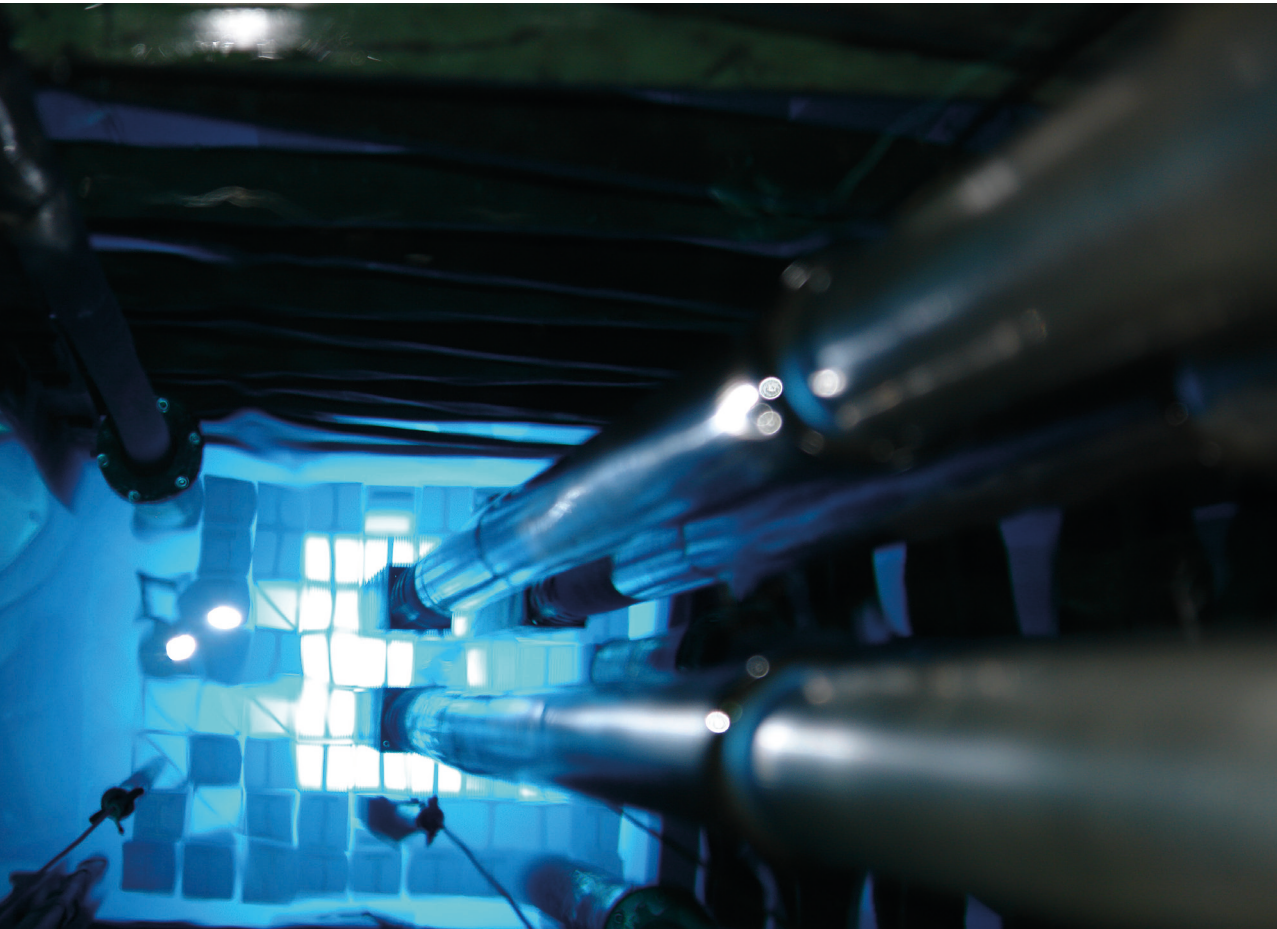


Paulo Sergio Cardoso Da Silva
Guilherme Soares Zahn
Francisco De Assis Souza
organizadores

CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR

Conselho editorial

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

Blucher Open Access

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

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

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

2022

Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas

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

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Diagramação Taís do Lago

Capa Laércio Flenic

Blucher

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

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

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

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

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

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

COMITÊ ORGANIZADOR

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

COMITÊ CIENTÍFICO

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

APOIO

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



DETERMINAÇÃO DE K_0 E Q_0 PARA AS REAÇÕES $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ E $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$

Livia F. Barros, Mauro da S. Dias, Marina F. Koskinas

Centro do Reator de Pesquisas – IPEN-CNEN/SP
Av. Professor Lineu Prestes, 2242
05508-000 São Paulo – SP
lfbarros@ipen.br

RESUMO

Este trabalho teve o intuito de contribuir para a melhoria na qualidade dos valores de k_0 e Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$. As medições das amostras irradiadas no reator IEA-R1 e das fontes padrão da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, do inglês International Atomic Energy Agency) foram realizadas por espectrometria gama de alta resolução em detector de HPGe. A fim de investigar melhor as eficiências nos intervalos de energia em que não havia pontos experimentais, foi aplicado o *Método de Monte Carlo*. As contribuições originais deste trabalho foram: a análise de covariância associada ao *Método dos Mínimos Quadrados*, que foi utilizada para o tratamento adequado das incertezas para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ estudadas neste trabalho, em que todas as incertezas

parciais envolvidas no processo foram utilizadas; a determinação experimental dos fatores de autoblindagem para nêutrons térmicos (G_{th}) e epitérmicos (G_e) utilizados nas determinações de k_0 e Q_0 para a reação $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114m}\text{In}$ e na determinação experimental do fator de autoblindagem para nêutrons epitérmicos (G_e) utilizado na determinação de k_0 e Q_0 para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$, que não foram observadas na literatura, além da determinação de k_0 obtida para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ na energia de 625,51 keV, que também não existe na literatura recomendada. Os valores de k_0 e Q_0 obtidos para todas as reações foram comparados aos valores encontrados na literatura.

1. INTRODUÇÃO

A Análise por Ativação Neutrônica (AAN) tornou-se uma técnica analítica de alta sensibilidade, excelente precisão e exatidão, adequada para análises quantitativas multielementares dos elementos que podem estar presentes em concentrações alta, média ou até como elemento-traço, em amostras provenientes dos mais variados campos de aplicação, sem a necessidade de separação radioquímica [1].

O Método k_0 de AAN é uma alternativa ao Método Comparativo de Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental, e elimina algumas desvantagens, como o uso de padrões. Este método faz uso de uma parametrização de conjuntos de dados nucleares experimentais ou teóricos em uma única grandeza que, por sua vez, pode ser determinada. A concentração dos elementos é calculada em relação a um elemento comparador, geralmente ouro, eliminando a necessidade de padrões. A técnica de análise por ativação com nêutrons no Método k_0 pode ser considerada “quase absoluta”, em razão da sua excelente exatidão [2].

Pesquisadores de todo o mundo tem se empenhado em recalcular os parâmetros k_0 e Q_0 [3-11] no intuito de refinar a base de dados destas constantes nucleares, principalmente no que se diz respeito a dados anteriores obtidos por De Corte [12-16].

O objetivo do presente trabalho foi determinar os parâmetros k_0 e Q_0 empregando-se o Método dos Mínimos Quadrados e a Metodologia da Matriz de Covariância [17] para o cálculo de incertezas, para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114m}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$, casos de interesse por parte dos usuários de k_0 [18].

Maiores detalhes deste trabalho estão na tese da autora L. F. Barros [19] e no artigo publicado intitulado “Determination of k_0 and Q_0 for ^{74}Se , ^{113}In , ^{186}W and ^{191}Ir targets applying covariance analysis” [20].

2. METODOLOGIA

O parâmetro k_0 de um isótopo analisado, com referência ao comparador, é definido por [12]:

$$(k_{0,Au})_a = \frac{M_{Au} \Theta_a \sigma_{0,a} \gamma_a}{M_A \Theta_{Au} \sigma_{0,Au} \gamma_{Au}} \quad (1)$$

onde: M_a é a massa atômica do elemento, Θ_a é a abundância isotópica, σ_a é a secção de choque para nêutrons térmicos, γ_a é a probabilidade de emissão gama por desintegração para a transição considerada. Os subscritos “a” e “Au” correspondem à amostra (elemento de interesse) e ao ouro (comparador), respectivamente.

O parâmetro k_0 foi determinado pela média ponderada com covariância dos valores de k_0 obtidos pela *Técnica da subtração cádmica* pela Equação 2 e pela técnica que utiliza as amostras sem cobertura de cádmio pela Equação 3, para cada energia da radiação gama de cada reação estudada neste trabalho: $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114}\text{mIn}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$.

$$k_{0,i} = \frac{A_{sp,i} - \frac{(A_{sp,i})_{Cd}}{F_{Cd,i}}}{A_{sp,Au} - \frac{(A_{sp,Au})_{Cd}}{F_{Cd,Au}}} \cdot \frac{G_{th,Au}}{G_{th,i}} \cdot \frac{\varepsilon_{p,Au}}{\varepsilon_{p,i}} \quad (2)$$

$$k_{0,i} = \frac{A_{sp,i}}{A_{sp,Au}} \cdot \frac{G_{th,Au} \cdot f + G_{e,Au} \cdot Q_{0,Au}(\alpha)}{G_{th,i} \cdot f + G_{e,i} \cdot Q_{0,i}(\alpha)} \cdot \frac{\varepsilon_{p,Au}}{\varepsilon_{p,i}} \quad (3)$$

onde o subscrito i corresponde ao elemento de interesse na energia de transição considerada e Au corresponde ao ouro (comparador), respectivamente. A taxa de contagem específica $A_{sp} = (N_p / t_m \cdot S \cdot D \cdot C \cdot W)$. N_p é a área do pico de absorção total da linha gama considerada geralmente obtida por espectrometria gama com detector de HPGe (corrigida para tempo morto, fator geométrico, soma em cascata etc.); t_m é o tempo de medida; S é o fator de saturação: $S = 1 - \exp(-\lambda t_{irr})$, com t_{irr} : tempo de irradiação; D é o fator de decaimento: $D = \exp(-\lambda t_d)$ com t_d : tempo de decaimento; C é o fator de contagem: $C = [1 - \exp(-\lambda t_m)] / \lambda t_m$, com t_m : tempo de medida, λ é a constante de decaimento radioativo e W é a massa. F_{Cd} é o fator de cádmio, G_{th} é o fator de correção para autoblindagem para nêutrons térmicos, G_e é o fator de correção para autoblindagem para nêutrons epitérmicos e ε_p é a eficiência de pico.

$Q_{0,i}(\alpha)$ e o parâmetro $Q_{0,i}$ foram calculados a partir das Equações 4 e 5 [12]:

$$Q_{0,i}(\alpha) = \frac{F_{Cd,Au} R_{Cd,Au} - 1}{F_{Cd,i} R_{Cd,i} - 1} \cdot \frac{G_{th,i}}{G_{th,Au}} \cdot \frac{G_{e,Au}}{G_{e,i}} \cdot Q_{0,Au}(\alpha) \quad (4)$$

$$Q_{0,i}(\alpha) = \frac{Q_{0,i} - 0,429}{(\bar{E}_{r,i})^\alpha} + \frac{0,429}{(2\alpha + 1) 0,55^\alpha} \quad (5)$$

onde α é o parâmetro relacionado com a distribuição de fluxo de nêutrons epitérmicos, aproximadamente dada por $1/E^{1+\alpha}$ [12]. O subscrito i corresponde ao elemento de interesse na energia de transição considerada e Au corresponde ao ouro (comparador), respectivamente.

A metodologia da matriz de covariância utilizada neste trabalho emprega para o cálculo de incertezas o uso da Matriz de Covariância [17,19,20], que é essencial para uma descrição completa das incertezas parciais envolvidas. Essa matriz contém a variância de cada um dos parâmetros e a covariância entre cada par de parâmetros.

3. PARTE EXPERIMENTAL

Foram realizados cinco grupos de irradiações, cada grupo com um par de coelhos, um com amostras sem cobertura de cádmio, outro com amostras com cobertura de cádmio e uma irradiação com o coelho com amostras de W com cobertura de cádmio, na posição de irradiação 24 A, prateleira 5 do reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP, irradiando-se cada coelho por 1 hora. Os fluxos de nêutrons térmico, epitérmico e rápido, na potência de 4,5 MW, são de aproximadamente $3,6 \times 10^{13}$; $7,2 \times 10^{12}$ e $3,0 \times 10^{12}$ n cm⁻² s⁻¹, respectivamente. A abertura dos coelhos das blindagens ocorreu no dia seguinte às irradiações [19].

Fontes pontuais padrão da IAEA de ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs e ¹⁵²Eu foram utilizadas para construir a curva de eficiência do detector de Germânio Hiperpuro (HPGe) CANBERRA, modelo GR1520, geometria coaxial fechada de eletrodo reverso com eficiência relativa de 15% e resolução 2,0 keV para a energia de 1332,5 keV do ⁶⁰Co, utilizado no processo de medida das amostras. As eficiências também foram avaliadas pelo *Método de Monte Carlo*.

Os alvos selecionados para as irradiações foram materiais de referência certificada (fios, folhas metálicas e soluções padrão) do IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements), do RE (Reactor Experiments), do Aldrich Chemical Company, da SPEX e da VHG Labs [19].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de k_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ obtidos são mostrados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente [19]. Nas tabelas, o número entre parênteses correspondem à incerteza nos últimos dígitos.

Tabela 1 – Resultados finais do parâmetro k_0 obtidos para a reação $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$ em suas respectivas energias em comparação com os valores recomendados da literatura

Energia (keV)	k_0 Presente trabalho	k_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003 ^[15]	k_0 Jaćimović <i>et al.</i> , 2010 ^[21]	Diferença Relativa de k_0 de Jaćimović e De Corte (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e De Corte (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e Jaćimović (%)
121,12	$2,15(5)\times 10^{-3}$	$1,94(1)\times 10^{-3}$	$2,19(3)\times 10^{-3}$	12,9	10,8	-1,8
136,00	$7,55(24)\times 10^{-3}$	$6,76(7)\times 10^{-3}$	$7,14(14)\times 10^{-3}$	5,6	11,7	5,7
264,66	$7,65(11)\times 10^{-3}$	$7,11(5)\times 10^{-3}$	$7,57(14)\times 10^{-3}$	6,5	7,6	1,1
279,54	$3,31(5)\times 10^{-3}$	$3,00(4)\times 10^{-3}$	$3,19(12)\times 10^{-3}$	6,3	10,3	3,8

Os resultados finais de k_0 obtidos neste trabalho para a reação $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$ nas energias 121,12; 136,0; 264,66 e 279,54 keV concordam dentro das incertezas com o valor de Jaćimović e colegas [21].

Tabela 2 – Resultados finais do parâmetro k_0 obtidos para a reação $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$ em suas respectivas energias em comparação com os valores recomendados da literatura

Energia (keV)	k_0 Presente trabalho	k_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003 ^[15]	k_0 Arboccò <i>et al.</i> , 2014 ^[7]	Diferença Relativa de k_0 de Arboccò e De Corte (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e De Corte (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e Arboccò (%)
190,3	$1,019(12)\times 10^{-3}$	$1,06(1)\times 10^{-3}$	$1,02(1)\times 10^{-3}$	-3,8	-3,9	-0,1
558,4	$2,724(35)\times 10^{-4}$	$2,86(2)\times 10^{-4}$	$2,70(3)\times 10^{-4}$	-5,6	-4,8	0,9
725,2	$2,721(35)\times 10^{-4}$	$2,90(2)\times 10^{-4}$	$2,70(3)\times 10^{-4}$	-6,9	-6,2	0,8

Os resultados finais de k_0 para a reação $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$ nas energias de 190,3; 558,4 e 725,2 keV estão de acordo com os valores da literatura de Arboccò e colegas [7] considerando-se as incertezas.

Tabela 3 – Resultados finais do parâmetro k_0 obtidos para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ em suas respectivas energias em comparação com os valores recomendados da literatura

Energia (keV)	k_0 Presente trabalho	k_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003[15]	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e De Corte (%)
479,53	$3,22(7) \times 10^{-2}$	$2,97(3) \times 10^{-2}$	8,4
551,53	$7,32(15) \times 10^{-3}$	$6,91(3) \times 10^{-3}$	5,9
618,77	$9,16(19) \times 10^{-3}$	$8,65(4) \times 10^{-3}$	5,9
625,51	$1,583(34) \times 10^{-3}$	n.r.	-
685,77	$3,98(8) \times 10^{-2}$	$3,71(2) \times 10^{-2}$	7,2
772,89	$5,99(12) \times 10^{-3}$	$5,61(4) \times 10^{-3}$	6,7

n.r.: não reportado na literatura

Os resultados finais de k_0 obtidos para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ nas energias de 479,53; 551,53; 618,77; 685,77 e 772,89 keV não concordam dentro das incertezas com os valores da literatura de De Corte e colegas [15]. O resultado final de k_0 obtido para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ na energia de 625,51 keV determinado neste trabalho não existe na literatura recomendada, portanto é uma contribuição original do presente trabalho.

Tabela 4 – Resultados finais do parâmetro k_0 obtidos para a reação $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ em suas respectivas energias em comparação com os valores recomendados da literatura

Energia (keV)	k_0 Presente trabalho	k_0 Chilian <i>et al.</i> , 2014 (Polytechnique) [4]	k_0 Chilian <i>et al.</i> , 2014 (SCK•CEN) [4]	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e Chilian Polytechnique (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e Chilian SCK•CEN e Chilian Polytechnique (%)	Diferença Relativa de k_0 do Presente trabalho e Stopic (%)	Diferença Relativa de Chilian Polytechnique e Stopic (%)	Diferença Relativa de Chilian SCK•CEN e Stopic (%)
295,96	1,172(12)	1,15(2)	1,13(2)	1,9	3,7	5,6	3,6	1,8
308,46	1,187(12)	1,19(2)	1,17(2)	-0,3	1,5	3,4	3,7	1,9
316,51	3,376(35)	3,30(4)	3,23(4)	2,3	4,5	5,4	3,0	0,8
468,07	1,964(20)	1,91(2)	1,85(2)	2,8	6,2	6,2	3,3	0,1

Os resultados finais de k_0 para a reação $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ nas energias de 295,96 e 316,51 keV concordam com os valores de Chilian e colegas [4] considerando-se as incertezas.

Os resultados de Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$, $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114m}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ obtidos são mostrados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8, respectivamente [19]. Nas tabelas, o número entre parênteses corresponde à incerteza nos últimos dígitos.

Tabela 5 – Resultado final do parâmetro Q_0 obtido para a reação $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$ em comparação com os valores recomendados da literatura

Q_0 Presente trabalho	Q_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003 [15]	Q_0 Jaćimović <i>et al.</i> , 2010[21]	Q_0 Mughabghab <i>et al.</i> , 2003[22]	Diferença Relativa do Presente trabalho e De Corte (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Jaćimović (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Mughabghab (%)	Diferença Relativa de Mughabghab e De Corte (%)
10,32(30)	10,8(7)	9,81(10)	11,034(452)	-4,4	5,2	-6,5	-9,2
							2,2

O resultado final de Q_0 para a reação $^{74}\text{Se}(n,\gamma)^{75}\text{Se}$ concorda com os valores da literatura apresentada de De Corte e colegas [15] e Mughabghab [22] considerando-se as incertezas e discorda dentro das incertezas do valor de Q_0 de Jaćimović e colegas [21].

Tabela 6 – Resultado final do parâmetro Q_0 obtido para a reação $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$ em comparação com os valores recomendados da literatura

Q_0 Presente trabalho	Q_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003 [15]	Q_0 Arboccò <i>et al.</i> , 2014[7]	Q_0 Mughabghab <i>et al.</i> , 2003 [22]	Diferença Relativa do Presente trabalho e De Corte (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Arboccò (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Mughabghab (%)	Diferença Relativa de Arboccò e De Corte (%)	Diferença Relativa de Mughabghab e De Corte (%)
24,7(7)	24,2(4)	23,7(5)	27,15(330)	2,1	34,2	-9,0	-2,1	12,19

O resultado final de Q_0 para a reação $^{113}\text{In}(n,\gamma)^{114\text{m}}\text{In}$ concorda com a literatura apresentada de De Corte e colegas [15], Mughabghab [22] e Arboccò e colegas [7] considerando-se as incertezas.

Tabela 7 – Resultado final do parâmetro Q_0 obtido para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ em comparação com os valores recomendados da literatura

Q_0 Presente trabalho	Q_0 De Corte <i>et al.</i> , 2003 [15]	Q_0 Mughabghab <i>et al.</i> , 2003 [22]	Diferença Relativa do Presente trabalho e De Corte (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Mughabghab (%)	Diferença Relativa de Mughabghab e De Corte (%)
13,0 (6)	13,7(2)	12,6(4)	-5,1	3,2	-8,0

O resultado final de Q_0 para a reação $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ concorda com a literatura apresentada de De Corte e colegas [15] e Mughabghab [22] considerando-se as incertezas.

Tabela 8 – Resultado final do parâmetro Q_0 obtido para a reação $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ em comparação com os valores recomendados da literatura

Q_0 Presente trabalho	Q_0 Chilian <i>et al.</i> , 2014 (<i>Polytechnique</i>) [4]	Q_0 Chilian <i>et al.</i> , 2014 (SCK• CEN) [4]	Diferença Relativa do Presente trabalho e Chilian (<i>Polytechnique</i>) (%)	Diferença Relativa do Presente trabalho e Chilian (SCK• CEN) (%)	Diferença Relativa de Chilian (<i>Polytechnique</i>) e Chilian (SCK• CEN) (%)
3,20(10)	3,94(20)	3,47(10)	-18,8	-7,8	13,5

O resultado final de Q_0 obtido para a reação $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ está em desacordo com a literatura de Chilian (*Polytechnique*) [4] e Chilian (SCK•CEN) [4] considerando-se as incertezas.

As matrizes de correlação obtidas neste trabalho podem ser consultadas na tese da autora L. F. Barros [19].

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizadas as determinações experimentais de k_0 e Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)$ ^{75}Se , $^{113}\text{In}(n,\gamma)$ $^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)$ ^{187}W e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)$ ^{192}Ir . As incertezas associadas aos parâmetros k_0 e Q_0 para estas reações foram avaliadas com análise de covariância associada ao *Método dos Mínimos Quadrados*; este foi um dos aspectos inéditos deste trabalho que proporcionou um tratamento rigoroso das incertezas associadas aos parâmetros k_0 e Q_0 para estas reações. Por meio deste método estatístico rigoroso todas as incertezas parciais envolvidas no processo foram utilizadas.

A maioria dos valores de k_0 e Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)$ ^{75}Se , $^{113}\text{In}(n,\gamma)$ $^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)$ ^{187}W e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)$ ^{192}Ir determinados neste trabalho teve concordância com os valores apresentados da literatura. O objetivo do presente trabalho de contribuir para a melhoria na qualidade dos valores de k_0 e Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)$ ^{75}Se , $^{113}\text{In}(n,\gamma)$ $^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)$ ^{187}W e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)$ ^{192}Ir foi atingido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) pela oportunidade do doutorado da autora L. F. Barros bem como ao CRPq (Centro do Reator de Pesquisas) e ao LMN (Laboratório de Metrologia Nuclear) do IPEN pelo uso das instalações.

A autora L. F. Barros agradece à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) pela bolsa de estudos recebida em seu doutorado para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. ZAMBONI, C. B. *et al.* *Fundamentos de física de nêutrons*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.
2. De Corte, F. The standardization of standardless NAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 248, p. 13-20, 2001.

3. SNEYERS, L.; VERMAERCKE, P. Determination of Q_0 and k_0 factors for ^{75}Se . *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 300, n. 1, p. 599-604, 2014.
4. CHILIAN, C.; SNEYERS, L.; KENNEDY, G. Measurement of k_0 and Q_0 values for iridium isotopes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 300, n. 1, p. 609-613, 2014.
5. STOPIC, A.; BENNETT, J. W. Measurement of k_0 values for caesium and iridium. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 300, n. 1, p. 593-597, 2014.
6. JACIMOVIĆ, R. *et al.* The 2012 recommended k_0 database. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 300, n. 1, p. 589-592, 2014.
7. ARBOCCOÒ, F. F. *et al.* Experimental determination of k_0 , Q_0 factors, effective resonance energies and neutron cross-sections for 37 isotopes of interest in NAA. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 300, n. 1, p. 655-772, 2014.
8. ARBOCCOÒ, F. F. *et al.* Experimental determination of Q_0 factors and effective resonance energies with a multi-channel approach: The α -vector method. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 302, n. 1, p. 631-646, 2014.
9. ARBOCCOÒ, F. F. *et al.* Experimental determination of k_0 , Q_0 , E_r factors and neutron cross-sections for 41 isotopes of interest in Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 296, n. 2, p. 931-938, 2013.
10. LIN, X. *et al.* Determination of k_0 -values for the reactions $^{94}\text{Zr}(n,\gamma)^{95}\text{Zr}$ and $^{96}\text{Zr}(n,\gamma)^{97}\text{Zr}$ - $^{97\text{m}}\text{Nb}$ by irradiation in highly thermalized neutron flux. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 67, n. 12, p. 2092-2096, 2009.
11. LIN, X.; HENKELMANN, R.; ALBER, D. Is there something wrong in the barium determination by k0-INAA? *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 271, n. 1, p. 71-76, 2007.
12. DE CORTE, F. *The k_0 -standardization method: a move to the optimisation of Neutron Activation Analysis*. 1986. 464 p. Tese (Doutorado) – Ryksuniversiteit Gent, Faculteit Van de Wetenschappen, Bélgica.
13. DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; DE WISPELAERE, A.; ELEK, A. J. k_0 -measurements and related nuclear data compilation for (n,g) reactor Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 133, n. 1, p. 3-41, 1989.

14. DE CORTE, F. *et al.* Recent advances in the k_0 -standardization of Neutron Activation Analysis: 118 extensions, applications, prospects. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 169, n. 1, p. 125-158, 1993.
15. DE CORTE, F.; SIMONITS, A. Recommended nuclear data for use in the k_0 standardization of neutron activation analysis. *Atom. Nucl. Data*. v. 85, n. 1, p. 47-67, 2003.
16. DE CORTE, F. *et al.* k_0 – measurements and related nuclear data compilation for (n,g) reactor Neutron Activation Analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 133, n. 1, p. 43-130, 1989.
17. HELENE, O. *Método dos mínimos quadrados com formalismo matricial*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
18. k_0 INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE. *k_0 -neutron activation users*. 2019. Disponível em: <http://www.kayzero.com/k0naa/k0naaorg/k0-ISC.html>.
19. BARROS, L. F. *Determinação de k_0 e Q_0 para as reações $^{74}\text{Se}(n,\gamma)$ ^{75}Se , $^{113}\text{In}(n,\gamma)$ $^{114\text{m}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)$ ^{187}W e $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)$ ^{192}Ir* . 2018. 165 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-21092018-143710/pt-br.php>. DOI: 10.11606/T.85.2018.tde-21092018-143710.
20. BARROS, L. F. *et al.* Determination of k_0 and Q_0 for ^{74}Se , ^{113}In , ^{186}W and ^{191}Ir targets applying covariance analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 154, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.108846>.
21. JAĆIMOVIĆ, R.; STIBILJ, V. Determination of Q_0 and k_0 factors for ^{75}Se and their validation using a known mass of Se on cellulose. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, v. 622, p. 415-418, 2010.
22. MUGHABGHAB, S. F. *Thermal neutron capture cross sections resonance integrals and g-factors*. INDC(NDS)-440, International Nuclear Data Committee, 2003.

