



**RADIOISÓTOPOS ARTIFICIAIS
PREPARADOS
COM O REATOR I E A R-1**

Publicação I E A — N.º 2

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO

Publicação feita sob os auspícios da
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Presidente -- Vice-Almirante Octacílio Cunha

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS

Presidente — Prof. Dr. João Christovão Cardoso

Vice-Presidente — Prof. Dr. Athos da Silveira Ramos

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor — Prof. Dr. Gabriel Sylvestre Teixeira de Carvalho

Vice-Reitor — Prof. Dr. Francisco João Humberto Maffei

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO

Representantes do Conselho Nacional de Pesquisas

Prof. Dr. Luiz Cintra do Prado

Prof. Dr. Paulus Aulus Pompéia

Representantes da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Francisco João Humberto Maffei

Prof. Dr. José Moura Gonçalves

CONSELHO DE PESQUISAS

Prof. Dr. Marcello Damy de Souza Santos

— Chefe da Divisão de Física Nuclear

Prof. Eng. Paulo Saraiva de Toledo

— Chefe da Divisão de Física de Reatores

Prof. Dr. Fausto Walter Lima

— Chefe da Divisão de Radioquímica

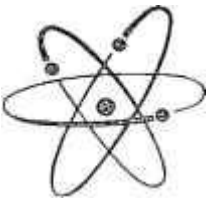
Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

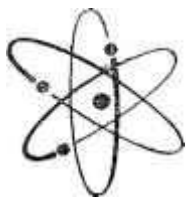
— Chefe da Divisão de Radiobiologia

Diretor — Prof. Dr. Marcello Damy de Souza Santos



**RADIOISÓTOPOS ARTIFICIAIS
PREPARADOS
COM O REATOR I E A R-1**





“**A** inauguração do reator atômico é um desses exemplos memoráveis do que pode fazer o paulista. Ingressou hoje o Brasil e mesmo a América do Sul na era atômica, projetando-se, assim, internacionalmente”.

(palavras proferidas pelo presidente Juscelino Kubitschek, durante a inauguração do reator de pesquisas do Instituto de Energia Atômica a 25-1-58).

* * *

“**A** inauguração desse reator atômico, na presença do Presidente Kubitschek, assinala uma das datas mais memoráveis na civilização paulista: dá a São Paulo e a Nação o primado sulamericano quanto à pesquisa atômica”.

(palavras proferidas pelo governador Jânio Quadros, durante a inauguração do reator de pesquisas do Instituto de Energia Atômica, a 25-1-58).

PREFÁCIO

São do domínio público os extraordinários progressos obtidos recentemente nos mais diversos campos de pesquisa e aplicação científica e tecnológica pelo emprêgo dos radioisótopos.

Suas aplicações se têm multiplicado na medicina, na biologia, na agricultura, na indústria em escala crescente, e êles constituem hoje um instrumento de investigação e de contrôle tão maleável, que, no dizer do Dr. Libby, seus usos só têm um limite — que é o poder de imaginação dos pesquisadores.

Existem vários meios de obtenção de radioisótopos. A grande maioria pode ser produzida em reatores nucleares ou em ciclotrons. Embora êsses últimos sejam instrumentos mais universais na obtenção de radioisótopos, incluindo os de elevada atividade específica, o reator apresenta sôbre êles uma grande vantagem no que concerne a produtividade e a simplicidade técnica de aplicação do método de obtenção por meio de irradiação neutrônica.

Entre nós, até agora, as necessidades nacionais — sempre crescentes — têm sido imperfeitamente satisfeitas por meio de importações, com as deficiências decorrentes das delongas oriundas da obtenção de divisas e dos desembaraços alfandegários, que, somados aos prazos exigidos para embarques e trans-

porte concorrem para uma menor disponibilidade de radioisótopos, particularmente daqueles — cuja “meia-vida” é curta, como o iodo radioativo.

A instalação no Brasil do reator do Instituto de Energia Atômica de São Paulo permite encarar, de modo mais efetivo, o problema do suprimento de radioisótopos para as inúmeras aplicações desses eficazes instrumentos de pesquisa. A construção já bem adiantada dos laboratórios anexos ao reator virá pôr à disposição dos pesquisadores um suprimento variado e regular de radioisótopos.

Num esforço meritório o Instituto de Energia Atômica já está procurando atender parcialmente às necessidades mais prementes do Brasil, já tendo entregue ao uso de alguns estabelecimentos radioisótopos obtidos em seu reator.

A presente publicação é mais um aspecto desse esforço, que, bem compreendido por nossos pesquisadores, permitirá atender a suas necessidades, antes mesmo da conclusão e aparelhamento dos laboratórios em construção.

Pondo êsse serviço à disposição dos estabelecimentos interessados, cujos pedidos a Comissão Nacional de Energia Nuclear encaminhará, para seu atendimento dentro das disponibilidades atuais, o Instituto de Energia Atômica marca mais uma etapa de sua evolução intimamente ligada às aplicações pacíficas da energia nuclear em nosso País.

VICE-ALMIRANTE OCTACILIO CUNHA
PRESIDENTE DA COMISSÃO NACIONAL DE
ENERGIA NUCLEAR

Introdução

A 11 de Janeiro de 1956, o Conselho Nacional de Pesquisas e a Universidade de São Paulo, estabeleceram um convênio para criação de um Instituto de Energia Atômica, de âmbito nacional, tendo por finalidades principais:

1. desenvolver pesquisas sôbre a aplicação da energia atômica para fins pacíficos;
2. produzir radio-isótopos para estudos e experiências em quaisquer pontos do país;
3. contribuir para a formação, em ciência e tecnologia nucleares, de cientistas e técnicos provenientes das várias unidades da federação;
4. estabelecer bases, dados construtivos e protótipos de reatores, destinados ao aproveitamento da energia atômica para fins industriais, tendo em vista as necessidades do país.

Como parte desse convênio, aprovado pelo Exmo. Sr. Presidente da República a 31 de Agosto de 1956, foi instalado um reator de pesquisas, em edifício especialmente construído para esse fim, na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira.

O reator entrou em funcionamento a 16 de Setembro de 1957.

Radioisótopos artificiais preparados com o reator do Instituto de Energia Atômica

O reator do Instituto de Energia Atômica foi projetado para permitir o desenvolvimento do programa da Comissão de Energia Atômica do Conselho Nacional de Pesquisas, o qual inclui, como uma de suas finalidades de maior importância, o fornecimento de radioisótopos para o atendimento das necessidades do país nesse setor.

Com o funcionamento do reator, em seu nível de potência máxima, encontra-se o Instituto capacitado para fornecer tais elementos a todas as instituições científicas e industriais do país.

Na presente publicação são apresentadas as características de cerca de setenta isótopos artificiais, cujo fornecimento poderá ser feito pelo I. E. A., nas condições especificadas na página 15.

Além desses isótopos, outros de uso menos frequente ou de preparação mais difícil, como Actínio 227, Bário 131, Carbono 14, Cloro 36, Európio 155, Ouro 199, Iridio 194, Paládio 103, Promécio 147, Promécio 147*, Promécio 149, Rutênio 97, Tecnécio, 97,

Tecnécio 99*, Hidrogênio³ (Tritio), Nickel 59, Nickel 63, Selênio 75, Telúrio 127, e outros, poderão ser fornecidos mediante consulta ao I. E. A.

Os isótopos radioativos da lista anexa serão fornecidos aos interessados mediante autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Será cobrada uma taxa a fim de fazer face às despesas decorrentes da sua irradiação: o I. E. A. como entidade encarregada de promover o desenvolvimento das aplicações dos isótopos na ciência e na tecnologia, não auferirá lucros com tal preparação.

As atividades, indicadas no presente trabalho, foram calculadas para ativação, nos tubos de irradiação, do reator num nível de potência de 50 kw.

Em casos excepcionais, a serem julgados pelo Instituto de Energia Atômica, poderão ser fornecidas atividades específicas até cem vezes superiores às indicadas na presente tabela, uma vez que a potência máxima de funcionamento contínuo do reator é de 5.000 kw.

Atividades específicas ainda superiores a essas poderão ser obtidas mediante operação do reator em nível de potência até 10.000 kw, desde que o período de irradiação não ultrapasse de 12 horas.

Isótopos de alta atividade específica (sem arrastador, ou "carrier-free")

Para instituições de pesquisas o Instituto de Energia Atômica está habilitado a fornecer isótopos,

de alta atividade específica, em níveis de atividade não superiores a um milicurie.

Essa limitação é decorrente da falta, no I.E.A. de equipamento para manipulação à distância, necessário à concentração de isótopos em nível de atividade mais elevado.

Com a conclusão dos laboratórios anexos ao reator nuclear, aguardada para Setembro do corrente ano, e com a instalação de laboratórios de alta atividade, que deverão ser dotados de equipamento de manipulação à distância, êsses isótopos poderão ser produzidos, em nível de atividade extremamente elevado, tais como são utilizados atualmente na terapia médica.

No caso particular em que os isótopos não requirem separação química, o I. E. A. está em condições de fornecê-los com alta atividade específica, como é o caso da produção de agulhas de colbato, de sementes de ouro e de ouro coloidal para terapia médica.

Lista de isótopos produzidos pelo Reator

Nas páginas seguintes estão relacionados os rádio-elementos que podem ser fornecidos de maneira corrente e para os quais foram indicados:

1. Suas características físicas (meia-vida, natureza e energia das radiações);
2. A reação de formação;

3. A presença de outros rádio-elementos que podem ser formados durante a irradiação;
4. A composição química recomendada para o alvo a ser submetido à irradiação;
5. A secção de choque eficaz;
6. A atividade específica (isto é, a atividade induzida por grama de elemento irradiado, obtida em diferentes períodos de irradiação).

Os valores das constantes físicas utilizadas na presente publicação são baseados na tabela de isótopos de Seaborg (Reviews of Modern Physics, 1958) as secções de choque foram tomadas do "Neutron Cross-Sections", 2.a edição, 1958, por Hughes e Schwartz.

Alvo

Em condições normais o I. E. A. não fornecerá os alvos de irradiação, a não ser quando se trate de compostos químicos de uso corrente. Os alvos deverão ser fornecidos pelo interessado.

Esse fornecimento deve ser acompanhado de uma análise química do composto, reservando-se o Instituto o direito de proceder a uma análise dessa natureza, no caso de serem encontradas atividades estranhas.

Os alvos recomendados foram escolhidos por serem aqueles que melhor se prestam à preparação

de isótopos. Em condições normais eles não dão, em geral, outras atividades a não ser aquelas que se deseja obter ou as que são produzidas de maneira inevitável durante a irradiação.

Finalmente, a escolha desses alvos permite assegurar que, a quase totalidade de rádio-elementos produzidos, permanecerá sob a mesma forma química que o alvo utilizado para a sua produção.

Em casos especiais o Instituto poderá irradiar outros compostos químicos, desde que a sua estabilidade seja suficiente para que não causem acidentes no reator.

O atendimento de pedidos dessa natureza deverá ser sujeito à consulta prévia ao I. E. A.

O reator IEAR-1, em virtude do elevado fluxo de neutrons quando operado em potência elevada, é capaz de produzir isótopos radioativos de atividade específica superior à produzida por outros reatores destinados à produção rotineira de isótopos.

O fluxo normalmente utilizado nas irradiações é de 5×10^{12} nv; em casos especiais, irradiações com fluxos térmicos ou rápidos de 7×10^{13} nv podem ser proporcionadas.

Atividades Produzidas

Em condições normais, não é possível calcular com grande precisão a atividade específica induzida

em irradiação de um alvo de material sujeito a um fluxo de neutrons durante um certo tempo: os valores dos fluxos utilizados variam com a sua posição nos tubos de irradiação para as diversas configurações dos elementos combustíveis utilizadas no momento da irradiação.

Além dessa circunstância, outro fator que influencia de maneira apreciável as atividades induzidas é o fenômeno de "sombra" produzido por quantidades apreciáveis de materiais de elevada secção de choque para captura; nesses casos, a densidade do gás de neutrons diminue com a distância a partir da superfície do alvo irradiado, trazendo como consequência, uma maior concentração do isótopo produzido na superfície do material, enquanto suas regiões centrais podem permanecer praticamente inativos. Na presente tabela êsse fenômeno não foi levado em consideração.

Cálculo das atividades

Quando um elemento químico é sujeito à irradiação pelos neutrons provenientes do reator, a atividade por grama de elemento irradiado, que se forma ao fim de um tempo t é dada pela equação

$$A = \frac{1,62 \phi \sigma}{10^8 M} \left(1 - e^{-\frac{0,69}{T} t} \right) \quad (1)$$

onde:

A = atividade específica produzida, medida em millicuries por grama.

M = massa atômica do elemento irradiado

σ = secção eficaz para captura, em fermi

(1 fermi = 10^{-24} cm²)

T = meia-vida do isótopo formado } medidos na
t = duração da irradiação } mesma unidade
de de tempo

σ e T são constantes nucleares características do elemento bombardeado e do isótopo produzido, respectivamente. Seus valores encontram-se assinalados nesta publicação.

A equação (1) mostra que a atividade produzida aumenta com o tempo, atingindo um valor limite, para um tempo de irradiação infinito, denominado valor de saturação. Para $t = T$, a atividade produzida já atinge a metade do valor de saturação e para $t = 7T$ ela difere apenas de cerca de 1% desse valor.

No caso particular em que o tempo de irradiação é pequeno em relação à meia-vida (p. exemplo: $t \leq 0,10T$), a equação pode ser simplificada e a seguinte expressão, usada:

$$A = \frac{1,13 \phi \sigma t}{10^8 M T}$$

A massa do isótopo produzido é sempre pequena e é dada pela equação

$$m = 7,7 \times 10^{-9} MT_d A$$

onde

m = massa do isótopo produzido em gramas

T_d = meia-vida do radioisótopo formado, medida em dias

M = massa do elemento irradiado, em gramas

A = atividade específica medida em curies — equação (1).

Condições de fornecimento

O fornecimento de isótopos, pelo I. E. A., está sujeito a autorização prévia da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Para êsse fim, a Comissão fornecerá às instituições credenciadas, um talão de requisição de fornecimento de isótopos, o que permitirá a remessa do pedido diretamente ao I. E. A. sem outras formalidades.

As entidades interessadas deverão dirigir-se ao Setor Técnico-Científico da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Avenida Marechal Câmara, 350 — 7.º andar, Rio de Janeiro, para obtenção de tais talões.

Transporte

O transporte de isótopos radioativos requer embalagens especiais que serão fornecidas pelo I. E. A. pelo preço de custo.

Para mais informações sobre o fornecimento de isótopos, custos e datas de fornecimento, consultar o Instituto de Energia Atômica, Caixa Postal, 11049, Pinheiros, São Paulo, Telefone 80-3345.

**RADIOISÓTOPOS ARTIFICIAIS
PREPARADOS
COM O REATOR I E A R-1**

ANTIMONIO 124

Constantes Características:

Meia-vida	:	60 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,5 (20%)	0,60 (95%)
		0,65 (44%)	0,65 (8%)
		1,0 (8%)	0,7 (24%)
		1,6 (7%)	1,70 (70%)
		2,37 (21%)	2,06 (6%)
			2,3 (0,05%)

Reação de formação: $^{123}\text{Sb} (n, \gamma) ^{124}\text{Sb}$

Outras atividades produzidas: ^{123}Sb

Alvo para irradiação: Sb ou Sb_2O_3 (2 g)

Secção de choque eficaz : 1,24 fermi

Atividade específica: 1 semana : 4,6 mc
(por grama de elemento irradiado) 4 semanas 16 mc
 saturação : 82 mc

ANTIMONIO 125

Constantes Características:

Meia-vida	:	2,7 anos
Radiação	:	beta gama
Energia (MeV)	:	0,288 (65%) 0,125
		0,621 (35%) 0,174
		0,431
		0,466
		0,609
		0,646

Reação de formação: $^{124}\text{Sn} (n, \gamma) ^{125}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{125}\text{Sb}$

Outras atividades produzidas: ^{113}Sn , ^{121}Sn , ^{123}Sn , ^{125}Sn

Alvo para irradiação: Sn (20 g)

Secção de choque eficaz: 0,035 fermi

Atividade específica: 1 ano : 0,5 mc
 (por grama de elemento irradiado) 3 anos : 1,3 mc
 saturação: 2,4 mc

ARSENICO 76

Constantes Características:

Meia-vida	:	26,8 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,4 (7%)	0,567
		1,4 (19%)	1,25
		2,56 (21%)	1,8
		3,12 (54%)	2,1 (7%)

Reação de formação: $^{75}\text{As} (n, \gamma) ^{76}\text{As}$

Outras atividades produzidas: Nenhuma

Alvo para irradiação: As ou As₂O₃ (2 g)

Secção de choque eficaz : 5,4 fermi

Atividade específica:	12 horas :	160 mc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas :	440 mc
	saturação:	580 mc

ARSENICO 77

Constantes Características:

Meia-vida : 40 horas

Radiação : beta

Energia (MeV) : 0,7

Reação de formação: $^{75}\text{Ge} (n, \gamma) ^{76}\text{Ge} \xrightarrow{\beta^-} ^{76}\text{As}$

Outras atividades produzidas: ^{71}Ge , ^{77}Ge

Alvo para irradiação: Ge ou GeO_2 (2 g)

Secção de choque eficaz : 0,0061 fermi

Atividade específica: 12 horas : 35 μc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 0,27 mc
saturação: 0,7 mc

BISMUTO 210 (Ra E)

Constantes Características:

Meia-vida	:	5 dias	
Radiação	:	alfa	beta
Energia (MeV)	:	4,77 (0,0001%)	1,17 (100%)

Reação de formação: $^{209}\text{Bi} (n, \gamma) ^{210}\text{Bi}$

Outras atividades produzidas: ^{210}Po (Ra F)

Alvo para irradiação: óxido ou nitrato de bismuto (50 g)

Secção de choque eficaz: 0,019 fermi

Atividade específica: 50 horas : 0,19 mc
(por grama de elemento irradiado) 1 semana: 0,35 mc
saturação: 0,76 mc

B R O M O 8 0

Constantes Características:

Meia-vida	:	4,6 horas	18 minutos
Radiação	:	T.I.e gama	beta
Energia (MeV)	:	0,037	2
		0,049	

Reacção de formação: $^{79}\text{Br} (n, \gamma) ^{80}\text{Br}$

Outras actividades produzidas: ^{82}Br

Alvo para irradiação: NH_4Br (5 g)

Secção de choque eficaz : 1,46 fermi 4,3 fermi

Actividade específica: 12 horas : 120 mc 360 mc
 (por grama de elemento 360 mc
 irradiado) saturação: 150 mc 360 mc

B R O M O 82

Constantes Características:

Meia-vida	:	35,9 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,465	0,547
			0,787
			1,35
			1,7 - 2,0 (0,14%)

Reação de formação: $^{81}\text{Br} (n, \gamma) ^{82}\text{Br}$

Outras atividades produzidas: ^{80}Br e $^{80}\text{Br}^*$

Alvo para irradiação: NH^4Br (5 g)

Secção de choque eficaz : 1,52 fermi

Atividade específica: 12 horas : 21 mc
 (por grama de elemento irradiado) 50 horas : 108 mc
 saturação: 154 mc

CADMIUM 115

Constantes Características:

Meia-vida :	53 horas	43 dias
Radiação :	beta	beta
Energia (MeV) :	0,46 (60%)	1,67
	1,1 (40%)	0,5
		gama
		0,34 (100%)
		0,52 (60%)

Reação de formação: $^{113}\text{Cd} (n, \gamma) ^{115}\text{Cd}$

Outras atividades produzidas: ^{115}In

Alvo para irradiação: Cd (0,5 g) ou $(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \text{Cd} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1 g)

Seção de choque eficaz : 0,32 fermi 0,04 fermi

Atividade específica:	12 horas :	mc	230 μc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas :	10 mc	0,10 mc
	1 semana :	19 mc	0,3 mc
	saturação :	22 mc	1 mc

CALCIO 45

Constantes Características:

Meia-vida	:	152 dias
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	0,254

Reação de formação: $^{44}\text{Ca} (n, \gamma) ^{45}\text{Ca}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: CO_2Ca (20 g)

Secção de choque eficaz: 0,013 fermi

Atividade específica:

(por grama de elemento irradiado)

50 horas	:	25 μC
1 mês	:	0,3 mc
6 meses	:	1,4 mc
1 ano	:	2 mc
saturação:	:	2,6 mc

CERIO 141

Constantes Características:

Meia-vida	:	32 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,41 (70%)	0,141 (70%)
		0,66 (30%)	

Reação de formação: $^{140}\text{Ce} (n, \gamma) ^{141}\text{Ce}$

Outras atividades produzidas: ^{142}Ce , ^{143}Pr

Alvo para irradiação: CeO_2 (2 g)

Secção de choque eficaz: 0,27 fermi

Atividade específica: 50 horas : 0,8 mc
 (por grama de elemento irradiado) 1 mês : 8,5 mc
 saturação: 16 mc

CESIO 134

Constantes Características:

Meia-vida :	3,2 horas	2,3 anos
Radiação :	beta gama	gama
Energia (MeV) :	2,4 0,128	0,090 0,658 0,602 0,794

1,35 (pouca intensidade)

Reação de formação: ^{135}Cs (n, γ) ^{134}Cs

Outras atividades produzidas: nenhuma

Alvo para irradiação: Co_3Cs_2 (2 g)

Secção de choque eficaz : 0,017 fermi 30 fermi

Atividade específica:	12 horas : 0,9 mc	0,75 mc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas : 1 mc	3,3 mc
	1 mês : 1 mc	46 mc
	1 ano : 1 mc	480 mc
	saturação: 1 mc	1,8 c

COBALTO 60

Constantes Características:

Meia-vida	:	5,3 anos	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,31	1,17
			1,33

Reação de formação: $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Co ou Co_2O_3 (2 g)

Secção de choque eficaz: 20 fermi

Atividade específica:	12 horas :	0,45 mc
(por grama de elemento	50 horas :	2,0 mc
irradiado)	1 mês :	29 mc
	1 ano	320 mc
	saturação	2850 mc

COBRE 64

Constantes Características:

Meia-vida	:	12,8 horas
Radiação	:	K, beta gama
Energia (MeV)	:	$s^- 0,57$ 1,33 (pouca in- $s^+ 0,65$ tensidade)

Reação de formação: $^{63}\text{Cu} \text{ (n, } \gamma \text{) } ^{64}\text{Cu}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Cu ou CuO (2 g)

Secção de choque eficaz : 3 fermi

Atividade específica: 12 horas : 188 mc
(por grama do elemento 50 horas : 370 mc
irradiado) saturação: 390 mc

C R O M O 5 1

Constantes Características:

Meia-vida	:	27,8 dias	
Radiação	:	K	gama
Energia (MeV)	:		0,320 0,267

Reação de formação: $^{50}\text{Cr} (n, \gamma) ^{51}\text{Cr}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Cr_2O_3 (5 g)

Secção de choque eficaz : 0,58 fermi

Atividade específica:
(por grama de elemento irradiado)

50 horas :	5,2 mc
1 mês :	49 mc
saturação :	93 mc

ENXOFRE 35

Constantes Características:

Meia-vida	:	87,1 dias
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	0,166
Reação de formação:		$^{35}\text{S} (n, \gamma) ^{35}\text{S}$
Outras atividades produzidas:		^{32}P
Alvo para irradiação:		S (20 g)
Secção de choque eficaz :		0,011 fermi
Atividade específica:		1 mês : 550 μC
(por grama de elemento irradiado)		3 meses : 1,3 mC
		saturação: 2,6 mC

ESTANHO 113

Constantes Características:

Meia-vida	:	112 dias	
Radiação	:	K, e	gama
Energia (MeV)	:		0,09

Reação de formação: $^{112}\text{Sn} (n, \gamma) ^{113}\text{Sn}$

Outras atividades produzidas: ^{121}Sn , ^{123}Sn , ^{125}Sn , ^{125}Sb

Alvo para irradiação: Sn (20 g)

Secção de choque eficaz : 0,011 fermi

Atividade específica:
(por grama de elemento irradiado)

1 mês	:	0,13 mc	
3 meses	:	0,4 mc	
saturação:		0,75 mc	

ESTANHO 121

Constantes Características:

Meia-vida	:	27,5 horas
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	0,38
Reação de formação:		$^{120}\text{Sn} (n, \gamma) ^{121}\text{Sn}$
Outras atividades produzidas:		$^{113}\text{Sn}, ^{123}\text{Sn}, ^{125}\text{Sn}, ^{125}\text{Sb}$
Alvo para irradiação:		Sn (20 g)
Secção de choque eficaz :		0,046 fermi
Atividade específica:		12 horas : 0,82 mc
(por grama de elemento		50 horas : 2,3 mc
irradiado)		saturação: 3.1 mc

ESTONCIO 89

Constantes Características:

Meia-vida : 53 dias

Radiação : beta

Energia (MeV) : 1,46

Reação de formação: $^{88}\text{Sr} (n, \gamma) ^{89}\text{Sr}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: SrCO_3 (20 g)

Secção de choque eficaz : 0,0041 fermi

Atividade específica: 1 mês : $1,20 \mu\text{C}$
(por grama de elemento saturação: $370 \mu\text{C}$
irradiado)

EUROPIO 152

Constantes Características:

Meia-vida	:	9,2 horas	13 anos	
Radiação	:	beta	gama	beta
Energia (MeV)	:	0,36	0,123	0,9 (80%)
		1,88	0,163	1,7 (20%)
		K	0,725	K
				gama
				1,2

Reação de formação: $^{151}\text{Eu} (n, \gamma) ^{152}\text{Eu}$

Outras atividades produzidas: ^{154}Eu

Alvo para irradiação: Eu_2O_3 (0,25 g)

Secção de choque eficaz: 670 fermi 2620 fermi

Atividade específica:	12 horas :	20 c	20 mc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas :	35 c	85 mc
	1 mês :	35 c	1,2 c
	saturação:	35 c	

EUROPIO 154

Constantes Características:

Meia-vida	:	16 anos	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,3 (50%)	1,2
		0,7 (40%)	
		1,9 (10%)	
Reação de formação:		$^{153}\text{Eu} \text{ n, } \gamma$	^{154}Eu
Outras atividades produzidas:		^{152}Eu	
Alvo para irradiação:		Eu_2O_3	(0,25 g)
Secção de choque eficaz :		235	fermi
Atividade específica: (por grama de elemento irradiado)		12 horas :	2,25 mc
		50 horas :	9,4 mc
		1 mês :	140 mc
		1 ano :	1,5 c
		saturação:	13 r

FERRO 55

Constantes Características:

Meia-vida : 2,9 anos

Radiação : K

Energia (MeV) :

Reação de formação: $^{54}\text{Fe} (n, \gamma) ^{55}\text{Fe}$

Outras atividades produzidas: ^{59}Fe

Alvo para irradiação: Fe (20 g)

Secção de choque eficaz : 0,13 fermi

Atividade específica: 1 mês : 0,38 mc
(por grama de elemento irradiado) 6 meses : 2 mc
saturação: 19 mc

FERRO 59

Constantes Características:

Meia-vida	:	46,3 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,26 (50%)	1,1
		0,46 (50%)	1,8

Reação de formação: $^{58}\text{Fe} (n, \gamma) ^{59}\text{Fe}$

Outras atividades produzidas: ^{55}Fe

Alvo para irradiação: Fe (20 g)

Secção de choque eficaz : 0,0077 fermi

Atividade específica: saturação: 108 μc
(por grama de elemento irradiado)

F O S F O R O 3 2

Constantes Características:

Meia-vida	:	14,3 dias
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	1,71

Reação de formação: $^{31}\text{P} (n, \gamma) ^{32}\text{P}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Fósforo vermelho (20 g)

Secção de choque eficaz : 0,2 fermi

Atividade específica:	50 horas :	5,5 mc
(por grama de elemento irradiado)	1 mês :	40 mc
	saturação:	55 mc

FOSFORO 32 (sem carregador)

Constantes Características:

Meia-vida	:	14,3 dias
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	1,71

Reação de formação: $^{32}\text{S} (n, p) ^{32}\text{P}$

GALIO 72

Constantes Características:

Meia-vida	:	14,2 horas	
Radiação	:	beta gama	
Energia (MeV)	:	0,56 (25%) 0,631	
	:	0,74 (23%) 0,69	
	:	1,00 (26%) 0,83	
	:	1,45 (7%) 1,05	
	:	1,75 (3%) 1,47 (pouca in-	
	:		tensidade)
	:	2,57 (8%) 1,57 (pouca in-	
	:		tensidade)
		3,17 (8%) 1,81	
		2,18	
		2,50	

Reação de formação: $^{71}\text{Ga} (n, \gamma) ^{72}\text{Ga}$

Outras atividades produzidas: nenhuma

Alvo para irradiação: Ga (NO₃)₃ (0,5 g)

Secção de choque eficaz : 1,6 fermi

Atividade específica: 12 horas : 83 mc
 (por grama de elemento 50 horas : 180 mc
 irradiado) saturação: 190 mc

GERMANIO 71

Constantes Características:

Meia-vida	:	12 dias	
Radiação	:	K	gama
Energia (MeV)	:		0,32

Reação de formação: $^{70}\text{Ge} (n, \gamma) ^{71}\text{Ge}$

Outras atividades produzidas: ^{72}Ge , ^{77}As

Alvo para irradiação: Ge ou GeO_2 (2 g)

Secção de choque eficaz : 0,8 fermi

Atividade específica: 12 horas : 0,28 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 1 mc
1 mês : 7 mc
saturação: 8,8 mc

H A F N I O 181

Constantes Características:

Meia-vida	:	46 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,405	0,13
			0,134
			0,344
			0,480

Reação de formação: $^{180}\text{Hf} (n, \gamma) ^{181}\text{Hf}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Hf_2O_3 (2 g)

Secção de choque eficaz : 3,5 fermi

Secção de choque eficaz : 12 horas : 1,2 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 5 mc
 1 mês : 57 mc
 3 meses : 120 mc
 saturação: 160 mc

H O L M I O 166

Constantes Características:

Meia-vida	:	27,3 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	1,88	0,08 1,2 (1,5%)

Reação de formação: $^{165}\text{Ho} (n, \gamma) ^{166}\text{Ho}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Ho_2O_3 (0,2 g)

Secção de choque eficaz : 60 fermi

Atividade específica: 12 horas : 760 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 2,05 mc
saturação: 2,8 c

INDIO 114

Constantes Características:

Meia-vida :	49 dias	72 segundos	
Radiação :	beta	beta	gama
Energia (MeV) :	e ⁻	$\mu + 0,65$ (97%)	0,548 (3%)
	T. I.	$\mu - 2,05$ (0,01%)	0,715 (3%)
		K (3%)	1,27 (0,01%)

Reação de formação:

¹¹³In (n, γ) ¹¹⁴In

Outras atividades produzidas:

¹¹⁶In (meia-vida: 54 minutos)

Alvo para irradiação:

In (0,5 g)

Secção de choque eficaz :

2,4 fermi

Atividade específica:

50 horas : 5 mc

(por grama de elemento

1 mês : 55 mc

irradiado)

3 meses: 110 mc

saturação: 160 mc

INDIO 115

Constantes Características:

Meia-vida	:	4.5 horas	
Radiação	:	0.83 (6%)	0.34
Energia (MeV)	:	T. I.	
		e^-	

Reação de formação: $^{110}\text{Cd} (n, \gamma) ^{111}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{111}\text{In}$

Outras atividades produzidas: ^{115}Cd

Alvo para irradiação: Cd (0.5 g) ou $(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \text{Cd} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1 g)

Secção de choque eficaz: 0.31 fermi

Atividade específica: 12 horas : 1.7 mc
 (por grama de elemento irradiado) 50 horas : 9 mc
 saturação: 22 mc

IODO 131

Constantes Características:

Meia-vida	:	8 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,32 (15%)	0,080 (7%)
	:	0,60 (85%)	0,284 (7%)
	:		0,364 (78%)
	:		0,638 (15%)

Reação de formação: $^{130}\text{Te} (n, \gamma) ^{131}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{131}\text{I}$

Outras atividades produzidas: $^{127}\text{Te}, ^{129}\text{Te}, ^{131}\text{Te}$

Alvo para irradiação: Te (5 g)

Secção de choque eficaz : 0,0735 fermi

Atividade específica: 12 horas : 0,23 mc

(por grama de elemento 50 horas : 0,95 mc

irradiado) saturação: 3,18 mc

O fornecimento de ^{131}I tem sido irregular, em virtude das limitações do equipamento atualmente existente no I.R. 30 poderá ser feito, nas condições, mencionadas, em 2. desta publicação.

IRIDIO 192

Constantes Características:

Meia-vida	:	74 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,67	12 gamas de 0,19 á 0,615

Reação de formação: $^{191}\text{Ir} (n, \gamma) ^{192}\text{Ir}$

Outras atividades produzidas: ^{194}Ir

Alvo para irradiação: Ir (1 g)

Secção de choque eficaz : 270 fermi

Atividade específica: 12 horas : 56 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 245 mc
1 mês : 295 mc
3 meses: 630 mc
saturação: 1,12 e

IRIDIO 194

Constantes Características:

Meia-vida	:	18 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,48	0,38
		2,18	1,43
Reação de formação:		$^{193}\text{Ir} (n, \gamma) ^{194}\text{Ir}$	
Outras atividades produzidas:		^{192}Ir	
Alvo para irradiação:		Ir (1 g)	
Secção de choque eficaz :		80 fermi	
Atividade específica:		12 horas :	1.2 c
(por grama de elemento		50 horas :	2.8 c
irradiado)		saturação:	3.3 c

ITRÍO 90

Constantes Características:

Meia-vida : 63 horas

Radiação : beta

Energia (MeV) : 2,18

Reação de formação: $^{89}\text{Y} (n, \gamma)^{90}\text{Y}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Y_2O_3 (5 g)

Seção de choque eficaz: 1,26 fermi

Atividade específica : 12 horas : 16 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 55 mc
saturação: 120 mc

LANTANIO 140

Constantes Características:

Meia-vida	:	40 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	1,32 (70%)	0,093
		1,67 (20%)	0,335
		2,26 (10%)	0,49
			0,82
			1,6
			2,5

Reação de formação: $^{139}\text{La} (n, \gamma) ^{140}\text{La}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: La_2O_3 (0.5 g)

Secção de choque eficaz: 8,4 fermi

Atividade específica: 12 horas : 90 mc
 (por grama de elemento irradiado) 50 horas : 300 mc
 saturação: 500 mc

MANGANÊS 56

Constantes Características:

Meia-vida	:	2,6 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,73 (15%)	0,845 (100%)
		1,05 (25%)	1,81 (25%)
		2,86 (60%)	2,13 (15%)

Reação de formação: $^{55}\text{Mn} (n, \gamma) ^{56}\text{Mn}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: $\text{SO}_4\text{Mn}, \text{H}_2\text{O}$ (5 g)

Secção de choque eficaz : 13 fermi

Atividade específica: 12 horas : 1,9 c
(por grama de elemento irradiado) saturação: 1,9 c

MERCURIO 197

Constantes Características:

Meia-vida :	25 horas	65 horas
Radiação :	beta	beta
Energia (MeV) :	K, e ⁻	K, e ⁻
		gama
		0,135 (96%)
		0,165 (96%)
		0,273 (4%)

gama
0,077

Reação de formação:

¹⁹⁰Hg, (n, γ) ¹⁹⁷Hg

Outras atividades produzidas:

²⁰³Hg

Alvo para irradiação:

Hg ou HgO (2 g)

Secção de choque eficaz :

4,6 fermi

Atividade específica:

12 horas : 22 mc

(por grama de elemento irradiado)

50 horas : 80 mc

saturação: 190 mc

MERCURIO 203

Constantes Características:

Meia-vida	:	47 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,208	0,279
Reação de formação:		$^{202}\text{Hg} (n,\gamma)^{203}\text{Hg}$	
Outras atividades produzidas:		^{197}Hg	
Alvo para irradiação:		Hg ou HgO (2 g)	
Secção de choque eficaz :		0,11 fermi	
Atividade específica:		12 horas :	37 μc
(por grama de elemento irradiado)		50 horas :	150 μc
		1 mês :	1,7 mc
		saturação:	4,65 mc

MOLIBDÊNIO 99

Constantes Características:

Meia-vida	:	67 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	1,3	0,24
			0,75

Reação de formação: $^{98}\text{Mo} (n, \gamma)^{99}\text{Mo}$

Outras atividades produzidas: ^{99}Tc

Alvo para irradiação: MoO_3 ou $\text{Mo}_7\text{O}_{24}(\text{NH}_4)_{61} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Secção de choque eficaz : 0,104 fermi

Atividade específica:	12 horas :	1 mc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas :	3,8 mc
	saturação:	8,7 mc

OSMIO 191

Constantes Características:

Meia-vida	:	16 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,142	0,039 0,127
Reação de formação:		$^{190}\text{Os} (n, \gamma)^{191}\text{Os}$	
Outras atividades produzidas:		^{193}Os	
Alvo para irradiação:		Os (2 g)	
Secção de choque eficaz :		2,2 fermi	
Atividade específica :		12 horas : 2 mc	
(por grama de elemento		50 horas : 8 mc	
irradiado)		1 mês : 65 mc	
		saturação: 90 mc	

OSMIO 193

Constantes Características:

Meia-vida	:	31 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	1,15	1,58
Reação de formação:		$^{192}\text{Os} (n, \gamma) ^{193}\text{Os}$	
Outras atividades produzidas:		^{191}Os	
Alvo para irradiação:		Os (2 g)	
Secção de choque eficaz :		0,66 fermi	
Atividade específica:		12 horas :	6,5 mc
(por grama de elemento		50 horas :	18 mc
irradiado)		saturação:	28 mc

OURO 198

Constantes Características:

Meia-vida	:	2,69 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,97	0,411

Reação de formação: $^{197}\text{Au} (n, \gamma) ^{198}\text{Au}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Au (0,1 g)

Secção de choque eficaz : 96 fermi

Atividade específica: 12 horas : 450 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 1,7 c
saturação: 3,8 c

PALADIO 109

Constantes Características:

Meia-vida	:	13,6 horas
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	0,95
Reação de formação:		$^{108}\text{Pd} (n, \gamma) ^{109}\text{Pd}$
Outras atividades produzidas:		^{103}Pd , ^{111}Pd , ^{111}Ag
Alvo para irradiação:		Pd (2 g)
Secção de choque eficaz :		2,7 fermi
Atividade específica:		12 horas : 83 mc
(por grama de elemento		50 horas : 175 mc
irradiado)		saturação: 184 mc

PLATINA 197

Constantes Características:

Meia-vida	:	18 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,65	0,07 0,19
Reação de formação:		$^{196}\text{Pt} (n, \gamma) ^{197}\text{Pt}$	
Outras atividades produzidas:		^{193}Pt , ^{199}Pt , ^{199}Au	
Alvo para irradiação:		Pt (0,5 g)	
Secção de choque eficaz :		0,20 fermi	
Atividade específica:		12 horas : 30 mc	
<i>(por grama de elemento irradiado)</i>		50 horas : 7,15 mc	
		saturação: 8.6 mc	

POLONIO 210 (R a F)

Constantes Características:

Meia-vida	:	138 dias		
Radiação	:	alfa	gama	
Energia (MeV)	:	5,298	0,773	(pouca intensidade)

Reação de formação: $^{209}\text{Bi} (n, \gamma) ^{210}\text{Bi} \xrightarrow{-\beta^-} ^{210}\text{Po}$

Outras atividades produzidas: ^{210}Bi (Ra E)

Alvo para irradiação: Oxido ou nitrato de bismuto (50 g)

Secção de choque eficaz : 0,019 fermi

Atividade específica: saturação: 0,76 mc

(por grama de elemento irradiado)

POTASSIO 42

Constantes Características:

Meia-vida	:	12,4 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	2,04 (25%)	1,51 (25%)
		3,58 (75%)	

Reação de formação: $^{41}\text{K} (n, \gamma) ^{42}\text{K}$

Outras atividades produzidas: ^{36}Cl , ^{38}Cl , ^{35}S a partir de KCl

Alvo para irradiação: K_2CO_3 ou KCl (10 g)

Secção de choque eficaz: 0,069 fermi

Atividade específica: 12 horas : 6,5 mc
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 13 mc
saturação: 14 mc

P R A S E O D I M I O 142

Constantes Características:

Meia-vida	:	19,2 horas	
Radiação	:	beta	gamma
Energia (MeV)	:	0,22	0,134
		2,15	0,32
			0,49
			0,62
			1,7

Reação de formação: $^{141}\text{Pr} (n, \gamma) ^{142}\text{Pr}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Pr_2O_3 (3 g)

Secção de choque eficaz : 10,0 fermi

Atividade específica: 12 horas : 205 mc
 (por grama de elemento irradiado) 50 horas : 490 mc
 saturação: 580 mc

P R A S E O D I M I O 1 4 3

Constantes Características:

Meia-vida	:	13,8 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,932	

Reação de formação: $^{142}\text{Ce} (n, \gamma) ^{143}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{143}\text{Pr}$

Outras atividades produzidas: ^{143}Ce

Alvo para irradiação: CeO_2 (2 g)

Secção de choque eficaz : 0,1 fermi

Atividade específica:
(por grama de elemento irradiado)

50 horas :	0,2 mc
1 semana :	1,1 mc
1 mês :	3,8 mc
saturação :	5 mc

PRATA 110

Constantes Características:

Meia-vida	:	270 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,087	0,656
		1,516	
		0,19	
		0,53	
		2,12	
		2,86	

Reação de formação: $^{109}\text{Ag} (n, \gamma) ^{110}\text{Ag}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Ag (5 g)

Secção de choque eficaz: 1,15 fermi

Atividade específica: 50 horas : 0,47 mc
(por grama de elemento irradiado) 1 mês : 6,5 mc
 1 ano : 63 mc
 saturação: 89 mc

P R A T A 1 1 1

Constantes Características:

Meia-vida : 7,5 dias

Radiação : beta

Energia (MeV) : 0,2

1,0

Reação de formação: $^{110}\text{Pd} (n, \gamma) ^{111}\text{Pd} \xrightarrow{\beta^-} ^{111}\text{Ag}$

Outras atividades produzidas: ^{108}Pd , ^{109}Pd

Alvo para irradiação: Pd (2 g)

Secção de choque eficaz : 0.04 fermi

Atividade específica: 50 horas : 0,55 mc
 (por grama de elemento 1 semana: 1,4 mc
 irradiado) saturação: 30 mc

PROTOACTÍNIO 233

Constantes Características:

Meia-vida	:	27,4 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,2	0,084
			0,293
			0,309
			0,337

Reação de formação: $^{232}\text{Th} (n, \gamma) ^{233}\text{Th} \xrightarrow{\beta^-} ^{233}\text{Pa}$

Outras atividades produzidas: ^{233}Th (meia-vida 23,5 minutos)

Alvo para irradiação: Th (NO₃)₄ (20 g)

Secção de choque eficaz : 7,33 fermi

Atividade específica: 50 horas : 6,7 mc
 (por grama de elemento irradiado) 1 mês : 67 mc
 3 meses : 110 mc
 saturação: 122 mc

RHENIO 186

Constantes Características:

Meia-vida	:	92 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,64 (3%)	0,132 (37%)
	:	0,95 (30%)	0,275 (2,3%)
	:	1,09 (67%)	0,7 (0,7%)

Reação de formação: $^{185}\text{Re} (n, \gamma) ^{186}\text{Re}$

Outras atividades produzidas: ^{188}Re

Alvo para irradiação: Re (0,2 g)

Secção de choque eficaz : 37 fermi

A(ividade específica:

12 horas :	140 mc
50 horas :	500 mc
1 semana:	1,2 c
saturação:	1,6 c

(por grama de elemento irradiado)

R H E N I O 188

Constantes Características:

Meia-vida	:	17 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	2,10	0,16
			0,48
			0,64
			0,94
			1,43

Reação de formação: $^{187}\text{Re} \text{ (n, } \gamma \text{)} ^{188}\text{Re}$

Outras atividades produzidas: ^{186}Re

Alvo para irradiação: Re (0,2 g)

Secção de choque eficaz: 47 fermi

Atividade específica: 12 horas : 700 mc
 (por grama de elemento 50 horas : 1,7 c
 irradiado) saturação: 2 c

RHODIO 105

Constantes Características:

Meia-vida	:	36,5 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,78	0,33

Reação de formação: $^{104}\text{Ru} \text{ n, } \gamma \text{ } ^{105}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Rh}$

Outras atividades produzidas: ^{97}Ru , ^{103}Ru , ^{105}Ru , ^{97}Tc

Alvo para irradiação: Ru (10 g)

Secção de choque eficaz: 0,128 fermi

Atividade específica: 12 horas : 1,2 mc
 (por grama de elemento irradiado) 50 horas : 5,6 mc
 saturação: 10 mc

RUBÍDIO 86

Constantes Características:

Meia-vida	:	19,5 dias	
Radiação	:	beta	gamma
Energia (MeV)	:	0,716 (20%)	1,081
		1,822 (80%)	

Reação de formação: $^{86}\text{Rb} \text{ (n, } \gamma \text{)} ^{86}\text{Rb}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: RbNO_3 (10 g)

Secção de choque eficaz: 0,58 fermi

Atividade específica: 50 horas : 4 mc
(por grama de elemento irradiado) 1 mês : 37,5 mc
saturação: 57 mc

RUTENIO 97

Constantes Características:

Meia-vida	:	2,8 dias	
Radiação	:	K	gama
Energia (MeV)	:		0,23

Reação de formação: $^{96}\text{Ru} \text{ (n, } \gamma \text{)} ^{97}\text{Ru}$

Outras atividades produzidas: ^{103}Ru , ^{105}Ru , ^{97}Tc , ^{105}Rh

Alvo para irradiação: Ru (10 g)

Secção de choque eficaz : 0,012 fermi

Atividade específica: saturação: 49 μc
(por grama de elemento irradiado)

RUTHENIO 105

Constantes Características:

Meia-vida	:	4,5 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	1,4	0,75

Reação de formação: $^{104}\text{Ru} (n, \gamma) ^{105}\text{Ru}$

Outras atividades produzidas: ^{97}Ru , ^{97}Tc , ^{103}Ru ^{105}Rh

Alvo para irradiação: Ru (10 g)

Secção de choque eficaz : 0,128 fermi

Atividade específica: 12 horas : 8,5 mc
(por grama de elemento irradiado) saturação: 10 mc

RUTHENIO 108

Constantes Características:

Meia-vida	:	41 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,2 (97%)	0,54
		0,8 (3%)	

Reação de formação: $^{102}\text{Ru} (n, \gamma) ^{103}\text{Ru}$

Outras atividades produzidas: ^{97}Ru , ^{105}Ru , ^{97}Tc , ^{101}Rh

Alvo para irradiação: Ru (10 g)

Secção de choque eficaz : 0,45 fermi

Atividade específica: 50 horas : 1,22 mc
 (por grama de elemento irradiado) 1 mês : 14,0 mc
 saturação: 36,5 mc

SAMARIO 153

Constantes Características:

Meia-vida	:	47 horas	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,78	0,0695
			0,103
			0.61

Reação de formação: $^{152}\text{Sm} (n,\gamma) ^{153}\text{Sm}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Sm_2O_3 (0,05 g)

Secção de choque eficaz : 37,5 fermi

Atividade específica: 12 horas : 333 mc
(por grama de elemento 50 horas : 104 mc
irradiado) saturação: 1,98 c

SELENIO 75

Constantes Características:

Meia-vida	:	123 dias	
Radiação	:	K, e ⁻	gama
Energia (MeV)	:		0,067 à 0,405

Reação de formação: $^{74}\text{Se} (n, \gamma) ^{75}\text{Se}$

Outras atividades produzidas: ^{81}Se , ^{83}Se

Alvo para irradiação: Se (5 g)

Secção de choque eficaz: 0,28 fermi

Atividade específica: 50 horas : 300 μC
(por grama de elemento irradiado) 1 mês : 3,8 mc
saturação: 26 mc

SILICIO 31

Constantes Características:

Meia-vida	:	2,62 horas
Radiação	:	beta
Energia (MeV)	:	1,8

Reação de formação: $^{30}\text{Si} \text{ (n, } \gamma \text{) } ^{31}\text{Si}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: SiO_2 (5 g)

Secção de choque eficaz : 0,0032 fermi

Atividade específica: 12 horas : 0,86 mc
(por grama de elemento saturação: 0,86 mc
irradiado)

TALIO 204

Constantes Características:

Meia-vida : 2,7 anos

Radiação : beta

Energia (MeV) : 0,783

Reação de formação: $^{203}\text{Tl} (n, \gamma) ^{204}\text{Tl}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: Tl_2O_3 (10 g)

Secção de choque eficaz : 2,35 fermi

Atividade específica:

(por grama de elemento
irradiado)

1 mês : 1,98 mc

1 ano : 2,08 mc

saturação: 94 mc

TANTALO 182

Constantes Características:

Meia-vida	:	111 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,53	1,3
		1,1	0,22 e 0,16

Reação de formação: $^{181}\text{Ta} \text{ (n, } \gamma \text{)} ^{182}\text{Ta}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: TaO_2 (2 g)

Secção de choque eficaz: 21 fermi

Atividade específica: 50 horas : 11 mc
(por grama de elemento irradiado) 1 mês : 150 mc
saturação: 920 mc

TECNECIO 97

Constantes Características:

Meia-vida	:	90 dias	
Radiação	:	T. I., e ⁻	gama
Energia (MeV)	:		0,097

Reação de formação: $^{96}\text{Ru} (n, \gamma) ^{97}\text{Ru} \xrightarrow{\text{K}} ^{97}\text{Tc}$

Outras atividades produzidas: ^{105}Rh , ^{97}Ru , ^{103}Ru , ^{106}Ru

Alvo para irradiação: Ru (10 g)

Secção de choque eficaz: 0,012 fermi

Atividade específica: saturação: 1,04 mc
(por grama de elemento irradiado)

TECNECIO 99

Constantes Características:

Meia-vida	:	5,9 horas	
Radiação	:	T. L., e	gama
Energia (MeV)	:		0,0018
			0,1412

Reação de formação: $^{98}\text{Mo} (n, \gamma) ^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$
(10%)

Outras atividades produzidas: ^{99}Mo

Alvo para irradiação: MoO_3 ou $\text{Mo}_7\text{O}_{24} (\text{NH}_4)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (10 g)

Secção de choque eficaz: 0,018 fermi

Atividade específica: 12 horas : 80 μC
(por grama de elemento irradiado) 50 horas : 260 μC
saturação: 750 μC

TELURIO 127

Constantes Características:

Meia-vida	:	110 dias	9,3 horas
Radiação	:	T. I. gama	beta
Energia (MeV)	:	e 0,0885	0,8

Reação de formação: $^{126}\text{Te} (n, \gamma) ^{127}\text{Te}$

Outras atividades produzidas: ^{129}Te , ^{131}Te , ^{131}I

Alvo para irradiação: Te (20 g)

Secção de choque eficaz: 0,017 fermi 0,15 fermi

Atividade específica:

12 horas :		6 mc
50 horas :		10 mc
1 mês :	170 μC	
3 meses :	400 μC	
saturação:	800 μC	10 mc

(por grama de elemento irradiado)

TUNGSTENIO 185

Constantes Características:

Meia-vida	:	73 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,428	0,134

Reação de formação: $^{184}\text{W} (n, \gamma) ^{185}\text{W}$

Outras atividades produzidas: ^{187}W

Alvo para irradiação: WO_3 ou W (5 g)

Secção de choque eficaz: 0,64 fermi

Atividade específica: 50 horas : 550 μC
 (por grama de elemento irradiado) 1 mês : 7 mc
 saturação: 28 mc

TUNGSTENIO 187

Constantes Características:

Meia-vida	:	24 horas	
Radiação	:	beta	gamma
Energia (MeV)	:	0,627 (70%)	0,078
	:	1,318 (30%)	0,133
	:		0,478
	:		0,615
			0,680

Reação de formação: $^{186}\text{W} (n, \gamma) ^{187}\text{W}$

Outras atividades produzidas: ^{185}W

Alvo para irradiação: WO_3 ou W (5 g)

Secção de choque eficaz: 9,7 fermi

Atividade específica:

12 horas :	140 mc
(por grama de elemento irradiado)	50 horas : 370 mc
	saturação: 430 mc

ZINCO 65

Constantes Características:

Meia-vida	:	250 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	K, e	1.11 (46%)
		β^- 0.32 (3%)	

Reação de formação: $^{64}\text{Zn} (n, \gamma) ^{65}\text{Zn}$

Outras atividades produzidas: ^{65}Zn

Alvo para irradiação: Zn (15 g)

Secção de choque eficaz: 0.215 fermi

Atividade específica:

50 horas:	168 μc
6 meses:	10 mc
irradiado)	saturação: 26.8 mc

ZINCO 69

Constantes Características:

Meia-vida	:	13,8 horas	52 minutos
Radiação	:	T. I. gama	beta
Energia (MeV)	:	0,439	0,86

Reação de formação: $^{68}\text{Zn} (n, \gamma) ^{69}\text{Zn}$

Outras atividades produzidas: ^{65}Zn

Alvo para irradiação: Zn (15 g)

Seção de choque eficaz: 0,018 fermi

Secção de choque eficaz : 12 horas : 1 mc
(por grama de elemento saturação: 2.25 mc
irradiado)

ZIRCONIO 95

Constantes Características:

Meia-vida	:	65 dias	
Radiação	:	beta	gama
Energia (MeV)	:	0,887 (2')	0.216 (2')
		0,400 (98')	0.708 (98')

Reação de formação: $^{94}\text{Zr} (n, \gamma) ^{95}\text{Zr}$

Outras atividades produzidas:

Alvo para irradiação: ZrO_2 (10 g)

Secção de choque eficaz : 0,015 fermi

Atividade específica: saturação: 1,25 mc

(por grama de elemento
irradiado)