

MEDIDA DOS PARÂMETROS  $^{28}\rho$ ,  $^{25}\delta$  e  $C^*$  NO REATOR IPEN/MB-01

Ulysses d'Utra Bitelli  
Adimir dos Santos

\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, Brasil  
e-mail: ubitelli@net.ipen.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a medida dos parâmetros integrais, também conhecidos como Razões Espectrais,  $^{28}\rho$ ,  $^{25}\delta$  e  $C^*$  no núcleo do Reator IPEN/MB-01. As medidas aqui apresentadas foram obtidas a partir da Técnica de Varredura Gama em varetas combustíveis irradiadas na posição central ao núcleo retangular, composto de um arranjo de 28x26 varetas combustíveis, distanciadas centro a centro ("Pitch") 1,5 cm, correspondendo a uma razão  $V_{\text{WATER}}/V_{\text{FUEL}} = 2,64$ . Os resultados obtidos, além de permitirem estimar a incerteza de cálculos normalmente realizadas pelo IPEN-CNEN-SP em seus projetos de reatores, disponibilizam a comunidade nacional e internacional, carentes de resultados mais precisos e atuais, mais um conjunto de dados experimentais para reatores térmicos.

I. INTRODUÇÃO

Parâmetros integrais ou diferenciais, obtidos em experimentos efetuados nos chamados Reatores de Potência Zero (Unidades Críticas), sempre foram considerados de interesse fundamental para o estabelecimento de margens de incerteza de metodologias de cálculo empregadas em projetos e segurança de reatores nucleares, principalmente no que tange aos métodos computacionais e na biblioteca de dados nucleares.

Algumas das Unidades Críticas são consideradas pelo grupo americano de trabalho de avaliação de seções de choque (CSEWG), como padrões térmicos, no que tange a parâmetros integrais, como as Críticas TRX e MIT. No entanto, tais medidas foram realizadas nas décadas dos anos 60 e 70, com técnicas experimentais e critérios de avaliação de incertezas compatíveis com a época.

Com o desenvolvimento moderno dos computadores e dos métodos computacionais, a maior parte da imprecisão nos cálculos de reatores, passou a recair sobre os dados nucleares, razão pela qual os parâmetros integrais a serem hoje em dia obtidos, devem sê-lo dentro de incertezas muito menores àquelas obtidas no passado, compatíveis com as incertezas obtidas por métodos computacionais poderosos como o de Monte Carlo.

Dentro desse espírito de se obter parâmetros integrais mais precisos e específicos para o núcleo do Reator IPEN/MB-01, foram realizadas as medidas dos parâmetros  $^{28}\rho$ ,  $^{25}\delta$  e  $C^*$ , respectivamente definidos como, a

razão entre as taxas de reação de captura epitérmicas para térmicas no  $^{238}\text{U}$  ( $^{28}\rho$ ), razão entre as taxas de fissão epitérmicas e térmicas no  $^{235}\text{U}$  ( $^{25}\delta$ ) e a razão de conversão modificada ( $C^*$ ), esta última uma razão entre as taxas de captura no  $^{238}\text{U}$  e as taxas de fissão no  $^{235}\text{U}$  [1].

Os resultados obtidos poderão ser utilizados para estimar as margens de incerteza dos cálculos normalmente realizados pela Divisão de Física de Reatores do IPEN/CNEN-SP e CTMSP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo) em seus projetos de reatores, bem como modificá-los, se necessário, para adequá-los ainda mais a realidade fenomenológica. Além disso, tais cálculos fornecem um novo conjunto de dados de medidas de Razões Espectrais, realizadas em Crítica Térmica, à comunidade nacional e internacional, carente de dados mais atuais, obtidos dentro de metodologias experimentais e de análise de dados, mais modernas do que àquelas obtidas no passado.

II. DESCRIÇÃO DO NÚCLEO DO REATOR

O primeiro núcleo do Reator IPEN/MB-01 possui a forma de paralelepípedo com dimensões ativas de 39x42x54,6 cm, sendo constituído de um arranjo de 28x26 varetas combustíveis e 48 tubos guias, destinados a inserção das varetas de controle/segurança, responsáveis pelo controle da reação em cadeia e desligamento do reator. Nesta primeira configuração, dita retangular, temos um total de 680 varetas, distanciadas entre si, centro a

12. Encontro Nacional de Física de Reatores e Termodinâmica, Rio de Janeiro, 2000. 8485

TC

ENF12,12

new consta  
no CD-ROM

=> spectra

OK

centro de 1,5 cm ("Pitch"). Tal configuração possui um excesso de reatividade de aproximadamente 2400 pcm.

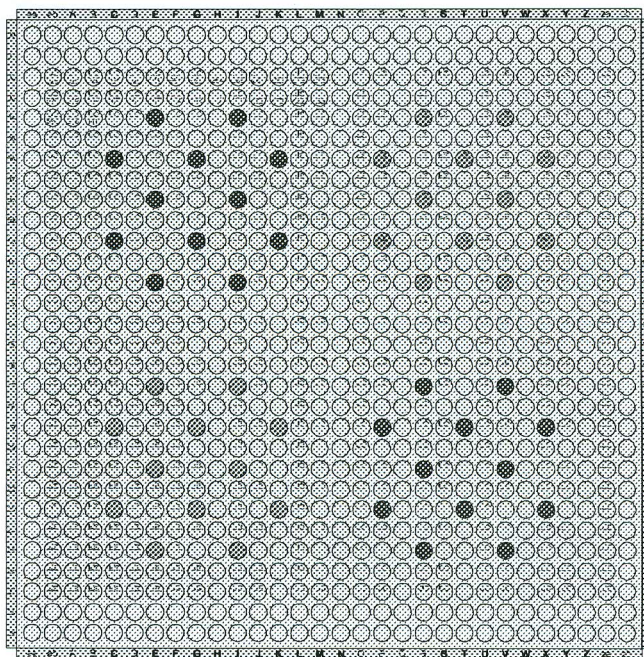
As varetas combustíveis são constituídas de tubos de aço inox AISI-304, contendo em seu interior um total de 52 pastilhas combustíveis de  $UO_2$  enriquecidas a 4,3 %. A altura ativa da coluna de pastilhas é de 54,6 cm, sendo que cada pastilha possui uma altura de 1,05 cm e diâmetro de 0,849 cm . As extremidades não ativas das varetas são preenchidas com pastilhas de  $Al_2O_3$ . Os 48 tubos guias para as varetas absorvedoras de nêutrons (Barras de Controle e Segurança) estão dispostos em 4 grupos, contendo cada um deles 12 varetas absorvedoras, sendo dois grupos de barras de segurança e 2 grupos de controle, dispostos cada um deles em um quadrante do núcleo do reator. Cada conjunto de 12 varetas absorvedoras são unidas através de um corpo central, denominado aranha, o qual é ligado a uma haste de acionamento, que por sua vez é conectada a mecanismos acionados por magnetos energizados.

A reatividade integral de cada barra de controle/segurança é suficiente para desligar o reator, ou seja é de aproximadamente 3200 pcm. As barras de segurança apresentam as mesmas características geométricas das barras de controle, diferenciando das mesmas pelo material absorvedor de nêutrons utilizado, no caso  $B_4C$  e pelo fato de que durante a operação normal do reator, serem mantidas totalmente retiradas do núcleo ativo do mesmo, com o objetivo de desligá-lo com grande margem de segurança. As barras de controle, são as responsáveis, por manterem constantes a população de nêutrons , quando o mesmo atinge um certo nível fixo de potência . Mantidas inseridas no núcleo, mantém o nível de população neutrônica, através da absorção dos mesmos em seu material estrutural composto de uma liga de Ag-In-Cd, encapsulada num revestimento de aço inox austenítico.

Todo o núcleo do reator, bem como os mecanismos de acionamento de barras, as guias para as aranhas e o amortecedor de queda de barras, é apoiado por uma estrutura suporte, fixada na parte superior por uma plataforma metálica, e na parte inferior mantida suspensa no interior do tanque moderador, o qual contém água tratada e desmineralizada, utilizada como elemento moderador da energia dos nêutrons.

Além das barras de controle e segurança, o sistema de controle de reatividade inclui um sistema de esvaziamento rápido do tanque moderador que provoca o desligamento do reator por perda do fluido moderador. No desligamento por barras, dito de primeiro nível, as 4 barras caem por gravidade no núcleo , a partir do sinal de corte de energia dos magnetos enquanto no desligamento de segundo nível, além de todas as 4 barras caírem , são abertas duas válvulas tipo borboletas de abertura rápida de 50,8 cm de diâmetro, situadas na parte inferior do tanque moderador, causando a retirada de toda água num tempo aproximado de 4 segundos.

Na figura 1, podemos observar o núcleo do Reator IPEN/MB-01 em sua configuração retangular. Na figura 2, podemos observar a vareta combustível utilizada .



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

LEGENDA:

- ⊗ Vareta Combustível
- ⊗ Vareta Absorvedora de Controle
- ⊗ Vareta Absorvedora de Segurança

Figura 1- Núcleo do Reator IPEN/MB-01.

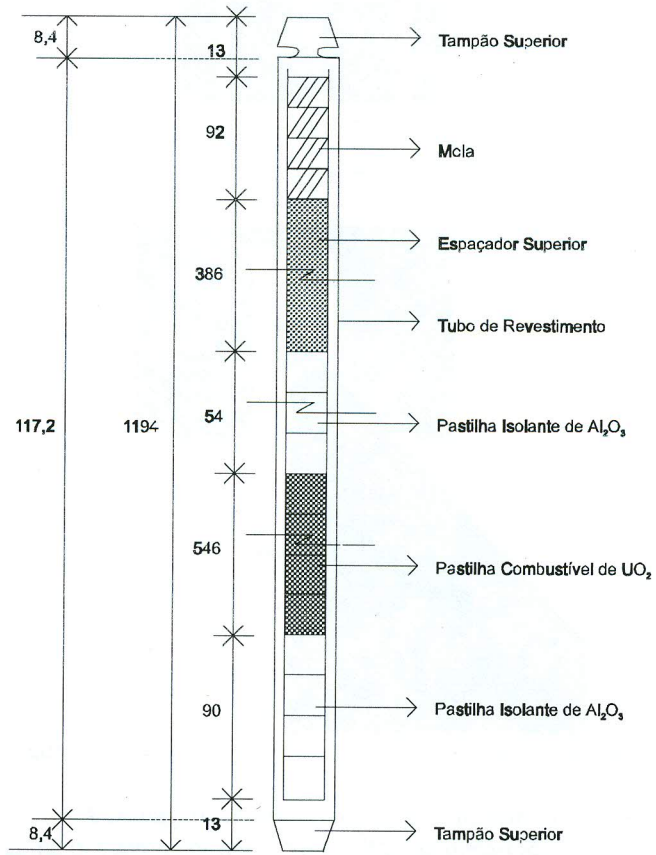


Figura 2- Vareta Combustível do Reator IPEN/MB-01.

### III. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

As varetas combustíveis 058, 251 e 231 utilizadas na medida experimental dos parâmetros citados, são varetas absolutamente idênticas as demais varetas combustíveis, mas tem a particularidade de só serem utilizadas em experimentos. As mesmas, foram posicionadas ao longo das diversas irradiações, sempre na posição central da configuração retangular do núcleo, posição esta identificada como sendo a M14.

A irradiação consistiu de 1 hora de operação do reator à potência de 100 watts, com as duas barras de controle do reator igualmente retiradas do núcleo em 59%. A rampa de subida de potência, foi cronometrada para possibilitar estimar a contribuição da mesma na produção dos produtos de fissão e captura. Valores típicos de 1 a 2% dessa contribuição são descontados nos valores das taxas de reação da vareta combustível, a partir de períodos de supercriticalidade de 40 a 60 segundos.

Cada vareta foi irradiada duas vezes, uma delas com uma luva de Cádmiu, situada a cota axial de 220 mm da placa suporte inferior das varetas combustível, ou seja, na posição onde os cálculos neutrônicos indicavam uma maior magnitude no valor do fluxo neutrônico e dentro da chamada região assintótica do fluxo de nêutrons, medida anteriormente nas medições de Buckling /2/. A outra irradiação, foi com a vareta dita nua, ou seja sem cobertura de cádmio. Foram utilizadas luvas de Cádmiu de 0,5 mm de espessura e de comprimentos de 2, 3, 4 e 5 cm, com diâmetros internos pouco maiores ao diâmetro externo da vareta combustível, ou seja, um pouco maiores a 9,80 mm, para facilitar a inserção da mesma através da luva. A luva é fixada num suporte de acrílico, através de fitas especiais adesivas, na cota anteriormente citada. A placa de lucite é inserido no núcleo, posicionando-a tangencialmente ao canal de varetas imediatamente anterior, de tal forma que a luva coincida sua posição com a coluna de varetas centrais, mais propriamente com a vareta central do núcleo (Posição M14). Evidentemente que na operação de inserção da placa, deve-se proceder a retirada das varetas combustíveis centrais iniciais (até o centro), para permitir a passagem da luva presa a placa, sendo posteriormente repostas as mesmas, quando do posicionamento final para a operação do reator.

Uma vez irradiada, a vareta é levada à contagem, após um tempo de espera de 48 horas, tempo este suficiente para que haja o decaimento de inúmeros produtos de fissão de meia-vida mais curta, acarretando numa diminuição dos tempos mortos de contagem a valores aceitáveis (2%).

O sistema de contagem é composto de um detector semiconductor de Germânio Hiper-Puro (HPGe) e eletrônica associada (amplificador, fonte de alta tensão Multicanal e microcomputador). O detector fica imóvel, dentro de um castelo de chumbo, que contém um pequeno rasgo, pelo qual corre uma régua de acrílico, suporte da vareta combustível, que tem a sua taxa de reação medida, através da espectrometria gama dos radionuclídeos citados, a partir do deslocamento milimétrico da mesma, controlado por um motor de passo de alta precisão. O colimador utilizado é

composto basicamente de quatro discos de espessura 4 mm, sendo o primeiro, terceiro e quarto (este último encostado ao detector) apresentando uma abertura de 10 mm, enquanto o segundo uma abertura de 35 mm, garantindo assim que a região medida na vareta corresponda apenas a fótons gama emitidos ao longo do comprimento de 10 mm da vareta combustível. Isto pode ser visualizado na Fig. 3

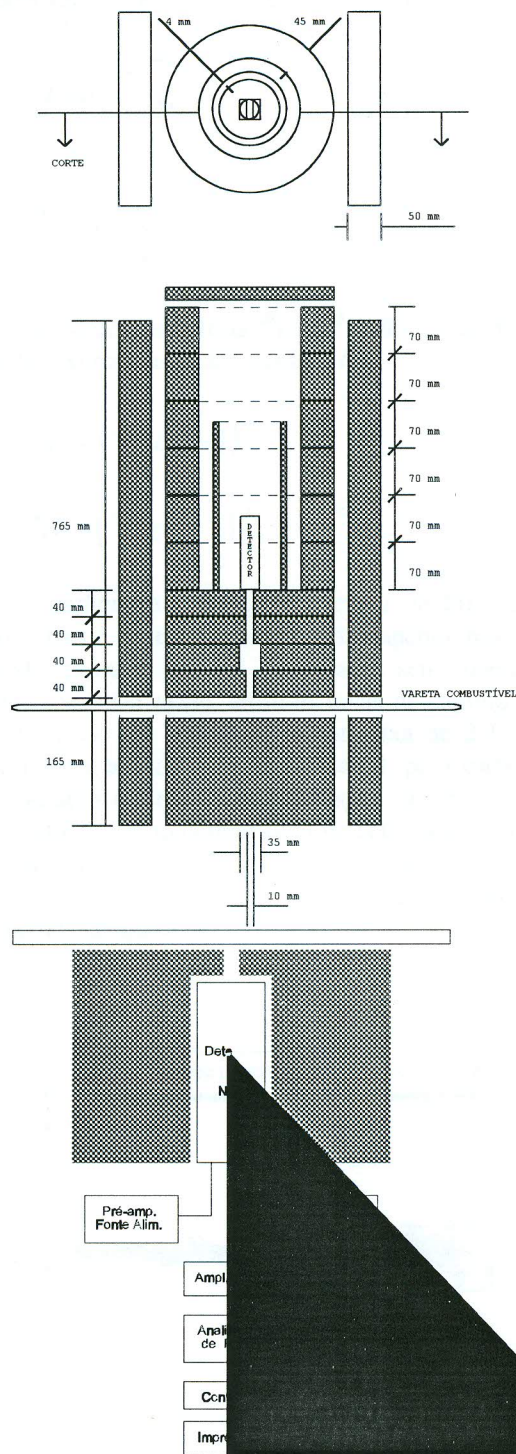


Figura. 3 – Desenho esquemático do sistema de contagem.

A contagem citada, se refere a contagem diferencial gama dos fotopicos do  $^{239}\text{Np}$  e  $^{143}\text{Ce}$ , de meia-vida de 2,335 dias e 33 horas e energia de 277,6 KeV e 293,3 KeV, respectivamente. O fotopico do  $^{239}\text{Np}$  aparece das reações

de captura radioativa (absorção) no  $^{238}\text{U}$ , enquanto o  $^{143}\text{Ce}$  é um produto de fissão decorrente das fissões que ocorrem nos átomos de Urânio, presentes no combustível do Reator IPEN/MB-01 (enriquecimento de 4,3%).

A aquisição de dados se deu a partir do acompanhamento do decaimento dos produtos de captura e fissão, junto a cota 220 mm, durante 100 horas seguidas, dividido em intervalos de 1 hora de aquisição de dados.

#### IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os parâmetros  $^{28}\rho$  e  $^{25}\delta$  são obtidos a partir da medida das razões de Cádmiio, respectivamente para os átomos de  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , presentes no combustível do núcleo do reator. Esta medida foi obtida, a partir do acompanhamento das contagens dos fotopicos do  $^{239}\text{Np}$  e  $^{143}\text{Ce}$ , referentes a cota 220 mm da vareta combustível, posicionada no centro do núcleo em sua configuração retangular (Posição M14). Podemos visualizar isto através das Figuras 4 e 5.

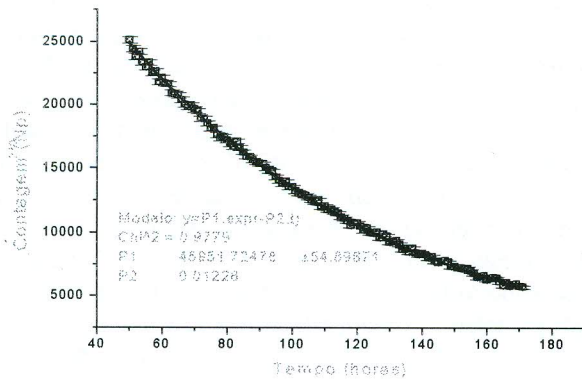


Figura 4- Curva de decaimento do  $^{239}\text{Np}$  para a Vareta 058-Cota 220 mm.

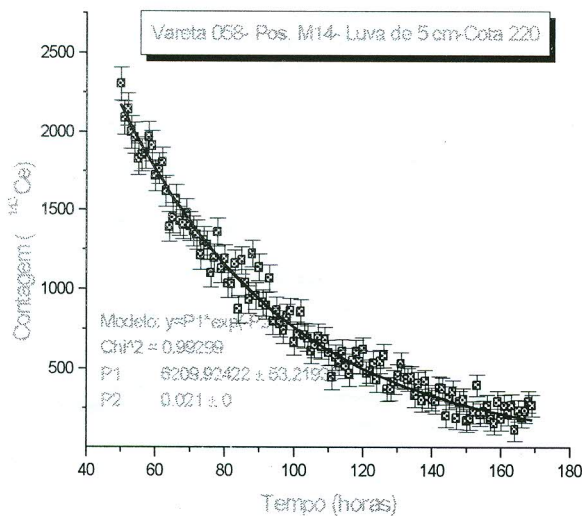


Figura 5 – Curva de decaimento do  $^{143}\text{Ce}$  para a vareta 058-Cota 220 mm.

Através da utilização do código RFIT [3], foram ajustadas por mínimos quadrados as funções exponenciais  $f(x) = A_1 \cdot \text{Exp}(-A_2 \cdot t)$ , onde  $A_1$  representa a contagem imediatamente ao término da irradiação e  $A_2$  a constante de decaimento do radionuclídeo considerado. Desta forma, obtemos as respectivas razões de Cádmiio  $^{28}\text{Rcd}$  e  $^{25}\text{Rcd}$  das razões ajustadas dos parâmetros  $A_1$  da vareta nua em relação a vareta coberta pela luva de cádmio. Assim,

$$^{25}\text{Rcd} = \frac{A_1^{\text{nua}}}{A_1^{\text{cd}}} \quad (1)$$

e

$$^{28}\text{Rcd} = \frac{A_1^{\text{nua}}}{A_1^{\text{cd}}} \quad (2)$$

As razões espectrais  $^{28}\rho$  e  $^{25}\delta$  são então obtidas a partir das expressões dadas a seguir / /.

$$^{28}\rho = (^{28}\text{Rcd} - 1)^{-1} \quad (3)$$

$$^{25}\delta = (^{25}\text{Rcd} - 1)^{-1} \quad (4)$$

O parâmetro razão de conversão modificada  $C^*$  é obtido a partir de medidas realizadas apenas nas varetas combustíveis nuas, ou seja, irradiadas sem cobertura de cádmio (Luva). Da razão, entre as taxas de captura ( $C_8$ ) e taxas de fissão ( $F$ ) realizadas a cota fixa de 220 mm, é possível obter a citada Razão Espectral, para cada tempo decorrido após o término da irradiação, acompanhando o decaimento da vareta combustível na cota citada, conforme podemos ver na Figura 6. As expressões utilizadas na determinação dos valores de  $C_8$  e  $F$  podem ser obtidas do trabalho de Nakajima [4].

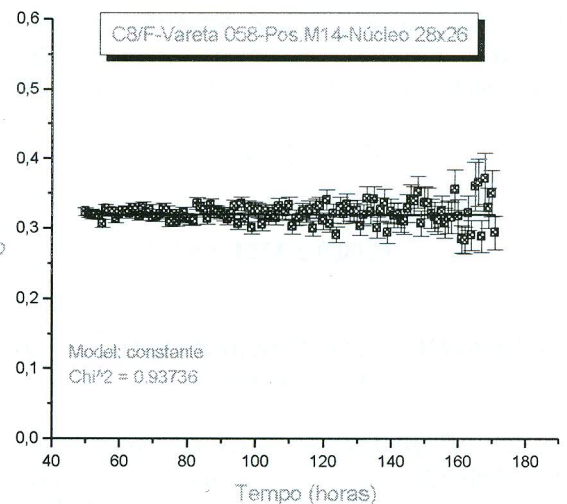


Figura 6 - Valores de  $C^*$  obtidos para a Vareta 058 - Cota 220 mm.



Os resultados obtidos pode ser visto na Tabela 2, bem como a razão dos valores calculados e experimentais (C/E), para as duas metodologias de cálculo empregadas na região térmica, Standard Thermos (1) e Carlvik,(2) opções de cálculo do programa citado.

Tabela 2- Valores Calculados das Razões Espectrais para o Núcleo Retangular do Reator IPEN/MB-01

Razão Espectral	HAMMER-TECHNION (1)	HAMMER-TECHNION (2)	C/E (1)	C/E (2)
$^{28}\rho$	2,4387	2,4261	1,011	1,005
$^{25}\delta$	0,1257	0,1252	1,002	0,998
C*	0,3285	0,3278	1,021	1,019

### VIII. CONCLUSÃO

Os resultados experimentais das Razões Espectrais  $^{28}\rho$ ,  $^{25}\delta$  e C\* , foram obtidos a partir de metodologias modernas /1,3,9/ e que poderão servir como novos padrões de comparação, colocados a disposição da comunidade internacional.

Além disso, permitiram verificar que as metodologias de cálculos utilizadas pelo IPEN-CNEN/SP, no cálculo de taxas de reação, do núcleo do Reator IPEN/MB-01, se mostraram precisas, com discrepâncias menores que 2%, o que constitui-se num resultado excelente .

Novos cálculos estão se processando com o MCNP, para correção das demais medidas (Tabela 1), de tal forma que em breve teremos novos resultados experimentais, a serem adicionados aos atuais, para as luvas de 2, 3 e 4 cm. Todavia, espera-se que os resultados experimentais obtidos, não sofram grandes alterações em relação àqueles medidos, utilizando-se as luvas de cádmio de comprimento 5 cm.

### REFERÊNCIAS

[1] Szabó, Ferencs; at al. "Experimental Investigation of The Physical Properties of WWER-Type Uranium-Water Lattices. Final Report of TIC", Vol.1, AKAdémiai Kiadó, Budapest, Hungary, 1985.

[2] Bitelli, Ulysses d'Utra at al. "Medida do Buckling na Unidade Crítica IPEN/MB-01 Variando a Temperatura do Moderador". III CGEN, Rio de Janeiro, 1996.

[3] Szatmáry, Zoltan. "Data Evaluation Methods in Reactor Physics. Theory of Program RFIT". KFKI-1977-43, Budapest, Hungary, 1977.

[4].Nakajima, Ken ; Akai, Masanori. "Modified Conversion Ratio Measurements in Light Water-Moderates UO2 Lattices". Nuclear Technology, Vol.113, 375-379, 1996.

[5] Briemeinster, J.F. MCNP: "A General Monte Carlo N-Particle Transporte Code (Version 4B)". Los Alamos, National Laboratory, LA-12625-M, 1997.

[6] Suich,J.E. ; Honeck, H.C. "The Hammer System Heterogeneous Analysis of Multigroup Methods of Exponential and Reactor". Aiken, S.C.,Du Pont de Nemours, Savannah River Laboratory, DP-1064, 1967.

[7] Ferreira, Carlos Roberto. "Modelagem para Taxa de Reações-UCRI". Relatório Interno COPESP RP2300410025412, Novembro de 1990.

[8] Santos, Adimir dos ; Ferreira, Carlos R. ; Myamaguchi, Mitsuo. "Avaliação dos Cálculos da UCRI baseada nos Experimentos de Criticalidade". Relatório Interno COPESP R410230007415, Junho de 1989.

[9] Smith, L. Donald. "Probability, Statistics and Data Uncertainties in Nuclear Science and Tecnology". Vol.4, 1991.

### ABSTRACT

This work presents the measurements of spectral ratios  $^{28}\rho$ ,  $^{25}\delta$  e C\* in the IPEN/MB-01 reactor core ( $V_{water}/V_{fuel} = 2,64$  and pitch = 1,5 cm). The experimental uncertainties are suitable for a benchmark problem. These experimental parameters were compared with spectral ratios calculated by Hammer-Technion code. The calculated values are in a very good agreement (< 1%).