o mapeamento radial e então tridimensional do núcleo.

Tabela 4.1 - Posições radiais mapeadas com correspondentes posições de barra de controle (em porcentagem retiradas do núcleo ativo).

Posição radial mapeada	Data da Operação	Número da Operação	Posição da Barra de Controle 1	Posição da Barra de Controle 2
LO-01	03/02/1992	325	59,0	59,3
LO-02	04/02/1992	326	59,5	58,6
LO-03	05/02/1992	327	59,0	61,6
LO-04	06/02/1992	328	59,0	59,6
LO-05	12/02/1992	331	60,5	58,2
LO-06	13/02/1992	332	59,0	58,5
LO-07	14/02/1992	333	60,5	59,5
LO-08	17/02/1992	334	60,4	58,6
LO-09	18/02/1992	335	59,6	59,4
LO-10	20/02/1992	337	60,6	58,6
LO-11	26/02/1992	340	60,5	8,6
LO-12	27/02/1992	341	59,0	59,4
LO-13	11/03/1992	346	60,4	58,9
LO-14	13/03/1992	348	60,9	58,3
LO-15	16/03/1992	349	60,6	57,8
LO-16	17/03/1992	350	59,3	60,7
LO-17	18/03/1992	351	59,5	58,4
LO-18	20/03/1992	353	59,7	58,2
LO-19	24/03/1992	354	59,2	58,8
LO-20	25/03/1992	355	59,6	58,3
NS-01	14/04/1992	363	59,0	58,6
NS-02	22/04/1992	365	59,3	59,3
NS-03	23/04/1992	366	59,4	58,3
NS-04	27/04/1992	367	59,2	58,6
NS-05	28/04/1992	368	59,0	59,1
NS-06	29/04/1992	369	59,5	58,2
NS-07	05/05/1992	370	59,1	59,2
NS-08	06/05/1992	371	59,2	58,4
NS-09	09/04/1992	361	59,7	58,8
NS-10	20/02/1992	337	60,6	58,6
NS-11	07/05/1992	372	59,3	59,5
NS-12	08/05/1992	373	59,4	59,5
NS-13	12/05/1992	375	59,2	59,2
NS-14	12/05/1992	376	59,2	59,1
NS-15	13/05/1992	377	59,2	59,1
NS-16	14/05/1992	378	59,0	59,0
NS-17	15/05/1992	379	59,5	59,1
NS-18	19/05/1992	380	59,3	59,3
NS-19	20/05/1992	381	59,0	59,3
NS-20	21/05/1992	382	59,6	58,2
NS-21	22/05/1992	383	59,6	58,0
NS-22	25/05/1992	384	59,2	58,6

Tabela 4.2 - Valores de contagens de pulsos no detetor com respectivos tempos de medida, valores médios e desvio-padrão na posição LO-10.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-10a	Medida posição LO-10b	Medida posição LO-10c	Tempo Medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio-padrão (cpm)
6,9	22997	23138	23097	60	22765	89
7,9	22590	21803	22080	60	21846	88
8,9	20710	20426	20674	60	20291	85
9,9	18798	19054	19014	60	18643	81
10,9	17359	17223	17267	60	16971	78
11,9	16594	16669	16544	60	16290	76
12,9	17167	17044	16875	60	16717	77
13,9	18146	18179	18021	60	17803	80
15,9	20011	20060	20246	60	19794	84
17,9	22406	22326	22525	60	22107	88
20,9	25429	25511	25357	60	25120	94
23,9	27546	27408	27631	60	27216	97
26,9	28916	29150	29431	60	28854	100
29,9	29624	30045	30066	60	29600	101
32,9	30459	30003	30212	60	29913	102
35,9	29762	29213	29610	60	29216	101
38,9	28005	28123	28212	60	27801	98
41,9	26516	26522	26304	60	26135	96
44,9	24398	24698	24391	60	24184	92
48,9	21143	21320	21189	60	20905	86
51,9	18954	18732	18919	60	18556	81
54,9	16024	16013	15854	60	15652	75
57,9	12913	12937	13055	60	12656	68
60,9	10688	10940	10818	60	10503	63
63,9	11907	11992	11630	60	11531	65
66,9	12830	12907	12783	60	12528	68
69,9	9207	9179	9110	60	8853	58
72,9	5580	5687	5667	60	5333	47
73,9	4835	4733	4719	60	4450	44
74,9	3951	3912	3955	60	3627	40
75,9	3283	3316	3234	60	2966	37
76,9	2811	2784	2791	60	2483	35
77,9	2387	2405	2473	60	2110	33
78,9	2094	2110	2113	60	1794	32
79,9	1732	1660	1783	60	1413	30
80,9	1523	1575	1499	60	1220	29

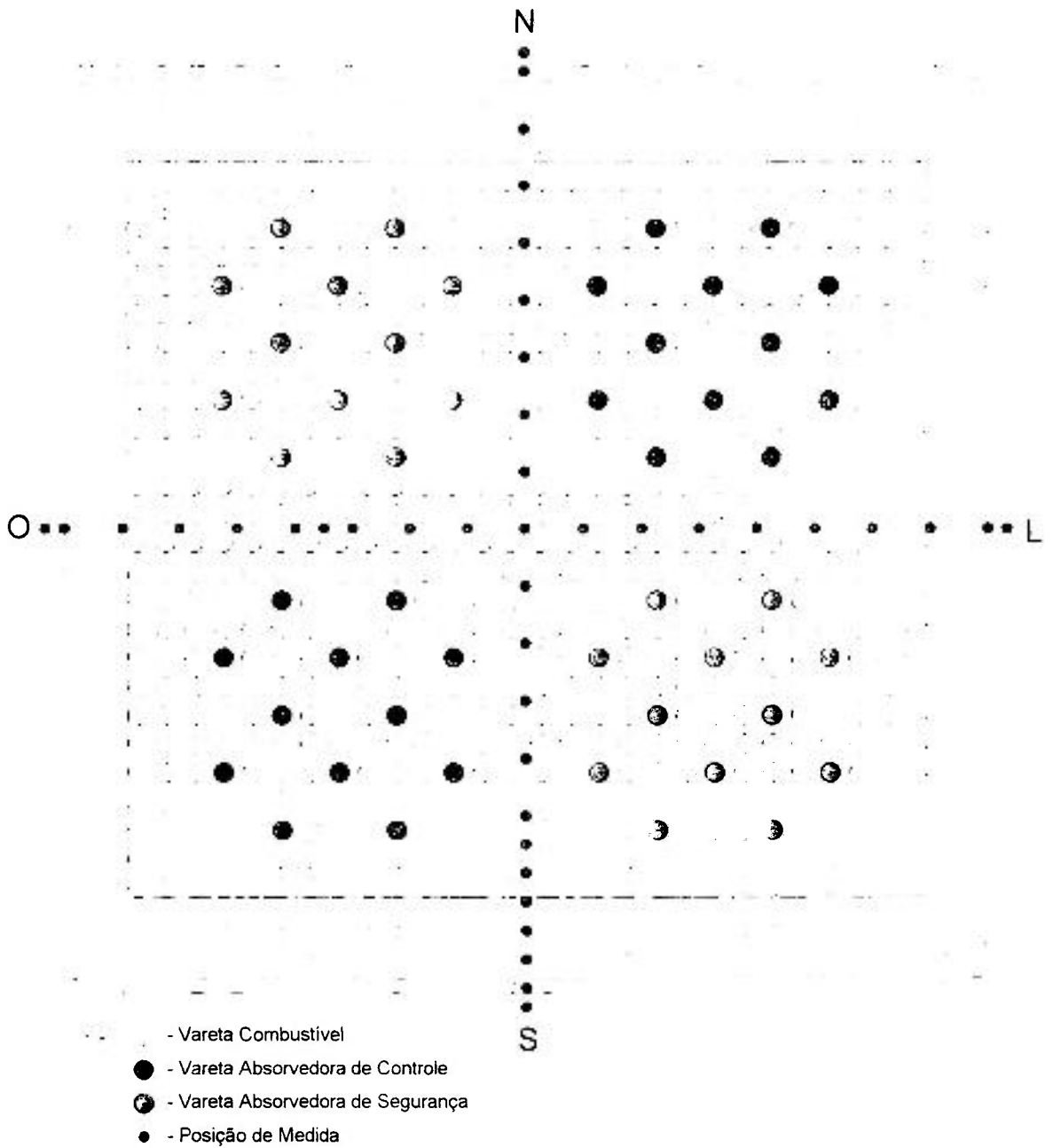


Figura 4.1 - Desenho esquemático da placa matriz do reator IPEN/MB-01, com as posições mapeadas com a câmara MCFU-17.

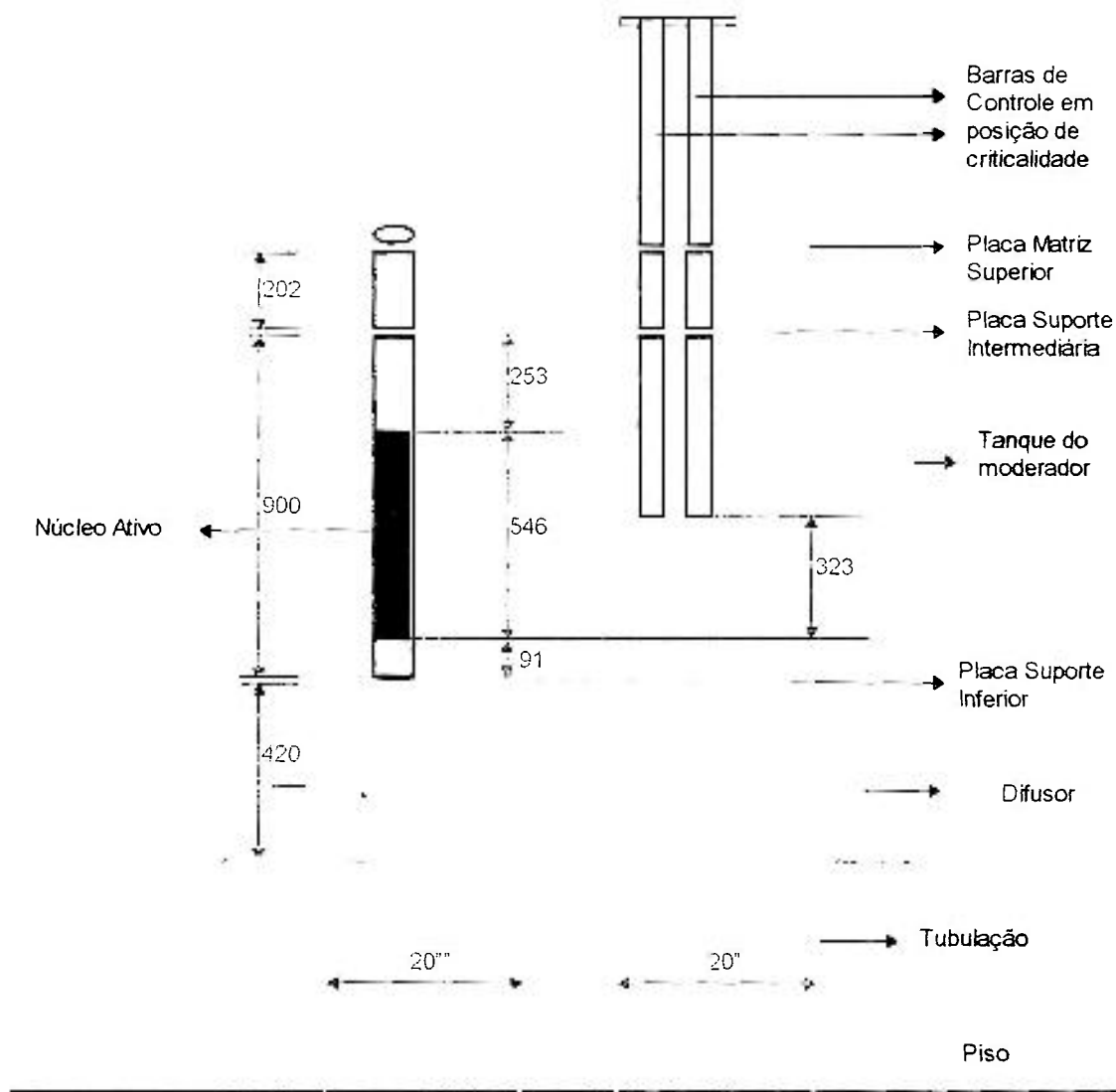


Figura 4.2 - Desenho esquemático mostrando a localização da placa suporte inferior e início do núcleo ativo.
Cotas em milímetros (mm) a menos das tubulações de esvaziamento do tanque do moderador que é de 20 polegadas (20").

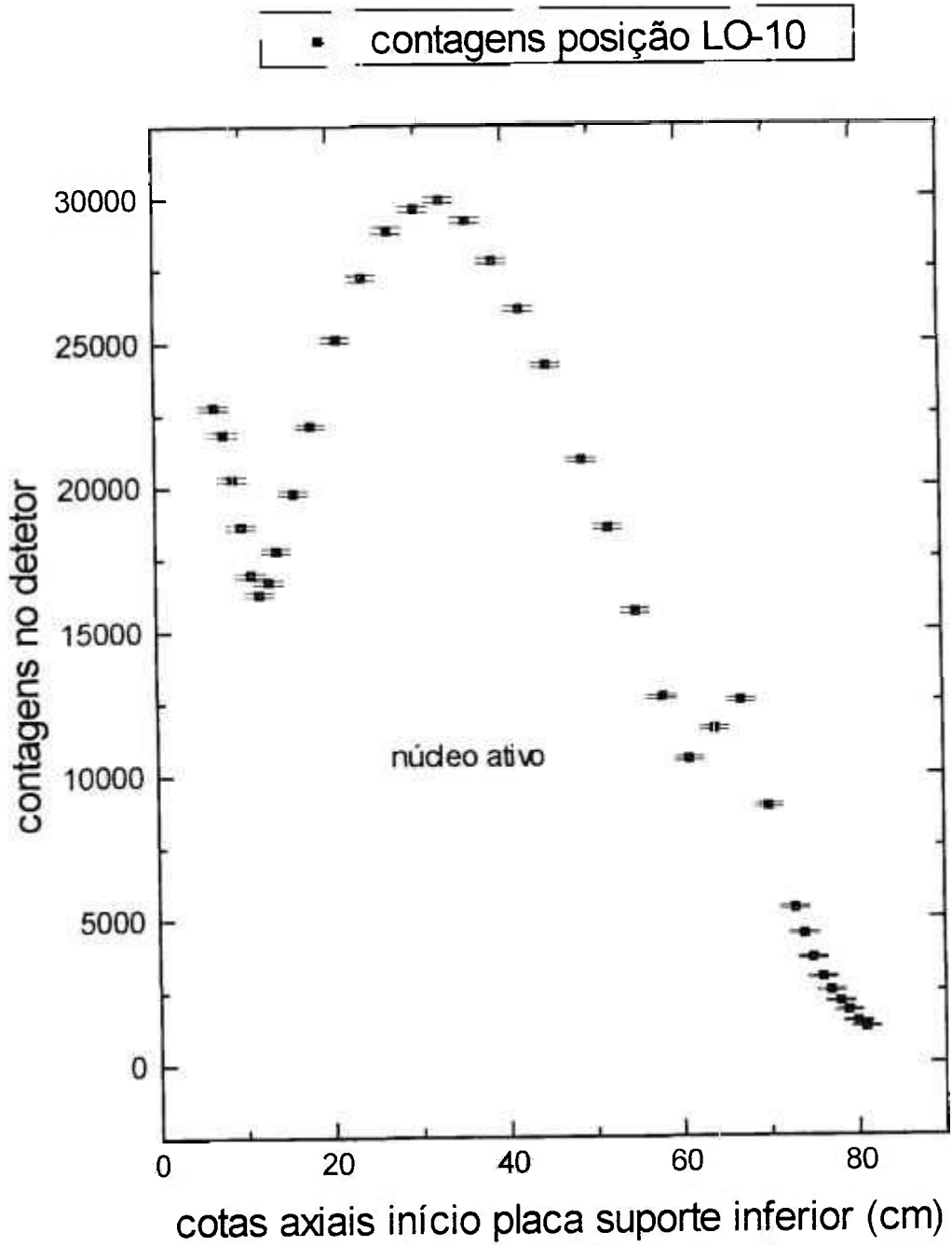


Figura 4.3 - Gráfico de contagem de pulsos no detector na posição LO-10.

V COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM OS VALORES CALCULADOS DE FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS

5.1 Introdução

O projeto de reatores nucleares requer o cálculo das distribuições de densidade de potência e diversos parâmetros nucleares, os quais permitem uma operação segura, confiável e econômica desses reatores. Esses parâmetros e distribuições devem ser obtidos a partir da solução numérica da equação de transporte de nêutrons que descreve o reator. Dada a dificuldade de solução da equação de transporte de nêutrons, o modelo utilizado para a obtenção dos parâmetros neutrônicos de projeto baseia-se, especificamente neste trabalho, primeiro, na geração de seção de choque em dois grupos de energia resolvendo a equação de transporte de nêutrons multigrupo para uma célula representativa da rede de varetas combustíveis do reator e, em segundo lugar, na solução da equação de difusão de nêutrons, utilizando as constantes obtidas pela solução da equação de transporte, para todo o núcleo do reator. Para obtenção de seções de choque em poucos grupos, para regiões com barra de controle e tubos-guias, utiliza-se o modelo da supercélula. Para outras regiões, utiliza-se um modelo no qual a região e sua vizinhança são discretizadas em geometria unidimensional e a seção de choque é obtida a partir da taxa de reação na região de interesse.

A solução numérica dessas equações, assim como o manuseio desses dados nucleares são realizados por programas computacionais, comumente designados por códigos. Esses códigos são validados por intermédio de problemas padrões, antes de serem utilizados em projetos de reatores.

Os códigos utilizados para obtenção do parâmetro de distribuição de fluxo neutrônico térmico, valores que são comparados com os valores experimentais obtidos, conforme descrito nos capítulos anteriores, no reator IPEN/MB-01, fazem parte do sistema “NJOY/AMPX II/HAMMER-TECHNION/CITATION” /51,52,53/.

Nos itens seguintes deste capítulo abordaremos, resumidamente, a metodologia de cálculo empregada para a obtenção desse parâmetro e, comparação com os valores obtidos experimentalmente.

5.2 Metodologia de cálculo neutrônico

Para a obtenção da distribuição de fluxo são realizadas três etapas de cálculo: 1) geração de constantes multigrupo em estrutura fina de grupo de energia (vários grupos de energia); 2) geração de constantes multigrupo em uma estrutura grossa de grupos (poucos grupos de energia) representativa (homogeneizada) das várias regiões constituintes do reator; 3) cálculos de difusão no reator como um todo.

A primeira etapa consiste na obtenção de uma biblioteca de dados nucleares, seções de choque específicas por reação e isótopos, em uma estrutura de grupo de energia fina a partir de uma biblioteca básica de dados nucleares avaliados. No caso do reator IPEN/MB-01, essa estrutura foi obtida em 30 grupos de energia na região térmica, e 54 grupos na região rápida. Nessa etapa os dados nucleares básicos são pré-processados, constando esse pré-processamento da manipulação desses dados, integração das seções de choque nos grupos, tratamento de ressonâncias e testes da coerência desses dados. No caso específico são utilizados os programas computacionais “NJOY/AMPX II” /54/.

A segunda etapa consiste na obtenção de constantes nucleares de seção de choque macroscópica de absorção, número médio de nêutrons emitidos por fissão, seção de choque macroscópica e fissão, seção de choque macroscópica de transporte e coeficiente de difusão.

Essas constantes são obtidas em uma estrutura grossa de grupos, dois grupos de energia no caso estudado, neste trabalho, no reator IPEN/MB-01. As regiões representativas do reator constituem-se de combustível; tubo guia; refletores lateral, inferior e superior; alumina; tubo espaçador; placa suporte inferior; absorvedores de controle (Ag Cd In) e segurança (carbeto de boro); e tampão das varetas absorvedoras.

Essas regiões no reator são representadas por células unitárias e supercélulas. Uma vez definida a geometria da célula ou supercélula, resolve-se a equação de transporte de nêutrons para obter a distribuição de fluxo de nêutrons em toda a célula. As constantes multigrupo representativas da célula são obtidas como médias espaciais utilizando-se a distribuição de fluxo calculada como função ponderação. Desta forma, considera-se a célula unitária real como uma célula homogênea caracterizada por seções de choque efetivas, que reproduzem as taxas de reação de nêutrons da célula real. O programa utilizado nesta etapa é o “HAMMER-TECHNION”.

A última etapa constitui-se, a partir do arranjo físico do núcleo e seções macroscópicas homogeneizadas nas respectivas regiões, na divisão desse núcleo em malhas, modelagem e, então, na solução da equação de difusão de nêutrons em geometria tridimensional em 2 grupos de energia, pelo método de diferenças finitas. Esse cálculo foi realizado pelo programa “CITATION”, obtendo-se os valores de fluxo de nêutrons térmicos homogêneos nas malhas pré-estabelecidas.

Os valores de fluxo de nêutrons térmicos foram obtidos pelo programa computacional “CITATION” com a modelagem pino a pino nas direções radiais x e y, isto é, malhas de 1,5 cm. Esses valores de fluxo são valores homogêneos na malha e, estão associados ao seu respectivo centro. A modelagem axial foi realizada levando-se em consideração o livre caminho médio dos nêutrons e as dimensões das regiões, de tal maneira que, uma mesma malha não contenha duas regiões. Foram empregados refletores laterais em torno de 30 cm divididos em 1,5 cm.

5.3 Comparação entre cálculo e experimento

As razões de cádmio, conforme pode ser visto na Figura 5.2 e Referência /55/, são constantes em torno de 80 % da região ativa axial do núcleo. A razão de cádmio constante indica que se tem a razão entre os fluxos rápido e térmico constantes. A câmara de fissão que tem isótopo ^{235}U como elemento ativo é basicamente sensível aos nêutrons térmicos. Assim sendo, considerou-se para a seção de choque representativa da taxa de reação no detetor como constante para todo o reator, tendo valor unitário para o grupo térmico e nulo para o grupo rápido. Considera-se que estes valores sejam os mesmos para

qualquer região do reator. O valor numérico da seção de choque não é importante, uma vez que as comparações entre cálculo e medida são relativas e não absolutas. A normalização utilizada para esta comparação é feita de maneira que a média das distribuições na região ativa do núcleo seja unitária para cada posição comparada.

Os valores fornecidos pelo código "CITATION" são associados aos centros das malhas. Os valores experimentais foram obtidos no vértice de quatro malhas. Utilizam-se os fluxos médios entre essas quatro malhas vizinhas ao ponto mapeado, como o valor calculado de fluxo para a comparação.

Os valores experimentais foram obtidos no moderador, enquanto os valores calculados são obtidos em uma célula homogênea. Este fato é relevante quando compara-se medidas absolutas de fluxo. Neste trabalho considera-se medidas relativas e adota-se que a relação entre o fluxo no moderador e o combustível é constante no reator portanto, esse fator deve ser desconsiderado.

O detetor tem um comprimento ativo de 5 cm. Sendo que os valores axiais fornecidos pelo cálculo são em torno de 1,5 cm. Para a comparação do fluxo térmico calculado no comprimento de 5 cm em torno das mesmas cotas axiais, nas quais foram obtidos os dados experimentais, foi realizada a integração por intermédio de um programa em "FORTRAN" utilizando o método de integração trapezoidal.

Na comparação das taxas de reação obtidas experimentalmente com valores de cálculo de fluxo de nêutrons térmicos, utilizou-se para a normalização a condição de que a média das distribuições de potência na região ativa do núcleo seja unitária. A relação entre os valores calculados e experimentais foi obtida pela razão entre os valores de fluxo de nêutrons térmicos calculados e taxas de reação experimentais.

As Tabelas A1 a A42, no Apêndice A, mostram também os resultados medidos calculados, normalizados, e as razões entre resultados calculados e experimentais.

A Tabela 5.1 e Figura 5.1 mostram as comparações entre os valores calculados e experimentais normalizados, na posição LO-10. A Tabela 5.2 mostra as discrepâncias médias nas regiões:

- Do núcleo ativo - região onde encontra-se o combustível (da cota 8,9 até a cota 63,9 cm);
- Do refletor - região externa ao núcleo ativo, constituída de água leve (cotas 6,9, 7,9 e da cota 66,9 a 80,9 cm);
- Do núcleo todo - região composta do núcleo ativo e refletor (da cota 6,9 até a cota 80,9 cm);
- Do núcleo assintótico - região no núcleo ativo onde as razões de cádmio, obtidas por ativação de fios de ouro, são consideradas constantes, conforme a Figura 5.2 (da cota 15,9 à cota 54,9 cm);
- Da periferia do núcleo - região do núcleo ativo descontado o núcleo assintótico (cotas 8,9; 9,9; 10,9; 11,9; 12,9; 13,9; 57,9; 60,9 e 63,9 cm), e as discrepâncias máximas e sua localização em todo o reator e na região do núcleo.

As discrepâncias máximas e sua localização no núcleo ativo e núcleo assintótico estão mostradas na Tabela 5.3. A periferia do núcleo foi considerada em torno de 5 cm para dentro a partir da interface do núcleo-refletor com base nos resultados da razão de cádmio obtidos da Figura 5.2.

Essas discrepâncias médias foram obtidas pela expressão:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^N C_i E^{-1}}{N-1}$$

(7)

onde C/E é a razão entre cálculo e experimento, e N é o número de cotas utilizadas para a sua obtenção.

Para a análise foram consideradas algumas regiões no núcleo, onde foram obtidas as seguintes médias das discrepâncias do cálculo em relação ao experimento.

Núcleo ativo - 5 %

Refletor - 14 %

Núcleo todo - 10 %

Núcleo assintótico - 3 %

Periferia do núcleo ativo - 12 %

Desses valores conclui-se que:

No núcleo ativo do reator, o valor de 5 % é bastante satisfatório, quando utilizado para a determinação operacional da potência, devido a convenção da margem de 10 % como margem de desligamento do reator. Esse valor pode também ser extrapolado para projeto de reatores maiores, levando-o em conta para cálculos relacionados à análise de acidentes, minimizando os custos de projeto e desenvolvimento da instalação.

Na Tabela 5.3 pode-se observar que os desvios máximos no núcleo ativo encontram-se na periferia do reator. Essa região tem importância pequena, quando comparada com o núcleo ativo, na determinação da potência total do reator, o que torna esse valor consistente com os valores estabelecidos em projeto.

No núcleo assintótico, observa-se na Figura 5.1 uma tendência do cálculo em subestimar os valores experimentais na parte inferior do núcleo e a superestimar esses

valores na parte superior do núcleo. Um comportamento tendencioso é verificado também na obtenção da distribuição de potência por varredura gama de varetas combustíveis /56/.

Na Figura 5.2 observa-se uma pequena inclinação nas razões de cádmio obtidas com a ativação de fios de ouro, em relação a valores semelhantes obtidos pelo cálculo, de maneira que o cálculo também subestima esse parâmetro na região inferior do núcleo e superestima esse valor na região superior. A razão de cádmio é, basicamente, a razão entre a taxa de reação total, devido aos nêutrons rápidos epitérmicos e térmicos, e taxa de reação, devido somente aos nêutrons epitérmicos e rápidos no detetor de ativação, no caso fio de ouro.

Desta observação, embora as discrepâncias obtidas nesta região foram pequenas, em média 3 %, estima-se que esses valores podem ser melhorados por correções das taxas de reação nos valores calculados. Como foi mencionado, a taxa de reação do detetor calculada foi obtida considerando que a seção de choque no detetor seja constante em todo o reator para nêutrons térmicos e nula em todo o reator para nêutrons rápidos. A razão de cádmio da Figura 5.1 indica que a variação espectral forte na periferia do reator deve causar alterações na resposta do detetor e, portanto, em sua seção de choque macroscópica.

A causa para o comportamento da razão de cádmio decrescer ao longo da altura do núcleo é atribuída, possivelmente, a presença das barras de controle no topo do reator, o que favorece o aumento de absorção de nêutrons térmicos nessa região.

No núcleo todo e no refletor temos valores médios significativos das discrepâncias, 10 % e 14 %, respectivamente. Nessas regiões, as hipóteses de que a sensibilidade da câmara seja somente aos nêutrons térmicos e, principalmente, que não há variação do espectro de nêutrons no reator não se aplicam. Dessa maneira, seria necessário aplicar correções nas taxas de reação no detetor, com a finalidade de obter melhores comparações.

Observa-se também um significativo aumento dos valores médios das discrepâncias nas posições LO-18, NS-17 e NS-18. Tais posições encontram-se na interface

do núcleo ativo e refletor. Este aumento pode ser explicado, além das considerações anteriores, pela metodologia de cálculo empregada.

Tabela 5.1 - Valores normalizados de taxa de reação no detetor e fluxo de nêutrons térmicos obtidos com o código "CITATION" e respectiva razão na posição LO-10.

Cotas axiais (cm)	Valor cálculo normalizado	Valor medida normalizado	Desvio medida normalizado	Razão cálculo/ medida
6,9	0,902	1,027	0,004	-0,122
7,9	0,894	0,986	0,004	-0,093
8,9	0,868	0,915	0,004	-0,052
9,9	0,837	0,841	0,004	-0,005
10,9	0,809	0,766	0,004	0,056
11,9	0,813	0,735	0,003	0,106
12,9	0,842	0,754	0,003	0,116
13,9	0,878	0,803	0,004	0,094
15,9	0,955	0,893	0,004	0,070
17,9	1,027	0,997	0,004	0,030
20,9	1,119	1,133	0,004	-0,012
23,9	1,194	1,228	0,004	-0,027
26,9	1,251	1,302	0,005	-0,039
29,9	1,286	1,335	0,005	-0,037
32,9	1,298	1,350	0,005	-0,038
35,9	1,283	1,318	0,005	-0,027
38,9	1,243	1,254	0,004	-0,009
41,9	1,182	1,179	0,004	0,002
44,9	1,100	1,091	0,004	0,008
48,9	0,964	0,943	0,004	0,022
51,9	0,844	0,837	0,004	0,008
54,9	0,714	0,706	0,003	0,011
57,9	0,585	0,571	0,003	0,024
60,9	0,491	0,474	0,003	0,036
63,9	0,519	0,520	0,003	-0,003
66,9	0,513	0,565	0,003	-0,093
69,9	0,361	0,399	0,003	-0,097
72,9	0,220	0,241	0,002	-0,085
73,9	0,185	0,201	0,002	-0,079
74,9	0,157	0,164	0,002	-0,042
75,9	0,135	0,134	0,002	0,005
76,9	0,117	0,112	0,002	0,042
77,9	0,104	0,095	0,001	0,089
78,9	0,094	0,081	0,001	0,158
79,9	0,085	0,064	0,001	0,338
80,9	0,078	0,055	0,001	0,417

Tabela 5.2 - Valores médios das discrepâncias do cálculo em relação ao experimento.

Posição	Núcleo ativo	Refletor	Núcleo todo	Núcleo assintótico	Periferia
NS-01	--	0.11	0.11	--	--
NS-02	--	0.13	0.13	--	--
NS-03	--	0.09	0.09	--	--
NS-04	0.23	0.16	0.21	--	0.27
NS-05	0.03	0.14	0.07	0.02	--
NS-06	0.07	0.17	0.10	0.05	--
NS-07	0.04	0.18	0.06	0.04	--
NS-08	0.04	0.16	0.08	0.04	--
NS-09	0.05	0.15	0.08	0.04	--
NS-10	0.04	0.13	0.07	0.02	--
NS-11	0.04	0.14	0.08	0.05	--
NS-12	0.04	0.17	0.09	0.04	--
NS-13	0.04	0.14	0.08	0.03	--
NS-14	0.04	0.17	0.08	0.03	--
NS-15	0.04	0.18	0.09	0.04	--
NS-16	0.04	0.13	0.08	--	0.05
NS-17	0.16	0.17	0.11	--	0.20
NS-18	--	0.23	0.23	--	--
NS-19	--	0.07	0.07	--	--
NS-20	--	0.09	0.09	--	--
NS-21	--	0.09	0.09	--	--
NS-22	--	0.10	0.10	--	--
LO-01	--	0.13	0.13	--	--
LO-02	--	0.09	0.09	--	--
LO-03	--	0.10	0.10	--	--
LO-04	0.08	0.22	0.13	--	0.07
LO-05	0.04	0.17	0.09	0.03	--
LO-06	0.04	0.15	0.08	0.03	--
LO-07	0.04	0.15	0.08	0.03	--
LO-08	0.04	0.16	0.08	0.03	--
LO-09	0.04	0.14	0.07	0.03	--
LO-10	0.04	0.13	0.07	0.02	--
LO-11	0.04	0.13	0.07	0.04	--
LO-12	0.04	0.15	0.08	0.03	--
LO-13	0.03	0.15	0.08	0.02	--
LO-14	0.04	0.13	0.07	0.03	--
LO-15	0.03	0.14	0.07	0.03	--
LO-16	0.03	0.08	0.05	0.03	--
LO-17	0.03	0.15	0.08	--	0.03
LO-18	--	0.31	0.31	--	--
LO-19	--	0.14	0.14	--	--
LO-20	--	0.12	0.12	--	--
valor médio	0.05	0.14	0.10	0.03	0.12

Tabela 5.3 - Valores máximos de discrepância do cálculo em relação ao experimento no núcleo ativo e assintótico.

Posição mapeada	Cota axial (cm)	Desvio máximo núcleo ativo (%)	Cota axial (cm)	Desvio máximo núcleo assintótico (%)
LO-04	60,9	18,1	--	
LO-05	11,9	11,6	17,9	5,5
LO-06	13,9	12,7	29,9	3,9
LO-07	12,9	10,4	17,9	5,1
LO-08	12,9	10,4	29,9	5,2
LO-09	13,9	10,9	29,9	4,8
LO-10	11,6	11,6	26,9	3,9
LO-11	11,9	7,0	23,9	5,9
LO-12	12,9	8,0	29,9	5,3
LO-13	11,9	8,0	29,9	4,5
LO-14	11,9	10,0	26,9	4,3
LO-15	12,9	7,0	48,9	4,4
LO-16	11,9	8,0	26,9	4,3
LO-17	8,9	8,0	--	--
NS-04	15,9	40,0	--	--
NS-05	11,9	6,4	26,9	3,8
NS-06	11,9	16,1	48,9	7,7
NS-07	11,9	8,3	23,9	6,3
NS-08	51,9	6,0	51,9	6,0
NS-09	60,9	7,0	20,9	6,7
NS-10	12,9	11,6	26,9	3,9
NS-11	60,9	8,0	54,9	7,4
NS-12	60,9	10,0	54,9	6,8
NS-13	63,9	10,0	32,9	4,4
NS-14	63,9	10,0	51,9	5,7
NS-15	8,9	9,0	54,9	7,2
NS-16	9,9	9,0	--	--
NS-17	15,9	22,0	--	--

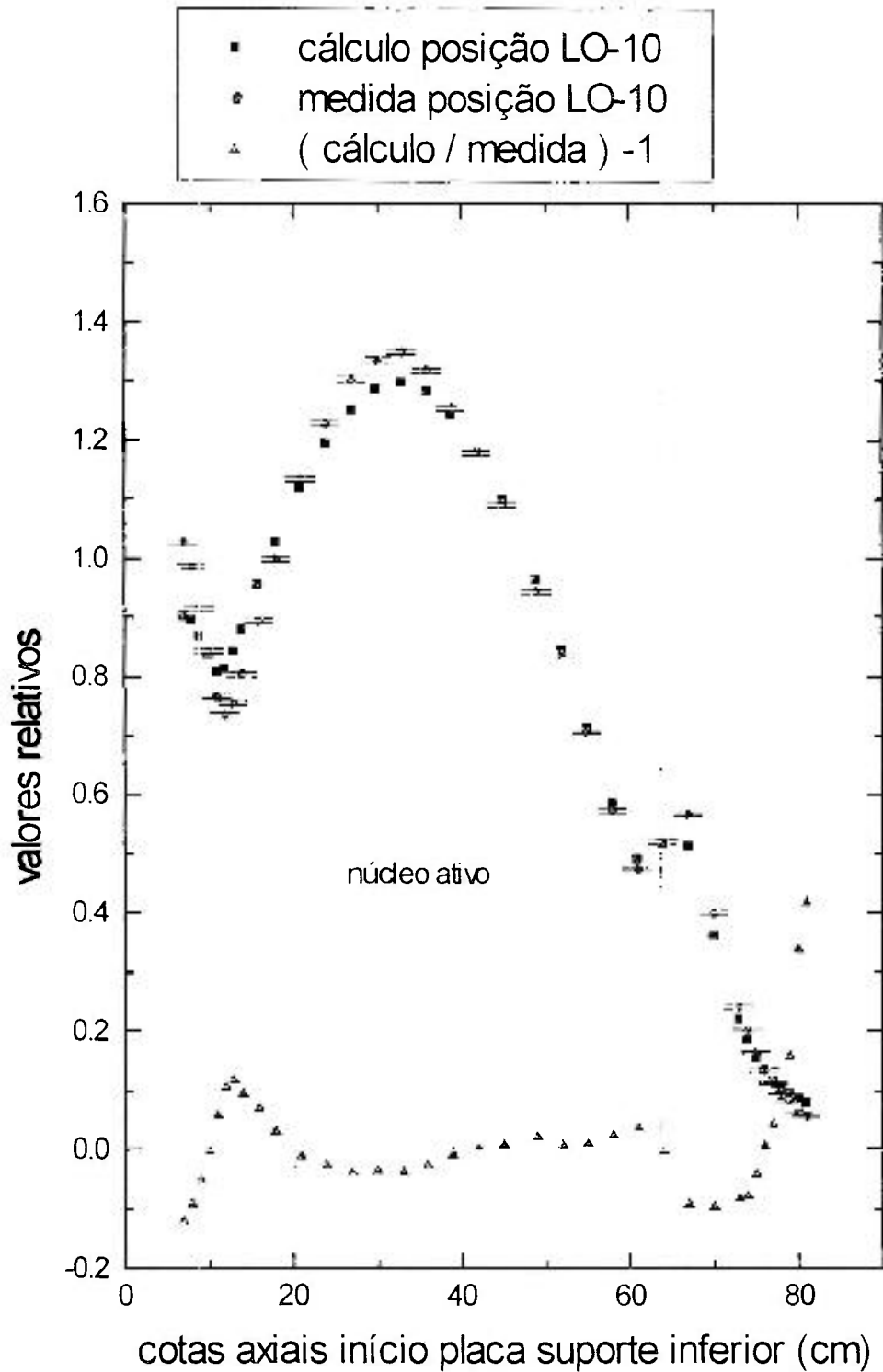


Figura 5.1 - Comparação entre valores normalizados de taxa de reação no detetor com valores de fluxo de nêutrons térmicos calculados.

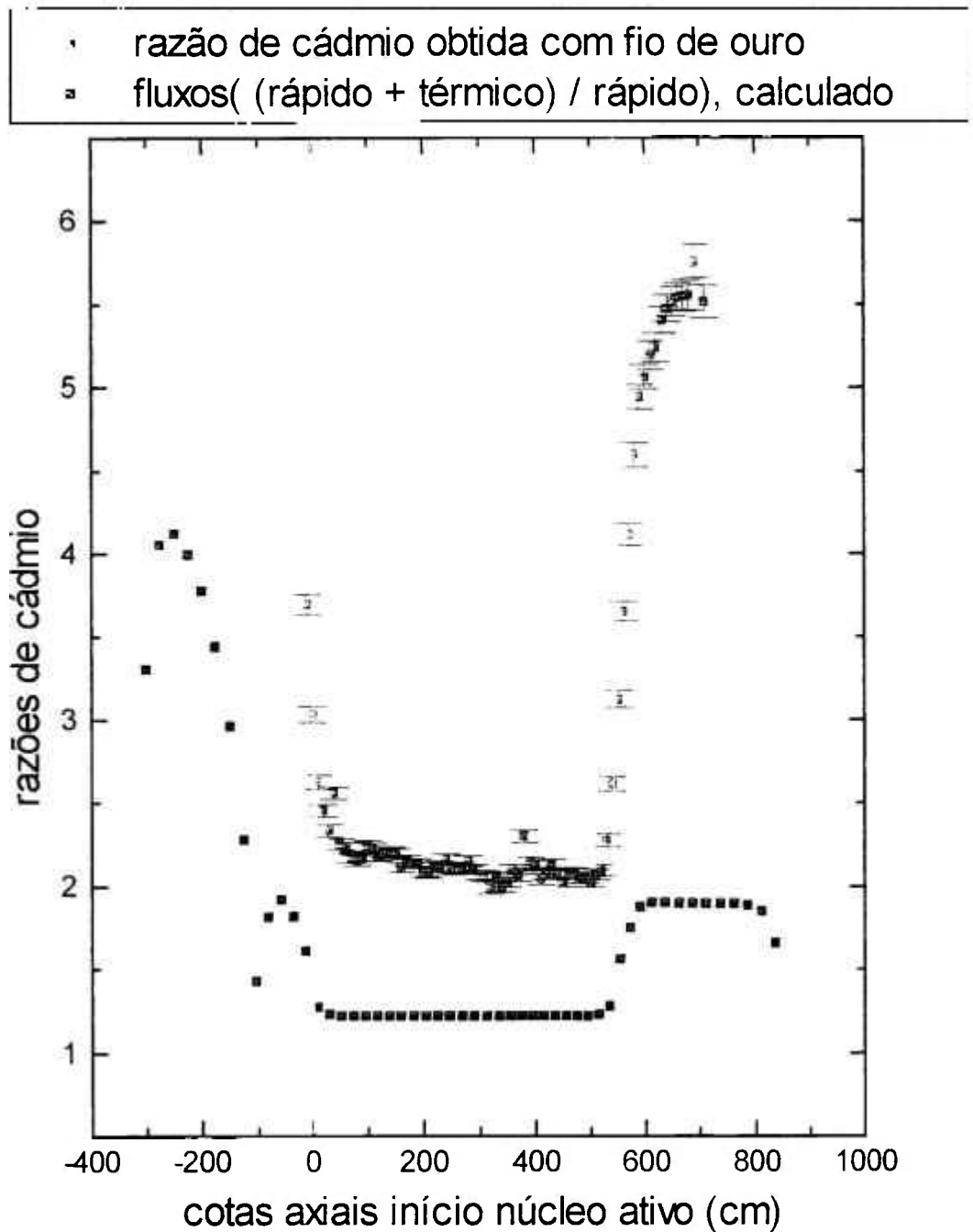


Figura 5.2 - Gráfico de razões de cádmio obtidas por ativação de fios de ouro e razões de fluxo de nêutrons total por fluxo de nêutrons rápidos na posição LO-10.

VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho são apresentados resultados de medida de mapeamento de fluxo de nêutrons térmicos no reator IPEN/MB-01 com uma câmara de fissão miniatura. Primeiramente, fez-se a caracterização desse detetor com o levantamento de sua tensão de operação, discriminação dos pulsos provindos de partículas alfa e ruído eletrônico e obtenção de sua sensibilidade aos nêutrons térmicos em algumas regiões do reator IPEN/MB-01. Mediu-se perfis de taxas de reação em 42 posições radiais do reator, sendo que em cada posição foram mapeadas 36 cotas axiais. Desses perfis de taxa de reação foram inferidos valores de fluxo de nêutrons térmicos, os quais foram comparados com valores de fluxo de nêutrons térmicos calculados com o código "CITATION".

6.1 Conclusões

A câmara de fissão miniatura MCFU-17, projetada e construída no IPEN/CNEN-SP, juntamente com a eletrônica associada, apresentaram desempenho satisfatório quanto a sua caracterização e utilização, constituindo a metodologia empregada uma técnica possível de ser utilizada para mapeamento de fluxo de nêutrons no reator IPEN/MB-01.

As taxas de reação obtidas experimentalmente apresentam desvio-padrão, na região do núcleo ativo do reator, menores que 1 %, conforme pode ser constatado nas tabelas apresentadas no Apêndice A. Esse fato evidencia a boa qualidade da medida quanto à metodologia empregada para sua obtenção.

Para comparação com valores calculados, após as considerações apresentadas no item 5.3, foram obtidos os seguintes valores médios das discrepâncias do cálculo em relação às medidas:

Núcleo ativo - 5 %; Refletor - 14 %; Núcleo todo - 10 %; Núcleo assintótico - 3 % e Periferia do núcleo ativo - 12 %.

Esses resultados são bastante satisfatórios conforme descrito no item 5.3, ressaltando-se que o valor de 5 % no núcleo ativo está em concordância com as referências /46/ e /56/, sendo que esse valor melhora significativamente quando a análise é feita na região assintótica do núcleo, cujo valor da discrepância é de 3 %.

6.2 Recomendações

Tendo em vista a obtenção de melhorias em trabalhos futuros, sugere-se a automação do sistema de detecção, possibilitando registros gráficos contínuos do mapeamento e, por intermédio de interfaces computacionais, a análise e comparação desses dados. A intercalibração dos dados, obtidos em dias distintos, pode ser realizada por intermédio de uma fonte de nêutrons capaz de sensibilizar o detetor, possibilitando a obtenção de dados de mapeamentos radiais.

A obtenção de uma região mais assintótica no núcleo, pela retirada de suas barras absorvedoras de controle, por boração da água do moderador ou configuração do núcleo com menor reatividade, possibilitará comparações, com valores calculados, mais realistas. Essa comparação pode ser melhorada, com o núcleo do reator nas condições apresentadas neste trabalho, pela geração via cálculo ou obtenção experimental de taxas de reação em regiões distintas no núcleo do reator. O estudo da distribuição energética dos nêutrons pode ser obtida, entre outros métodos, pela utilização de câmaras com diferentes depósitos de materiais físeis como câmaras com ^{238}U para obtenção da distribuição dos nêutrons rápidos.

APÊNDICE A

TABELAS DE VALORES DE MEDIDAS DE CONTAGEM NO DETETOR E COMPARAÇÃO COM VALORES DE FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS DO CÓDIGO "CITATION" EM 42 POSIÇÕES NO NÚCLEO.

Tabela A1 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-01.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-01a	Medida posição LO-01b	Medida posição LO-01c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio Padrão (cpm)	Valor normal cálculo	Valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	15835	16345	15767	60	15670	75	0,442	0,475	0,002	-0,071
7,9	17495	17814	17615	60	17329	79	0,493	0,526	0,002	-0,062
8,9	19561	19478	19481	60	19195	83	0,547	0,582	0,003	-0,061
9,9	21290	21632	21182	60	21056	86	0,602	0,639	0,003	-0,058
10,9	23186	23379	23706	60	23112	90	0,657	0,701	0,003	-0,062
11,9	25025	24843	25065	60	24666	93	0,713	0,748	0,003	-0,046
12,9	26433	26832	26527	60	26285	96	0,768	0,797	0,003	-0,037
13,9	29100	28400	28822	60	28462	100	0,821	0,863	0,003	-0,049
15,9	32544	31987	32155	60	31917	105	0,917	0,968	0,003	-0,053
17,9	35750	36010	36182	60	35669	111	1,000	1,082	0,003	-0,075
20,9	40321	40091	40123	60	39866	117	1,106	1,209	0,004	-0,085
23,9	43055	43363	43390	60	42957	121	1,192	1,303	0,004	-0,085
26,9	44919	45146	45037	60	44722	124	1,258	1,356	0,004	-0,073
29,9	46298	46121	46197	60	45893	125	1,301	1,392	0,004	-0,065
32,9	45505	45339	45655	60	45188	124	1,320	1,370	0,004	-0,036
35,9	45634	47789	44647	60	45711	125	1,314	1,386	0,004	-0,052
38,9	42029	41891	41984	60	41656	120	1,282	1,263	0,004	0,014
41,9	38965	39917	38888	60	38945	116	1,227	1,181	0,004	0,039
44,9	35666	35205	35440	60	35125	110	1,150	1,065	0,003	0,079
48,9	29914	30289	30387	60	29885	102	1,016	0,906	0,003	0,121
51,9	25964	25944	25913	60	25628	95	0,894	0,777	0,003	0,151
54,9	21779	21951	22024	60	21606	87	0,760	0,655	0,003	0,161
57,9	17700	17746	18080	60	17530	79	0,623	0,532	0,002	0,172
60,9	14038	14022	14123	60	13749	71	0,488	0,417	0,002	0,172
63,9	10485	10501	10530	60	10193	62	0,365	0,309	0,002	0,180
66,9	7304	8061	7446	60	7292	53	0,260	0,221	0,002	0,173
69,9	5342	4853	4961	60	4740	45	0,176	0,144	0,001	0,222
72,9	3438	3296	3475	60	3091	38	0,113	0,094	0,001	0,206
73,9	3042	2941	2935	60	2661	36	0,097	0,081	0,001	0,200
74,9	2601	2675	2626	60	2322	34	0,083	0,070	0,001	0,185
75,9	2241	2242	2259	60	1935	33	0,073	0,059	0,001	0,237
76,9	2131	2112	2092	60	1800	32	0,064	0,055	0,001	0,167
77,9	1859	1972	1922	60	1606	31	0,057	0,049	0,001	0,169
78,9	1680	1642	1651	60	1346	29	0,052	0,041	0,001	0,264
79,9	1480	1421	1518	60	1161	28	0,047	0,035	0,001	0,337
80,9	1446	1334	1336	60	1060	28	0,043	0,032	0,001	0,340

Tabela A2 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-02.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-02a	Medida posição LO-02b	Medida posição LO-02c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	14659	14457	14642	60	14274	72	0,449	0,421	0,002	0,067
7,9	15784	16006	15949	60	15601	75	0,499	0,460	0,002	0,086
8,9	17196	17194	17181	60	16878	78	0,552	0,497	0,002	0,109
9,9	19069	18459	18674	60	18422	81	0,605	0,543	0,002	0,115
10,9	20121	20051	19962	60	19733	84	0,660	0,581	0,002	0,135
11,9	21618	21928	22098	60	21569	87	0,715	0,635	0,003	0,125
12,9	23869	23472	23558	60	23321	90	0,770	0,687	0,003	0,120
13,9	25431	25344	25270	60	25036	94	0,822	0,738	0,003	0,115
15,9	29314	28882	28882	60	28714	100	0,918	0,846	0,003	0,085
17,9	32960	33000	33256	60	32760	106	1,002	0,965	0,003	0,038
20,9	38019	37902	38003	60	37663	114	1,108	1,110	0,003	-0,002
23,9	41759	41412	41780	60	41338	119	1,194	1,218	0,004	-0,020
26,9	44977	44762	45206	60	44670	124	1,259	1,316	0,004	-0,043
29,9	48094	47310	47095	60	47188	127	1,303	1,390	0,004	-0,063
32,9	47660	47426	47919	60	47356	127	1,322	1,395	0,004	-0,053
35,9	46877	46533	46583	60	46352	126	1,314	1,366	0,004	-0,038
38,9	44877	45302	45227	60	44823	124	1,281	1,321	0,004	-0,030
41,9	42310	42144	42140	60	41886	120	1,226	1,234	0,004	-0,007
44,9	38895	38854	39001	60	38605	115	1,148	1,137	0,003	0,009
48,9	33944	33768	33549	60	33442	108	1,013	0,985	0,003	0,029
51,9	29442	29414	29395	60	29105	101	0,891	0,857	0,003	0,039
54,9	25435	25580	25415	60	25165	94	0,757	0,741	0,003	0,021
57,9	21753	20905	20939	60	20887	86	0,620	0,615	0,003	0,008
60,9	16577	16363	16605	60	16203	76	0,486	0,477	0,002	0,018
63,9	12473	12740	12455	60	12244	67	0,365	0,361	0,002	0,013
66,9	9183	9113	9140	60	8833	58	0,262	0,260	0,002	0,006
69,9	6182	6269	6294	60	5936	49	0,177	0,175	0,001	0,011
72,9	3924	3991	4078	60	3686	41	0,113	0,109	0,001	0,039
73,9	3426	3513	3440	60	3148	38	0,096	0,093	0,001	0,039
74,9	2871	2918	2958	60	2604	36	0,083	0,077	0,001	0,080
75,9	2566	2452	2609	60	2230	34	0,072	0,066	0,001	0,095
76,9	2145	2135	2148	60	1831	32	0,063	0,054	0,001	0,168
77,9	1880	1832	1837	60	1538	30	0,056	0,045	0,001	0,241
78,9	1595	1591	1611	60	1287	29	0,051	0,038	0,001	0,344
79,9	1552	1448	1429	60	1164	28	0,046	0,034	0,001	0,355
80,9	1225	1187	1185	60	887	27	0,043	0,026	0,001	0,627

Tabela A3 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-03.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-03a	Medida posição LO-03b	Medida posição LO-03c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	12338	12445	12343	60	12063	67	0,599	0,853	0,005	-0,299
7,9	12137	12064	11951	60	11739	66	0,630	0,830	0,005	-0,242
8,9	11443	11568	11381	60	11152	64	0,657	0,789	0,005	-0,168
9,9	10744	10980	10752	60	10513	63	0,682	0,744	0,004	-0,082
10,9	10082	10097	10047	60	9763	61	0,710	0,691	0,004	0,027
11,9	10138	10215	9881	60	9766	61	0,748	0,691	0,004	0,082
12,9	10694	10451	10688	60	10299	62	0,793	0,729	0,004	0,089
13,9	11132	11267	11151	60	10871	64	0,841	0,769	0,005	0,093
15,9	12949	12717	12880	60	12537	68	0,930	0,887	0,005	0,049
17,9	14225	14389	14350	60	14009	71	1,010	0,991	0,005	0,019
20,9	16116	15979	16234	60	15798	75	1,111	1,118	0,005	-0,006
23,9	17469	17616	17374	60	17174	78	1,193	1,215	0,006	-0,018
26,9	18250	18619	18389	60	18107	80	1,256	1,281	0,006	-0,020
29,9	18867	18843	18819	60	18531	81	1,297	1,311	0,006	-0,011
32,9	18675	19377	18875	60	18664	81	1,313	1,320	0,006	-0,006
35,9	18387	18570	18236	60	18086	80	1,303	1,279	0,006	0,019
38,9	17703	17860	17134	60	17254	79	1,268	1,221	0,006	0,039
41,9	16843	16707	16616	60	16410	77	1,211	1,161	0,005	0,043
44,9	16006	15572	15664	60	15435	75	1,132	1,092	0,005	0,037
48,9	14086	14273	14488	60	13970	71	0,997	0,988	0,005	0,009
51,9	12898	12678	12731	60	12457	68	0,876	0,881	0,005	-0,006
54,9	11399	11096	11238	60	10932	64	0,743	0,773	0,005	-0,039
57,9	9645	9471	9466	60	9215	59	0,609	0,652	0,004	-0,066
60,9	8098	8064	7889	60	7705	55	0,489	0,545	0,004	-0,102
63,9	7747	7809	7839	60	7486	54	0,420	0,530	0,004	-0,207
66,9	6986	6973	7152	60	6725	52	0,350	0,476	0,004	-0,264
69,9	4969	4970	4980	60	4661	44	0,243	0,330	0,003	-0,262
72,9	3147	3094	3041	60	2782	37	0,153	0,197	0,003	-0,221
73,9	2676	2734	2642	60	2372	35	0,130	0,168	0,002	-0,224
74,9	2158	2289	2166	60	1892	32	0,111	0,134	0,002	-0,167
75,9	1976	1943	2055	60	1679	31	0,096	0,119	0,002	-0,188
76,9	1630	1576	1705	60	1325	29	0,084	0,094	0,002	-0,101
77,9	1430	1420	1497	60	1137	28	0,075	0,080	0,002	-0,066
78,9	1272	1305	1306	60	982	27	0,068	0,069	0,002	-0,021
79,9	1129	1109	1088	60	797	26	0,062	0,056	0,002	0,099
80,9	974	981	896	60	638	25	0,057	0,045	0,002	0,256

Tabela A4 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-04.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-04a	Medida posição LO-04b	Medida posição LO-04c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	13577	13794	13793	60	13409	70	0,898	1,075	0,006	-0,164
7,9	13168	13103	13237	60	12857	69	0,890	1,030	0,006	-0,136
8,9	12245	12345	12318	60	11991	66	0,865	0,961	0,005	-0,100
9,9	11334	11382	11515	60	11098	64	0,835	0,889	0,005	-0,061
10,9	10384	10621	10492	60	10187	62	0,808	0,816	0,005	-0,011
11,9	10409	10497	10224	60	10065	61	0,812	0,807	0,005	0,007
12,9	11004	10884	10918	60	10623	63	0,841	0,851	0,005	-0,012
13,9	11400	11543	11397	60	11135	64	0,878	0,892	0,005	-0,017
15,9	13094	12940	13111	60	12736	68	0,954	1,021	0,005	-0,065
17,9	14415	14492	14272	60	14081	71	1,026	1,129	0,006	-0,091
20,9	15935	16232	15845	60	15692	75	1,117	1,258	0,006	-0,111
23,9	17236	17397	16910	60	16869	78	1,192	1,352	0,006	-0,118
26,9	17515	17554	17640	60	17258	79	1,249	1,383	0,006	-0,097
29,9	17463	17432	17464	60	17141	78	1,284	1,374	0,006	-0,065
32,9	16934	16950	17001	60	16650	77	1,296	1,334	0,006	-0,029
35,9	16495	16324	16347	60	16077	76	1,281	1,289	0,006	-0,006
38,9	15384	15402	15336	60	15062	74	1,242	1,207	0,006	0,029
41,9	14165	14078	14018	60	13775	71	1,181	1,104	0,006	0,070
44,9	12789	12662	12848	60	12454	68	1,100	0,998	0,005	0,102
48,9	10939	10915	10824	60	10581	63	0,965	0,848	0,005	0,138
51,9	9497	9484	9506	60	9184	59	0,846	0,736	0,005	0,149
54,9	8290	8137	8156	60	7882	55	0,717	0,632	0,004	0,135
57,9	6713	6509	6460	60	6249	50	0,589	0,501	0,004	0,175
60,9	5527	5511	5605	60	5236	46	0,495	0,420	0,004	0,181
63,9	6302	6386	6316	60	6023	49	0,524	0,483	0,004	0,085
66,9	6849	7063	6785	60	6587	51	0,519	0,528	0,004	-0,016
69,9	4937	5048	4977	60	4675	44	0,370	0,375	0,004	-0,012
72,9	3168	3115	3065	60	2804	37	0,230	0,225	0,003	0,024
73,9	2610	2586	2626	60	2295	34	0,195	0,184	0,003	0,058
74,9	2255	2310	2207	60	1945	33	0,166	0,156	0,003	0,064
75,9	1873	1877	1910	60	1575	31	0,143	0,126	0,002	0,133
76,9	1596	1593	1689	60	1314	29	0,125	0,105	0,002	0,183
77,9	1431	1390	1376	60	1087	28	0,111	0,087	0,002	0,273
78,9	1190	1206	1169	60	876	27	0,100	0,070	0,002	0,429
79,9	1069	988	977	60	699	25	0,091	0,056	0,002	0,632
80,9	903	951	902	60	607	25	0,084	0,049	0,002	0,719

Tabela A5 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-05.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-05a	Medida posição LO-05b	Medida posição LO-05c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	13829	13835	14027	60	13585	70	0,914	0,980	0,005	-0,067
7,9	13419	13349	13272	60	13035	69	0,905	0,940	0,005	-0,037
8,9	12347	12494	12477	60	12127	67	0,879	0,875	0,005	0,004
9,9	11395	11443	11530	60	11144	64	0,847	0,804	0,005	0,053
10,9	10691	10792	10741	60	10429	62	0,818	0,752	0,004	0,087
11,9	10559	10380	10592	60	10198	62	0,821	0,736	0,004	0,116
12,9	10878	10851	10879	60	10557	63	0,850	0,762	0,005	0,116
13,9	11343	11642	11435	60	11161	64	0,887	0,805	0,005	0,101
15,9	12776	12807	12696	60	12448	68	0,964	0,898	0,005	0,073
17,9	13889	13879	14005	60	13612	70	1,036	0,982	0,005	0,055
20,9	15971	15568	15882	60	15495	75	1,128	1,118	0,005	0,009
23,9	17394	17605	18585	60	17549	79	1,203	1,266	0,006	-0,050
26,9	18319	18258	18341	60	17994	80	1,260	1,298	0,006	-0,030
29,9	19072	18848	18848	60	18611	81	1,295	1,343	0,006	-0,036
32,9	19000	18842	19064	60	18657	81	1,304	1,346	0,006	-0,031
35,9	18579	18852	18505	60	18333	81	1,286	1,323	0,006	-0,028
38,9	17841	17703	17863	60	17490	79	1,241	1,262	0,006	-0,017
41,9	16158	16899	16635	60	16252	76	1,174	1,173	0,005	0,001
44,9	15419	15223	15274	60	14993	74	1,089	1,082	0,005	0,006
48,9	13348	13417	13286	60	13038	69	0,951	0,941	0,005	0,011
51,9	11606	11661	11862	60	11398	65	0,832	0,822	0,005	0,012
54,9	9986	10139	9918	60	9702	60	0,704	0,700	0,004	0,006
57,9	8422	8106	8116	60	7903	55	0,577	0,570	0,004	0,013
60,9	7124	7149	7188	60	6842	52	0,485	0,494	0,004	-0,017
63,9	7981	7956	7914	60	7638	54	0,513	0,551	0,004	-0,070
66,9	7986	8069	8108	60	7742	55	0,507	0,559	0,004	-0,093
69,9	5701	5719	5615	60	5366	47	0,358	0,387	0,003	-0,075
72,9	3398	3325	3376	60	3054	38	0,220	0,220	0,003	0
73,9	2857	2855	2884	60	2553	36	0,186	0,184	0,003	0,008
74,9	2393	2455	2416	60	2109	33	0,158	0,152	0,002	0,037
75,9	2015	2007	2058	60	1715	31	0,136	0,124	0,002	0,097
76,9	1751	1739	1788	60	1447	30	0,118	0,104	0,002	0,130
77,9	1502	1611	1492	60	1223	29	0,105	0,088	0,002	0,189
78,9	1220	1315	1319	60	973	27	0,095	0,070	0,002	0,351
79,9	1134	1146	1107	60	817	26	0,086	0,059	0,002	0,466
80,9	9753	--	--	600	663	20	0,079	0,048	0,001	0,653

Tabela A6 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-06.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-06a	Medida posição LO-06b	Medida posição LO-06c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	16758	16925	16656	60	16468	77	0.911	0.985	0.005	-0.075
7.9	16303	16155	16172	60	15898	76	0.903	0.951	0.005	-0.050
8.9	15343	15250	15263	60	14973	74	0.878	0.895	0.004	-0.019
9.9	14200	14282	14165	60	13904	71	0.847	0.832	0.004	0.019
10.9	13021	13009	12979	60	12691	68	0.820	0.759	0.004	0.080
11.9	12949	12721	12949	60	12561	68	0.824	0.751	0.004	0.097
12.9	13277	13293	13448	60	13027	69	0.854	0.779	0.004	0.095
13.9	13506	13382	13683	60	13212	69	0.891	0.790	0.004	0.127
15.9	15155	13389	15385	60	14331	72	0.969	0.857	0.004	0.130
17.9	17093	17091	17291	60	16846	78	1.042	1.008	0.005	0.034
20.9	19574	19339	19659	60	19212	83	1.135	1.149	0.005	-0.012
23.9	21604	21275	21194	60	21046	86	1.211	1.259	0.005	-0.038
26.9	22633	22144	22124	60	21988	88	1.267	1.315	0.005	-0.036
29.9	22870	23025	22992	60	22650	89	1.302	1.355	0.005	-0.039
32.9	22911	23132	22987	60	22698	89	1.311	1.358	0.005	-0.034
35.9	22471	22398	22407	60	22113	88	1.291	1.323	0.005	-0.024
38.9	21229	21149	21332	60	20925	86	1.241	1.251	0.005	-0.008
41.9	18884	18887	18727	60	18884	88	1.171	1.188	0.005	0.002
44.9	18396	18323	18310	60	18031	80	1.082	1.078	0.005	0.004
48.9	15823	16056	15766	60	15570	75	0.943	0.931	0.004	0.013
51.9	14231	14070	13858	60	13741	71	0.824	0.822	0.004	0.003
54.9	11839	11733	11828	60	11488	65	0.697	0.687	0.004	0.015
57.9	9616	9736	9720	60	9379	60	0.571	0.561	0.004	0.018
60.9	8472	8119	8295	60	7983	55	0.478	0.477	0.003	0.002
63.9	9217	9339	9334	60	8985	58	0.501	0.537	0.003	-0.068
66.9	9446	9454	9479	60	9148	59	0.492	0.547	0.004	-0.101
69.9	6528	6525	6564	60	6227	50	0.346	0.372	0.003	-0.071
72.9	3860	3842	4057	60	3608	40	0.212	0.216	0.002	-0.019
73.9	3308	3367	3285	60	3008	38	0.178	0.180	0.002	-0.011
74.9	2707	2748	2796	60	2438	35	0.151	0.146	0.002	0.036
75.9	2348	2378	2398	60	2063	33	0.130	0.123	0.002	0.052
76.9	2070	2118	1957	60	1736	32	0.113	0.104	0.002	0.085
77.9	1742	1726	1714	60	1415	30	0.100	0.085	0.002	0.184
78.9	1493	1510	1483	60	1183	28	0.091	0.071	0.002	0.280
79.9	1306	1334	1260	60	988	27	0.082	0.059	0.002	0.396
80.9	1050	1106	1088	60	769	26	0.075	0.046	0.002	0.640

Tabela A7 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-07.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-07a	Medida posição LO-07b	Medida posição LO-07c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	19108	18771	18523	60	18489	81	0.907	0.978	0.004	-0.073
7.9	18009	17895	18058	60	17675	79	0.899	0.935	0.004	-0.038
8.9	17304	17067	17196	60	16877	78	0.874	0.892	0.004	-0.020
9.9	16094	16030	16201	60	15796	75	0.844	0.835	0.004	0.011
10.9	14841	14995	14871	60	14590	73	0.817	0.771	0.004	0.059
11.9	14544	14592	14554	60	14251	72	0.822	0.754	0.004	0.090
12.9	14908	14901	14873	60	14582	73	0.851	0.771	0.004	0.104
13.9	15494	15796	15561	60	15305	74	0.888	0.809	0.004	0.098
15.9	16839	17465	17090	60	16819	78	0.967	0.889	0.004	0.087
17.9	18951	19200	18911	60	18709	82	1.039	0.989	0.004	0.051
20.9	21822	21958	21758	60	21534	87	1.133	1.139	0.005	-0.005
23.9	23854	23758	23630	60	23435	91	1.208	1.239	0.005	-0.025
26.9	25204	25194	24561	60	24674	93	1.265	1.305	0.005	-0.030
29.9	26161	25804	25943	60	25657	95	1.300	1.357	0.005	-0.041
32.9	26115	26124	26149	60	25817	95	1.310	1.365	0.005	-0.040
35.9	25689	25490	25407	60	25217	94	1.290	1.333	0.005	-0.032
38.9	24299	24298	24258	60	23973	92	1.242	1.268	0.005	-0.020
41.9	22599	22731	22387	60	22260	89	1.173	1.177	0.005	-0.004
44.9	20737	20902	20609	60	20437	85	1.085	1.081	0.004	0.004
48.9	17963	17882	17667	60	17525	79	0.946	0.927	0.004	0.021
51.9	15749	15472	15573	60	15286	74	0.827	0.808	0.004	0.023
54.9	13406	13201	13379	60	13017	69	0.700	0.688	0.004	0.016
57.9	10952	10998	11025	60	10680	63	0.573	0.565	0.003	0.014
60.9	9006	9241	9366	60	8892	58	0.479	0.470	0.003	0.020
63.9	10252	10350	10220	60	9962	61	0.502	0.527	0.003	-0.047
66.9	10525	10635	10494	60	10239	62	0.492	0.541	0.003	-0.091
69.9	7334	7284	7367	60	7016	52	0.346	0.371	0.003	-0.069
72.9	4440	4314	4399	60	4072	42	0.211	0.215	0.002	-0.020
73.9	3705	3754	3721	60	3415	39	0.177	0.181	0.002	-0.019
74.9	3160	3055	3117	60	2799	37	0.150	0.148	0.002	0.015
75.9	2709	2622	2713	60	2369	35	0.129	0.125	0.002	0.029
76.9	2215	2181	2265	60	1908	32	0.112	0.101	0.002	0.109
77.9	1892	1914	1909	60	1593	31	0.099	0.084	0.002	0.180
78.9	1608	1697	1550	60	1306	29	0.090	0.069	0.002	0.300
79.9	1400	1386	1426	60	1092	28	0.082	0.058	0.001	0.416
80.9	1249	1219	1221	60	918	27	0.075	0.049	0.001	0.540

Tabela A8 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-08.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-08a	Medida posição LO-08b	Medida posição LO-08c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	20440	20617	20801	60	20307	85	0.904	1.023	0.004	-0.116
7.9	20264	19863	19492	60	19561	83	0.896	0.985	0.004	-0.091
8.9	18808	18164	18461	60	18166	80	0.870	0.915	0.004	-0.049
9.9	17030	17201	17038	60	16778	78	0.839	0.845	0.004	-0.007
10.9	15766	15835	16081	60	15582	75	0.811	0.785	0.004	0.034
11.9	15110	14955	15059	60	14729	73	0.815	0.742	0.004	0.099
12.9	15425	15538	15506	60	15178	74	0.844	0.764	0.004	0.104
13.9	16442	16483	16486	60	16158	76	0.881	0.814	0.004	0.083
15.9	18246	18523	18622	60	18152	80	0.958	0.914	0.004	0.048
17.9	20322	20487	20791	60	20221	85	1.030	1.018	0.004	0.012
20.9	22711	22803	22807	60	22462	89	1.123	1.131	0.004	-0.007
23.9	24991	24588	25032	60	24558	93	1.198	1.237	0.005	-0.031
26.9	26621	26487	26601	60	26258	96	1.254	1.322	0.005	-0.051
29.9	27275	27153	27551	60	27014	97	1.290	1.360	0.005	-0.052
32.9	27098	27293	26964	60	26806	97	1.301	1.350	0.005	-0.036
35.9	26612	26727	26764	60	26389	96	1.285	1.329	0.005	-0.033
38.9	25326	25239	25451	60	25027	94	1.243	1.260	0.005	-0.014
41.9	23553	23524	23562	60	23234	90	1.180	1.170	0.005	0.008
44.9	21577	21290	21327	60	21086	86	1.096	1.062	0.004	0.033
48.9	18659	18967	18512	60	18401	81	0.959	0.927	0.004	0.035
51.9	16209	16504	16245	60	16007	76	0.839	0.806	0.004	0.041
54.9	13967	14180	14030	60	13747	71	0.710	0.692	0.004	0.026
57.9	11401	11593	11436	60	11165	64	0.582	0.562	0.003	0.035
60.9	9674	9604	9619	60	9320	59	0.488	0.469	0.003	0.040
63.9	10669	10750	10743	60	10409	62	0.514	0.524	0.003	-0.019
66.9	11469	11220	11066	60	10940	64	0.507	0.551	0.003	-0.079
69.9	7908	7869	7977	60	7606	54	0.357	0.383	0.003	-0.069
72.9	4824	4809	4708	60	4468	44	0.218	0.225	0.002	-0.032
73.9	3973	4005	4003	60	3682	41	0.183	0.185	0.002	-0.014
74.9	3325	3354	3470	60	3071	38	0.155	0.155	0.002	0.002
75.9	2895	2859	2885	60	2568	36	0.133	0.129	0.002	0.028
76.9	2433	2397	2348	60	2081	33	0.115	0.105	0.002	0.101
77.9	2030	2066	1999	60	1720	31	0.102	0.087	0.002	0.183
78.9	1746	1713	1665	60	1396	30	0.093	0.070	0.002	0.318
79.9	1459	1516	1448	60	1162	28	0.084	0.059	0.001	0.441
80.9	1322	1217	1279	60	961	27	0.077	0.048	0.001	0.594

Tabela A9 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-09.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-09a	Medida posição LO-09b	Medida posição LO-09c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	22240	22252	22364	60	21973	87	0.902	1.024	0.004	-0.119
7.9	21173	21424	21459	60	21040	85	0.894	0.981	0.004	-0.089
8.9	20406	20549	20751	60	20257	83	0.868	0.944	0.004	-0.081
9.9	18889	18432	18787	60	18391	80	0.837	0.857	0.004	-0.023
10.9	17255	17439	17404	60	17054	77	0.809	0.795	0.004	0.017
11.9	16677	16836	16946	60	16508	76	0.813	0.769	0.004	0.057
12.9	16903	16810	16581	60	16453	75	0.842	0.767	0.003	0.098
13.9	17231	17447	17228	60	16990	77	0.878	0.792	0.004	0.109
15.9	19465	19593	19590	60	19237	81	0.955	0.897	0.004	0.066
17.9	21836	22026	21846	60	21591	86	1.027	1.006	0.004	0.021
20.9	24620	24669	24593	60	24315	91	1.119	1.133	0.004	-0.012
23.9	27094	26995	27013	60	26722	95	1.194	1.246	0.004	-0.041
26.9	28291	28603	28320	60	28093	98	1.251	1.309	0.005	-0.045
29.9	29050	29197	29650	60	28987	99	1.286	1.351	0.005	-0.048
32.9	29433	29599	29217	60	29104	100	1.298	1.357	0.005	-0.043
35.9	28039	28462	28414	60	27993	98	1.283	1.305	0.005	-0.017
38.9	26949	27117	27310	60	26813	96	1.243	1.250	0.004	-0.005
41.9	25802	25636	25487	60	25330	93	1.182	1.181	0.004	0.001
44.9	23434	23291	23449	60	23079	89	1.100	1.076	0.004	0.023
48.9	20373	20333	20472	60	20081	83	0.964	0.936	0.004	0.030
51.9	17774	17801	17876	60	17505	78	0.844	0.816	0.004	0.034
54.9	15422	15332	15235	60	15018	72	0.714	0.700	0.003	0.020
57.9	12483	12494	12346	60	12129	65	0.585	0.565	0.003	0.034
60.9	10225	10307	10276	60	9957	59	0.491	0.464	0.003	0.058
63.9	11491	11380	11214	60	11050	62	0.519	0.515	0.003	0.007
66.9	12362	12200	12456	60	12027	65	0.513	0.561	0.003	-0.085
69.9	8876	8832	8961	60	8578	55	0.361	0.400	0.003	-0.098
72.9	5347	5345	5240	60	4999	43	0.220	0.233	0.002	-0.055
73.9	4388	4433	4447	60	4111	40	0.185	0.192	0.002	-0.035
74.9	3762	3803	3671	60	3433	37	0.157	0.160	0.002	-0.020
75.9	3208	3189	3194	60	2885	34	0.135	0.134	0.002	0
76.9	2774	2768	2632	60	2413	32	0.117	0.112	0.001	0.038
77.9	2266	2246	2189	60	1922	29	0.104	0.090	0.001	0.157
78.9	2009	1922	1933	60	1643	27	0.094	0.077	0.001	0.223
79.9	1640	1667	1673	60	1348	26	0.085	0.063	0.001	0.358
80.9	1437	1447	1428	60	1125	24	0.078	0.052	0.001	0.488

Tabela A10 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-10.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-10a	Medida posição LO-10b	Medida posição LO-10c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	22997	23138	23097	60	22765	89	0.902	1.027	0.004	-0.122
7.9	22590	21803	22080	60	21846	88	0.894	0.986	0.004	-0.093
8.9	20710	20426	20674	60	20291	85	0.868	0.915	0.004	-0.052
9.9	18798	19054	19014	60	18643	81	0.837	0.841	0.004	-0.005
10.9	17359	17223	17267	60	16971	78	0.809	0.766	0.004	0.056
11.9	16594	16669	16544	60	16290	76	0.813	0.735	0.003	0.106
12.9	17167	17044	16875	60	16717	77	0.842	0.754	0.003	0.116
13.9	18146	18179	18021	60	17803	80	0.878	0.803	0.004	0.094
15.9	20011	20060	20246	60	19794	84	0.955	0.893	0.004	0.070
17.9	22406	22326	22525	60	22107	88	1.027	0.997	0.004	0.030
20.9	25429	25511	25357	60	25120	94	1.119	1.133	0.004	-0.012
23.9	27546	27408	27631	60	27216	97	1.194	1.228	0.004	-0.027
26.9	28916	29150	29431	60	28854	100	1.251	1.302	0.005	-0.039
29.9	29624	30045	30066	60	29600	101	1.286	1.335	0.005	-0.037
32.9	30459	30003	30212	60	29913	102	1.298	1.350	0.005	-0.038
35.9	29762	29213	29610	60	29216	101	1.283	1.318	0.005	-0.027
38.9	28005	28123	28212	60	27801	98	1.243	1.254	0.004	-0.009
41.9	26516	26522	26304	60	26135	96	1.182	1.179	0.004	0.002
44.9	24398	24698	24391	60	24184	92	1.100	1.091	0.004	0.008
48.9	21143	21320	21189	60	20905	86	0.964	0.943	0.004	0.022
51.9	18954	18732	18919	60	18556	81	0.844	0.837	0.004	0.008
54.9	16024	16013	15854	60	15652	75	0.714	0.706	0.003	0.011
57.9	12913	12937	13055	60	12656	68	0.585	0.571	0.003	0.024
60.9	10688	10940	10818	60	10503	63	0.491	0.474	0.003	0.036
63.9	11907	11992	11630	60	11531	65	0.519	0.520	0.003	-0.003
66.9	12830	12907	12783	60	12528	68	0.513	0.565	0.003	-0.093
69.9	9207	9179	9110	60	8853	58	0.361	0.399	0.003	-0.097
72.9	5580	5687	5667	60	5333	47	0.220	0.241	0.002	-0.085
73.9	4835	4733	4719	60	4450	44	0.185	0.201	0.002	-0.079
74.9	3951	3912	3955	60	3627	40	0.157	0.164	0.002	-0.042
75.9	3283	3316	3234	60	2966	37	0.135	0.134	0.002	0.005
76.9	2811	2784	2791	60	2483	35	0.117	0.112	0.002	0.042
77.9	2387	2405	2473	60	2110	33	0.104	0.095	0.001	0.089
78.9	2094	2110	2113	60	1794	32	0.094	0.081	0.001	0.158
79.9	1732	1660	1783	60	1413	30	0.085	0.064	0.001	0.338
80.9	1523	1575	1499	60	1220	29	0.078	0.055	0.001	0.417

Tabela A11 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-11.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-11a	Medida posição LO-11b	Medida posição LO-11c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	21499	21626	21656	60	21282	87	0.902	0.975	0.004	-0.075
7.9	20950	20689	20782	60	20495	85	0.894	0.939	0.004	-0.048
8.9	19698	20146	20165	60	19691	84	0.868	0.902	0.004	-0.038
9.9	18623	18706	18951	60	18448	81	0.837	0.845	0.004	-0.010
10.9	17254	17482	17324	60	17041	78	0.809	0.781	0.004	0.036
11.9	16855	17060	16656	60	16545	77	0.813	0.758	0.004	0.072
12.9	17408	17619	17916	60	17336	79	0.842	0.794	0.004	0.060
13.9	18578	18792	18512	60	18315	81	0.878	0.839	0.004	0.047
15.9	21037	21155	20975	60	20744	86	0.955	0.951	0.004	0.005
17.9	23237	23090	23283	60	22891	90	1.027	1.049	0.004	-0.021
20.9	26121	26050	26240	60	25825	95	1.119	1.183	0.004	-0.054
23.9	28074	28103	27845	60	27695	98	1.194	1.269	0.004	-0.059
26.9	29121	29051	29374	60	28870	100	1.251	1.323	0.005	-0.054
29.9	29586	29918	29373	60	29314	101	1.286	1.343	0.005	-0.042
32.9	29926	29522	30173	60	29562	101	1.298	1.355	0.005	-0.042
35.9	28643	28782	29054	60	28514	100	1.283	1.307	0.005	-0.018
38.9	27302	26842	27293	60	26834	97	1.243	1.230	0.004	0.011
41.9	25665	25233	25275	60	25079	94	1.182	1.149	0.004	0.028
44.9	23400	23165	22780	60	22803	90	1.100	1.045	0.004	0.053
48.9	20216	20320	20324	60	19975	84	0.964	0.915	0.004	0.053
51.9	17734	17806	17836	60	17480	79	0.844	0.801	0.004	0.053
54.9	15094	15398	15208	60	14921	73	0.714	0.684	0.003	0.044
57.9	12475	12650	12496	60	12228	67	0.585	0.560	0.003	0.044
60.9	10383	10296	10316	60	10020	61	0.491	0.459	0.003	0.069
63.9	11095	10944	11107	60	10737	63	0.519	0.492	0.003	0.055
66.9	12145	12122	11912	60	11748	66	0.513	0.538	0.003	-0.048
69.9	8817	8777	8882	60	8513	57	0.361	0.390	0.003	-0.075
72.9	5362	5355	5303	60	5028	46	0.220	0.230	0.002	-0.044
73.9	4537	4487	4407	60	4165	42	0.185	0.191	0.002	-0.031
74.9	3686	3789	3827	60	3455	40	0.157	0.158	0.002	-0.010
75.9	3121	3184	3222	60	2864	37	0.135	0.131	0.002	0.025
76.9	2736	2617	2717	60	2378	35	0.117	0.109	0.002	0.071
77.9	2265	2288	2318	60	1978	33	0.104	0.091	0.002	0.144
78.9	1930	1931	1933	60	1619	31	0.094	0.074	0.001	0.263
79.9	1678	1784	1714	60	1413	30	0.085	0.065	0.001	0.317
80.9	1408	1458	1399	60	1110	28	0.078	0.051	0.001	0.534

Tabela A12 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-12.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-12a	Medida posição LO-12b	Medida posição LO-12c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	20262	20385	20409	60	20040	84	0.904	0.980	0.004	-0.078
7.9	19938	20033	19703	60	19579	83	0.896	0.957	0.004	-0.064
8.9	18961	18877	18933	60	18612	81	0.870	0.910	0.004	-0.044
9.9	17545	17401	17622	60	17211	78	0.839	0.842	0.004	-0.003
10.9	15594	16208	15912	60	15593	75	0.811	0.762	0.004	0.064
11.9	16087	16058	15969	60	15726	75	0.815	0.769	0.004	0.060
12.9	16288	16390	16470	60	16071	76	0.844	0.786	0.004	0.074
13.9	17300	17359	17317	60	17013	78	0.881	0.832	0.004	0.059
15.9	18833	18712	18999	60	18536	81	0.958	0.906	0.004	0.057
17.9	21073	21095	21063	60	20765	86	1.030	1.015	0.004	0.015
20.9	23855	23758	23787	60	23488	91	1.123	1.148	0.004	-0.022
23.9	25812	25743	25829	60	25483	94	1.198	1.246	0.005	-0.039
26.9	27133	27075	27235	60	26836	97	1.254	1.312	0.005	-0.044
29.9	27830	28329	28338	60	27854	98	1.290	1.362	0.005	-0.053
32.9	28207	28399	27928	60	27866	99	1.301	1.363	0.005	-0.045
35.9	27410	27014	27384	60	26957	97	1.285	1.318	0.005	-0.025
38.9	25932	26160	25927	60	25694	95	1.243	1.256	0.005	-0.011
41.9	24063	24084	24004	60	23738	91	1.180	1.161	0.004	0.016
44.9	21752	22032	21852	60	21567	87	1.096	1.055	0.004	0.040
48.9	19364	19284	19328	60	19013	82	0.959	0.930	0.004	0.032
51.9	17087	17056	16830	60	16679	77	0.839	0.816	0.004	0.029
54.9	14469	14395	14313	60	14080	71	0.710	0.688	0.003	0.031
57.9	11838	11881	11917	60	11567	65	0.582	0.566	0.003	0.029
60.9	9761	9853	9808	60	9495	60	0.488	0.464	0.003	0.051
63.9	10391	10445	10477	60	10126	62	0.514	0.495	0.003	0.039
66.9	11091	11235	11352	60	10914	64	0.507	0.534	0.003	-0.049
69.9	8039	7902	8044	60	7683	55	0.357	0.376	0.003	-0.051
72.9	4925	4838	4904	60	4577	44	0.218	0.224	0.002	-0.027
73.9	4562	4029	4221	60	3959	42	0.183	0.194	0.002	-0.056
74.9	3506	3488	3389	60	3149	38	0.155	0.154	0.002	0.006
75.9	2895	2902	2936	60	2599	36	0.133	0.127	0.002	0.046
76.9	2460	2494	2541	60	2186	34	0.115	0.107	0.002	0.080
77.9	2079	2118	2025	60	1762	32	0.102	0.086	0.002	0.190
78.9	1766	1826	1839	60	1498	30	0.093	0.073	0.001	0.265
79.9	1491	1501	1506	60	1187	28	0.084	0.058	0.001	0.453
80.9	1296	1292	1298	60	983	27	0.077	0.048	0.001	0.605

Tabela A13 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-13.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-13a	Medida posição LO-13b	Medida posição LO-13c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	18718	18518	18880	60	18393	81	0.907	0.984	0.004	-0.079
7.9	18114	17911	18127	60	17739	80	0.899	0.949	0.004	-0.053
8.9	17224	16934	16970	60	16731	77	0.874	0.895	0.004	-0.023
9.9	15997	15754	15705	60	15507	75	0.844	0.830	0.004	0.017
10.9	14577	14587	14664	60	14297	72	0.817	0.765	0.004	0.068
11.9	14376	14632	14446	60	14173	72	0.822	0.758	0.004	0.083
12.9	15309	15177	14717	60	14756	73	0.851	0.790	0.004	0.078
13.9	15859	16002	16167	60	15697	75	0.888	0.840	0.004	0.058
15.9	17674	17750	17758	60	17415	79	0.967	0.932	0.004	0.037
17.9	19298	19646	19722	60	19243	83	1.039	1.030	0.004	0.009
20.9	21785	21877	22039	60	21588	87	1.133	1.155	0.005	-0.019
23.9	23533	23836	23543	60	23325	91	1.208	1.248	0.005	-0.032
26.9	24862	24833	25211	60	24657	93	1.265	1.319	0.005	-0.041
29.9	25695	25770	25779	60	25436	94	1.300	1.361	0.005	-0.045
32.9	25515	25777	25777	60	25378	94	1.310	1.358	0.005	-0.035
35.9	24922	25112	24867	60	24655	93	1.290	1.319	0.005	-0.022
38.9	23529	23821	23441	60	23285	90	1.242	1.246	0.005	-0.003
41.9	21863	21929	21877	60	21578	87	1.173	1.155	0.005	0.016
44.9	19995	20174	20207	60	19813	84	1.085	1.060	0.004	0.024
48.9	17515	17537	17724	60	17280	79	0.946	0.925	0.004	0.023
51.9	15301	15482	15416	60	15088	74	0.827	0.807	0.004	0.025
54.9	13083	13209	13219	60	12858	69	0.700	0.688	0.004	0.017
57.9	10876	10892	10870	60	10567	63	0.573	0.565	0.003	0.013
60.9	9015	8878	8971	60	8643	57	0.479	0.462	0.003	0.037
63.9	9167	9122	9268	60	8874	58	0.502	0.475	0.003	0.057
66.9	10352	10382	10256	60	10018	61	0.492	0.536	0.003	-0.082
69.9	7832	7909	7876	60	7560	54	0.346	0.405	0.003	-0.146
72.9	4963	5103	5024	60	4718	45	0.211	0.252	0.002	-0.164
73.9	4146	4248	4229	60	3896	41	0.177	0.208	0.002	-0.150
74.9	3142	3142	3141	60	2830	37	0.150	0.151	0.002	-0.008
75.9	2724	2600	2654	60	2347	35	0.129	0.126	0.002	0.026
76.9	2260	2223	2237	60	1928	33	0.112	0.103	0.002	0.084
77.9	1928	1935	2018	60	1648	31	0.099	0.088	0.002	0.127
78.9	1727	1667	1641	60	1366	30	0.090	0.073	0.002	0.229
79.9	1456	1439	1487	60	1149	28	0.082	0.061	0.001	0.330
80.9	12527	--	--	600	941	21	0.075	0.050	0.001	0.485

Tabela A14 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-14.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-14a	Medida posição LO-14b	Medida posição LO-14c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	17856	17721	17977	60	17539	79	0.910	0.984	0.004	-0.075
7.9	17159	17290	17121	60	16878	78	0.902	0.947	0.004	-0.047
8.9	16175	16324	16093	60	15885	76	0.877	0.891	0.004	-0.016
9.9	14898	14713	15020	60	14565	73	0.846	0.817	0.004	0.036
10.9	14022	14073	13864	60	13674	71	0.818	0.767	0.004	0.067
11.9	13597	13635	13727	60	13341	70	0.823	0.748	0.004	0.099
12.9	14329	14050	14081	60	13841	71	0.852	0.776	0.004	0.097
13.9	15171	14983	14801	60	14673	73	0.889	0.823	0.004	0.080
15.9	17000	16751	17059	60	16625	77	0.967	0.933	0.004	0.037
17.9	18754	18904	18765	60	18496	81	1.040	1.038	0.005	0.002
20.9	21239	21023	21048	60	20791	86	1.133	1.166	0.005	-0.029
23.9	22830	22607	22996	60	22499	89	1.209	1.262	0.005	-0.042
26.9	23791	23968	23854	60	23559	91	1.265	1.322	0.005	-0.043
29.9	24174	24568	24213	60	24006	92	1.300	1.347	0.005	-0.035
32.9	24752	24530	24291	60	24212	92	1.309	1.358	0.005	-0.036
35.9	23952	23930	24001	60	23649	91	1.289	1.327	0.005	-0.028
38.9	22603	22680	22602	60	22316	89	1.242	1.252	0.005	-0.008
41.9	20913	21144	20999	60	20707	86	1.173	1.162	0.005	0.009
44.9	19307	19237	19177	60	18928	82	1.085	1.062	0.005	0.022
48.9	16392	16733	16775	60	16321	77	0.946	0.916	0.004	0.033
51.9	14681	14882	14593	60	14407	72	0.827	0.808	0.004	0.023
54.9	12256	12468	12542	60	12110	67	0.699	0.679	0.004	0.029
57.9	10315	10272	10195	60	9949	61	0.573	0.558	0.003	0.026
60.9	8523	8457	8568	60	8204	56	0.479	0.460	0.003	0.041
63.9	8992	8876	8980	60	8637	57	0.502	0.485	0.003	0.036
66.9	9645	9762	9708	60	9393	60	0.493	0.527	0.003	-0.065
69.9	7081	7066	7165	60	6792	52	0.346	0.381	0.003	-0.092
72.9	4287	4262	4381	60	3998	42	0.211	0.224	0.002	-0.058
73.9	3575	3652	3596	60	3296	39	0.177	0.185	0.002	-0.040
74.9	3068	3076	3058	60	2755	37	0.151	0.155	0.002	-0.026
75.9	2621	2606	2530	60	2274	34	0.129	0.128	0.002	0.013
76.9	2225	2283	2140	60	1904	32	0.112	0.107	0.002	0.050
77.9	1863	1913	1851	60	1564	31	0.100	0.088	0.002	0.136
78.9	1636	1627	1631	60	1319	29	0.090	0.074	0.002	0.218
79.9	1387	1407	1374	60	1077	28	0.082	0.060	0.002	0.358
80.9	11776	--	--	600	866	21	0.075	0.049	0.001	0.545

Tabela A15 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-15.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-15a	Medida posição LO-15b	Medida posição LO-15c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	16492	16619	16741	60	16305	76	0.911	0.998	0.005	-0.087
7.9	16356	16458	16406	60	16095	76	0.903	0.985	0.005	-0.083
8.9	15326	15187	15371	60	14983	74	0.878	0.917	0.005	-0.042
9.9	14144	14254	14189	60	13884	71	0.847	0.850	0.004	-0.003
10.9	13306	13323	13299	60	12997	69	0.820	0.795	0.004	0.030
11.9	12938	12919	12907	60	12609	68	0.824	0.772	0.004	0.068
12.9	13480	13199	13347	60	13030	69	0.854	0.797	0.004	0.070
13.9	14179	13940	14279	60	13821	71	0.891	0.846	0.004	0.053
15.9	15579	15958	15727	60	15443	75	0.969	0.945	0.005	0.025
17.9	17442	17610	17193	60	17103	78	1.042	1.047	0.005	-0.005
20.9	19268	19402	19374	60	19036	82	1.135	1.165	0.005	-0.026
23.9	20669	20825	20814	60	20457	85	1.211	1.252	0.005	-0.033
26.9	21915	21880	21673	60	21511	87	1.267	1.317	0.005	-0.037
29.9	22556	22366	22540	60	22175	88	1.302	1.357	0.005	-0.040
32.9	22695	22207	22386	60	22117	88	1.311	1.354	0.005	-0.031
35.9	21835	21892	21697	60	21496	87	1.291	1.316	0.005	-0.019
38.9	20479	20402	20549	60	20165	84	1.241	1.234	0.005	0.006
41.9	18868	18902	19079	60	18638	81	1.171	1.141	0.005	0.026
44.9	17278	17441	17528	60	17104	78	1.082	1.047	0.005	0.034
48.9	15048	15022	15158	60	14764	73	0.943	0.904	0.004	0.044
51.9	13276	13486	13544	60	13123	69	0.824	0.803	0.004	0.026
54.9	11422	11614	11543	60	11214	64	0.697	0.686	0.004	0.016
57.9	9611	9689	9571	60	9312	59	0.571	0.570	0.004	0.002
60.9	7910	7739	8051	60	7588	54	0.478	0.464	0.003	0.030
63.9	8492	8480	8464	60	8167	56	0.501	0.500	0.003	0.002
66.9	9102	8990	9138	60	8765	58	0.492	0.536	0.004	-0.083
69.9	6556	6591	6779	60	6330	50	0.346	0.387	0.003	-0.107
72.9	4025	4093	4002	60	3728	41	0.212	0.228	0.003	-0.072
73.9	3352	3334	3274	60	3008	38	0.178	0.184	0.002	-0.033
74.9	2875	2952	2964	60	2618	36	0.151	0.160	0.002	-0.057
75.9	2375	2494	2414	60	2116	33	0.130	0.130	0.002	0.002
76.9	2049	2009	2044	60	1722	31	0.113	0.105	0.002	0.069
77.9	1779	1777	1701	60	1440	30	0.100	0.088	0.002	0.136
78.9	1473	1567	1413	60	1172	28	0.091	0.072	0.002	0.262
79.9	1332	1274	1313	60	994	27	0.082	0.061	0.002	0.356
80.9	11176	--	--	600	806	21	0.075	0.049	0.001	0.529

Tabela A16 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-16.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-16a	Medida posição LO-16b	Medida posição LO-16c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	14124	14195	14314	60	13899	71	0.914	1.011	0.005	-0.096
7.9	13655	13595	13706	60	13340	70	0.905	0.970	0.005	-0.067
8.9	12859	12492	12845	60	12420	67	0.879	0.903	0.005	-0.027
9.9	12053	11835	11901	60	11618	65	0.847	0.845	0.005	0.002
10.9	10858	11015	11053	60	10663	63	0.818	0.776	0.005	0.054
11.9	10637	10779	10639	60	10373	62	0.821	0.755	0.005	0.088
12.9	11133	10973	11366	60	10845	63	0.850	0.789	0.005	0.077
13.9	11714	11918	11731	60	11476	65	0.887	0.835	0.005	0.062
15.9	13410	13194	13430	60	13033	69	0.964	0.948	0.005	0.017
17.9	14581	14620	14893	60	14386	72	1.036	1.046	0.005	-0.010
20.9	16316	16241	16375	60	15999	76	1.128	1.164	0.006	-0.031
23.9	17623	17544	17611	60	17281	79	1.203	1.257	0.006	-0.043
26.9	18476	18410	18324	60	18091	80	1.260	1.316	0.006	-0.043
29.9	18760	18765	19005	60	18531	81	1.295	1.348	0.006	-0.040
32.9	18932	18630	18846	60	18491	81	1.304	1.345	0.006	-0.030
35.9	18233	18445	18236	60	17993	80	1.286	1.309	0.006	-0.017
38.9	17415	17283	17158	60	16973	78	1.241	1.235	0.006	0.005
41.9	16005	16027	16112	60	15736	75	1.174	1.145	0.005	0.026
44.9	14665	14808	14757	60	14431	72	1.089	1.050	0.005	0.037
48.9	12739	12967	12870	60	12547	68	0.951	0.913	0.005	0.042
51.9	11589	11365	11235	60	11084	64	0.832	0.806	0.005	0.032
54.9	9700	9628	9686	60	9359	59	0.704	0.681	0.004	0.034
57.9	8050	8287	8329	60	7910	55	0.577	0.575	0.004	0.004
60.9	6859	6894	6867	60	6561	51	0.485	0.477	0.004	0.016
63.9	7271	7674	7350	60	7120	53	0.513	0.518	0.004	-0.010
66.9	8125	8060	7977	60	7742	55	0.507	0.563	0.004	-0.100
69.9	5757	5889	5966	60	5559	48	0.358	0.404	0.003	-0.114
72.9	3621	3598	3630	60	3304	39	0.220	0.240	0.003	-0.083
73.9	2965	3014	3040	60	2694	36	0.186	0.196	0.003	-0.053
74.9	2566	2688	2493	60	2270	34	0.158	0.165	0.002	-0.045
75.9	2080	2281	2108	60	1844	32	0.136	0.134	0.002	0.012
76.9	1864	1729	1844	60	1500	30	0.118	0.109	0.002	0.081
77.9	1531	1644	1573	60	1271	29	0.105	0.092	0.002	0.135
78.9	1388	1318	1408	60	1059	28	0.095	0.077	0.002	0.232
79.9	--	--	--	60	--	0	0.086	--	--	--
80.9	--	--	--	60	--	0	0.079	--	--	--

Tabela A17 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-17.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-17a	Medida posição LO-17b	Medida posição LO-17c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	12999	12974	12864	60	12634	68	0.898	1.025	0.006	-0.124
7.9	12356	12678	12544	60	12214	67	0.890	0.991	0.005	-0.102
8.9	11971	11890	11858	60	11594	65	0.865	0.941	0.005	-0.080
9.9	11082	10952	11041	60	10713	63	0.835	0.869	0.005	-0.039
10.9	10471	10287	10313	60	10045	61	0.808	0.815	0.005	-0.009
11.9	10280	10342	10193	60	9960	61	0.812	0.808	0.005	0.005
12.9	10838	10612	10880	60	10465	62	0.841	0.849	0.005	-0.009
13.9	10967	11091	11220	60	10781	63	0.878	0.875	0.005	0.003
15.9	12243	12356	12314	60	11992	66	0.954	0.973	0.005	-0.019
17.9	13406	13547	13459	60	13159	69	1.026	1.068	0.006	-0.039
20.9	14716	14735	14639	60	14385	72	1.117	1.167	0.006	-0.043
23.9	15796	15635	15637	60	15377	74	1.192	1.248	0.006	-0.045
26.9	16315	16404	16269	60	16017	76	1.249	1.300	0.006	-0.039
29.9	16729	16541	16492	60	16275	76	1.284	1.321	0.006	-0.028
32.9	16674	16484	16491	60	16238	76	1.296	1.318	0.006	-0.017
35.9	16136	16080	15858	60	15713	75	1.281	1.275	0.006	0.005
38.9	15307	15313	15304	60	14996	74	1.242	1.217	0.006	0.021
41.9	14530	14399	14398	60	14130	72	1.181	1.146	0.006	0.030
44.9	13401	13355	13611	60	13144	69	1.100	1.066	0.006	0.032
48.9	11738	11502	11705	60	11336	65	0.965	0.920	0.005	0.049
51.9	10140	10324	10267	60	9932	61	0.846	0.806	0.005	0.050
54.9	8700	8722	8839	60	8442	57	0.717	0.685	0.005	0.047
57.9	7277	7194	7145	60	6893	52	0.589	0.559	0.004	0.053
60.9	6064	6144	6130	60	5801	48	0.495	0.471	0.004	0.053
63.9	6717	6628	6684	60	6364	50	0.524	0.516	0.004	0.014
66.9	7231	7189	7284	60	6923	52	0.519	0.562	0.004	-0.075
69.9	5240	5301	5410	60	5005	46	0.370	0.406	0.004	-0.089
72.9	3269	3242	3320	60	2965	37	0.230	0.241	0.003	-0.043
73.9	2769	2856	2758	60	2482	35	0.195	0.201	0.003	-0.034
74.9	2313	2222	2336	60	1978	33	0.166	0.160	0.003	0.034
75.9	2069	1989	2012	60	1711	31	0.143	0.139	0.003	0.030
76.9	1733	1725	1801	60	1441	30	0.125	0.117	0.002	0.065
77.9	1462	1497	1448	60	1157	28	0.111	0.094	0.002	0.181
78.9	1314	1296	1298	60	991	27	0.100	0.080	0.002	0.248
79.9	1129	1102	1137	60	811	26	0.091	0.066	0.002	0.389
80.9	963	980	979	60	662	25	0.084	0.054	0.002	0.557

Tabela A18 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-18.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-18a	Medida posição LO-18b	Medida posição LO-18c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	13250	13101	13097	60	12837	69	0.599	0.394	0.002	0.519
7.9	14516	14621	14453	60	14218	72	0.630	0.436	0.002	0.443
8.9	16348	16421	16331	60	16055	76	0.657	0.493	0.002	0.332
9.9	18160	18177	18332	60	17911	80	0.682	0.550	0.002	0.241
10.9	19947	19921	19747	60	19560	83	0.710	0.600	0.003	0.182
11.9	21652	21683	21902	60	21434	87	0.748	0.658	0.003	0.137
12.9	23268	23724	24014	60	23357	91	0.793	0.717	0.003	0.107
13.9	25726	25763	25584	60	25379	94	0.841	0.779	0.003	0.079
15.9	29359	29360	29604	60	29129	101	0.930	0.894	0.003	0.040
17.9	32988	33102	32933	60	32696	106	1.010	1.004	0.003	0.006
20.9	37631	37671	37746	60	37371	113	1.111	1.147	0.003	-0.031
23.9	41834	41674	41802	60	41458	119	1.193	1.272	0.004	-0.062
26.9	44462	44063	44175	60	43921	123	1.256	1.348	0.004	-0.068
29.9	45730	46625	45770	60	45730	125	1.297	1.404	0.004	-0.076
32.9	45970	46012	46140	60	45729	125	1.313	1.404	0.004	-0.065
35.9	45245	45006	44951	60	44755	124	1.303	1.374	0.004	-0.051
38.9	42970	43121	43188	60	42781	121	1.268	1.313	0.004	-0.034
41.9	40385	39968	40219	60	39879	117	1.211	1.224	0.004	-0.011
44.9	36443	36682	36953	60	36381	112	1.132	1.117	0.003	0.014
48.9	31273	31357	31622	60	31105	104	0.997	0.955	0.003	0.045
51.9	27360	27677	27356	60	27152	97	0.876	0.833	0.003	0.051
54.9	22935	22832	23014	60	22615	89	0.743	0.694	0.003	0.071
57.9	18267	18467	18749	60	18182	80	0.609	0.558	0.002	0.091
60.9	14457	14526	14390	60	14146	72	0.489	0.434	0.002	0.127
63.9	11118	11114	11213	60	10836	63	0.420	0.333	0.002	0.263
66.9	8552	8250	8559	60	8142	56	0.350	0.250	0.002	0.401
69.9	5727	5638	5618	60	5349	47	0.243	0.164	0.001	0.481
72.9	3631	3717	3598	60	3337	39	0.153	0.102	0.001	0.497
73.9	3103	3113	3101	60	2794	37	0.130	0.086	0.001	0.518
74.9	2601	2618	2656	60	2313	34	0.111	0.071	0.001	0.571
75.9	2342	2238	2206	60	1950	33	0.096	0.060	0.001	0.611
76.9	1971	1972	1932	60	1646	31	0.084	0.051	0.001	0.667
77.9	1645	1664	1654	60	1342	29	0.075	0.041	0.001	0.823
78.9	1535	1488	1457	60	1181	28	0.068	0.036	0.001	0.875
79.9	12481	--	--	600	936	21	0.062	0.029	0.001	1.157
80.9	10976	--	--	600	786	21	0.057	0.024	0.001	1.350

Tabela A19 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-19.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-19a	Medida posição LO-19b	Medida posição LO-19c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	11443	11467	11409	60	11128	64	0.449	0.342	0.002	0.312
7.9	15003	15167	15282	60	14839	73	0.499	0.456	0.002	0.094
8.9	16756	17035	17146	60	16667	77	0.552	0.512	0.002	0.077
9.9	18847	18663	18596	60	18390	81	0.605	0.565	0.002	0.071
10.9	20587	20521	20416	60	20196	85	0.660	0.621	0.003	0.063
11.9	22430	22266	22384	60	22048	88	0.715	0.678	0.003	0.055
12.9	24255	24226	24481	60	24009	92	0.770	0.738	0.003	0.043
13.9	25987	26192	26259	60	25834	95	0.822	0.794	0.003	0.035
15.9	29453	29547	29708	60	29257	101	0.918	0.899	0.003	0.021
17.9	33058	33348	32943	60	32804	107	1.002	1.008	0.003	-0.006
20.9	37825	37378	37828	60	37365	113	1.108	1.148	0.003	-0.035
23.9	41173	41261	41270	60	40923	119	1.194	1.258	0.004	-0.051
26.9	43524	43699	43394	60	43227	122	1.259	1.329	0.004	-0.052
29.9	45216	45150	45136	60	44855	124	1.303	1.379	0.004	-0.055
32.9	45269	45326	45392	60	45017	124	1.322	1.384	0.004	-0.045
35.9	44314	44399	44432	60	44070	123	1.314	1.355	0.004	-0.030
38.9	42867	42447	42428	60	42269	120	1.281	1.299	0.004	-0.014
41.9	39657	40046	40058	60	39608	117	1.226	1.217	0.004	0.007
44.9	36852	36932	36672	60	36507	112	1.148	1.122	0.003	0.023
48.9	31437	31831	31414	60	31249	104	1.013	0.960	0.003	0.055
51.9	27539	27664	27485	60	27251	97	0.891	0.838	0.003	0.064
54.9	23493	23553	23675	60	23262	90	0.757	0.715	0.003	0.059
57.9	18856	19280	18880	60	18693	82	0.620	0.575	0.003	0.079
60.9	14840	15011	15036	60	14650	73	0.486	0.450	0.002	0.079
63.9	11407	11058	11303	60	10944	64	0.365	0.336	0.002	0.086
66.9	8079	8005	8060	60	7736	55	0.262	0.238	0.002	0.101
69.9	5412	5331	5435	60	5081	46	0.177	0.156	0.001	0.132
72.9	3429	3465	3402	60	3120	38	0.113	0.096	0.001	0.177
73.9	3020	2932	2962	60	2659	36	0.096	0.082	0.001	0.179
74.9	2502	2615	2413	60	2198	34	0.083	0.068	0.001	0.226
75.9	2228	2222	2138	60	1884	32	0.072	0.058	0.001	0.242
76.9	1890	1919	1949	60	1607	31	0.063	0.049	0.001	0.275
77.9	1671	1617	1704	60	1352	29	0.056	0.042	0.001	0.354
78.9	1382	1443	1394	60	1094	28	0.051	0.034	0.001	0.515
79.9	12904	--	--	600	978	21	0.046	0.030	0.001	0.546
80.9	10805	--	--	600	769	20	0.043	0.024	0.001	0.799

Tabela A20 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição LO-20.

Cotas axiais (cm)	Medida posição LO-20a	Medida posição LO-20b	Medida posição LO-20c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	11877	11724	11507	60	11391	65	0.442	0.410	0.002	0.078
7.9	12668	12733	12469	60	12311	67	0.493	0.443	0.002	0.114
8.9	14183	14208	14206	60	13887	71	0.547	0.499	0.003	0.095
9.9	15522	15584	15675	60	15282	74	0.602	0.549	0.003	0.095
10.9	16869	17059	16993	60	16662	77	0.657	0.599	0.003	0.098
11.9	18634	18591	18504	60	18264	81	0.713	0.657	0.003	0.086
12.9	20169	20526	20420	60	20060	84	0.768	0.721	0.003	0.065
13.9	22019	21853	22116	60	21684	87	0.821	0.780	0.003	0.052
15.9	25209	24894	24804	60	24657	93	0.917	0.887	0.003	0.034
17.9	28254	27427	27568	60	27438	98	1.000	0.986	0.004	0.014
20.9	31360	31873	31790	60	31362	104	1.106	1.128	0.004	-0.019
23.9	34880	34717	34559	60	34407	109	1.192	1.237	0.004	-0.037
26.9	37106	36921	36827	60	36639	112	1.258	1.317	0.004	-0.045
29.9	38000	38542	38356	60	37987	114	1.301	1.366	0.004	-0.047
32.9	38421	38564	38749	60	38266	115	1.320	1.376	0.004	-0.040
35.9	38259	38160	38066	60	37850	114	1.314	1.361	0.004	-0.035
38.9	36203	36248	36323	60	35946	111	1.282	1.292	0.004	-0.008
41.9	34030	34841	34589	60	34175	109	1.227	1.229	0.004	-0.002
44.9	31779	31802	31714	60	31453	104	1.150	1.131	0.004	0.017
48.9	27791	28108	27534	60	27499	98	1.016	0.989	0.004	0.027
51.9	24149	24453	23994	60	23887	92	0.894	0.859	0.003	0.041
54.9	20636	20706	20547	60	20318	85	0.760	0.731	0.003	0.041
57.9	16740	16985	16909	60	16566	77	0.623	0.596	0.003	0.047
60.9	13248	13482	13234	60	13009	69	0.488	0.468	0.002	0.044
63.9	10010	10005	9993	60	9691	60	0.365	0.348	0.002	0.047
66.9	7115	7143	7118	60	6813	52	0.260	0.245	0.002	0.059
69.9	4745	4694	4743	60	4415	43	0.176	0.159	0.002	0.107
72.9	3098	3030	3038	60	2743	36	0.113	0.099	0.001	0.147
73.9	2639	2609	2540	60	2284	34	0.097	0.082	0.001	0.179
74.9	2359	2296	2248	60	1989	33	0.083	0.072	0.001	0.167
75.9	1928	1976	1934	60	1634	31	0.073	0.059	0.001	0.236
76.9	1660	1759	1670	60	1384	30	0.064	0.050	0.001	0.280
77.9	1544	1530	1466	60	1201	29	0.057	0.043	0.001	0.318
78.9	1289	1260	1421	60	1011	27	0.052	0.036	0.001	0.419
79.9	1186	1141	1111	60	834	26	0.047	0.030	0.001	0.569
80.9	1019	982	982	60	682	25	0.043	0.025	0.001	0.757

Tabela A21 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-01.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-01a	Medida posição NS-01b	Medida posição NS-01c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	9515	9417	9446	60	9147	59	0,446	0,386	0,002	0,156
7,9	10191	10218	10089	60	9854	61	0,498	0,416	0,003	0,196
8,9	11258	11286	11264	60	10957	64	0,551	0,462	0,003	0,192
9,9	12530	12581	12598	60	12258	67	0,607	0,517	0,003	0,172
10,9	14032	13920	13821	60	13612	70	0,663	0,575	0,003	0,154
11,9	15311	15209	15226	60	14937	73	0,719	0,630	0,003	0,140
12,9	16734	16694	16668	60	16387	77	0,773	0,692	0,003	0,118
13,9	17889	17883	18150	60	17662	79	0,826	0,746	0,003	0,107
15,9	20533	20537	20507	60	20214	85	0,921	0,853	0,004	0,080
17,9	22944	22758	22862	60	22543	89	1,005	0,952	0,004	0,056
20,9	26208	26254	26489	60	26005	95	1,110	1,098	0,004	0,011
23,9	29393	29353	29071	60	28960	100	1,195	1,222	0,004	-0,022
26,9	31208	31213	31202	60	30896	104	1,260	1,304	0,004	-0,034
29,9	32781	32322	32356	60	32174	106	1,303	1,358	0,004	-0,041
32,9	33117	33495	33071	60	32916	107	1,321	1,389	0,005	-0,049
35,9	32973	32759	32267	60	32354	106	1,313	1,366	0,004	-0,038
38,9	31461	31570	31580	60	31225	104	1,280	1,318	0,004	-0,029
41,9	30074	29892	29727	60	29586	101	1,224	1,249	0,004	-0,020
44,9	27682	27711	27639	60	27365	98	1,146	1,155	0,004	-0,008
48,9	23996	24068	24166	60	23765	91	1,011	1,003	0,004	0,008
51,9	21220	21154	21302	60	20913	86	0,889	0,883	0,004	0,007
54,9	17836	17757	17942	60	17533	79	0,756	0,740	0,003	0,022
57,9	14941	15000	14620	60	14542	73	0,621	0,614	0,003	0,011
60,9	11696	11561	11732	60	11351	65	0,487	0,479	0,003	0,017
63,9	8918	8807	8693	60	8494	57	0,365	0,359	0,002	0,017
66,9	6319	6347	6312	60	6014	49	0,260	0,254	0,002	0,025
69,9	4229	4305	4337	60	3978	42	0,178	0,168	0,002	0,058
72,9	2808	2814	2919	60	2535	36	0,116	0,107	0,002	0,080
73,9	2498	2464	2432	60	2153	34	0,099	0,091	0,001	0,093
74,9	10785	--	--	300	1845	27	0,086	0,078	0,001	0,103
75,9	9358	--	--	300	1560	26	0,075	0,066	0,001	0,138
76,9	11370	--	--	420	1312	23	0,066	0,055	0,001	0,190
77,9	10653	--	--	450	1108	22	0,059	0,047	0,001	0,261
78,9	10090	--	--	480	949	22	0,053	0,040	0,001	0,335
79,9	9767	--	--	520	815	21	0,049	0,034	0,001	0,419
80,9	10040	--	--	600	692	20	0,045	0,029	0,001	0,530

Tabela A22 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-02.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-02a	Medida posição NS-02b	Medida posição NS-02c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	--	--	--	60	--	--	0,445	--	--	--
7,9	11679	11685	11646	60	11358	65	0,497	0,392	0,002	0,266
8,9	12588	12605	12951	60	12403	67	0,551	0,428	0,002	0,285
9,9	14048	14193	14048	60	13784	71	0,606	0,476	0,002	0,273
10,9	15381	15581	15497	60	15174	74	0,662	0,524	0,003	0,263
11,9	17036	17379	16992	60	16824	78	0,718	0,581	0,003	0,236
12,9	20685	20488	20511	60	20249	85	0,773	0,699	0,003	0,105
13,9	21984	21947	22269	60	21755	88	0,826	0,751	0,003	0,099
15,9	24979	25409	25234	60	24895	93	0,922	0,860	0,003	0,072
17,9	28474	28319	28929	60	28262	99	1,006	0,976	0,003	0,031
20,9	32812	32899	33021	60	32599	106	1,112	1,126	0,004	-0,012
23,9	36237	36339	36601	60	36080	112	1,197	1,246	0,004	-0,039
26,9	38750	38613	38791	60	38406	115	1,263	1,327	0,004	-0,048
29,9	40399	40054	40128	60	39882	117	1,306	1,378	0,004	-0,052
32,9	40765	40668	40875	60	40457	118	1,324	1,397	0,004	-0,053
35,9	40224	39607	39997	60	39631	117	1,315	1,369	0,004	-0,039
38,9	38334	38582	38434	60	38138	115	1,281	1,317	0,004	-0,028
41,9	36502	36295	36266	60	36042	111	1,224	1,245	0,004	-0,017
44,9	33422	33154	33411	60	33017	107	1,145	1,140	0,004	0,004
48,9	29119	28921	29044	60	28716	100	1,009	0,992	0,003	0,017
51,9	25199	25594	25195	60	25017	94	0,887	0,864	0,003	0,026
54,9	21760	21517	21560	60	21300	87	0,754	0,736	0,003	0,024
57,9	17739	17617	17729	60	17383	79	0,617	0,600	0,003	0,028
60,9	14039	13946	13881	60	13643	70	0,484	0,471	0,002	0,026
63,9	10429	10417	10518	60	10143	62	0,361	0,350	0,002	0,032
66,9	7398	7381	7453	60	7099	53	0,257	0,245	0,002	0,049
69,9	4882	5052	5053	60	4684	44	0,174	0,162	0,002	0,078
72,9	3271	3258	3434	60	3009	38	0,112	0,104	0,001	0,082
73,9	2812	2792	2932	60	2533	36	0,096	0,087	0,001	0,101
74,9	12089	--	--	300	2106	28	0,083	0,073	0,001	0,142
75,9	10332	--	--	300	1754	27	0,072	0,061	0,001	0,194
76,9	10893	--	--	360	1504	25	0,063	0,052	0,001	0,222
77,9	10949	--	--	420	1252	23	0,057	0,043	0,001	0,312
78,9	11096	--	--	480	1075	22	0,051	0,037	0,001	0,385
79,9	9943	--	--	480	931	22	0,047	0,032	0,001	0,459
80,9	8772	--	--	480	785	21	0,043	0,027	0,001	0,584

Tabela A23 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-03.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-03a	Medida posição NS-03b	Medida posição NS-03c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	14202	14574	14209	60	14016	71	0,483	0,569	0,003	-0,151
7,9	15447	15325	15143	60	14993	74	0,530	0,608	0,003	-0,129
8,9	16261	16340	16043	60	15903	76	0,577	0,645	0,003	-0,105
9,9	16942	17046	16916	60	16656	77	0,626	0,676	0,003	-0,074
10,9	17586	17725	17561	60	17312	79	0,675	0,703	0,003	-0,039
11,9	18289	18514	18206	60	18024	80	0,727	0,731	0,003	-0,005
12,9	19138	19317	19175	60	18898	82	0,780	0,767	0,003	0,018
13,9	20486	20254	20158	60	19987	84	0,832	0,811	0,003	0,026
15,9	23152	23272	23247	60	22912	90	0,927	0,930	0,004	-0,003
17,9	25707	25509	25774	60	25351	94	1,011	1,029	0,004	-0,017
20,9	28800	29026	28843	60	28578	100	1,116	1,160	0,004	-0,038
23,9	31750	31619	31332	60	31255	104	1,201	1,268	0,004	-0,053
26,9	32894	32796	32794	60	32516	106	1,266	1,320	0,004	-0,041
29,9	33689	33692	33791	60	33412	107	1,308	1,356	0,004	-0,036
32,9	33668	33478	33566	60	33259	107	1,324	1,350	0,004	-0,019
35,9	32420	32605	32507	60	32199	106	1,314	1,307	0,004	0,006
38,9	31452	31489	31317	60	31107	104	1,278	1,262	0,004	0,012
41,9	29470	29364	29646	60	29181	101	1,219	1,184	0,004	0,030
44,9	27156	27232	27058	60	26837	97	1,139	1,089	0,004	0,046
48,9	23348	23342	23146	60	22967	90	1,002	0,932	0,004	0,075
51,9	20619	20447	20827	60	20319	85	0,879	0,825	0,003	0,066
54,9	17836	17883	17876	60	17553	79	0,746	0,712	0,003	0,047
57,9	15045	14994	15064	60	14722	73	0,610	0,597	0,003	0,021
60,9	12213	12259	12354	60	11963	66	0,481	0,485	0,003	-0,010
63,9	10157	10165	10221	60	9869	61	0,372	0,400	0,002	-0,072
66,9	8872	8847	8950	60	8578	57	0,276	0,348	0,002	-0,207
69,9	6581	6602	6713	60	6320	50	0,188	0,256	0,002	-0,269
72,9	4319	4376	4408	60	4056	42	0,119	0,165	0,002	-0,276
73,9	3796	3775	3674	60	3436	40	0,102	0,139	0,002	-0,272
74,9	3226	3231	3216	60	2912	37	0,087	0,118	0,002	-0,263
75,9	2754	2724	2682	60	2408	35	0,076	0,098	0,001	-0,227
76,9	12020	--	--	300	2092	28	0,066	0,085	0,001	-0,221
77,9	10316	--	--	300	1751	27	0,059	0,071	0,001	-0,170
78,9	10470	--	--	360	1433	25	0,053	0,058	0,001	-0,081
79,9	10778	--	--	420	1228	23	0,049	0,050	0,001	-0,022
80,9	10809	--	--	480	1039	22	0,045	0,042	0,001	0,057

Tabela A24 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-04.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-04a	Medida posição NS-04b	Medida posição NS-04c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	15004	15014	15107	60	14730	73	0,825	0,909	0,005	-0,301
7,9	15466	15547	15912	60	15330	74	0,828	0,946	0,005	-0,326
8,9	15908	15775	15678	60	15475	75	0,816	0,955	0,005	-0,342
9,9	15948	16062	16059	60	15711	75	0,800	0,970	0,005	-0,365
10,9	16196	16405	16157	60	15941	76	0,786	0,984	0,005	-0,385
11,9	16982	16608	16615	60	16423	77	0,799	1,014	0,005	-0,393
12,9	17542	17407	17668	60	17227	78	0,833	1,063	0,005	-0,397
13,9	18324	18433	18421	60	18081	80	0,872	1,116	0,005	-0,398
15,9	20095	20286	20043	60	19829	84	0,952	1,224	0,005	-0,401
17,9	20866	20908	20947	60	20595	85	1,026	1,271	0,005	-0,379
20,9	21787	21487	21782	60	21373	87	1,120	1,319	0,005	-0,346
23,9	21748	21743	21854	60	21470	87	1,196	1,325	0,005	-0,305
26,9	21850	21967	21841	60	21574	87	1,254	1,331	0,005	-0,275
29,9	21656	21713	21354	60	21262	87	1,290	1,312	0,005	-0,243
32,9	21300	21080	21155	60	20866	86	1,302	1,288	0,005	-0,221
35,9	20170	20161	19993	60	19796	84	1,288	1,222	0,005	-0,188
38,9	18767	18830	18798	60	18486	81	1,248	1,141	0,005	-0,158
41,9	17026	17237	17528	60	16952	78	1,187	1,046	0,005	-0,127
44,9	15760	15824	15556	60	15401	74	1,105	0,950	0,005	-0,105
48,9	13260	13368	13379	60	13024	69	0,969	0,804	0,004	-0,072
51,9	11523	11737	11809	60	11378	65	0,849	0,702	0,004	-0,069
54,9	9733	9967	9879	60	9548	60	0,719	0,589	0,004	-0,060
57,9	15970	--	--	120	7673	66	0,590	0,474	0,004	-0,040
60,9	13354	--	--	120	6365	60	0,490	0,393	0,004	-0,039
63,9	14157	--	--	120	6767	62	0,494	0,418	0,004	-0,089
66,9	14602	--	--	120	6989	63	0,474	0,431	0,004	-0,155
69,9	10522	--	--	120	4949	54	0,337	0,305	0,003	-0,151
72,9	9992	--	--	180	3019	38	0,211	0,186	0,002	-0,128
73,9	11417	--	--	240	2542	32	0,179	0,157	0,002	-0,122
74,9	9723	--	--	240	2119	30	0,153	0,131	0,002	-0,100
75,9	10214	--	--	300	1731	27	0,132	0,107	0,002	-0,048
76,9	10666	--	--	360	1466	25	0,115	0,090	0,002	-0,019
77,9	9132	--	--	360	1210	24	0,103	0,075	0,001	0,059
78,9	9278	--	--	420	1013	22	0,093	0,063	0,001	0,145
79,9	8281	--	--	420	871	22	0,085	0,054	0,001	0,213
80,9	7242	--	--	420	723	21	0,077	0,045	0,001	0,337

Tabela A25 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-05.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-05a	Medida posição NS-05b	Medida posição NS-05c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	13776	13628	13726	60	13398	70	0,919	1,053	0,006	-0,127
7,9	12864	13080	13059	60	12689	68	0,910	0,998	0,005	-0,088
8,9	12172	12224	12264	60	11908	66	0,883	0,936	0,005	-0,057
9,9	11358	11265	11360	60	11016	64	0,850	0,866	0,005	-0,018
10,9	10541	10428	10682	60	10238	62	0,821	0,805	0,005	0,019
11,9	10133	10250	10091	60	9846	61	0,824	0,774	0,005	0,064
12,9	10392	10574	10661	60	10230	62	0,852	0,804	0,005	0,060
13,9	11062	11306	11133	60	10855	64	0,889	0,853	0,005	0,042
15,9	12361	12561	12705	60	12230	67	0,966	0,962	0,005	0,004
17,9	13701	13783	14019	60	13522	70	1,038	1,063	0,006	-0,024
20,9	15284	15254	15107	60	14903	73	1,130	1,172	0,006	-0,036
23,9	16050	16229	16027	60	15790	75	1,205	1,241	0,006	-0,030
26,9	16822	17093	17037	60	16672	77	1,261	1,311	0,006	-0,038
29,9	17347	17170	17272	60	16951	78	1,295	1,333	0,006	-0,028
32,9	17108	17236	17179	60	16862	78	1,305	1,326	0,006	-0,016
35,9	16649	16605	16605	60	16308	76	1,286	1,282	0,006	0,003
38,9	15821	15833	15887	60	15535	75	1,240	1,221	0,006	0,015
41,9	15067	14901	14908	60	14647	73	1,173	1,152	0,006	0,018
44,9	13862	13642	13850	60	13473	70	1,087	1,059	0,006	0,026
48,9	11899	11890	12136	60	11663	66	0,949	0,917	0,005	0,034
51,9	10603	10403	10607	60	10226	62	0,830	0,804	0,005	0,032
54,9	8921	9090	9002	60	8692	58	0,702	0,683	0,005	0,027
57,9	7334	7485	7537	60	7140	53	0,576	0,561	0,004	0,026
60,9	6337	6439	6288	60	6043	49	0,484	0,475	0,004	0,019
63,9	7232	7315	7193	60	6935	52	0,513	0,545	0,004	-0,060
66,9	7551	7611	7491	60	7239	53	0,508	0,569	0,004	-0,107
69,9	5435	5376	5278	60	5051	46	0,361	0,397	0,004	-0,092
72,9	3367	3328	3377	60	3045	38	0,223	0,239	0,003	-0,068
73,9	2779	2732	2780	60	2452	35	0,188	0,193	0,003	-0,024
74,9	11970	--	--	300	2082	28	0,160	0,164	0,002	-0,022
75,9	10300	--	--	300	1748	27	0,138	0,137	0,002	0,004
76,9	10489	--	--	360	1436	25	0,120	0,113	0,002	0,063
77,9	10463	--	--	420	1183	23	0,107	0,093	0,002	0,149
78,9	10493	--	--	480	1000	22	0,097	0,079	0,002	0,229
79,9	10143	--	--	540	815	21	0,088	0,064	0,002	0,374
80,9	10018	--	--	600	690	20	0,081	0,054	0,002	0,484

Tabela A26 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-06.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-06a	Medida posição NS-06b	Medida posição NS-06c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	15866	15941	15766	60	15546	75	0,915	0,978	0,005	-0,016
7,9	15123	15115	15309	60	14870	73	0,907	0,935	0,005	0,020
8,9	14267	14399	14245	60	13992	71	0,881	0,880	0,004	0,053
9,9	13327	13216	13248	60	12952	69	0,850	0,815	0,004	0,097
10,9	12443	12349	12448	60	12101	67	0,822	0,761	0,004	0,135
11,9	12345	12207	12084	60	11900	66	0,826	0,749	0,004	0,161
12,9	12829	12634	12495	60	12341	67	0,855	0,776	0,004	0,159
13,9	13510	13477	13612	60	13221	69	0,892	0,832	0,004	0,128
15,9	15288	15396	15215	60	14988	74	0,970	0,943	0,005	0,082
17,9	17156	17152	16679	60	16684	77	1,043	1,050	0,005	0,045
20,9	18883	19048	18655	60	18550	81	1,136	1,167	0,005	0,024
23,9	20180	20142	20251	60	19879	84	1,212	1,251	0,005	0,019
26,9	21042	21039	21149	60	20765	86	1,268	1,306	0,005	0,021
29,9	21454	21560	20993	60	21024	86	1,303	1,323	0,005	0,036
32,9	21700	21488	21699	60	21317	87	1,311	1,341	0,005	0,029
35,9	21476	21437	21256	60	21078	86	1,290	1,326	0,005	0,024
38,9	20237	20271	20254	60	19942	84	1,241	1,255	0,005	0,040
41,9	18915	18874	18854	60	18569	81	1,170	1,168	0,005	0,053
44,9	17242	17101	17293	60	16900	78	1,081	1,063	0,005	0,070
48,9	14873	15015	14879	60	14610	73	0,941	0,919	0,005	0,077
51,9	13192	12980	13381	60	12872	69	0,823	0,810	0,004	0,068
54,9	11263	11356	11330	60	11004	64	0,696	0,692	0,004	0,057
57,9	9021	9160	9203	60	8816	58	0,570	0,555	0,004	0,081
60,9	7756	7749	7829	60	7466	54	0,478	0,470	0,003	0,069
63,9	8562	8483	8583	60	8231	56	0,501	0,518	0,004	0,018
66,9	8804	8786	8840	60	8498	57	0,493	0,535	0,004	-0,030
69,9	6366	6169	6272	60	5957	49	0,347	0,375	0,003	-0,026
72,9	3849	3781	3698	60	3464	40	0,213	0,218	0,003	0,028
73,9	3093	3152	3282	60	2864	37	0,179	0,180	0,002	0,046
74,9	2642	2756	2717	60	2393	35	0,152	0,151	0,002	0,063
75,9	11494	--	--	300	1987	28	0,131	0,125	0,002	0,101
76,9	9920	--	--	300	1672	27	0,114	0,105	0,002	0,137
77,9	10084	--	--	360	1369	24	0,101	0,086	0,002	0,234
78,9	10246	--	--	420	1152	23	0,091	0,072	0,001	0,326
79,9	9978	--	--	480	935	22	0,083	0,059	0,001	0,488
80,9	9790	--	--	540	776	21	0,076	0,049	0,001	0,640

Tabela A27 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-07.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-07a	Medida posição NS-07b	Medida posição NS-07c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	17898	18185	18088	60	17745	80	0,912	0,986	0,004	-0,076
7,9	17331	17042	17233	60	16890	78	0,904	0,939	0,004	-0,038
8,9	16162	16219	16161	60	15869	76	0,878	0,882	0,004	-0,005
9,9	14876	14803	15083	60	14609	73	0,847	0,812	0,004	0,043
10,9	14032	14149	14213	60	13819	71	0,819	0,768	0,004	0,066
11,9	13874	14085	14021	60	13681	71	0,823	0,761	0,004	0,083
12,9	14843	14816	15130	60	14618	73	0,853	0,813	0,004	0,049
13,9	15807	15738	15764	60	15458	75	0,890	0,859	0,004	0,036
15,9	17941	18032	17867	60	17635	79	0,968	0,980	0,004	-0,013
17,9	18782	18105	18882	60	18511	82	1,020	1,000	0,005	0,020
20,9	21929	22139	22084	60	21739	88	1,134	1,208	0,005	-0,062
23,9	23679	23308	23557	60	23203	90	1,209	1,290	0,005	-0,063
26,9	24079	24383	24604	60	24043	92	1,266	1,337	0,005	-0,053
29,9	24674	24486	24756	60	24327	92	1,300	1,352	0,005	-0,038
32,9	24794	24346	24248	60	24151	92	1,309	1,343	0,005	-0,025
35,9	23468	23730	23484	60	23249	90	1,289	1,292	0,005	-0,002
38,9	22461	22178	22666	60	22123	88	1,242	1,230	0,005	0,010
41,9	20716	20790	20903	60	20491	85	1,172	1,139	0,005	0,029
44,9	18849	19049	18962	60	18641	81	1,085	1,036	0,005	0,047
48,9	16328	16200	16457	60	16016	76	0,945	0,890	0,004	0,062
51,9	14325	14288	14358	60	14012	71	0,826	0,779	0,004	0,060
54,9	12130	12177	12271	60	11881	66	0,698	0,660	0,004	0,057
57,9	10105	9968	9974	60	9704	60	0,572	0,539	0,003	0,060
60,9	8553	8733	8776	60	8375	57	0,479	0,466	0,003	0,028
63,9	9938	9437	9663	60	9367	59	0,502	0,521	0,003	-0,036
66,9	9622	9570	9588	60	9281	59	0,493	0,516	0,003	-0,045
69,9	13041	--	--	120	6209	60	0,346	0,345	0,003	0,003
72,9	16112	--	--	240	3716	36	0,212	0,207	0,002	0,024
73,9	13482	--	--	240	3059	34	0,178	0,170	0,002	0,045
74,9	11322	--	--	240	2519	32	0,151	0,140	0,002	0,077
75,9	12011	--	--	300	2090	28	0,130	0,116	0,002	0,115
76,9	10196	--	--	300	1727	27	0,112	0,096	0,002	0,172
77,9	10302	--	--	360	1405	24	0,100	0,078	0,001	0,280
78,9	10403	--	--	420	1174	23	0,090	0,065	0,001	0,384
79,9	10426	--	--	480	991	22	0,082	0,055	0,001	0,493
80,9	9226	--	--	480	841	21	0,075	0,047	0,001	0,609

Tabela A28 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-08.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-08a	Medida posição NS-08b	Medida posição NS-08c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	20105	20304	20339	60	19937	84	0,907	1,017	0,004	-0,108
7,9	19796	19639	19400	60	19300	83	0,900	0,984	0,004	-0,086
8,9	18495	18287	18357	60	18068	80	0,875	0,921	0,004	-0,051
9,9	17114	16856	17292	60	16775	78	0,845	0,855	0,004	-0,013
10,9	15768	15742	16084	60	15553	75	0,817	0,793	0,004	0,030
11,9	15629	15748	15725	60	15389	74	0,822	0,785	0,004	0,047
12,9	16230	16247	16452	60	15998	76	0,851	0,816	0,004	0,044
13,9	17335	17607	17433	60	17146	78	0,889	0,874	0,004	0,016
15,9	19607	19790	19534	60	19332	83	0,967	0,986	0,004	-0,019
17,9	21706	21604	21621	60	21332	87	1,039	1,088	0,004	-0,044
20,9	23766	23880	23995	60	23568	91	1,133	1,202	0,005	-0,057
23,9	25460	25340	25559	60	25141	94	1,209	1,282	0,005	-0,057
26,9	26347	26344	26169	60	25975	95	1,266	1,325	0,005	-0,045
29,9	26549	26533	26668	60	26271	96	1,301	1,340	0,005	-0,029
32,9	26220	26708	26429	60	26140	96	1,310	1,333	0,005	-0,017
35,9	25631	25597	25565	60	25286	94	1,290	1,289	0,005	0,001
38,9	24440	24447	24673	60	24208	92	1,242	1,234	0,005	0,006
41,9	22668	22511	22625	60	22289	89	1,172	1,137	0,005	0,031
44,9	20734	20458	20654	60	20303	85	1,085	1,035	0,004	0,048
48,9	17716	18012	17931	60	17574	79	0,946	0,896	0,004	0,056
51,9	15677	15544	15622	60	15302	74	0,827	0,780	0,004	0,060
54,9	13403	13127	13389	60	12994	69	0,699	0,663	0,004	0,055
57,9	10884	10958	11075	60	10660	63	0,573	0,544	0,003	0,053
60,9	9353	9195	9347	60	8986	58	0,479	0,458	0,003	0,046
63,9	10281	10373	10371	60	10030	61	0,502	0,511	0,003	-0,019
66,9	10773	10833	10862	60	10511	63	0,492	0,536	0,003	-0,082
69,9	7593	7694	7568	60	7306	53	0,346	0,373	0,003	-0,073
72,9	4605	4485	4487	60	4214	43	0,211	0,215	0,002	-0,018
73,9	3772	3772	3853	60	3487	40	0,177	0,178	0,002	-0,004
74,9	3246	3206	3213	60	2910	37	0,150	0,148	0,002	0,012
75,9	2710	2639	2759	60	2391	35	0,129	0,122	0,002	0,058
76,9	11709	--	--	300	2030	28	0,112	0,104	0,001	0,081
77,9	9769	--	--	300	1642	27	0,099	0,084	0,001	0,187
78,9	11581	--	--	420	1342	23	0,090	0,068	0,001	0,313
79,9	9800	--	--	420	1088	23	0,082	0,055	0,001	0,475
80,9	10011	--	--	480	939	22	0,075	0,048	0,001	0,563

Tabela A29 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-09.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-09a	Medida posição NS-09b	Medida posição NS-09c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	21595	21700	21514	60	21291	87	0,904	1,016	0,004	-0,110
7,9	21130	21077	20833	60	20701	86	0,896	0,987	0,004	-0,093
8,9	20007	19827	19698	60	19532	83	0,870	0,932	0,004	-0,066
9,9	18375	17977	18319	60	17912	80	0,839	0,854	0,004	-0,018
10,9	16677	16601	16644	60	16329	77	0,811	0,779	0,004	0,041
11,9	16347	16174	16364	60	15983	76	0,815	0,762	0,004	0,069
12,9	16768	16725	16966	60	16508	77	0,844	0,787	0,004	0,072
13,9	17725	17749	17669	60	17402	79	0,881	0,830	0,004	0,061
15,9	19291	19585	19619	60	19186	83	0,958	0,915	0,004	0,047
17,9	21525	21089	21271	60	20983	86	1,030	1,001	0,004	0,029
20,9	25596	25520	25487	60	25222	94	1,123	1,203	0,004	-0,067
23,9	27145	26807	26707	60	26574	96	1,198	1,268	0,005	-0,055
26,9	28187	28216	28178	60	27882	99	1,254	1,330	0,005	-0,057
29,9	28756	28896	28753	60	28490	100	1,290	1,359	0,005	-0,051
32,9	28668	28568	28922	60	28407	99	1,301	1,355	0,005	-0,040
35,9	27878	27768	27834	60	27515	98	1,285	1,313	0,005	-0,021
38,9	26334	26541	26521	60	26153	96	1,243	1,248	0,005	-0,004
41,9	24600	24798	24428	60	24297	92	1,180	1,159	0,004	0,018
44,9	22530	22690	22467	60	22250	89	1,096	1,061	0,004	0,033
48,9	19422	19414	19327	60	19076	82	0,959	0,910	0,004	0,054
51,9	16816	16922	16852	60	16551	77	0,839	0,790	0,004	0,063
54,9	14516	14127	14357	60	14021	71	0,710	0,669	0,003	0,062
57,9	11948	11846	11629	60	11496	65	0,582	0,548	0,003	0,061
60,9	9779	9993	9846	60	9561	60	0,488	0,456	0,003	0,070
63,9	11088	11491	11219	60	10954	64	0,514	0,523	0,003	-0,016
66,9	11824	11627	11822	60	11446	65	0,507	0,546	0,003	-0,071
69,9	8277	8296	8169	60	7935	55	0,357	0,379	0,003	-0,058
72,9	5182	4983	4975	60	4735	45	0,218	0,226	0,002	-0,036
73,9	4171	4102	4251	60	3863	41	0,183	0,184	0,002	-0,008
74,9	3565	3540	3510	60	3226	39	0,155	0,154	0,002	0,007
75,9	2955	2930	2975	60	2641	36	0,133	0,126	0,002	0,056
76,9	2623	2596	2619	60	2301	34	0,115	0,110	0,002	0,051
77,9	2191	2097	2104	60	1819	32	0,103	0,087	0,002	0,181
78,9	1829	1815	1818	60	1509	30	0,093	0,072	0,001	0,287
79,9	15716	--	--	600	1260	22	0,084	0,060	0,001	0,403
80,9	13682	--	--	600	1056	21	0,077	0,050	0,001	0,531

Tabela A30 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-10.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-10a	Medida posição NS-10b	Medida posição NS-10c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	22997	23138	23097	60	22765	89	0,902	1,027	0,004	-0,122
7,9	22590	21803	22080	60	21846	88	0,894	0,986	0,004	-0,093
8,9	20710	20426	20674	60	20291	85	0,868	0,915	0,004	-0,052
9,9	18798	19054	19014	60	18643	81	0,837	0,841	0,004	-0,005
10,9	17359	17223	17267	60	16971	78	0,809	0,766	0,004	0,056
11,9	16594	16669	16544	60	16290	76	0,813	0,735	0,003	0,106
12,9	17167	17044	16875	60	16717	77	0,842	0,754	0,003	0,116
13,9	18146	18179	18021	60	17803	80	0,878	0,803	0,004	0,094
15,9	20011	20060	20246	60	19794	84	0,955	0,893	0,004	0,070
17,9	22406	22326	22525	60	22107	88	1,027	0,997	0,004	0,030
20,9	25429	25511	25357	60	25120	94	1,119	1,133	0,004	-0,012
23,9	27546	27408	27631	60	27216	97	1,194	1,228	0,004	-0,027
26,9	28916	29150	29431	60	28854	100	1,251	1,302	0,005	-0,039
29,9	29624	30045	30066	60	29600	101	1,286	1,335	0,005	-0,037
32,9	30459	30003	30212	60	29913	102	1,298	1,350	0,005	-0,038
35,9	29762	29213	29610	60	29216	101	1,283	1,318	0,005	-0,027
38,9	28005	28123	28212	60	27801	98	1,243	1,254	0,004	-0,009
41,9	26516	26522	26304	60	26135	96	1,182	1,179	0,004	0,002
44,9	24398	24698	24391	60	24184	92	1,100	1,091	0,004	0,008
48,9	21143	21320	21189	60	20905	86	0,964	0,943	0,004	0,022
51,9	18954	18732	18919	60	18556	81	0,844	0,837	0,004	0,008
54,9	16024	16013	15854	60	15652	75	0,714	0,706	0,003	0,011
57,9	12913	12937	13055	60	12656	68	0,585	0,571	0,003	0,024
60,9	10688	10940	10818	60	10503	63	0,491	0,474	0,003	0,036
63,9	11907	11992	11630	60	11531	65	0,519	0,520	0,003	-0,003
66,9	12830	12907	12783	60	12528	68	0,513	0,565	0,003	-0,093
69,9	9207	9179	9110	60	8853	58	0,361	0,399	0,003	-0,097
72,9	5580	5687	5667	60	5333	47	0,220	0,241	0,002	-0,085
73,9	4835	4733	4719	60	4450	44	0,185	0,201	0,002	-0,079
74,9	3951	3912	3955	60	3627	40	0,157	0,164	0,002	-0,042
75,9	3283	3316	3234	60	2966	37	0,135	0,134	0,002	0,005
76,9	2811	2784	2791	60	2483	35	0,117	0,112	0,002	0,042
77,9	2387	2405	2473	60	2110	33	0,104	0,095	0,001	0,089
78,9	2094	2110	2113	60	1794	32	0,094	0,081	0,001	0,158
79,9	1732	1660	1783	60	1413	30	0,085	0,064	0,001	0,338
80,9	1523	1575	1499	60	1220	29	0,078	0,055	0,001	0,417

Tabela A31 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-11.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-11a	Medida posição NS-11b	Medida posição NS-11c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	22135	22082	21943	60	21741	88	0,904	1,018	0,004	-0,112
7,9	21617	21527	21591	60	21266	87	0,896	0,996	0,004	-0,101
8,9	20302	20511	20302	60	20060	84	0,870	0,939	0,004	-0,074
9,9	18944	18767	18813	60	18529	81	0,839	0,868	0,004	-0,033
10,9	17637	17435	17309	60	17148	78	0,811	0,803	0,004	0,010
11,9	17323	17240	17128	60	16918	78	0,815	0,792	0,004	0,029
12,9	18156	17998	17705	60	17641	79	0,844	0,826	0,004	0,022
13,9	18687	18719	18861	60	18444	81	0,881	0,864	0,004	0,020
15,9	21185	21302	21367	60	20973	86	0,958	0,982	0,004	-0,024
17,9	23732	23851	23507	60	23385	91	1,030	1,095	0,004	-0,059
20,9	26114	26123	26194	60	25832	95	1,123	1,210	0,004	-0,072
23,9	27836	27826	27814	60	27513	98	1,198	1,289	0,005	-0,070
26,9	28527	28525	28657	60	28258	99	1,254	1,323	0,005	-0,052
29,9	28855	28879	29078	60	28625	100	1,290	1,341	0,005	-0,038
32,9	29006	28472	28581	60	28374	99	1,301	1,329	0,005	-0,021
35,9	27923	27525	27568	60	27360	98	1,285	1,281	0,005	0,003
38,9	26267	26017	26145	60	25831	95	1,243	1,210	0,004	0,028
41,9	24473	24577	24442	60	24185	92	1,180	1,133	0,004	0,041
44,9	22629	22295	22409	60	22132	88	1,096	1,037	0,004	0,058
48,9	19352	19717	19549	60	19227	83	0,959	0,900	0,004	0,065
51,9	17023	17240	17328	60	16885	78	0,839	0,791	0,004	0,061
54,9	14384	14496	14395	60	14113	72	0,710	0,661	0,003	0,074
57,9	11975	12072	11970	60	11694	66	0,582	0,548	0,003	0,062
60,9	9958	10047	9975	60	9681	60	0,488	0,453	0,003	0,076
63,9	11036	11258	11046	60	10801	63	0,514	0,506	0,003	0,017
66,9	11785	11675	11681	60	11402	65	0,507	0,534	0,003	-0,050
69,9	8381	8302	8366	60	8038	56	0,357	0,376	0,003	-0,053
72,9	5026	4897	4999	60	4662	44	0,218	0,218	0,002	-0,003
73,9	4191	4123	4155	60	3844	41	0,183	0,180	0,002	0,015
74,9	3490	3351	3526	60	3144	38	0,155	0,147	0,002	0,053
75,9	3093	2981	2967	60	2702	36	0,133	0,127	0,002	0,051
76,9	2536	2506	2559	60	2222	34	0,115	0,104	0,002	0,109
77,9	10819	--	--	300	1852	27	0,103	0,087	0,001	0,182
78,9	11092	--	--	360	1537	25	0,093	0,072	0,001	0,287
79,9	11657	--	--	420	1353	23	0,084	0,063	0,001	0,331
80,9	11408	--	--	480	1114	22	0,077	0,052	0,001	0,478

Tabela A32 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-12.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-12a	Medida posição NS-12b	Medida posição NS-12c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	21951	21655	21955	60	21542	87	0,907	1,007	0,004	-0,100
7,9	21067	21446	21338	60	20972	86	0,900	0,981	0,004	-0,083
8,9	20371	20248	20210	60	19964	84	0,875	0,933	0,004	-0,063
9,9	18653	18801	18856	60	18458	81	0,845	0,863	0,004	-0,021
10,9	17443	17447	17241	60	17065	78	0,817	0,798	0,004	0,024
11,9	17081	17273	17247	60	16888	78	0,822	0,790	0,004	0,041
12,9	17785	17831	17636	60	17439	79	0,851	0,815	0,004	0,044
13,9	18763	18801	18782	60	18470	81	0,889	0,864	0,004	0,029
15,9	21354	21079	20751	60	20749	86	0,967	0,970	0,004	-0,003
17,9	23047	23051	23128	60	22763	89	1,039	1,064	0,004	-0,023
20,9	25281	25709	25798	60	25284	94	1,133	1,182	0,004	-0,042
23,9	27062	27623	27475	60	27075	97	1,209	1,266	0,005	-0,045
26,9	28710	28784	28701	60	28420	99	1,266	1,329	0,005	-0,048
29,9	29311	29299	29270	60	28981	100	1,301	1,355	0,005	-0,040
32,9	29518	29653	29620	60	29285	101	1,310	1,369	0,005	-0,043
35,9	28761	28778	28746	60	28450	99	1,290	1,330	0,005	-0,030
38,9	27086	26965	27021	60	26712	97	1,242	1,249	0,005	-0,005
41,9	25048	24683	24976	60	24590	93	1,172	1,150	0,004	0,020
44,9	22493	22541	22622	60	22240	88	1,085	1,040	0,004	0,044
48,9	19167	19687	19373	60	19097	82	0,946	0,893	0,004	0,059
51,9	16912	17036	17189	60	16734	77	0,827	0,782	0,004	0,057
54,9	14258	14525	14184	60	14010	71	0,699	0,655	0,003	0,068
57,9	11843	11721	11584	60	11404	65	0,573	0,533	0,003	0,074
60,9	9682	9580	9666	60	9331	59	0,479	0,436	0,003	0,099
63,9	10240	10197	10383	60	9961	61	0,502	0,466	0,003	0,077
66,9	10818	10949	10947	60	10593	63	0,492	0,495	0,003	-0,006
69,9	7723	7862	7725	60	7458	54	0,346	0,349	0,003	-0,009
72,9	4704	4721	4815	60	4435	44	0,211	0,207	0,002	0,018
73,9	4025	4010	3959	60	3686	41	0,177	0,172	0,002	0,028
74,9	3444	3315	3346	60	3056	38	0,150	0,143	0,002	0,052
75,9	2843	2803	2692	60	2467	35	0,129	0,115	0,002	0,118
76,9	11934	--	--	300	2075	28	0,112	0,097	0,001	0,154
77,9	10234	--	--	300	1735	27	0,099	0,081	0,001	0,226
78,9	10529	--	--	360	1443	25	0,090	0,067	0,001	0,332
79,9	9201	--	--	360	1221	24	0,082	0,057	0,001	0,433
80,9	7831	--	--	360	993	23	0,075	0,046	0,001	0,612

Tabela A33 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-13.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-13a	Medida posição NS-13b	Medida posição NS-13c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	--	--	20286	60	19974	142	0,912	1,010	0,007	-0,097
7,9	--	--	19916	--	19604	141	0,904	0,991	0,007	-0,088
8,9	--	--	19266	--	18954	139	0,878	0,958	0,007	-0,084
9,9	--	--	17866	--	17554	134	0,847	0,887	0,007	-0,045
10,9	--	--	16472	--	16160	128	0,819	0,817	0,006	0,003
11,9	--	--	15577	--	15265	125	0,823	0,772	0,006	0,067
12,9	--	--	16124	--	15812	127	0,853	0,799	0,006	0,067
13,9	--	--	16680	--	16368	129	0,890	0,827	0,007	0,075
15,9	--	--	18776	--	18464	137	0,968	0,933	0,007	0,037
17,9	--	--	21075	--	20763	145	1,040	1,050	0,007	-0,009
20,9	--	--	23477	--	23165	153	1,134	1,171	0,008	-0,032
23,9	--	--	25196	--	24884	159	1,209	1,258	0,008	-0,039
26,9	--	--	26482	--	26170	163	1,266	1,323	0,008	-0,043
29,9	--	--	26718	--	26406	163	1,300	1,335	0,008	-0,026
32,9	--	--	27411	--	27099	166	1,309	1,370	0,008	-0,044
35,9	--	--	26523	--	26211	163	1,289	1,325	0,008	-0,027
38,9	--	--	24990	--	24678	158	1,242	1,247	0,008	-0,005
41,9	--	--	23186	--	22874	152	1,172	1,156	0,008	0,014
44,9	--	--	21125	--	20813	145	1,085	1,052	0,007	0,031
48,9	--	--	18411	--	18099	136	0,945	0,915	0,007	0,033
51,9	--	--	15992	--	15680	126	0,826	0,793	0,006	0,042
54,9	--	--	13780	--	13468	117	0,698	0,681	0,006	0,026
57,9	--	--	11031	--	10719	105	0,572	0,542	0,005	0,056
60,9	--	--	9182	--	8870	96	0,479	0,448	0,005	0,068
63,9	--	--	9324	--	9012	97	0,502	0,456	0,005	0,102
66,9	--	--	9918	--	9606	100	0,493	0,486	0,005	0,015
69,9	--	--	7467	--	7155	86	0,346	0,362	0,004	-0,043
72,9	--	--	4611	--	4299	68	0,212	0,217	0,003	-0,026
73,9	--	--	3899	--	3587	62	0,178	0,181	0,003	-0,020
74,9	--	--	3303	--	2991	57	0,151	0,151	0,003	-0,002
75,9	--	--	2781	--	2469	53	0,130	0,125	0,003	0,038
76,9	--	--	2356	--	2044	49	0,112	0,103	0,002	0,089
77,9	--	--	2020	--	1708	45	0,100	0,086	0,002	0,158
78,9	--	--	1688	--	1376	41	0,090	0,070	0,002	0,299
79,9	--	--	1446	--	1134	38	0,082	0,057	0,002	0,435
80,9	--	--	1302	--	990	36	0,075	0,050	0,002	0,504

Tabela A34 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-14.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-14a	Medida posição NS-14b	Medida posição NS-14c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6,9	18139	18144	18283	60	17877	80	0,915	1,050	0,005	-0,128
7,9	17706	17783	17611	60	17388	79	0,907	1,021	0,005	-0,112
8,9	16690	16412	16648	60	16271	76	0,881	0,955	0,004	-0,078
9,9	15299	15134	15210	60	14902	73	0,850	0,875	0,004	-0,029
10,9	14022	14188	14313	60	13862	71	0,822	0,814	0,004	0,009
11,9	13993	13895	13805	60	13586	70	0,826	0,798	0,004	0,035
12,9	14157	14283	14199	60	13901	71	0,855	0,816	0,004	0,048
13,9	15405	15125	15083	60	14892	73	0,892	0,874	0,004	0,021
15,9	16977	16869	16884	60	16598	77	0,970	0,975	0,005	-0,004
17,9	18536	19014	18861	60	18492	81	1,043	1,086	0,005	-0,039
20,9	19674	19704	19873	60	19438	83	1,136	1,141	0,005	-0,004
23,9	21119	21327	21075	60	20862	86	1,212	1,225	0,005	-0,011
26,9	22654	22811	22774	60	22434	89	1,268	1,317	0,005	-0,037
29,9	23381	23609	23340	60	23131	90	1,303	1,358	0,005	-0,041
32,9	23598	23742	23638	60	23347	91	1,311	1,371	0,005	-0,043
35,9	22970	22921	22868	60	22608	89	1,290	1,327	0,005	-0,028
38,9	21538	21412	21821	60	21278	87	1,241	1,249	0,005	-0,007
41,9	19971	19891	20062	60	19663	83	1,170	1,154	0,005	0,013
44,9	18140	18529	17904	60	17879	80	1,081	1,050	0,005	0,030
48,9	15611	15731	15672	60	15359	74	0,941	0,902	0,004	0,044
51,9	13451	13590	13661	60	13255	70	0,823	0,778	0,004	0,057
54,9	11723	11543	11505	60	11278	65	0,696	0,662	0,004	0,051
57,9	9753	9478	9530	60	9275	59	0,570	0,545	0,003	0,047
60,9	7774	7915	7846	60	7533	54	0,478	0,442	0,003	0,080
63,9	8309	8397	8199	60	7990	55	0,501	0,469	0,003	0,068
66,9	8812	8932	8724	60	8511	57	0,493	0,500	0,003	-0,014
69,9	6418	6464	6266	60	6071	49	0,347	0,356	0,003	-0,026
72,9	3852	3944	3919	60	3593	40	0,213	0,211	0,002	0,010
73,9	9720	--	--	180	2928	37	0,179	0,172	0,002	0,042
74,9	11101	--	--	240	2463	32	0,152	0,145	0,002	0,052
75,9	11748	--	--	300	2038	28	0,131	0,120	0,002	0,093
76,9	12157	--	--	300	2119	28	0,114	0,124	0,002	-0,086
77,9	10290	--	--	360	1403	24	0,101	0,082	0,001	0,227
78,9	10415	--	--	420	1176	23	0,091	0,069	0,001	0,323
79,9	10230	--	--	480	967	22	0,083	0,057	0,001	0,466
80,9	10116	--	--	540	812	21	0,076	0,048	0,001	0,596

Tabela A35 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-15.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-15a	Medida posição NS-15b	Medida posição NS-15c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	16308	16063	16201	60	15879	76	0.919	1.088	0.005	-0.155
7.9	15302	15529	15444	60	15113	74	0.910	1.035	0.005	-0.121
8.9	14492	14650	14523	60	14243	72	0.883	0.976	0.005	-0.095
9.9	13314	13486	13459	60	13108	69	0.850	0.898	0.005	-0.053
10.9	12389	12413	12508	60	12125	67	0.821	0.831	0.005	-0.012
11.9	12173	12050	11872	60	11720	66	0.824	0.803	0.005	0.026
12.9	12298	12197	12392	60	11984	66	0.852	0.821	0.005	0.038
13.9	13124	12798	12985	60	12657	68	0.889	0.867	0.005	0.025
15.9	13807	13860	13775	60	13502	70	0.966	0.925	0.005	0.044
17.9	15522	15157	15399	60	15047	74	1.038	1.031	0.005	0.007
20.9	16994	16930	17037	60	16675	77	1.130	1.142	0.005	-0.011
23.9	18724	18487	18531	60	18269	81	1.205	1.252	0.006	-0.037
26.9	19526	19657	19768	60	19338	83	1.261	1.325	0.006	-0.048
29.9	20310	20175	20285	60	19945	84	1.295	1.366	0.006	-0.052
32.9	20287	20181	20219	60	19917	84	1.305	1.364	0.006	-0.044
35.9	19854	19849	19872	60	19546	83	1.286	1.339	0.006	-0.040
38.9	18569	18610	18806	60	18350	81	1.240	1.257	0.006	-0.013
41.9	17285	17525	17169	60	17014	78	1.173	1.166	0.005	0.006
44.9	15819	15701	15491	60	15358	74	1.087	1.052	0.005	0.033
48.9	13387	13380	13369	60	13067	69	0.949	0.895	0.005	0.060
51.9	11852	11753	11774	60	11481	65	0.830	0.787	0.004	0.055
54.9	9857	10068	9700	60	9563	60	0.702	0.655	0.004	0.072
57.9	8052	8124	8117	60	7786	55	0.576	0.533	0.004	0.080
60.9	6684	6918	6803	60	6490	51	0.484	0.445	0.003	0.089
63.9	7331	7329	7410	60	7045	53	0.513	0.483	0.004	0.062
66.9	7856	7847	7878	60	7548	54	0.508	0.517	0.004	-0.017
69.9	5699	5638	5634	60	5345	47	0.361	0.366	0.003	-0.015
72.9	3494	3399	3436	60	3131	38	0.223	0.214	0.003	0.040
73.9	2922	2881	2957	60	2608	36	0.188	0.179	0.002	0.053
74.9	2472	2438	2518	60	2164	34	0.160	0.148	0.002	0.080
75.9	10695	--	--	300	1827	27	0.138	0.125	0.002	0.102
76.9	11129	--	--	360	1543	25	0.120	0.106	0.002	0.136
77.9	10965	--	--	420	1254	23	0.107	0.086	0.002	0.244
78.9	10875	--	--	480	1047	22	0.097	0.072	0.002	0.347
79.9	10821	--	--	540	890	21	0.088	0.061	0.001	0.444
80.9	10760	--	--	600	764	20	0.081	0.052	0.001	0.539

Tabela A36 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-16.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-16a	Medida posição NS-16b	Medida posição NS-16c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	14635	14492	14519	60	14237	72	0.904	1.080	0.005	-0.163
7.9	14291	14132	14246	60	13911	71	0.896	1.055	0.005	-0.151
8.9	13502	13586	13316	60	13156	69	0.871	0.998	0.005	-0.127
9.9	12442	12492	12443	60	12147	67	0.841	0.922	0.005	-0.087
10.9	11722	11504	11490	60	11260	65	0.813	0.854	0.005	-0.048
11.9	11095	10924	10958	60	10680	63	0.818	0.810	0.005	0.010
12.9	11159	11567	11557	60	11116	64	0.847	0.843	0.005	0.004
13.9	12008	11841	12104	60	11672	66	0.884	0.886	0.005	-0.002
15.9	13523	13412	13409	60	13136	69	0.961	0.997	0.005	-0.036
17.9	14964	15029	14859	60	14639	73	1.032	1.111	0.006	-0.070
20.9	15370	15618	15784	60	15279	74	1.125	1.159	0.006	-0.030
23.9	16314	16447	16602	60	16142	76	1.199	1.225	0.006	-0.021
26.9	17268	17250	17375	60	16986	78	1.255	1.289	0.006	-0.026
29.9	17672	17547	17784	60	17356	79	1.290	1.317	0.006	-0.020
32.9	17836	17936	17888	60	17575	79	1.300	1.333	0.006	-0.025
35.9	17553	17431	17680	60	17243	79	1.284	1.308	0.006	-0.019
38.9	16277	16750	16607	60	16233	76	1.241	1.232	0.006	0.008
41.9	15281	15257	15334	60	14979	74	1.177	1.136	0.006	0.036
44.9	14254	14029	14209	60	13852	71	1.094	1.051	0.005	0.041
48.9	12219	12021	12419	60	11908	66	0.957	0.903	0.005	0.059
51.9	10894	10694	10493	60	10382	62	0.837	0.788	0.005	0.063
54.9	9129	9097	9209	60	8833	58	0.709	0.670	0.004	0.058
57.9	7631	7563	7590	60	7283	53	0.582	0.553	0.004	0.053
60.9	6201	6362	6277	60	5968	49	0.489	0.453	0.004	0.081
63.9	6797	6952	6913	60	6575	51	0.516	0.499	0.004	0.034
66.9	7509	7648	7709	60	7310	53	0.511	0.555	0.004	-0.079
69.9	5443	5739	5660	60	5302	47	0.364	0.402	0.004	-0.095
72.9	3458	3558	3580	60	3220	39	0.226	0.244	0.003	-0.073
73.9	11711	--	--	240	2616	32	0.191	0.198	0.002	-0.035
74.9	10318	--	--	240	2268	31	0.163	0.172	0.002	-0.051
75.9	10917	--	--	300	1871	27	0.141	0.142	0.002	-0.008
76.9	11344	--	--	360	1579	25	0.123	0.120	0.002	0.024
77.9	11303	--	--	420	1303	23	0.109	0.099	0.002	0.105
78.9	11135	--	--	480	1080	22	0.099	0.082	0.002	0.206
79.9	10934	--	--	540	903	21	0.090	0.069	0.002	0.315
80.9	10635	--	--	600	751	20	0.082	0.057	0.002	0.446

Tabela A37 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-17.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-17a	Medida posição NS-17b	Medida posição NS-17c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	15124	15302	15368	60	14953	73	0.825	0.934	0.005	-0.117
7.9	15739	15757	15729	60	15430	75	0.828	0.964	0.005	-0.142
8.9	15730	16036	15959	60	15596	75	0.816	0.975	0.005	-0.163
9.9	16179	16261	16326	60	15943	76	0.800	0.996	0.005	-0.197
10.9	16308	16358	16228	60	15986	76	0.786	0.999	0.005	-0.213
11.9	16453	16429	16734	60	16227	76	0.799	1.014	0.005	-0.212
12.9	17460	17227	17273	60	17008	78	0.833	1.063	0.005	-0.217
13.9	18290	18350	18094	60	17933	80	0.872	1.121	0.005	-0.222
15.9	19781	20099	19815	60	19586	83	0.952	1.224	0.005	-0.222
17.9	21276	21046	21037	60	20808	86	1.026	1.300	0.005	-0.211
20.9	21608	21738	21681	60	21364	87	1.120	1.335	0.005	-0.161
23.9	21353	21407	21591	60	21138	86	1.196	1.321	0.005	-0.094
26.9	20887	21229	20873	60	20684	86	1.254	1.292	0.005	-0.030
29.9	20644	20889	20984	60	20527	85	1.290	1.283	0.005	0.006
32.9	20310	20242	20240	60	19952	84	1.302	1.247	0.005	0.044
35.9	19319	19368	19411	60	19054	82	1.288	1.191	0.005	0.082
38.9	18440	18527	18467	60	18166	80	1.248	1.135	0.005	0.100
41.9	17218	17193	17087	60	16854	78	1.187	1.053	0.005	0.127
44.9	15564	15548	15628	60	15268	74	1.105	0.954	0.005	0.158
48.9	13507	13391	13191	60	13051	69	0.969	0.816	0.004	0.188
51.9	11667	11861	11772	60	11455	65	0.849	0.716	0.004	0.186
54.9	9960	9936	9781	60	9580	60	0.719	0.599	0.004	0.202
57.9	8329	8379	8153	60	7975	55	0.590	0.498	0.003	0.184
60.9	6749	6814	6763	60	6463	51	0.490	0.404	0.003	0.214
63.9	7222	7270	7235	60	6930	52	0.494	0.433	0.003	0.141
66.9	7724	7839	7692	60	7440	54	0.474	0.465	0.003	0.019
69.9	5722	5609	5547	60	5314	47	0.337	0.332	0.003	0.014
72.9	3606	3629	3537	60	3279	39	0.211	0.205	0.002	0.030
73.9	12031	--	--	240	2696	33	0.179	0.168	0.002	0.062
74.9	10145	--	--	240	2224	31	0.153	0.139	0.002	0.100
75.9	11148	--	--	300	1918	28	0.132	0.120	0.002	0.102
76.9	11449	--	--	360	1596	25	0.115	0.100	0.002	0.156
77.9	11697	--	--	420	1359	23	0.103	0.085	0.001	0.209
78.9	11400	--	--	480	1113	22	0.093	0.070	0.001	0.336
79.9	11445	--	--	540	960	21	0.085	0.060	0.001	0.412
80.9	11124	--	--	600	800	21	0.077	0.050	0.001	0.550

Tabela A38 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-18.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-18a	Medida posição NS-18b	Medida posição NS-18c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	17054	17273	17052	60	16814	78	0.603	0.557	0.003	0.082
7.9	18276	18293	18289	60	17974	80	0.635	0.596	0.003	0.065
8.9	19716	19704	19703	60	19396	83	0.661	0.643	0.003	0.029
9.9	21190	21117	20997	60	20789	86	0.687	0.689	0.003	-0.003
10.9	22743	22748	22721	60	22425	89	0.715	0.743	0.003	-0.039
11.9	24254	24319	24329	60	23989	92	0.753	0.795	0.003	-0.053
12.9	25695	26054	25813	60	25542	94	0.799	0.847	0.003	-0.057
13.9	28137	28375	27924	60	27833	98	0.846	0.923	0.003	-0.083
15.9	30988	31600	31425	60	31026	104	0.936	1.029	0.003	-0.090
17.9	34753	34924	34767	60	34503	109	1.016	1.144	0.004	-0.112
20.9	38436	38837	38874	60	38404	115	1.117	1.273	0.004	-0.122
23.9	41219	41363	41254	60	40967	119	1.199	1.358	0.004	-0.117
26.9	42981	43243	43032	60	42773	121	1.262	1.418	0.004	-0.110
29.9	43233	43127	43262	60	42895	121	1.302	1.422	0.004	-0.085
32.9	42693	42450	42563	60	42257	120	1.316	1.401	0.004	-0.060
35.9	40752	40741	40901	60	40486	118	1.305	1.342	0.004	-0.028
38.9	38761	38546	38772	60	38381	115	1.268	1.272	0.004	-0.004
41.9	34786	34692	34426	60	34323	109	1.208	1.138	0.004	0.061
44.9	30926	30827	31204	60	30674	103	1.127	1.017	0.003	0.108
48.9	25700	25671	25705	60	25380	94	0.990	0.841	0.003	0.176
51.9	22017	21775	21998	60	21618	87	0.868	0.717	0.003	0.211
54.9	18305	18082	18318	60	17923	80	0.736	0.594	0.003	0.239
57.9	14606	14422	14586	60	14226	72	0.603	0.472	0.002	0.278
60.9	11369	11296	11511	60	11080	64	0.484	0.367	0.002	0.318
63.9	9878	9879	9754	60	9525	60	0.415	0.316	0.002	0.315
66.9	8548	8544	8582	60	8246	56	0.346	0.273	0.002	0.266
69.9	6041	6060	5816	60	5660	48	0.240	0.188	0.002	0.282
72.9	3740	3841	3806	60	3484	40	0.152	0.116	0.001	0.314
73.9	3241	3211	3253	60	2923	37	0.129	0.097	0.001	0.331
74.9	10959	--	--	240	2428	32	0.111	0.080	0.001	0.373
75.9	11674	--	--	300	2023	28	0.096	0.067	0.001	0.426
76.9	10141	--	--	300	1716	27	0.084	0.057	0.001	0.469
77.9	10526	--	--	360	1442	25	0.075	0.048	0.001	0.559
78.9	10726	--	--	420	1220	23	0.067	0.040	0.001	0.668
79.9	10487	--	--	480	999	22	0.062	0.033	0.001	0.857
80.9	10497	--	--	540	854	21	0.056	0.028	0.001	0.988

Tabela A39 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-19.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-19a	Medida posição NS-19b	Medida posição NS-19c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	15402	15467	15485	60	15139	74	0.483	0.568	0.003	-0.150
7.9	15837	16134	16147	60	15727	75	0.530	0.591	0.003	-0.103
8.9	16384	16624	16655	60	16242	76	0.577	0.610	0.003	-0.053
9.9	17060	17140	17332	60	16865	78	0.626	0.633	0.003	-0.012
10.9	17534	17485	17751	60	17278	79	0.675	0.649	0.003	0.041
11.9	18886	18706	18534	60	18397	81	0.727	0.691	0.003	0.053
12.9	19954	19459	20030	60	19502	83	0.780	0.732	0.003	0.066
13.9	21047	20893	21403	60	20802	86	0.832	0.781	0.003	0.065
15.9	23880	24081	24131	60	23719	91	0.927	0.891	0.003	0.041
17.9	26777	26886	26931	60	26553	96	1.011	0.997	0.004	0.014
20.9	30750	30790	30524	60	30376	103	1.116	1.141	0.004	-0.022
23.9	32797	33381	33201	60	32814	107	1.201	1.232	0.004	-0.025
26.9	34966	35033	35121	60	34728	110	1.266	1.304	0.004	-0.029
29.9	36297	35826	35950	60	35712	111	1.308	1.341	0.004	-0.025
32.9	36343	36733	36071	60	36070	112	1.324	1.354	0.004	-0.022
35.9	35878	35552	35837	60	35444	111	1.314	1.331	0.004	-0.013
38.9	35013	34640	34944	60	34554	109	1.278	1.298	0.004	-0.015
41.9	32848	32566	32578	60	32352	106	1.219	1.215	0.004	0.004
44.9	30447	30216	29950	60	29892	102	1.139	1.122	0.004	0.014
48.9	26376	26390	26262	60	26031	95	1.002	0.978	0.004	0.025
51.9	23145	22889	23153	60	22750	89	0.879	0.854	0.003	0.029
54.9	19764	19468	19449	60	19248	83	0.746	0.723	0.003	0.032
57.9	16311	16487	16021	60	15961	76	0.610	0.599	0.003	0.018
60.9	12935	12853	12886	60	12579	68	0.481	0.472	0.003	0.017
63.9	10979	10924	10975	60	10647	63	0.372	0.400	0.002	-0.070
66.9	9086	9199	8966	60	8772	58	0.276	0.329	0.002	-0.162
69.9	6282	6395	6231	60	5991	49	0.188	0.225	0.002	-0.167
72.9	4084	4014	3992	60	3718	41	0.119	0.140	0.002	-0.147
73.9	13541	--	--	240	3073	34	0.102	0.115	0.001	-0.120
74.9	11828	--	--	240	2645	32	0.087	0.099	0.001	-0.123
75.9	9957	--	--	240	2177	31	0.076	0.082	0.001	-0.076
76.9	10834	--	--	300	1855	27	0.066	0.070	0.001	-0.051
77.9	10920	--	--	360	1508	25	0.059	0.057	0.001	0.042
78.9	11110	--	--	420	1275	23	0.053	0.048	0.001	0.116
79.9	11160	--	--	480	1083	22	0.049	0.041	0.001	0.198
80.9	11085	--	--	540	920	21	0.045	0.035	0.001	0.290

Tabela A40 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-20.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-20a	Medida posição NS-20b	Medida posição NS-20c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	14979	14803	14524	60	14457	72	0.452	0.427	0.002	0.059
7.9	14839	14968	14915	60	14595	73	0.503	0.431	0.002	0.166
8.9	16667	16599	16532	60	16287	76	0.556	0.481	0.002	0.155
9.9	18136	18322	18783	60	18102	80	0.610	0.535	0.002	0.140
10.9	20319	20127	20266	60	19925	84	0.665	0.589	0.002	0.129
11.9	22280	22155	22044	60	21848	88	0.720	0.646	0.003	0.115
12.9	24236	24104	23934	60	23779	91	0.775	0.703	0.003	0.103
13.9	25872	26059	26325	60	25773	95	0.827	0.762	0.003	0.086
15.9	29797	29863	29714	60	29479	101	0.924	0.871	0.003	0.061
17.9	33475	33338	33650	60	33176	107	1.008	0.980	0.003	0.028
20.9	38063	38516	38496	60	38046	114	1.114	1.124	0.003	-0.009
23.9	42099	42310	42143	60	41872	120	1.200	1.237	0.004	-0.031
26.9	45240	45400	45070	60	44925	124	1.265	1.328	0.004	-0.047
29.9	47350	46904	47044	60	46787	127	1.308	1.383	0.004	-0.054
32.9	46992	46830	46626	60	46504	126	1.325	1.374	0.004	-0.036
35.9	46491	46510	46589	60	46218	126	1.316	1.366	0.004	-0.037
38.9	44708	44945	44572	60	44430	123	1.281	1.313	0.004	-0.025
41.9	41951	41995	41610	60	41540	119	1.223	1.228	0.004	-0.004
44.9	38641	38326	38510	60	38180	115	1.143	1.128	0.003	0.013
48.9	33656	33306	33744	60	33257	107	1.006	0.983	0.003	0.024
51.9	29608	29416	29091	60	29060	101	0.884	0.859	0.003	0.029
54.9	24861	24834	25062	60	24607	93	0.750	0.727	0.003	0.032
57.9	20527	20530	20471	60	20197	85	0.614	0.597	0.003	0.029
60.9	16327	16310	16271	60	15991	76	0.481	0.473	0.002	0.018
63.9	12415	12511	12333	60	12108	67	0.362	0.358	0.002	0.011
66.9	9060	9170	9087	60	8794	58	0.259	0.260	0.002	-0.002
69.9	6135	6121	6173	60	5831	49	0.175	0.172	0.001	0.018
72.9	3834	3865	3832	60	3532	40	0.112	0.104	0.001	0.075
73.9	3426	3300	3390	60	3060	38	0.096	0.090	0.001	0.059
74.9	11477	--	--	240	2557	32	0.082	0.076	0.001	0.091
75.9	10247	--	--	240	2250	31	0.072	0.066	0.001	0.077
76.9	10991	--	--	300	1886	27	0.063	0.056	0.001	0.126
77.9	11141	--	--	360	1545	25	0.056	0.046	0.001	0.227
78.9	9819	--	--	360	1325	24	0.051	0.039	0.001	0.297
79.9	10048	--	--	420	1123	23	0.046	0.033	0.001	0.395
80.9	10153	--	--	480	957	22	0.042	0.028	0.001	0.499

Tabela A41 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-21.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-41a	Medida posição NS-41b	Medida posição NS-41c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	12442	12345	12172	60	12008	66	0.445	0.416	0.002	0.071
7.9	12595	12364	12141	60	12055	67	0.497	0.417	0.002	0.190
8.9	13775	13740	13860	60	13480	70	0.551	0.467	0.002	0.180
9.9	15088	15198	15119	60	14823	73	0.606	0.513	0.003	0.181
10.9	16821	16925	16901	60	16570	77	0.662	0.574	0.003	0.154
11.9	18401	18177	18226	60	17956	80	0.718	0.622	0.003	0.155
12.9	20001	19921	20226	60	19737	84	0.773	0.683	0.003	0.131
13.9	21777	21612	21596	60	21350	87	0.826	0.739	0.003	0.117
15.9	24528	24723	24968	60	24428	93	0.922	0.846	0.003	0.090
17.9	27757	27993	27703	60	27506	98	1.006	0.952	0.003	0.056
20.9	32013	32318	32161	60	31852	105	1.112	1.103	0.004	0.008
23.9	35772	35819	35490	60	35382	110	1.197	1.225	0.004	-0.023
26.9	38337	38047	37984	60	37811	114	1.263	1.309	0.004	-0.035
29.9	39285	39882	39910	60	39380	116	1.306	1.364	0.004	-0.042
32.9	39839	40072	39906	60	39627	117	1.324	1.372	0.004	-0.035
35.9	39785	39456	39884	60	39396	116	1.315	1.364	0.004	-0.036
38.9	38738	38144	38339	60	38095	115	1.281	1.319	0.004	-0.029
41.9	36082	36113	35840	60	35700	111	1.224	1.236	0.004	-0.010
44.9	33718	33582	33611	60	33325	107	1.145	1.154	0.004	-0.008
48.9	29201	29135	29345	60	28915	100	1.009	1.001	0.003	0.008
51.9	25428	25924	25865	60	25427	94	0.887	0.880	0.003	0.007
54.9	22089	22074	21967	60	21731	88	0.754	0.752	0.003	0.001
57.9	18194	18159	18163	60	17860	80	0.617	0.618	0.003	-0.002
60.9	14514	14622	14404	60	14201	72	0.484	0.492	0.002	-0.016
63.9	10752	10805	10913	60	10511	63	0.361	0.364	0.002	-0.007
66.9	7928	7839	7820	60	7550	54	0.257	0.261	0.002	-0.016
69.9	5376	5337	5408	60	5062	46	0.174	0.175	0.002	-0.005
72.9	3447	3488	3471	60	3157	38	0.112	0.109	0.001	0.029
73.9	12070	--	--	240	2706	33	0.096	0.094	0.001	0.028
74.9	10393	--	--	240	2286	31	0.083	0.079	0.001	0.050
75.9	11403	--	--	300	1969	28	0.072	0.068	0.001	0.061
76.9	9821	--	--	360	1325	24	0.063	0.046	0.001	0.384
77.9	10296	--	--	300	1747	27	0.057	0.060	0.001	-0.062
78.9	10403	--	--	420	1174	23	0.051	0.041	0.001	0.266
79.9	10697	--	--	480	1025	22	0.047	0.035	0.001	0.322
80.9	10364	--	--	540	840	21	0.043	0.029	0.001	0.477

Tabela A42 - Valores de medidas de contagem no detetor e comparação com valores de fluxo de nêutrons térmicos do código "CITATION" na posição NS-22.

Cotas axiais (cm)	Medida posição NS-42a	Medida posição NS-42b	Medida posição NS-42c	Tempo medida (s)	Valor médio (cpm)	Desvio padrão (cpm)	Valor normal cálculo	valor normal medida	Desvio normal medida	Razão cálculo/ medida
6.9	9035	9012	9109	60	8740	58	0.446	0.376	0.002	0.186
7.9	9507	9640	9452	60	9221	59	0.498	0.397	0.003	0.253
8.9	10483	10520	10542	60	10203	62	0.551	0.439	0.003	0.255
9.9	11701	11910	11563	60	11413	65	0.607	0.491	0.003	0.234
10.9	12776	13055	12924	60	12606	68	0.663	0.543	0.003	0.221
11.9	14271	14270	14263	60	13956	71	0.719	0.601	0.003	0.196
12.9	15368	15422	15296	60	15050	74	0.773	0.648	0.003	0.193
13.9	16787	16873	16727	60	16484	77	0.826	0.710	0.003	0.163
15.9	19104	19207	19112	60	18829	82	0.921	0.811	0.004	0.136
17.9	21670	21719	21770	60	21408	87	1.005	0.922	0.004	0.090
20.9	25161	25110	25270	60	24868	93	1.110	1.071	0.004	0.036
23.9	28062	27818	28005	60	27650	98	1.195	1.191	0.004	0.004
26.9	30352	30130	30192	60	29913	102	1.260	1.288	0.004	-0.022
29.9	31629	30523	31854	60	31023	104	1.303	1.336	0.004	-0.025
32.9	32207	32401	32184	60	31952	105	1.321	1.376	0.005	-0.040
35.9	31996	32135	31792	60	31662	105	1.313	1.363	0.005	-0.037
38.9	31361	30932	31299	60	30885	103	1.280	1.330	0.004	-0.038
41.9	29566	29461	29729	60	29273	101	1.224	1.260	0.004	-0.029
44.9	27647	27329	27439	60	27160	97	1.146	1.169	0.004	-0.020
48.9	24168	24300	24289	60	23940	92	1.011	1.031	0.004	-0.019
51.9	21501	21622	21367	60	21185	86	0.889	0.912	0.004	-0.025
54.9	18467	18565	18522	60	18206	81	0.756	0.784	0.003	-0.035
57.9	15436	15468	15516	60	15161	74	0.621	0.653	0.003	-0.049
60.9	12306	11983	12212	60	11855	66	0.487	0.510	0.003	-0.046
63.9	9279	9332	9460	60	9045	59	0.365	0.389	0.003	-0.064
66.9	6917	6796	6734	60	6504	51	0.260	0.280	0.002	-0.071
69.9	4636	4669	4673	60	4347	43	0.178	0.187	0.002	-0.051
72.9	3139	3097	3097	60	2799	37	0.116	0.121	0.002	-0.041
73.9	10943	--	--	240	2424	32	0.099	0.104	0.001	-0.049
74.9	11707	--	--	300	2029	28	0.086	0.087	0.001	-0.017
75.9	10285	--	--	300	1745	27	0.075	0.075	0.001	-0.003
76.9	10807	--	--	360	1489	25	0.066	0.064	0.001	0.028
77.9	10897	--	--	420	1245	23	0.059	0.054	0.001	0.100
78.9	11159	--	--	480	1083	22	0.053	0.047	0.001	0.147
79.9	9721	--	--	480	903	22	0.049	0.039	0.001	0.255
80.9	9791	--	--	540	776	21	0.045	0.033	0.001	0.337

APÊNDICE B

**GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO DE VALORES NORMALIZADOS DE MEDIDAS
DE TAXA DE REAÇÃO NO DETETOR COM VALORES DE FLUXO DE
NÊUTRONS TÉRMICOS EM 42 POSIÇÕES NO NÚCLEO**

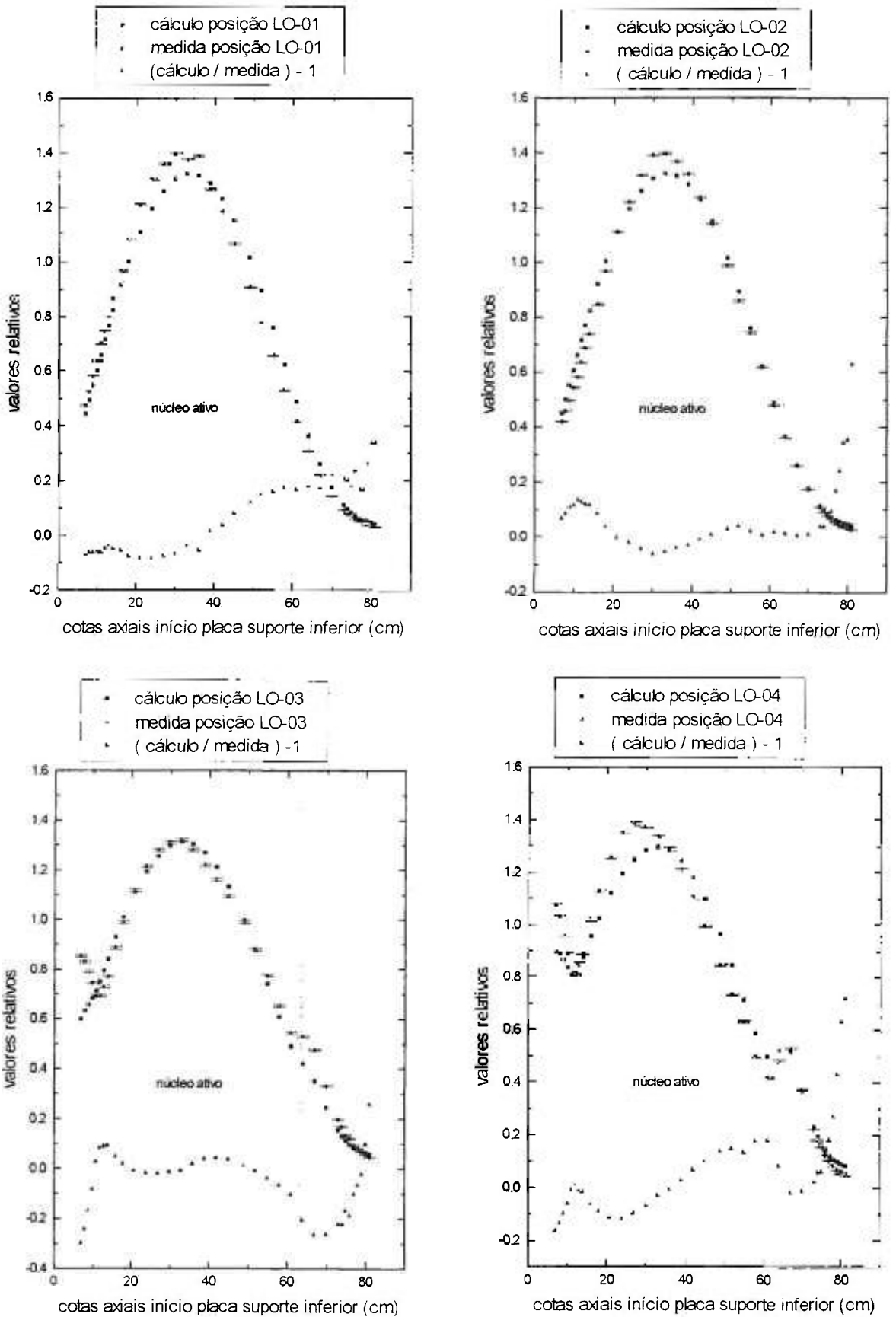


Figura B1 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições LO-01, LO-02, LO-03 e LO-04 do Reator IPEN/MB-01.

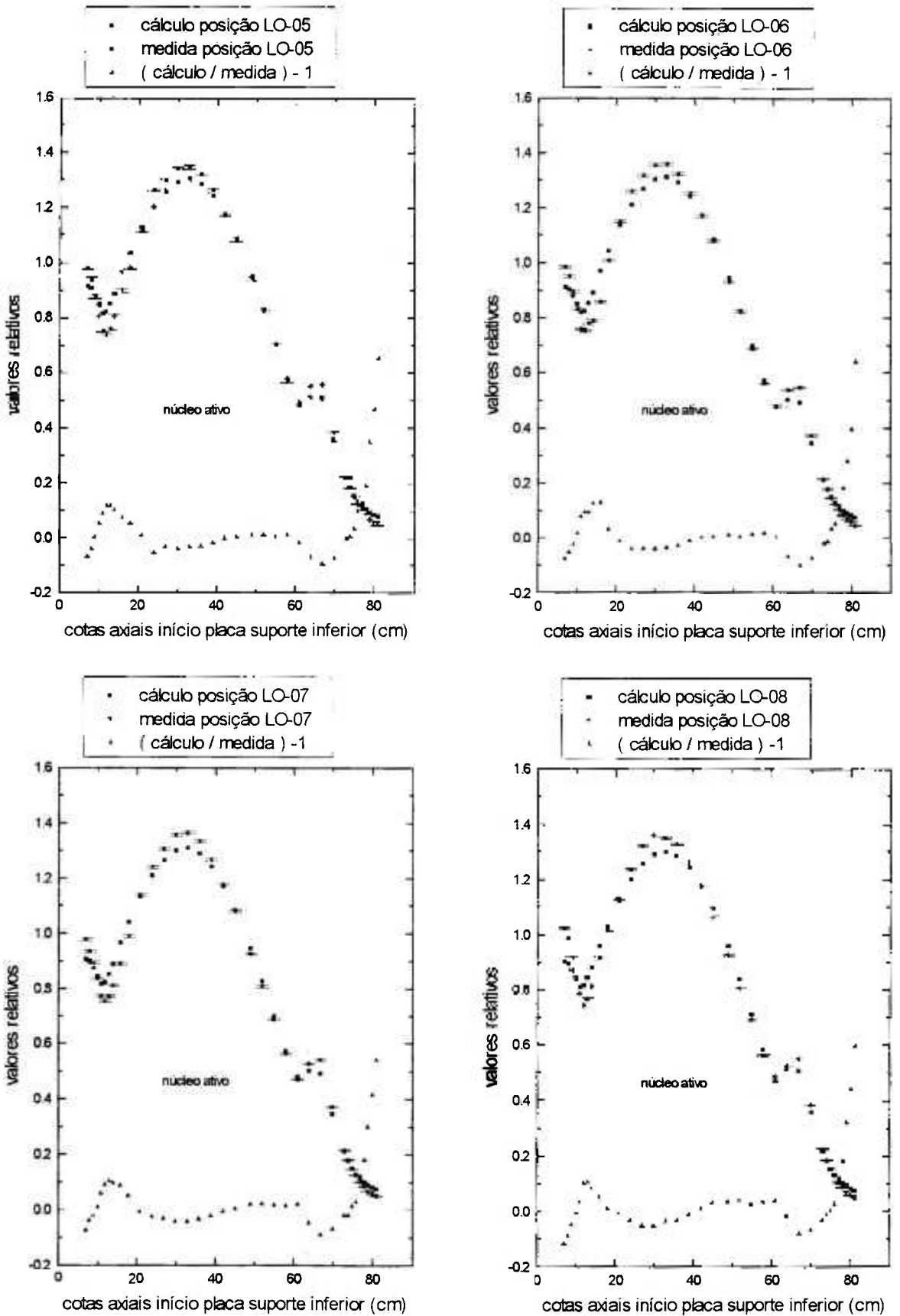


Figura B2 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições LO-05, LO-06, LO-07 e LO-08 do Reator IPEN/MB-01.

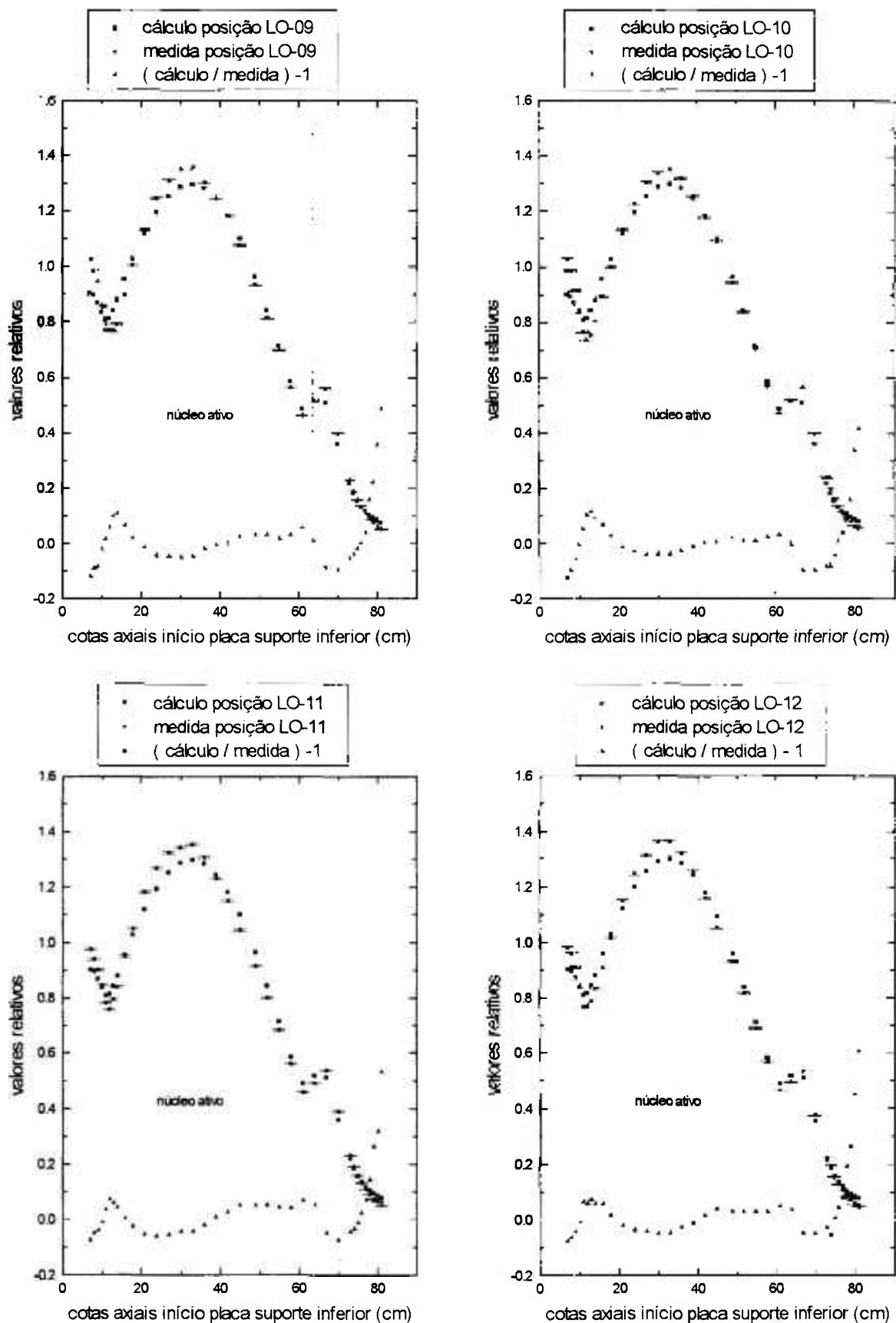


Figura B3 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições LO-09, LO-10, LO-11 e LO-12 do Reator IPEN/MB-01.

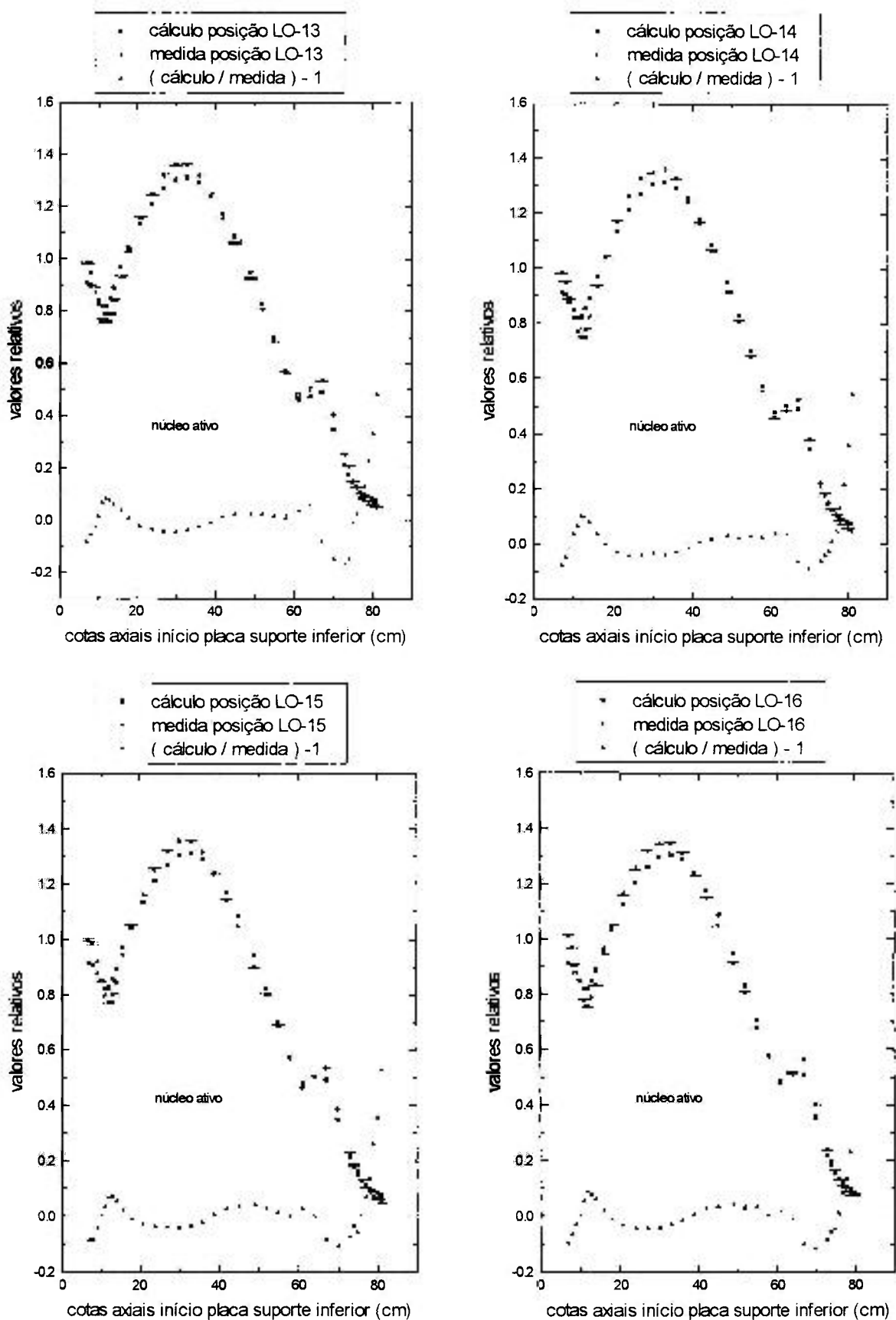


Figura B4 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições LO-13, LO-14, LO-15 e LO-16 do Reator IPEN/MB-01.

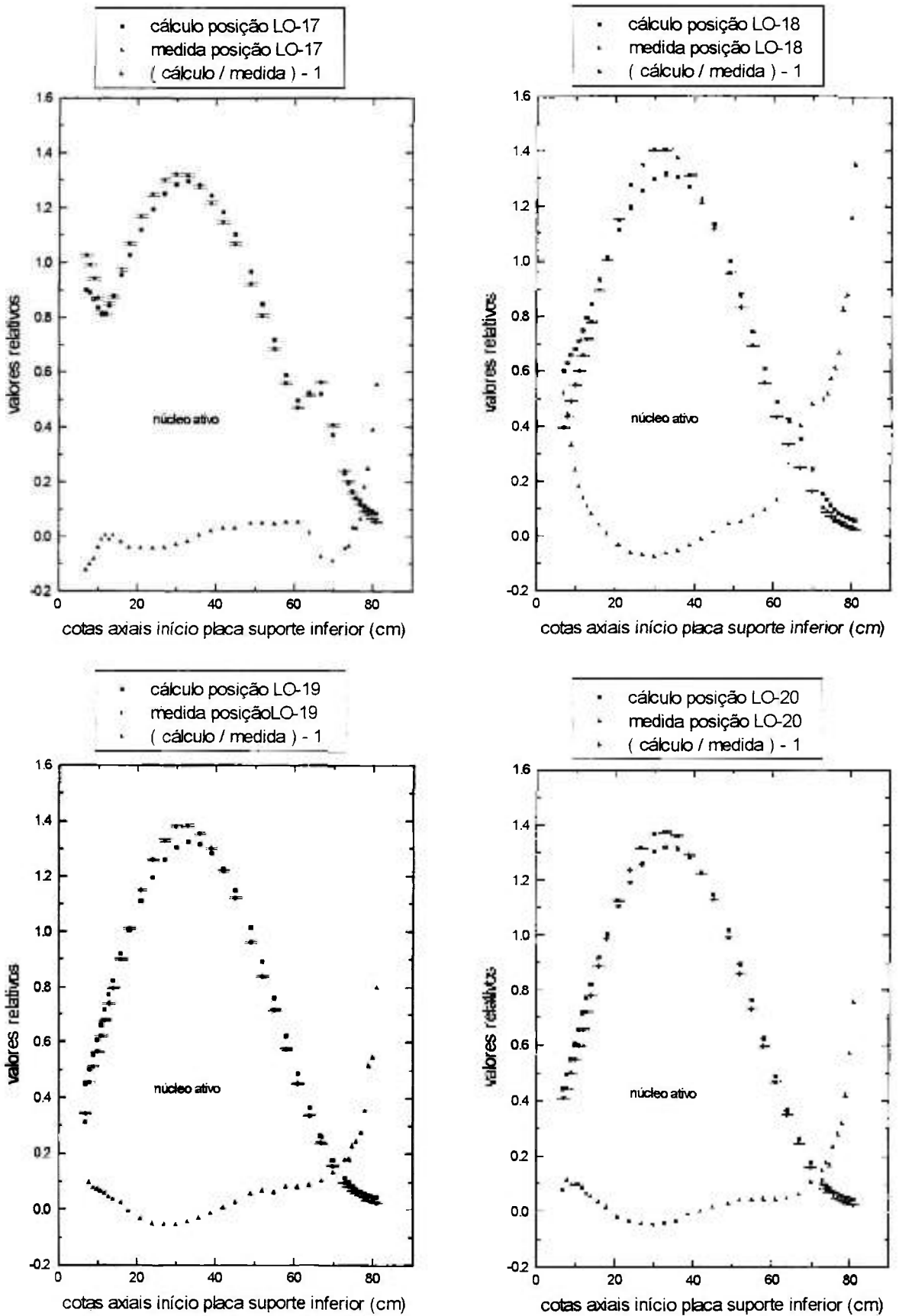


Figura B5 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições LO-17, LO-18, LO-19 e LO-20 do Reator IPEN/MB-01.

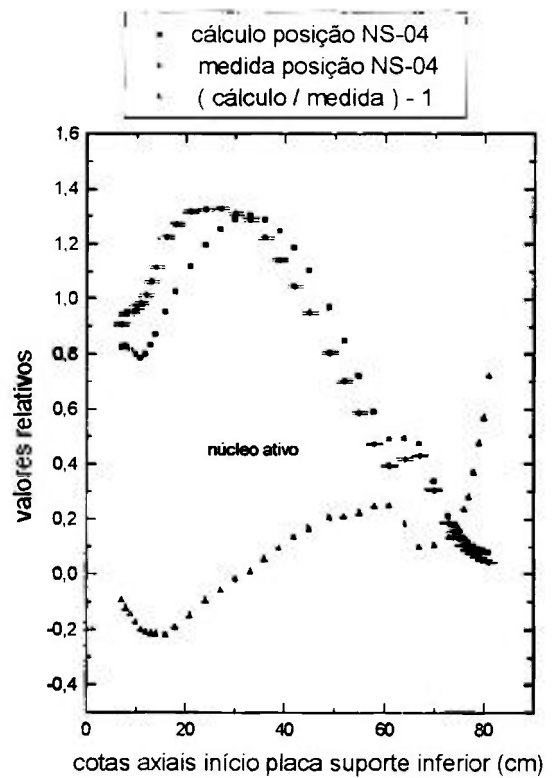
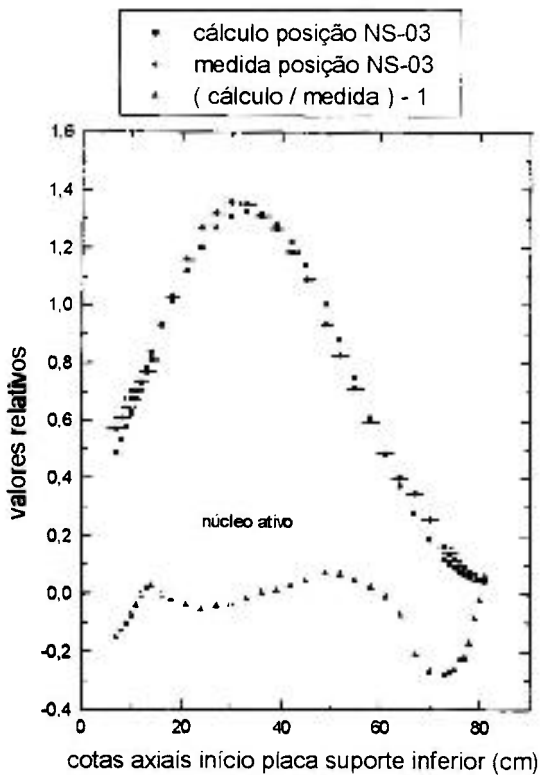
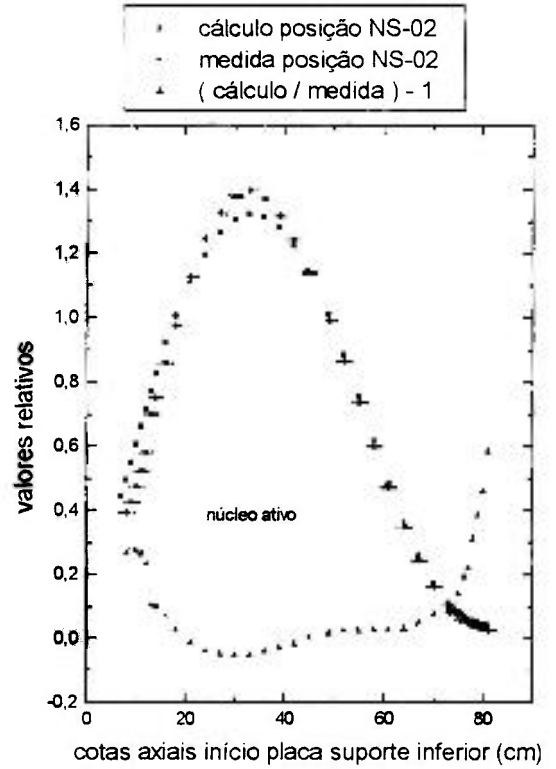
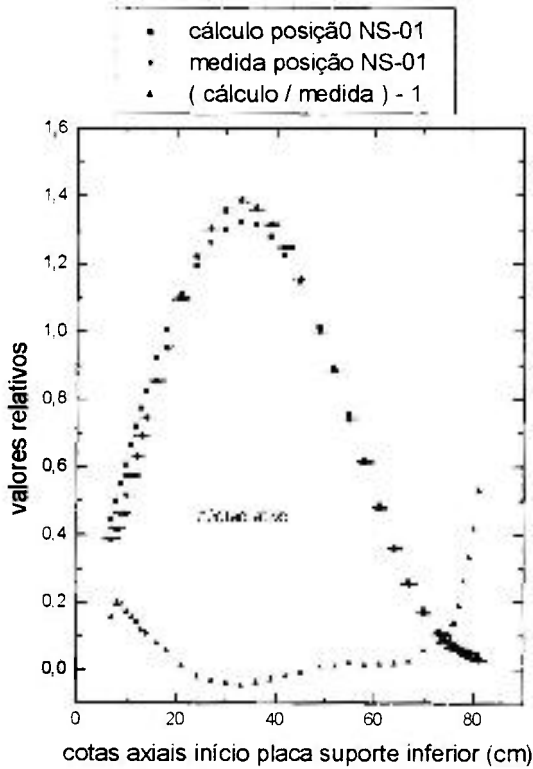


Figura B6 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-01, NS-02, NS-03 e NS-04 do Reator IPEN/MB-01.

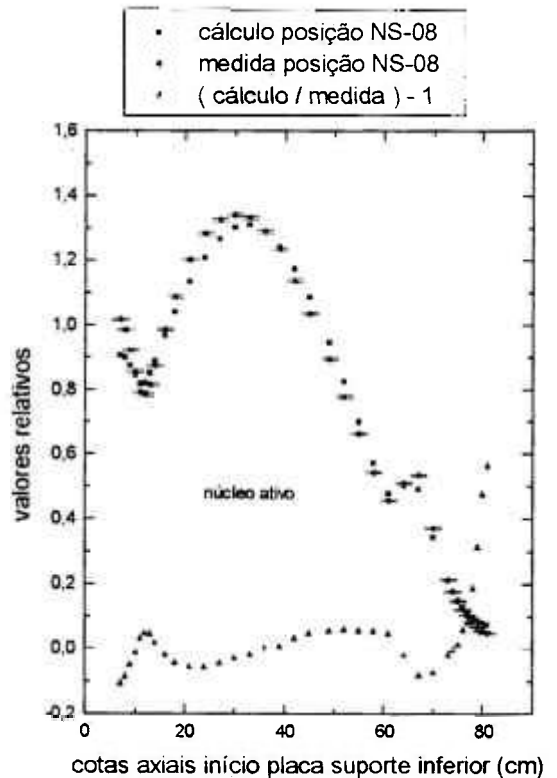
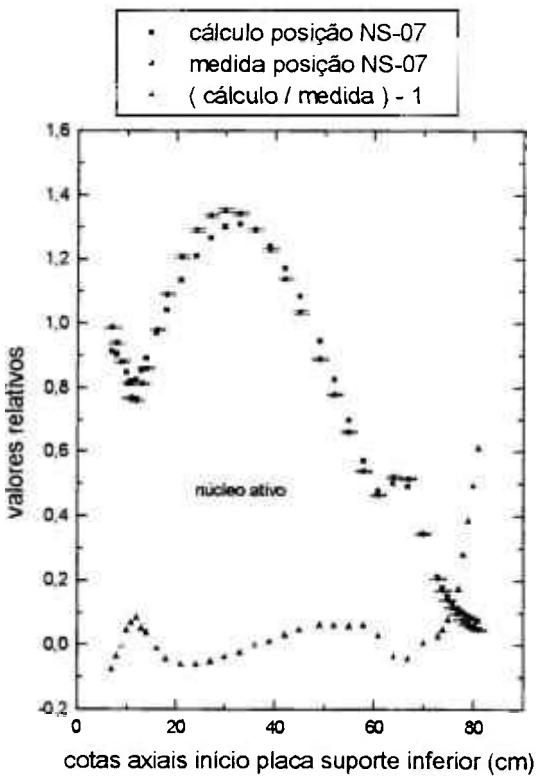
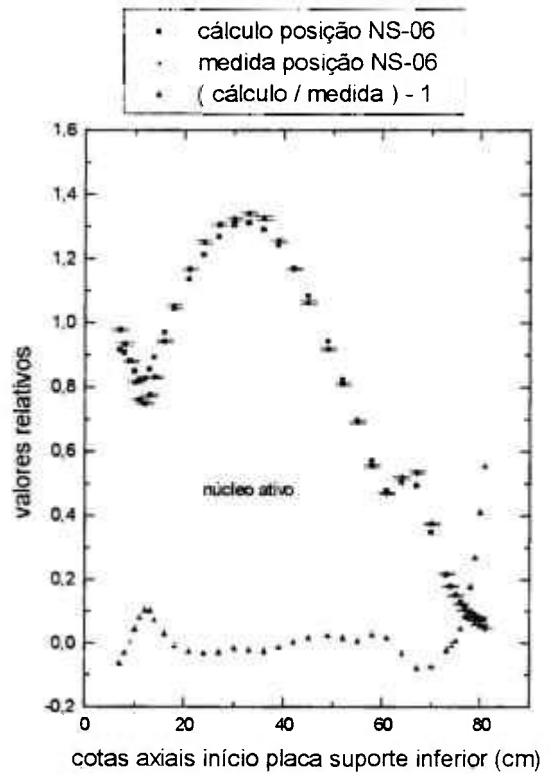
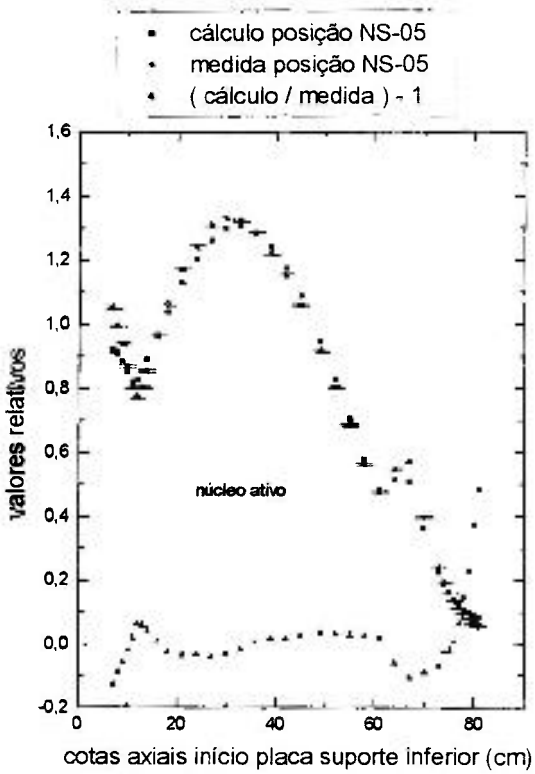


Figura B7 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-05, NS-06, NS-07 e NS-08 do Reator IPEN/MB-01.

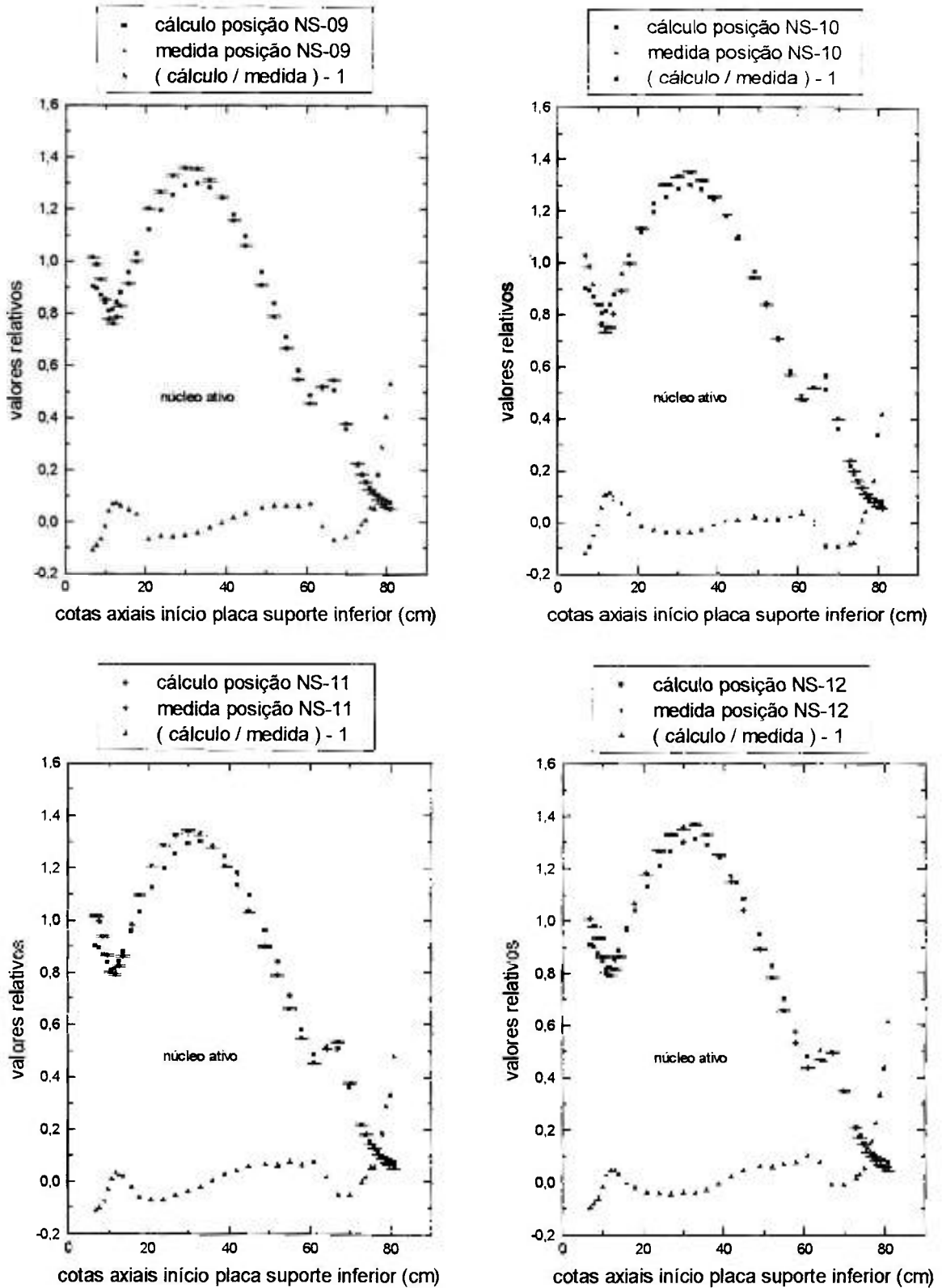


Figura B8 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-09, NS-10, NS-11 e NS-12 do Reator IPEN/MB-01.

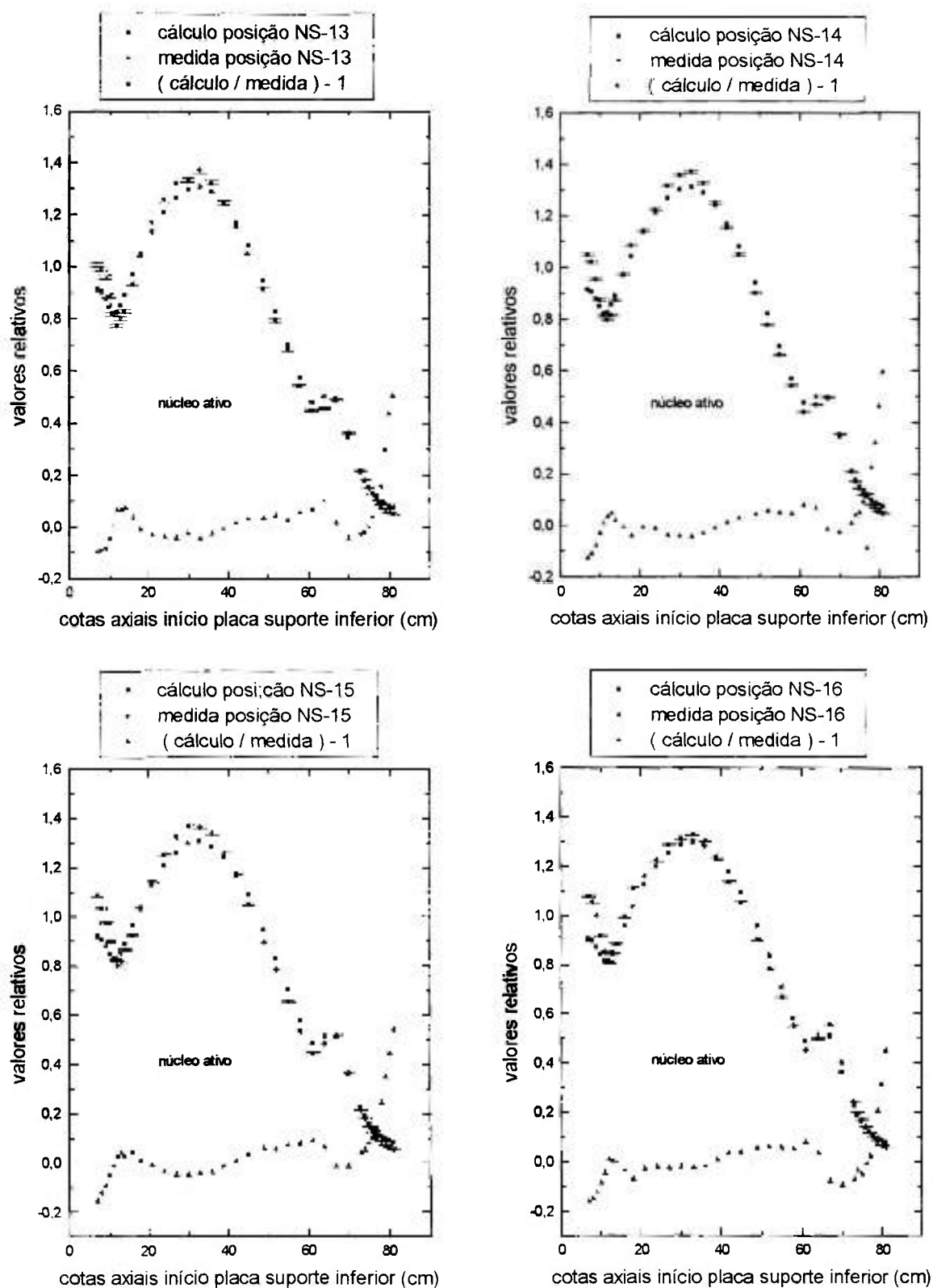


Figura B9 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-13, NS-14, NS-15 e NS-16 do Reator IPEN/MB-01.

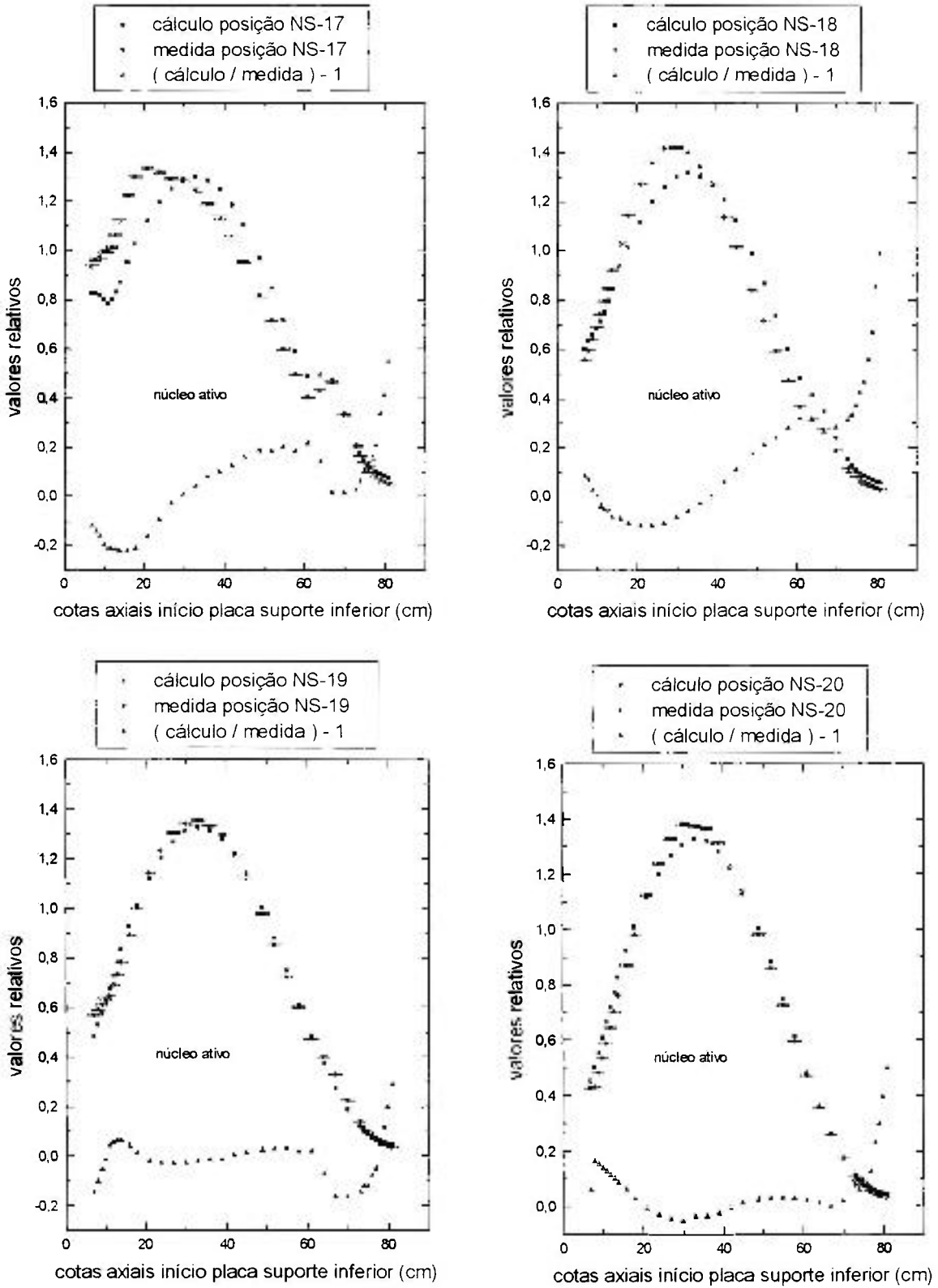


Figura B10 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-17, NS-18, NS-19 e NS-20 do Reator IPEN/MB-01.

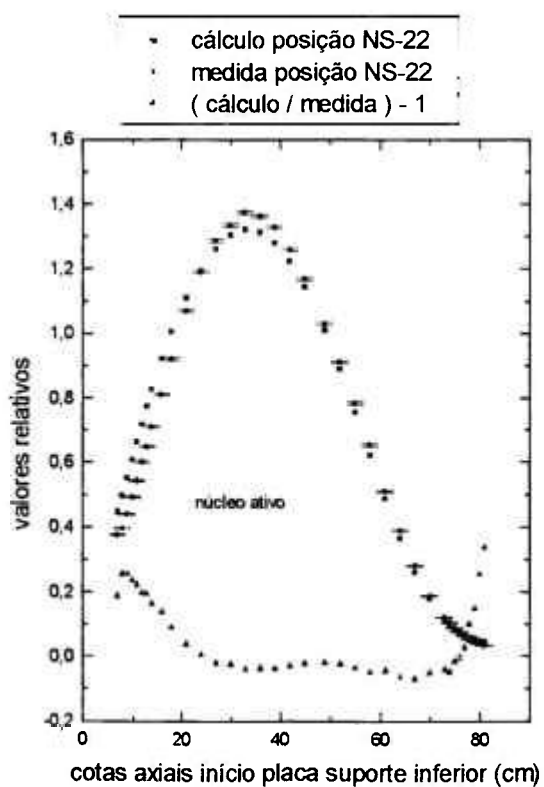
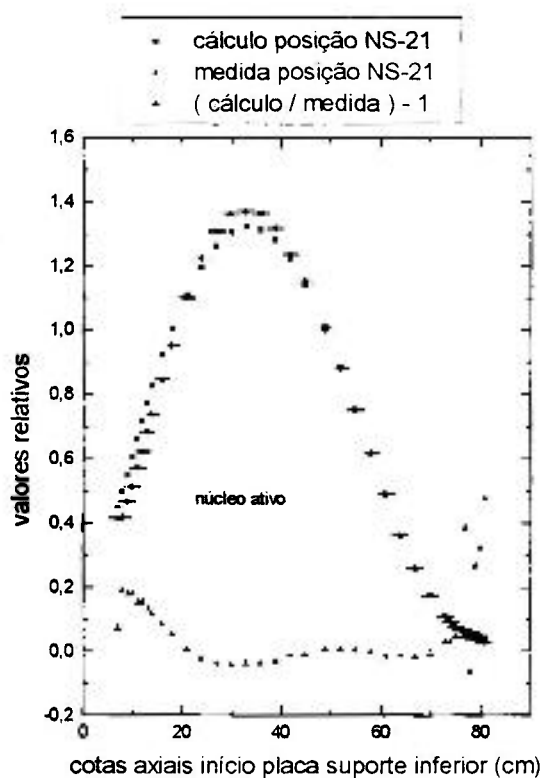


Figura B11 - Comparação entre Valores Normalizados de Fluxo de Nêutrons Térmicos Calculados e Taxas de Reação Medidas nas Posições NS-21 e NS-22 do Reator IPEN/MB-01.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - AMERICAN NATIONAL SOCIETY. *Requirements for Reference Reactor Physics Measurements*. 1978. (ANSI/ANS-19.5 - 1978).
- 02 - AMERICAN NATIONAL SOCIETY. *American National Standard for the Determination of Neutron Reaction Rate Distribution and Reactivity of Nuclear Reactor*. 1975.(ANS-19.3/N412 - 1975).
- 03 - AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. *American National Standard for Validation of Computational Methods for Nuclear Criticality Safety*. 1975 (ANS-8/N16.9 - 1975).
- 04 - AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. *American National Standard A Guide for Acquisition and Documentation of Reference Power Reactor Physics Measurements for Nuclear Analysis Verification*. 1976. (ANS-19.4/N652 - 1976).
- 05 - FILHO, J. M. *A Distribuição Espacial do Fluxo de Nêutrons no Núcleo do Reator IEA-R1, obtida por meio da Ativação de Folhas*. São Paulo: 1979. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia Atômica, 1979 (IEA - DT - 132).
- 06 - KOSKINAS, M. F. *Medida do Fluxo Térmico, Epitérmico e Rápido no Reator IEA-R1 pelo Método de Ativação de Folhas*. São Paulo: 1979. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia Atômica, 1979. (IEA - DT - 117).
- 07 - BITELLI, U. d'U. *Medida e Cálculo da Distribuição Espacial e Energética de Neutrons no Núcleo do Reator IEA-R1*. São Paulo: 1988. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1988.

- 08 - RENNERT, C.; DIAS, M. S.; ORTEGA, A. *Flux Measurements of Thermal and Fast Neutrons at Locations Available for Sample Irradiation in the IEA-RI Facility*. São Paulo: 1976. Instituto de Energia Atomica. (IEA-Pub-456).
- 09 - TANGARI, C. M.; MOREIRA, J. M. L.; JEREZ, R. *Mapeamento de Fluxo Térmico no Reator IEA-RI*. São Paulo:1986. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. (IPEN-Pub-93).
- 10 - MAFRA, O. Y.; BIANCHINI, F. G. *Câmaras de Fissão - Construção e Características*. São Paulo: 1967. Instituto de Energia Atomica. (IEA-Pub-145).
- 11 - SOUZA, D. J.; PACHECO, M. D. *Testes e Levantamento de Características de uma Câmara de Fissão*. Rio de Janeiro: 1974. Instituto de Energia Nuclear (DECAF - N.T. 06/74-Nota Técnica Interna).
- 12 - PEREIRA, M. C. C.; NAPOLITANO, C. M.; PEREZ, H. E. B. Desenvolvimento de Câmara de Fissão para Controle de Reatores Nucleares. Em: III CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 22 A 27 abril 1990,Caxambu.
- 13 - OHTERU, S.; MATSUMOTO, M., et al. Long Life In-core Neutron Detector for Prototype Heavy Water Reactor *Nuclear Instruments and Methods*, pg. 121 a 125, 1978.
- 14 - PUCHEN, J.; CRAY, I.; FENERGARD, R.; SENGLER, G. *In-core System (Fixed and Movable) Based on Subminiaturized Fission Chambers Description and First Test Results*. Cadarache: Meeting on In-core Instrumentation and Reactor Assessment. França, 1988.
- 15 - BERGER, F. *Neutron Measurements With Miniature Fission Chambers*. Cadarache, 1978. Tese (Doutorado) (CEA-N-2035).

- 16 - BERGER, F., GUERY, M. *Miniature Fission Chamber with regenerable deposit*. Netherlands: Proceedings of the First ASTM-EURATOM Symposium on Reactor Dosimetry, 1975.
- 17 - BUNCH, W. L., JACKSON C. N., et al. *In Core Regenerative Thermal Neutron Detectors for Nuclear Reactors*. (WHAN-FR--37), pg 65, 1970.
- 18 - MCGARRY, E. D.; FABRY, A. Dosimetry Characterization on a Reactor Pressure Vessel Simulator by Fission Chamber and Foil Activation Measurements. Netherlands: In: JOINT NUCLEAR RESEARCH CENTER, DOSIMETRY METHODS FOR FUELS, CLADDING AND STRUCTURAL MATERIALS. (EUR-6813 V.2), 1980.
- 19 - QUADE, V.; RUDOLPH, K.; Siegert, G. A High Resolution Ionisation Chamber Tested with Fission Products of SUP(2) SUP(3), SUP(5) U. *Nuclear Instruments and Methods*, vol.164, pg. 435-436. 1979.
- 20 - ADAIR, H.L.; Byrum, B.L.; et al. Vapor Deposited SUP(2), SUP(3), SUP(5) UO SUB(2) Layers for an Ultra High Sensitivity Fission Counter. Seattle: In: WORLD CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL NUCLEAR TARGET DEVELOPMENT SOCIETY (Oak Ridge National Laboratory), pg. 23, 1982.
- 21 - BUDZ, J. C.; KNITTER, H. A Fission Chamber with intrinsic Suppression of Alpha Background. *Nuclear Instruments and Methods*, V. 154, p 121-125, 1978.
- 22 - CABRILLAT, J. C., NEWTON, T. D. Uncertainties in Core Physics Design Parameters for a LMFBR and their Reduction. The role of SUPER-PHENIX and PFR Experience. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE IN FAST REACTOR AND RELATED FUEL CYCLES, Oct 28 to Nov 01 1991, Kyoto (Japan).
- 23 - LAMARSH, J. R. *Introduction to Nuclear Reactor Theory*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company, 1972.

- 24 - DUDERSTADT, J. J.; HAMILTON, J. L. *Nuclear Reactor Analysis*. Oxford: John Willey, 1972.
- 25 - REFERENCE DATA SERIES Nº 3 *Nuclear Research Reactors in the World*, Viena: International Atomic Energy Agency, 1989.
- 26 - RFAS - *Relatório Final de Análise de Segurança do Reator IPEN/MB-01* São Paulo: IPEN/CNEN-SP, Cap. I, 1986.
- 27 - PASQUALETTO, H.; FUGA, R. *Apostila de Treinamento de Operadores de Reator*. São Paulo: IPEN/CNEN-SP, Cap I, 1993.
- 28 - *Desenho da Placa Espaçadora Superior do Núcleo da Unidade Crítica*, São Paulo: Coordenadoria para Projetos Especiais, 1986. (R10-IPN-213PR-0DD-514 Relatório Interno).
- 29 - MANUAL DA GARANTIA DE QUALIDADE. São Paulo: Coordenadoria para Projetos Especiais, 1993 (Documento Interno).
- 30 - MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IPEN/MB-01. São Paulo: Coordenadoria para projetos Especiais, 1993 (Documento Interno).
- 31 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR *Licenciamento de Operadores de Reatores Nucleares*. 1979. (CNEN NE-1.01).
- 32 - MOREIRA, J. M. L. *Programa Experimental de Divisão de Física de Reatores visando o Projeto INAP*. São Paulo: Centro de Tecnologia da Marinha em São Paulo. nov 1995. (R41020000004414 - Relatório Interno).
- 33 - DuBRIDGE, R. A. Campbell Theorem System Concepts. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, pg. 241 a 246, 1967.
- 34 - DALTRO, T. F. L.; TOBIAS, C. C. B. Espectrometria de Fragmentos de Fissão para a Otimização da Espessura de U_3O_8 em Eletrodos de Câmara de Fissão. Em: III CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 22 a 27 abril 1990. Caxambu.

- 35 - KNOLL, G. F. *Radiation Detection and Measurements*. Oxford: John Willey & Sons, 1989.
- 36 - EG & G ORTEC *Experiments in Nuclear Science*. AN34, 1984.
- 37 - BITELLI, U. d'U. *Teste de CFM no Reator IPEN/MB-01*. São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1991 (RP23-IP3-PNAIE-4RE-330 - Relatório Interno).
- 38 - BAER, W.; BAYARD, R. T. A High Sensitivity Fission Counter. *Review of Scientific Instruments*, vol 24, 1953.
- 39 - TSOUFANIDS, N. *Measurement and Detection of Radiation*. New York, N. Y.: Hemisphere Publishing Corporation, 1983.
- 40 - BITELLI, U. d'U.; MIRANDA, A. F. *Medida da Sensibilidade da CFM à Nêutrons Térmicos*. São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1992 (RP23-0041-S149-414 - Relatório Interno).
- 41 - JEREZ, R.; MIRANDA, A. F. *Mapeamento de Fluxo de Nêutrons no Reator IPEN/MB-01*, São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1992 (RP23004/0113 652 - Relatório Interno).
- 42 - MIRANDA, A. F.; JEREZ, R.; BITELLI, U. d'U. *Mapeamento de Fluxo com CFM-Fase 2*. São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1992.
- 43 - MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IPEN/MB-01. Procedimento para Ligar o Reator (OP-01- Rotina Operacional).
- 44 - MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IPEN/MB-01. Procedimento para Ligar o Reator (OP-02- Rotina Operacional) .
- 45 - RFAS - *Relatório Final de Análise de Segurança*. São Paulo: IPEN/CNEN-SP, Cap. V, 1986.

- 46 - BITELLI, U. d'U.; SILVA, A. A.; COELHO, P. R. P.; YAMAGUCHI, M., *Calibração de Potência do Reator IPEN/MB-01*. São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1989, (R410380037414 - Relatório Interno).
- 47 - Registros de Operação do Reator IPEN/MB-01.
- 48 - FERREIRA, C. R. *Curvas de Reatividade de Barras de Controle do Reator IPEN/MB-01*, São Paulo, IPEN/CNEN-SP, 1985 (005.R00 - Relatório Interno).
- 49 - ATALLA, L. T. *Interpretação Quantitativa de Resultados Experimentais*, São Paulo: 1978 (IEA-Inf-60).
- 50 - MICROCAL SOFTWARE INC. *Technical Graphics and Analysis in Windows*. Northampton, USA: User's Guide, 1995
- 51 - MacFARLANE; et al. *The NJOY Nuclear data Processing System*. Los Alamos Laboratory: 1982 (LA-9303-M).
- 52 - BARHEN, J.; RHOTENSTEIN, W.; TAVIV, E. *The HAMMER Code System Technion*. Israel Institute of Technology: (NP-565), 1978.
- 53 - FOWLER, T. B.; VONDY, D. R. *Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION*, (ORNL-TM 2496), 1972.
- 54 - SANTOS, A.; FERREIRA, C. R. *Elaboração de uma Interface AMPX-II/HAMMER-TECHNION*. São Paulo: CNEN/SP - COPESP, 1989 (R410500027-415 - Relatório Interno).
- 55 - MARQUES, A. L. F. *Medida do Fluxo de Nêutrons Térmicos do Reator IPEN/MB-01 com Detetores de Ativação de Fios de ¹⁹⁷Au*. São Paulo: 1995. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares, 1995.
- 56 - CARNEIRO; A. L. G. *Medida de Distribuição da Densidade de Potência Relativa do Núcleo do Reator IPEN/MB-01 pela Técnica de Varredura Gama da Vareta*

Combustível. São Paulo:1996. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1996.