



**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO XENÔNIO-135 NO
REATOR IEA R1, UTILIZANDO TÉCNICAS DE COMPUTADOR ANALÓGICO**

**Joel Alvarenga de Sousa, Miguel Anselmo Viglioglia,
Paulo Kinjro Ogawa e Rinaldo Fuga**

**PUBLICAÇÃO IEA 483
COJR - AOMR 4**

JANEIRO/1977

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO XENÔNIO 135 NO
REATOR IEA R1, UTILIZANDO TÉCNICAS DE COMPUTADOR ANALÓGICO**

Joel Alvarenga de Sousa Miguel Anselmo Viglioglia
Paulo Kinjiro Ogawa e Rinaldo Fuga

CENTRO DE OPERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO REATOR DE PESQUISA IEAR-1
(Área de Operação e Manutenção do Reator de Pesquisa)

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

CONSELHO DELIBERATIVO

Eng^o Márcio Modesto de Costa
Eng^o Ivano Humbert Marchesi
Prof. Admar Cervellini
Prof. Sérgio Mascarenhas de Oliveira
Dr. Klaus Reinach
Dr. Roberto D. Utra Vez

SUPERINTENDEENTE

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11 049 (Pinheiros)
Cidade Universitária - Armando de Salles Oliveira
SÃO PAULO - BRASIL

DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO XENÔNIO 135 NO REATOR IEA R1, UTILIZANDO TÉCNICAS DE COMPUTADOR ANALÓGICO

Joel Alvarenga de Sousa* Miguel Anselmo Viglioglio**,
Paulo Kinjro Ogawa* e Rinaldo Fuga*

RESUMO

O comportamento da concentração do Xenônio-135 em função do tempo num reator pode ser avaliado mediante a resolução de um sistema de equações diferenciais lineares

A solução deste sistema de equações foi obtida utilizando-se o computador analógico modelo PACE TR-4B

Criaram-se arranjos na programação simulando vários tempos de operação diária do reator com as potências de 2 Mw, 5 Mw e 10 Mw

Os resultados obtidos serão representados na forma de gráficos das concentrações de Xenônio-135 como função do tempo

INTRODUÇÃO

O aparecimento dos produtos de fissão do Urânio 235 exerce papel importante no controle do reator especialmente em reatores de fluxo razoavelmente alto e materiais que não afetam a economia de nêutrons

Deu-se particular atenção ao Xenônio 135 dado sua elevada seção de choque de absorção para nêutrons térmicos e sua razoável longa meia vida

A finalidade deste estudo foi obter otimização do tempo de início e supercriticalidade do reator. Conhecendo o valor da concentração do Xenônio 135 que representa uma reatividade negativa pode-se prever as porcentagens de retirada das barras de segurança e controle. De posse dessa informação e fornecida uma reatividade positiva, de maneira a anular o efeito do Xenônio-135 a possibilitando operações nas potências de 2, 5 e 10 Mw

Adotou-se a resolução das equações diferenciais por métodos analógicos pelas razões seguintes

- a) A solução é obtida de maneira contínua já diretamente em forma de gráfico
- b) Dupla facilidade de variação de parâmetros
- c) Rapidez de programação e execução

(*) Centro de Operação e Utilização do Reator de Pesquisa IEAR-1 Área de Operação e Manutenção do Reator de Pesquisa - Instituto de Energia Atômica - São Paulo, SP, Brasil

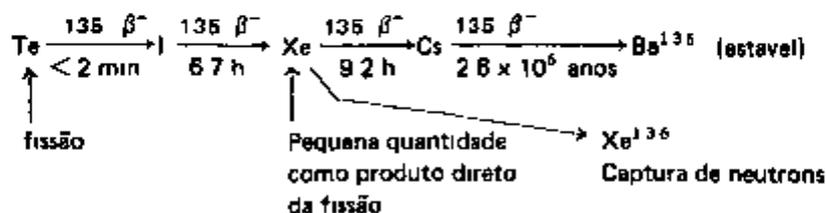
(**) Centro de Processamento de Dados - Instituto de Energia Atômica - São Paulo, SP, Brasil

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Concentração do Xenônio-135

O Xenônio 135 tem alta secção de choque de captura de neutrões térmicos cerca de 3.5×10^6 barns portanto qualquer quantidade terá um grande efeito sobre a reatividade de um reator térmico

O Telúrio 135 sofre uma série de processos de decaimento β^- indo do Iodo 135 Xenônio e Césio 135 para Bário 135 como segue



Em adição o Xenônio 135 é formado diretamente das fissões do U 235 numa proporção correspondente a 0.3%

Como a meia vida do Telúrio 135 é muito menor do que seu filho o Iodo 135 a análise é simplificada considerando que o Iodo 135 é produzido diretamente da fissão

A expressão para a concentração do Iodo pode ser descrita pela equação seguinte

$$\frac{dI}{dt} + \lambda_2 I = \gamma_2 \Sigma_f \Phi - \sigma \Phi I \quad (1)$$

- I = Concentração de núcleos de Iodo 135 por cm^3
- λ_2 = Constante de decaimento para o Iodo 135 s^{-1}
- σ = Secção de choque microscópica do Iodo 135 para captura de neutrões térmicos, cm^2
- Φ = Fluxo de neutrões térmicos neutrões/ $\text{cm}^2 \text{ s}$
- γ_2 = Produção do Iodo 135 como produto direto da fissão
- Σ_f = Secção de choque macroscópica de fissão do Urânio-235 no reator cm^{-1}

O segundo termo da direita da equação anterior é muito pequeno comparado com o segundo termo da esquerda e pode ser desprezado para valores de Φ menores do que 10^{15} ou 10^{16} neutrões/ $\text{cm}^2 \text{ s}$

Então, a equação 1 torna se igual a

$$\frac{dI}{dt} + \lambda_2 I = \gamma_2 \Sigma_f \Phi \quad (2)$$

A equação que descreva a concentração de Xenônio 135 pode ser escrita da maneira seguinte

$$\frac{dX}{dt} + \lambda_1 X = \lambda_2 I + (\gamma_1 \Sigma_f - \sigma X) \Phi \quad (3)$$

onde

- X = Concentração do Xenônio 135 por cm^3
 γ_1 = Produção de Xenônio 135 como produto direto da fissão
 λ_1 = Constante de decaimento para o Xenônio-135
 σ = Secção de choque do Xenônio 135 para captura de neutrons termicos

As equações 2 e 3 descritas para o Xenônio 135 e o Iodo 135 são validas durante a operação contínua do reator

Quando o reator é desligado as equações das concentrações de Iodo e Xenônio passam a ser as seguintes

$$\frac{dI}{dt} + \lambda_2 I = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dX}{dt} + \lambda_1 X = \lambda_2 I \quad (5)$$

É útil fazer uma mudança de variável a fim de que os resultados das concentrações sejam expressos em termos das unidades de reatividade comumente utilizadas (pcm) que são adimensionais

Estas variaveis são então definidas da seguinte forma

$$\theta(t) = \frac{\sigma X(t)}{\Sigma\mu} \quad (6)$$

e

$$I(t) = \frac{\sigma I(t)}{\Sigma\mu} \quad (7)$$

onde $\Sigma\mu$ é a secção de choque macroscopica de absorção do combustível

Portanto as equações 2 e 3 tornam se

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = -\lambda_1 \theta(t) + \lambda_2 I(t) + (\gamma_1 \frac{\Sigma_f}{\Sigma\mu} - \theta(t)) \Phi \sigma \quad (8)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -\lambda_2 I(t) + \gamma_2 \frac{\Sigma_f}{\Sigma\mu} \Phi \sigma \quad (9)$$

Concentração do Xenônio-135 - Cálculo Analógico

As equações que foram implementadas no computador analógico são

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = -\lambda_1 \theta(t) + \lambda_2 I(t) + (\gamma_1 \frac{\Sigma_f}{\Sigma\mu} - \theta(t)) \Phi \sigma \quad (8)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -\lambda_2 I(t) + \gamma_2 \frac{\Sigma_f}{\Sigma\mu} \Phi \sigma \quad (9)$$

onde

$$\theta(t) = \frac{\sigma X(t)}{\Sigma\mu} \quad I(t) = \frac{\sigma I(t)}{\Sigma\mu} \quad \text{s\~{a}o adimensionais}$$

Sendo

$$\begin{aligned} X(t) &= \text{concentra\~{c}o\~{a}o do Xenon-135} \\ I(t) &= \text{concentra\~{c}o\~{a}o do Iodo-135} \\ \lambda_1 &= 2,09 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \\ \lambda_2 &= 2,88 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \\ \sigma &= 3,50 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \\ \gamma_1 &= 0,003 \\ \gamma_2 &= 0,055 \\ \Sigma_f/\Sigma\mu &= 0,84 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \Phi &= 1,1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s} \\ \Phi &= 2,75 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s} \\ \Phi &= 5,5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s} \end{aligned}$$

respectivamente para as potencias de 2,5 e 10 Mw

Tomando como base os resultados analiticos obtidos previamente adotaram-se os seguintes valores m\~{a}ximos para θ e I

Para

$$\begin{array}{lll} \Phi = 1,1 \times 10^{13} & \theta_{\text{m\~{a}x}} = 0,050 & \\ & I_{\text{m\~{a}x}} = 1 & \text{caso I} \\ \Phi = 2,75 \times 10^{13} & \theta_{\text{m\~{a}x}} = 0,100 & \\ & I_{\text{m\~{a}x}} = 2 & \text{caso II} \\ \Phi = 5,5 \times 10^{13} & \theta_{\text{m\~{a}x}} = 0,200 & \\ & I_{\text{m\~{a}x}} = 2 & \text{caso III} \end{array}$$

$\beta = 1/7200$ com o qual estabelecemos a rela\~{c}o\~{a}o
1 segundo da m\~{a}quina \u00e9 equivalente a 2 horas de problema

Com estes fatores normalizantes e com os restantes valores numericos, as equa\~{c}o\~{e}s 8 e 9 ficam

Para o caso I

$$\begin{aligned} -d\left(\frac{\theta}{0,050}\right) &= [0,150]_1 \left(\frac{\theta}{0,050}\right) + [0,414]_{10} \left(-\frac{I}{1}\right) - \{ [0,025]_0,1(1) \\ &\quad - [0,050]_1 \left(\frac{\theta}{0,050}\right) \} [0,354]_{10} \left(\frac{\Phi}{1,1 \times 10}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$-d\left(\frac{I}{1}\right) = [0,0125]_1 \left(-\frac{\Phi}{1,1 \times 10}\right) + [0,207]_1 \left(\frac{I}{1}\right) \quad (11)$$

Para o caso II

$$\frac{-d\left(\frac{\theta}{0,100}\right)}{dt} = [0,150] 1 \left(\frac{\theta}{0,100}\right) + [0,414] 10 \left(-\frac{1}{2}\right) =$$

$$[\{0,025\} 0,1 (1) - [0,100] 1 \left(\frac{\theta}{0,100}\right)] [0,693] 10 \left(\frac{\Phi}{2,75 \times 10}\right) \quad (12)$$

$$\frac{-d\left(\frac{1}{2}\right)}{dt} = [0,018] 1 \left(-\frac{\Phi}{2,75 \times 10}\right) + [0,207] 1 \left(\frac{1}{2}\right) \quad (13)$$

Para o caso III

$$\frac{-d\left(\frac{\theta}{0,200}\right)}{dt} = [0,150] 1 \left(\frac{\theta}{0,200}\right) + [0,207] 10 \left(-\frac{1}{2}\right) =$$

$$- \{ \{0,025\} 0,1 (1) - [0,200] 1 \left(\frac{\theta}{0,200}\right) \} [0,693] 10 \left(\frac{\Phi}{5,5 \times 10}\right) \quad (14)$$

$$\frac{-d\left(\frac{1}{2}\right)}{dt} = [0,032] 1 \left(\frac{\Phi}{5,5 \times 10}\right) + [0,207] 1 \left(\frac{1}{2}\right) \quad (15)$$

Na figura 1 os números ao lado dos símbolos indicam a unidade alocada, os internos indicam os ganhos e a tabela 1 os ajustes dos potenciómetros

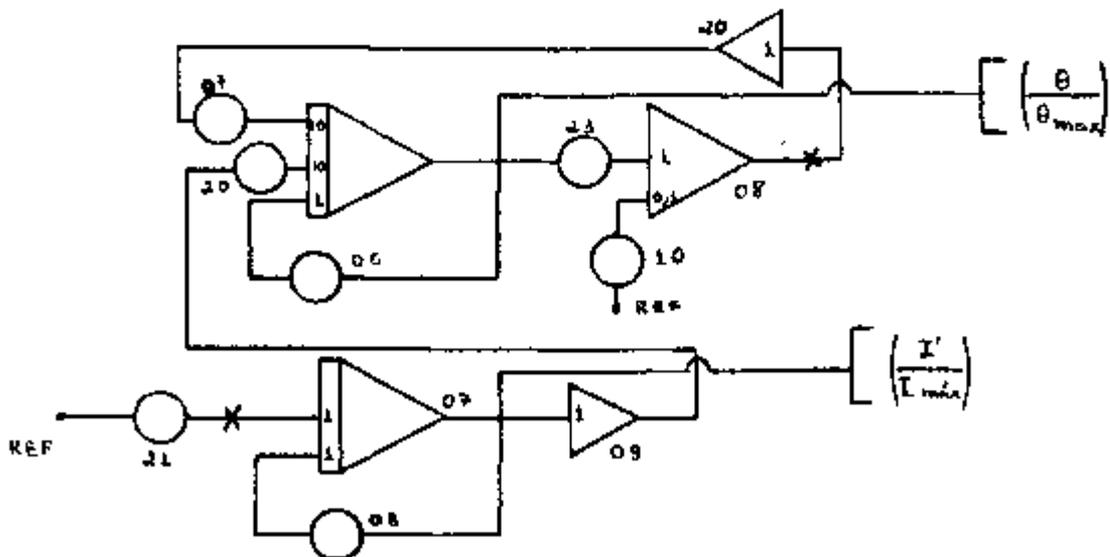


Figura 1 — Diagrama analógico utilizado na solução das equações 8 e 9

Tabela I

Valores dos ajustes de potenciómetros do diagrama analógico da figura 1

Potencia (Mw)		2	5	10
Fluxo ($n/cm^2 s$)		1.1×10^{13}	2.75×10^{13}	5.5×10^{13}
Potenciometro	07	0.554	0.693	0.693
	23	0.050	0.100	0.200
	10	0.025	0.025	0.025
	05	0.150	0.150	0.150
	21	0.0125	0.516	0.032
	08	0.207	0.207	0.207
	20	0.414	0.414	0.207

Estudou-se o problema durante o período real de uma semana = 168 horas equivalente a 84 segundos de máquina

Foram os seguintes intervalos de operação e parada do reator (Tabela 2)

Tabela II

Relação do Tempo de Operação do Reator (T_1) e Tempo de Parada do Reator (T_2) durante os cinco dias da semana

T_1	T_2	Dias da Semana									
		2ª feira		3ª feira		4ª feira		5ª feira		6ª feira	
		T_1 (h)	T_f (h)	T_1 (h)	T_f (h)	T_1 (h)	T_f (h)	T_1 (h)	T_f (h)	T_1 (h)	T_f (h)
6	18	8	14	8	14	8	14	8	14	8	14
8	16	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16
10	14	8	18	8	18	8	18	8	18	8	18
12	12	8	20	8	20	8	20	8	20	8	20
14	10	8	22	8	22	8	22	8	22	8	22
16	8	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24
18	6	8		2	8	2	8	2	8	2	8
20	4	8		4	8	4	8	4	8	4	8
22	2	8		6	8	6	8	6	8	6	8
24	0	8		8		8		8		8	

T_1 = Horário de início de operação do reator

T_f = Horário do final de operação do reator

Para simular estes intervalos foi necessário ligar (durante a operação) e desligar (durante a parada) os termos que contem o fluxo nas equações 8 e 9 o que equivale a interromper e restabelecer o contato nos pontos marcados com X na Figura 1

A solução adotada para obter os períodos da operação e parada em forma automática foi a seguinte

Mediante um circuito multivibrador Figura 2 gerou-se uma onda triangular de 12 s de máquina com período equivalente a 24 horas de tempo real

Na Figura 2 o potenciômetro numero 15 regula o período da onda triangular

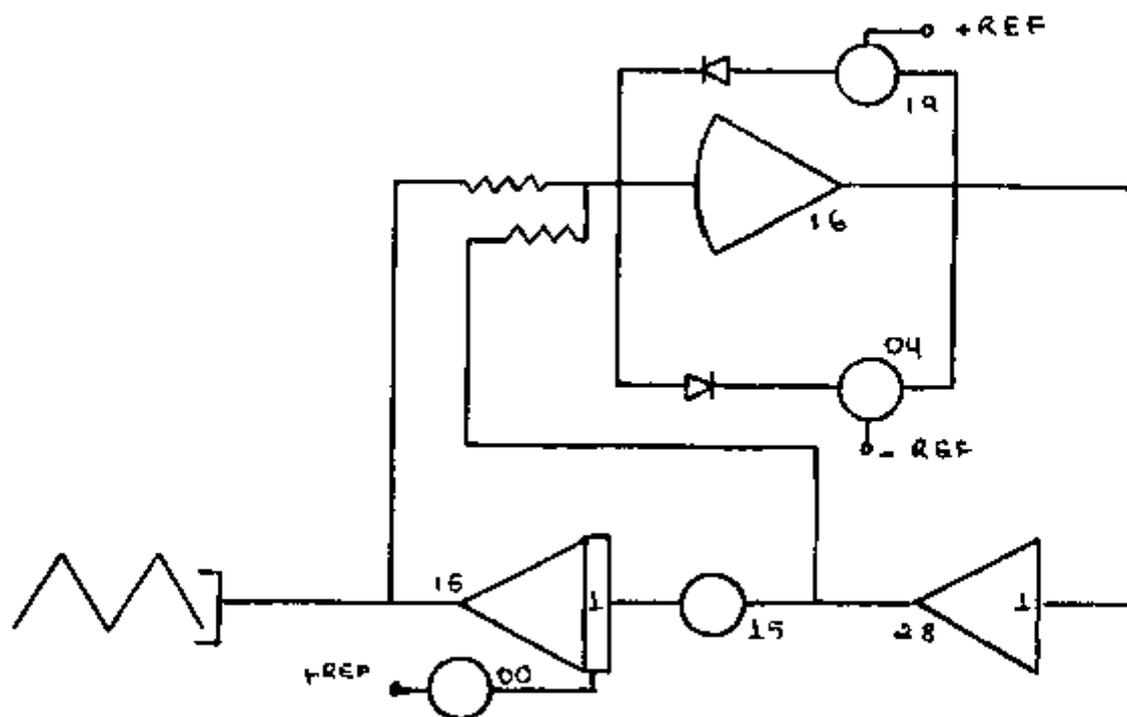


Figura 2 — Diagrama analógico de circuito multiplicador de geração de onda triangular de 12 segundos de máquina com período equivalente a 24 horas de tempo real

O potenciômetro 00 regula a defasagem da onda triangular

A onda triangular é enviada para um comparador com diferentes defasagens sendo possível obter-se todos os intervalos pedidos desde 6 18 horas até 24 horas corridas de 2 em 2 horas como mostra a figura 3

O comparador foi ligado de maneira a produzir um pulso digital 1 (+5 volts) nos períodos de operação do reator e um 0 digital (0 Volts) nos períodos de parada. Estes pulsos por sua vez acionam chaves eletrônicas (unidade Nº 40488 — PACE TR-48) que

fazem intervir ou eliminar os dois termos que contém o fluxo Φ . Finalmente um rele desliga a onda triangular no período correspondente ao fim de semana permitindo que o Xenônio 135 decaia normalmente.

Os ajustes potenciométricos deduzidos a partir da Figura 3 encontram-se na Tabela III

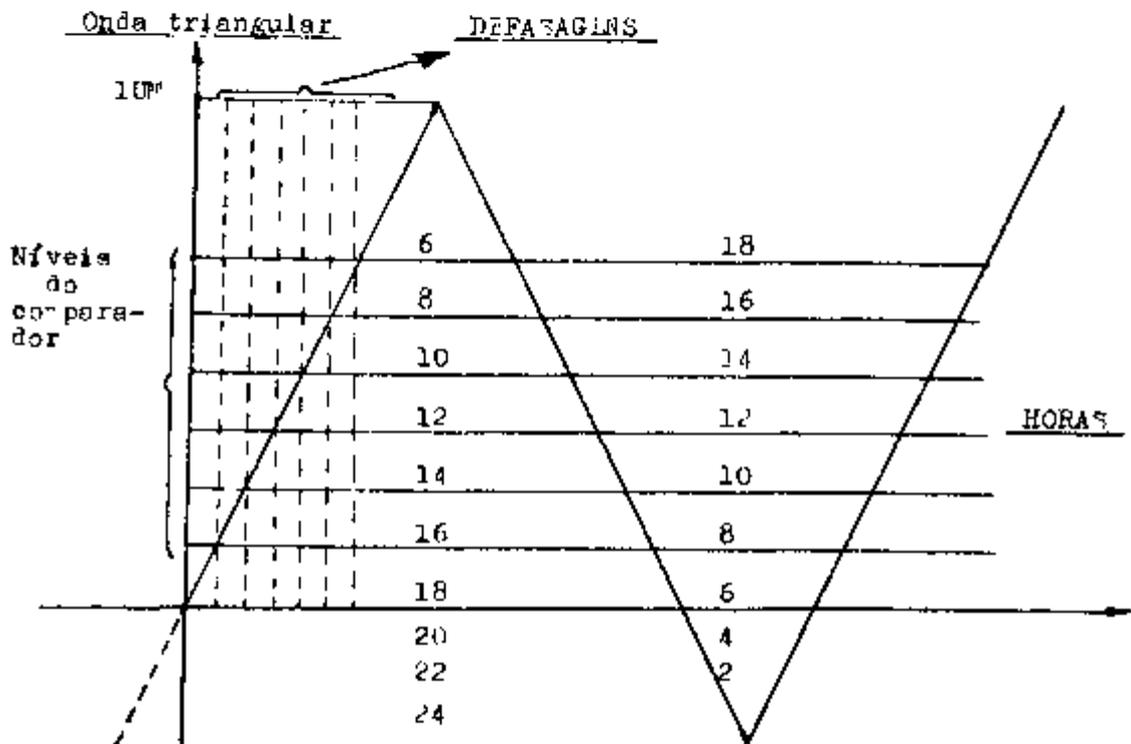


Figura 3 — Forma da onda triangular obtida por meio do diagrama analógico do circuito multivibrador da Figura 2 enviada para um comparador com diferentes defasagens segundo os valores da tabela 2

Na tabela III o potenciómetro nº 00 ajusta a defasagem da onda triangular

O potenciómetro número 30 ajusta o nível do comparador

O potenciómetro número 42 ajusta o tempo de corte no fim do período semanal

Tabela III

Valores dos Ajustes potenciométricos do diagrama analógico da figura 2 para obtenção da onda triangular da figura 3

T_1 Tempo de operação do reator h	T_2 Tempo de parada do reator h	Potenciômetros 30 e 00	Potenciômetros 42
24	8	+ 0.310	0.496
22	2	+ 0.200	0.491
20	4	+ 0.093	0.486
18	6	- 0.016	0.481
16	8	- 0.125	0.476
14	10	- 0.236	0.471
12	12	- 0.345	0.466
10	14	- 0.444	0.461
8	16	- 0.563	0.456
6	18	- 0.672	0.451

Verificação Estática

As equações 8 e 9 considerando se $\theta = \theta_{\max}$ e $l = l_{\max}$ para os diversos casos fornecem os valores seguintes (Tabela 4)

Tabela IV

Valores das equações 8 e 9 para as potências 2.5 e 10 Mw do Reator IEAR 1 e máximos valores de θ e l

Potência (MW)	Φ (n/cm ² x s)	$\theta = \theta_{\max}$	$l = l_{\max}$	$d\theta/dt$	dl/dt
2	1.1×10^{13}	0,050	1	$+ 2.60 \times 10^{-5}$	$- 2.70 \times 10^{-5}$
5	2.75×10^{13}	0.100	2	$+ 4.16 \times 10^{-5}$	$- 5.31 \times 10^{-5}$
10	5.5×10^{13}	0.200	2	$+ 1.54 \times 10^{-5}$	$- 4.87 \times 10^{-5}$

Do diagrama figura 1 obtém-se (Tabela 5)

Tabela V

Valores obtidos pelo diagrama analógico da figura 1 para as potências 2.5 e 10 Mw do Reator IEAR 1 com os valores máximos de θ e l multiplicados por β

Potência (MW)	Φ (n/cm ² x s)	$-d\left(\frac{\theta}{\theta_{\max}}\right)/d\tau$	$-d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)/d\tau$
2	1.1×10^{13}	- 3.72UM ou $- 2.6 \times 10^{-5}$	0.194UM ou $+ 2.70 \times 10^{-5}$
5	2.75×10^{13}	- 3.31UM ou $- 4.16 \times 10^{-5}$	0.191UM ou $+ 5.30 \times 10^{-5}$
10	5.5×10^{13}	- 0.55UM ou $- 1.53 \times 10^{-5}$	0.175UM ou $+ 4.86 \times 10^{-5}$

CONCLUSÃO

As concentrações de Xenônio 135 como função do tempo, são representadas graficamente para as potências de 2,5 e 10 Mw (Figuras 4, 5 e 6)

Com esses gráficos é possível estimar mais precisamente o posicionamento das barras de segurança e controle no início de cada operação do reator pois estas posições variam de acordo com a concentração do Xenônio 135

Os resultados foram verificados para o IEA R1 à potência de 2 Mw mostrando-se satisfatórios

ABSTRACT

The behavior of Xenon 135 concentration as a function time can be evaluated by solving a linear differential system of equations

The solution of this system of equations was obtained through the use of an analogic computer system

Programming arrangements were created simulating several daily operations with different durations at following powers (2,5 and 10 Mw)

The obtained results will be represented by graphic form of this Xenon 135 concentration as a function time

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 CARLSON A *A study of xenon poisoning in a nuclear reactor* Princeton N J Electronics Associates Inc s d (Application Study 13-43a Bulletin number ALAC6301)
- 2 GLASSTONE S & EDLUND M Reactor control In _____ *The elements of nuclear reactor theory* Princeton N J Van Nostrand 1965 p 314-44
- 3 ISBIN H S Reactor dynamics part 2 In _____ *Introductory nuclear reactor theory* New York, Reinhold 1963 p 561-615
- 4 ROGERS A & CONNOLLY T *Analog computation in engineering design* New York McGraw Hill 1960
- 5 WILKINS B R *Analogic and iterative methods* London Chapman & Hall 1970

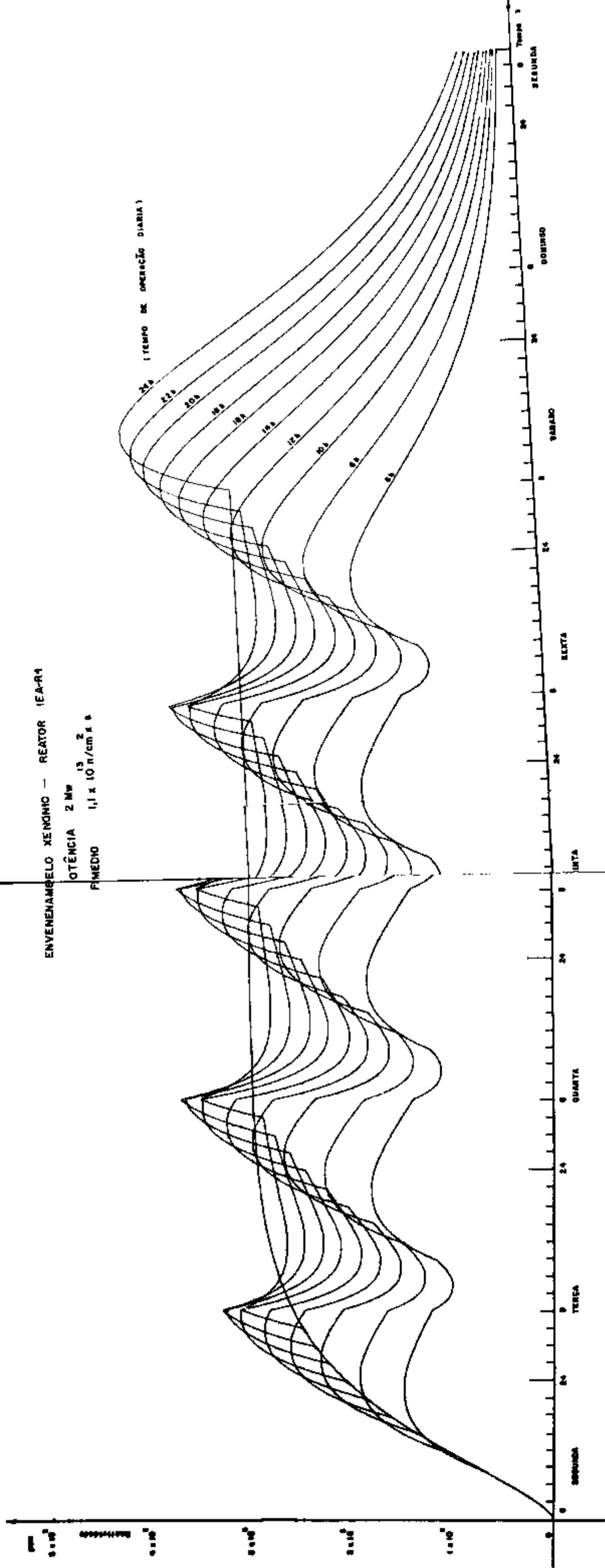


Figura 4 - Envenenamento pelo Xenônio - Reator IEAR 1 Potência 2 Mw Fluxo Médio $1 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$

ENVENENAMENTO PELO XENÔNIO - REATOR IEAR-1

POTÊNCIA 5 Mw

FLUXO MÉDIO $2,75 \times 10^{13}$ n/cm² x s

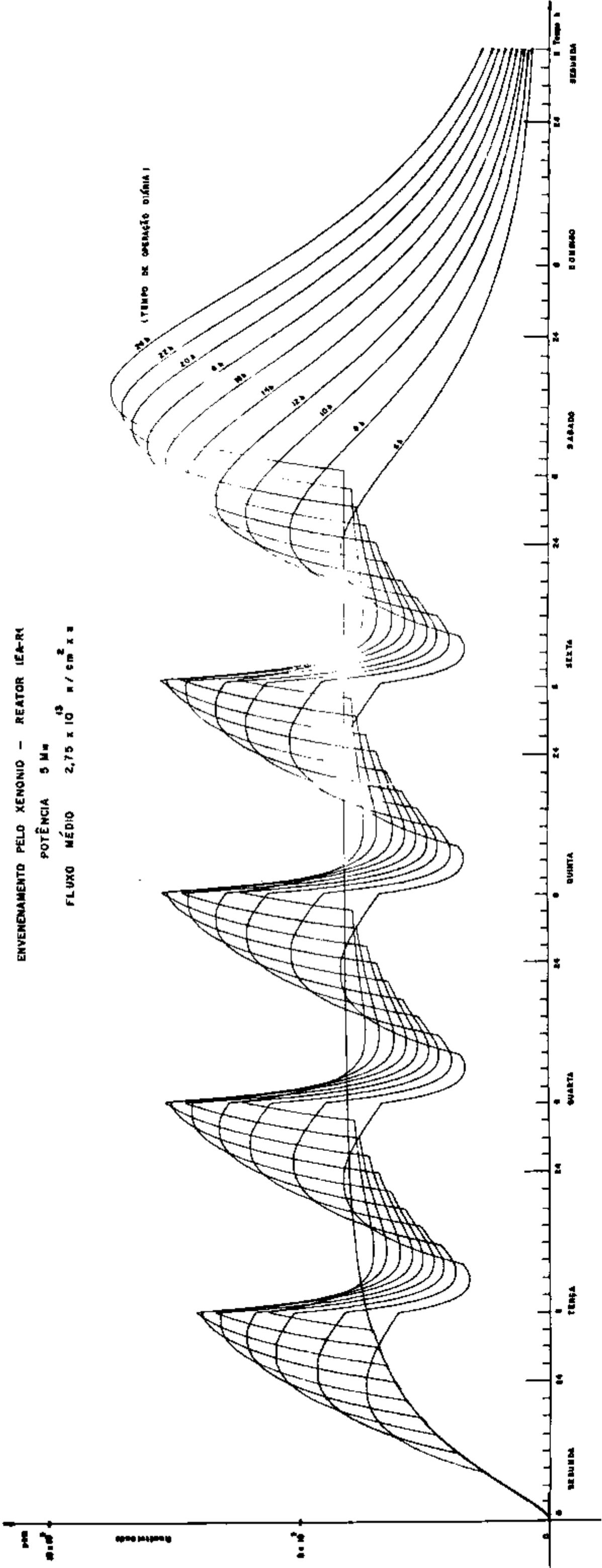


Figura 5 - Envenenamento pelo Xenônio - Reator IEAR 1 Potência 5 Mw Fluxo Médio $2,75 \times 10^{13}$ n/cm² x s

ENVENENAMENTO PELO XENÔNIO - REATOR IEA-R1

POTÊNCIA 10 Mw

FLUXO MÉDIO 5.5×10^{13} n/cm²s

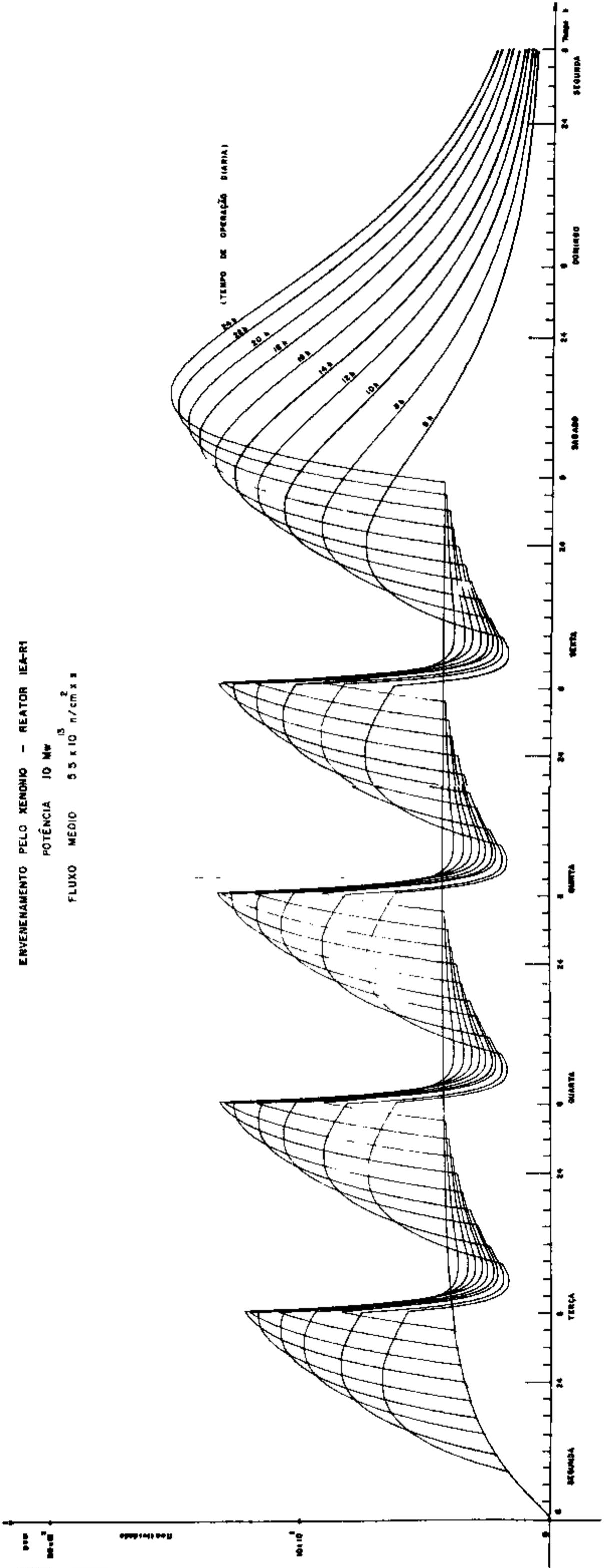


Figure B - Envenenamento pelo Xenônio - Reator IEA-R1 Potência 10 Mw Fluxo Médio 5.50×10^{13} n/cm² x s