

**DEFINIÇÃO DE PARAMETROS PARA CALCULOS DE FISICA
DO REATOR PWR DE OBRIGHEIM KWO
UTILIZANDO-SE DOS PROGRAMAS GELS E EREBUS**

A. G. FAYA, H. NAKATA, V. G. RODRIGUES e W. J. OOSTERKAMP

PUBLICAÇÃO IEA N.º 353
Setembro -- 1974

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

**DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA CALCULOS DE FÍSICA
DO REATOR PWR DE OBRIGHEIM KWO
UTILIZANDO-SE DOS PROGRAMAS GELS E EREBUS**

**A. G. Faya, H. Nakata, V. G. Rodrigues
e W. J. Oosterkamp**

**Coordenadoria de Engenharia Nuclear
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 353
Setembro - 1974**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng.^o Roberto N. Jafet - Presidente
Prof.Dr.Emilio Mattar - Vice-Presidente
Prof.Dr.José Augusto Martins
Prof.Dr.Milton Campos
Eng.^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pironi

DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA CÁLCULOS DE FÍSICA DO REATOR PWR DE OBRIGHEIM KWO UTILIZANDO-SE DOS PROGRAMAS GELS E EREBUS

A. G. Faya, H. Nakata, V. G. Rodrigues
e W. J. Oosterkamp

RESUMO

Definiram-se os principais parâmetros do programa EREBUS no cálculo de física pela teoria de difusão, do reator de Obrigheim - KWO.

Os parâmetros considerados foram espaçamento de malhagem para a descrição do reator, "time step" para o cálculo de "burn-up", e a temperatura no moderador e no combustível.

Chegou-se a definição de melhor malhagem e do melhor "time step" levando-se em consideração os desvios relativos e os tempos de processamento dispendidos em cada caso. Verificou-se também que o erro cometido na avaliação de temperatura média do combustível (1317°K segundo dados da SIEMENS e 1028°K calculada por Dr. Penndorf) não tem grande influência nos resultados de cálculo.

A- INTRODUÇÃO

O presente trabalho fez parte de uma série de cálculos com a finalidade de estabelecer a melhor malhagem e o melhor "time step" para posteriores cálculos de difusão do reator KWO utilizando o programa EREBUS!

Três equipes participaram destes cálculos estudando os casos A, B e C apresentados na Tabela I, cabendo ao nosso grupo (equipe 3) estudar o caso C. O caso A permite a comparação dos resultados para diferentes malhagens em geometria XY; o caso B, a comparação para diferentes malhagens em geometria RZ; o caso C a comparação para diferentes "time-steps" em geometria XY.

Verifica-se que os resultados obtidos para as três malhagens não diferem substancialmente entre si. Entre as malhagens de 2 cm e 4 cm os desvios são menores que 2%, e entre as malhagens de 2 cm e 5 cm os desvios são ligeiramente maiores. Assim, estabeleceu-se como critério, o tempo de processamento para a escolha de malhagem ideal. A Tabela II mostra os tempos de processamento típico para as três malhagens escolhidas. Decidiu-se pela malhagem de 4 cm em vista da diferença nos tempos de processamento.

Tabela I

Distribuição dos Trabalhos em Equipes e Casos

			EQUIPES		
			1	2	3
C A S O	A	Geometria "Time Step" Malhagem	XY 50 dias 2 cm	XY 50 dias 4 cm	XY 50 dias 5 cm
	B	Geometria "Burnup" Malhagem	RZ Não 2 cm	RZ Não 4 cm	RZ Não 5 cm
	C	Geometria "Time Step" Malhagem	XY 50 dias 2 cm	XY 100 dias 2 cm	XY 150 dias 2 cm

Tabela II

Tempos de Processamento para Diferentes Malhagens

Malhagem (cm)	Tempo de Processamento (Min)
2	112
4	40
5	25

B - REATOR

Um corte transversal do reator é apresentado na Figura 1.

O reator apresenta em seu núcleo 3 zonas de diferentes enriquecimentos: 2,5%, 2,8% e 3,1%.

A tabela III mostra as principais características da Central Nuclear de Obrigheim - KWO.

Tabela III

Características do PWR de Obrigheim - KWO

1. GENERALIDADES

Tabela III (cont.)

Localização: Obrigheim, sobre o Neckar
(Republica Federal da Alemanha)
Operador: Central Nuclear Obrigheim KWO
Tipo do Reator: PWR

2 DADOS GLOBAIS

Potência Térmica do Reator	907,5 MW
Potência Líquida da Central	282,7 MW
Rendimento Global	31,1 %

3 REATOR

3.1 Núcleo do Reator

Numero de Elementos Combustíveis	121
Peso de urânio no núcleo	35 t
Densidade média de potência no núcleo	66,3 W/cm ³
Comprimento ativo	275 cm
Diâmetro equivalente do núcleo	249,5cm

3.2 Elemento Combustível

Comprimento total	317,5 cm
Dimensão da base	20 cm x 20 cm
Arranjo de barras	14 x 14
Numero de barras combustíveis/elemento	180
Numero de tubos guia para barra de controle/elemento	16
Diâmetro externo de uma barra de combustível	1,07 cm
Material do encamisamento	Zircaloy
Espessura do encamisamento	0,07 cm
Combustível	UO ₂

3.3 Elemento de Controle

Numero no núcleo	32
Comprimento total	294,3 cm
Barras de controle/elemento	16
Material do encamisamento	Aço Inoxidável
Diâmetro externo do encamisamento	1,05 cm
Material absorvedor	Ag 15, In 5, Cd

3.4 Dados Neutrônicos

Enriquecimento inicial (em % em peso de U-235)	
------------------------------------------------	--

Tabela III (Cont.)

Primeiro núcleo (de dentro para fora)	2,5; 2,8; 3,1%
Núcleos subsequentes	3,0%

3.5 Dados Termotécnicos

Vazão líquida do refrigerante através do núcleo	20300 ton/h
Temperatura de entrada	283°C
Temperatura de saída	310,4°C
Temperatura média do refrigerante a plena carga	296,7°C
Pressão de serviço (absoluta)	145 at
Temperatura máxima na superfície do "clad"	341°C
Temperatura máxima na barra de combustível	1820°C

C PROGRAMAS

Os programas utilizados foram GELS e EREBUS

São descritos abaixo, sucintamente, as características principais desses programas de computação

GELS

Trata-se de um programa unidimensional que utiliza a teoria de transporte para cálculo de células infinitas com reflexão isotrópica

Características Principais

- Calculo de "burn up"
- Calculo de equilíbrio Xenônio e Samario
- Aplicado exclusivamente para moderador de água leve
- Possui biblioteca de materiais absorvedores de controle mais comuns em reatores

A biblioteca de seções de choque é dividida em 45 grupos de energia e inclui 36 núclides. O GELS permite a condensação das seções de choque em número de grupos de energia desejado. E a sua saída segundo a opção do usuário, poderá vir em formato de entrada para o código EREBUS ou FEVER/GAD.

EREBUS

EREBUS é uma abreviatura para Evaluation of Reactor - Evaluation with Burn Up and Searches. Utiliza a teoria de difusão em multigrupo, em duas dimensões com cálculos de criticalidade.

Características principais

- Vasta biblioteca de seções de choque e fatores de auto-blindagem.

- Três tipos de cálculo de criticidade além do cálculo de "burn up" convencional
- Possibilidade de mudança de dados a qualquer "time step"
- Dois tipos de interrupção e reacionamento de problemas.
- Possibilidade de redistribuição automática de elementos de combustível
- Possibilidade de formar famílias arbitrárias de isótopos (decaimento)

As equações de difusão resolvidas pelo EREBUS são

$$\nabla \left[D^i(x) \nabla \phi^i(x) \right] + \left[\Sigma_a^i(x) + \Sigma_R^i(x) + D^i(x) B^i(x) \right] \phi^i(x) = \frac{\lambda^i}{\lambda} \psi(x) + R^i(x) \quad i = 1, \dots, NG \quad (1)$$

$$\psi(x) = \sum_{i=1}^{NG} \nu \Sigma_f^i(x) \phi^i(x)$$

$$R^i(x) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{NG} \Sigma_R^{ji}(x) \phi^j(x)$$

As condições de contorno associadas a equação (1) nos limites do reator são:

$$\alpha^i \phi^i + \beta^i D^i \frac{d\phi^i}{dn} = 0$$

onde α^i e β^i são constantes de entrada

Há possibilidade de se especificar "rod composition".

D - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO COMBUSTÍVEL NOS CÁLCULOS DE CÉLULA

Foi verificada a influência da adoção de um valor não adequado para a temperatura efetiva do combustível através de um cálculo de célula pelo programa GELS.

O cálculo foi feito para célula do reator correspondente ao elemento 3,1% de enriquecimento.

HIPÓTESES

- Tempo de irradiação: 950 dias a plena carga
- "time steps": 19 de 50 dias
- "Small time step": 50 de 1 dia
- Temperatura do moderador: 559° K
- Concentração de boro: 750 ppm
- Temperaturas do combustível: 1028° K
1317° K

A primeira temperatura de combustível foi calculada pelo Dr. Penndorf como sendo a temperatura média da pastilha de combustível no reator KWC, a segunda fornecida pela SIEMENS como um valor adequado para o mesmo reator

A figura 2 mostra a evolução do fator de multiplicação em função do tempo para ambas as temperaturas. A influência da temperatura é praticamente desprezível para o cálculo das seções de choque. A maior diferença entre os fatores de multiplicação para cada temperatura não ultrapassa 0,7% (no começo do ciclo) diminuindo com o decorrer do tempo

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as curvas de produção de Plutônio 239 e de Plutônio 241, no decorrer do tempo, respectivamente, e outra vez observa-se que é insignificante a influência da temperatura

E - RESULTADOS DE CALCULOS

Inicialmente foram geradas as seções de choque em 2 grupos através do programa GELS.

As condições de contorno impostas foram

Sem "burn up"
Equilíbrio de Xenônio e Samário
Temperatura do moderador 559 K
Temperatura do combustível 1317 K
Concentração de boro 2030 ppm

Esta biblioteca de seções de choque foi fornecida como entrada para o programa EREBUS para o qual foram estabelecidas as seguintes hipóteses.

Tipo de calculo Pesquisa de concentração crítica de veneno solúvel
Geometria XY
Potência 825 KW/cm, correspondendo a 907,5 MW(yh) do reator
Espaçamento da malhagem 2,013 cm correspondendo a 72 x 72 pontos
Tempo total de irradiação 300 dias (2 "time steps" de 150 dias)
Concentração inicial de veneno solúvel (Boro) 2030 ppm
"Buckling" axial 0,0001173 cm

Após a execução foram obtidas as seguintes concentrações de veneno solúvel (que torna o reator crítico), em função do tempo

t = 0	2086 ppm
t = 150 dias	1500 ppm
t = 300 dias	1049 ppm

A Figura 6 mostra a distribuição de potência relativa de cada elemento (razão densidade de potência do elemento/densidade de potência média no caroço), no início da vida do reator e após 150 dias de evolução

Na Figura 7 é apresentado o "burn up" de cada elemento de combustível após 150 dias de evolução.

F - CONCLUSÕES

Três casos foram estudados pelas 3 equipes conforme mostra a Tabela I. A Tabela IV abaixo mostra o valor de algumas grandezas para os casos em estudo após uma operação de 300 dias a plena potência.

Tabela IV
Características do reator, após 300 dias de operação,
para diferentes "time steps"

"Time-step" (dias)	50	100	150*
Massa de U-235 (kg)	709,7	709,5	709,9
Massa de Pu-físsil (kg)	103,5	103,0	102,7
Massa físsil total (kg)	813,2	812,5	812,6
Massa total de Pu (kg)	119,6	119,1	118,8
Concentração crítica de Boro natural	1064	1058	1048
Fator de Máximo	1,22	1,22	1,21

* Presente trabalho.

As diferenças observadas para diferentes "time-steps" são sempre menores que 1%, exceto na concentração crítica de boro natural entre 50 dias e 150 dias, que apresenta uma diferença de 1,5%.

A Tabela V mostra a densidade de potência (W/cm^3) em alguns pontos particulares do reator, também após 300 dias de operação a plena potência.

Tabela V
Densidade de potência (W/cm^3) em pontos particulares do reator
após 300 dias a plena potência

"Time-step" (dias)	50	100	150
Ponto central	72,52	72,44	70,85
Interface zona 1/zona 2	77,53	77,13	76,23
Interface zona 2/zona 3	67,23	67,03	68,82
Interface zona 3/refletor	26,00	24,09	20,51

Nota-se neste caso desvios maiores que 1,5% entre os resultados para "time steps" de 50 dias a 150 dias e em torno de 1% entre os casos de 50 dias e 100 dias

Tabela VI

Tempo de funcionamento em função do "time-step"

"Time-step" (dias)	Tempo de CPU (min)
50	112*
100	74
150	71

* Foi utilizado o "weak restart".

Em vista dos resultados acima expostos e os valores apresentados na Tabela VI, conclui-se que mantendo o compromisso entre a precisão e o tempo de processamento, é recomendável adotar-se o "time step" de 100 dias para cálculos de "burn up" do reator KWO usando-se o programa EREBUS. Os resultados obtidos apresentam desvios bastante pequenos em relação aos de uma "time step" menor (50 dias) e consegue-se uma considerável economia no tempo de processamento.

G - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Efetua-se um cálculo com programa GELS e programa EREBUS para se determinar a reatividade com aumento de temperatura em reator desligado. Para este cálculo admitiram-se as seguintes hipóteses:

- Reator limpo
- Concentração de boro: 1600 ppm
- Temperatura do moderador igual a temperatura do combustível
- Temperaturas de: 285°C, 290°C e 295°C
- Pressão: 145 atm

Os resultados do programa GELS são mostrados nas Figuras 8 e 10 e observa-se que a reatividade é positiva para as temperaturas estudadas, em ordem decrescente com o aumento de enriquecimento.

Com as seções de choque obtidas, pelo programa GELS, estudou-se o comportamento da reatividade do reator KWO com as hipóteses acima citadas. A Figura 11, mostra a dependência do fator de multiplicação com as temperaturas estudadas. E observa-se que a reatividade positiva é menor que a dos cálculos feitos pelo programa GELS para cada enriquecimento separadamente.

ABSTRACT

The main variables for Obrigheim Reactor KWO diffusion theory calculations using the EREBUS Code were defined.

The variables under consideration were mesh spacing for reactor description, time-step in burn-up calculation and the temperature in both the moderator and the fuel.

The best mesh spacing and time-step were defined considering the relative deviations and the computer time expended in each case. It has been verified that the error involved in the mean fuel temperature calculation (1317°K as given by SIEMENS and 1028°K as calculated by Dr. Penndorf) does not change substantially the calculation results.

RESUMÉ

Les principaux paramètres du programme EREBUS ont été définis pour le calcul de physique du réacteur de Obrigheim KWO suivant la théorie de diffusion.

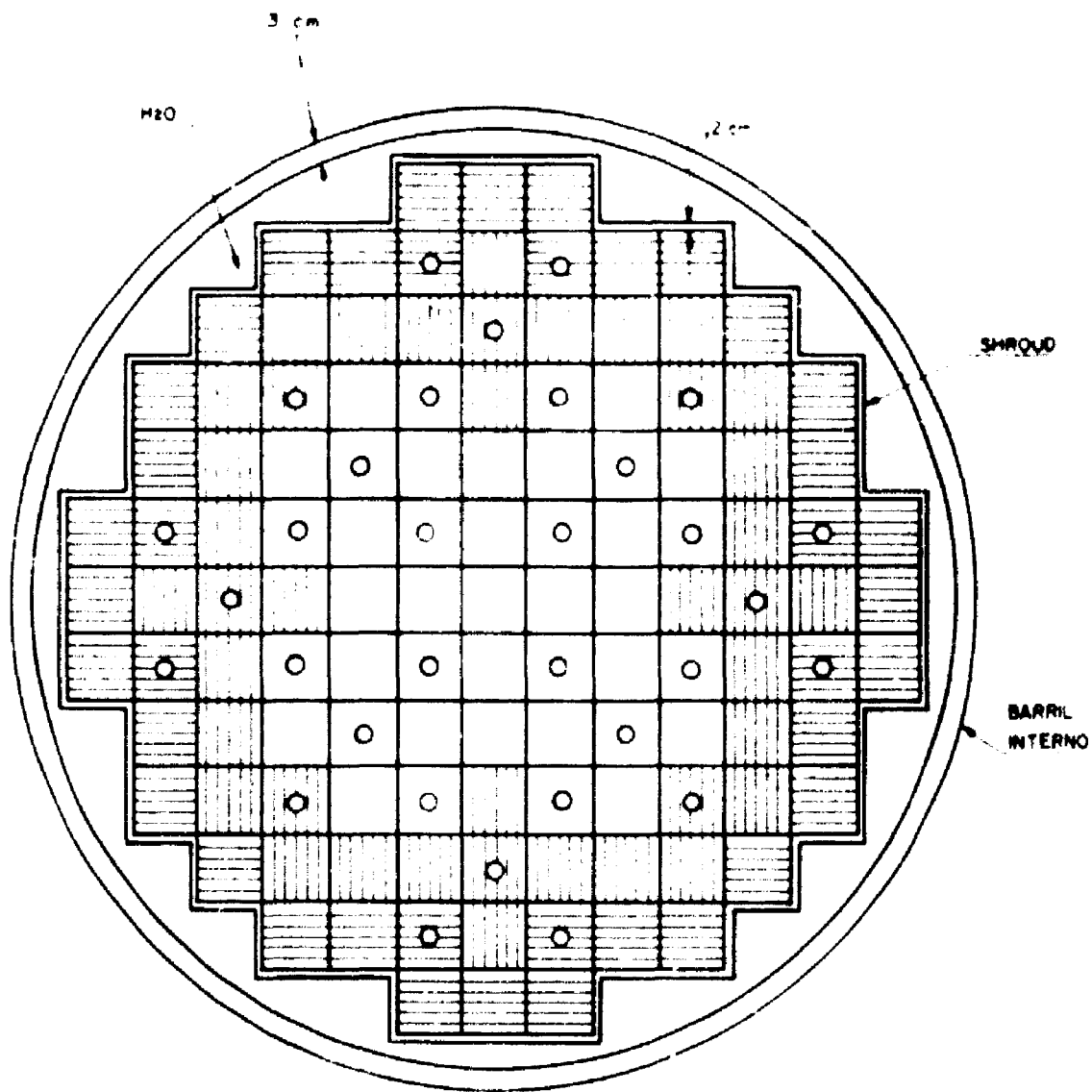
Les paramètres considérés sont les suivants: le dimensionnement de la maille du réseau pour la description du réacteur, l'intervalle de temps pour le calcul du "burn-up" et la température moyenne du modérateur et du combustible.

On arrive à définition du meilleur réseau et du meilleur "time-step", en tenant compte des écarts relatifs des temps de traitement nécessaires. On vérifie aussi que l'erreur commise dans l'estimation de la température moyenne du combustible (1317°K d'après le SIEMENS et 1028°K suivant le Dr. Penndorf) n'a pas grande influence sur les résultats du calcul.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Console, M., et al. EREBUS; A multi-group Diffusion-Depletion Program in Two Dimension for the IBM-360 Torino - Italia FIAT - Sezione Energia Nucleare, Nov. 1967

CORTE TRANSVERSAL DO REATOR KWO
 FIGURA 1

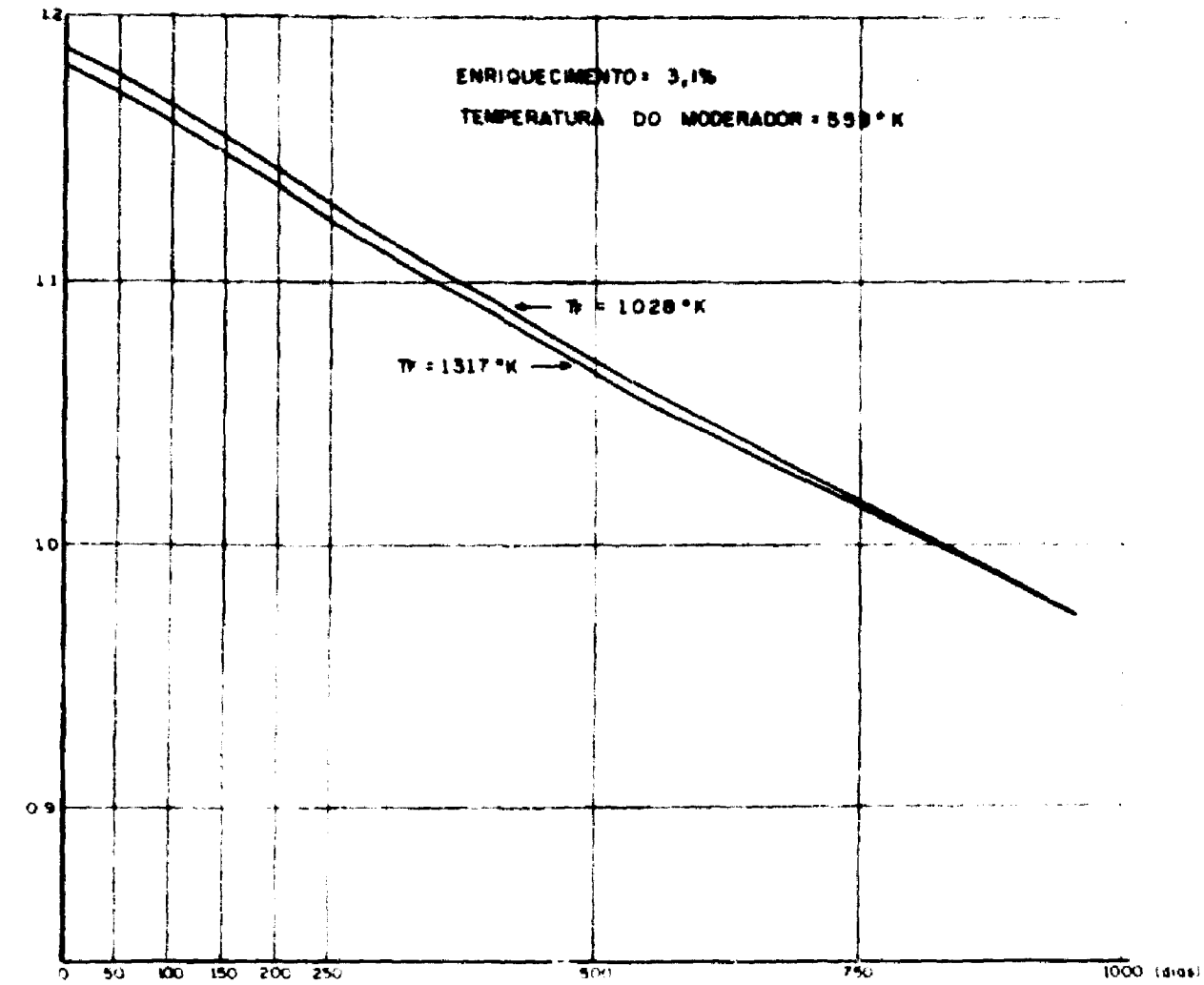


ENRIQUECIMENTO

□	U - 235	2,5%
▤	U - 235	2,8%
▥	U - 235	3,1%

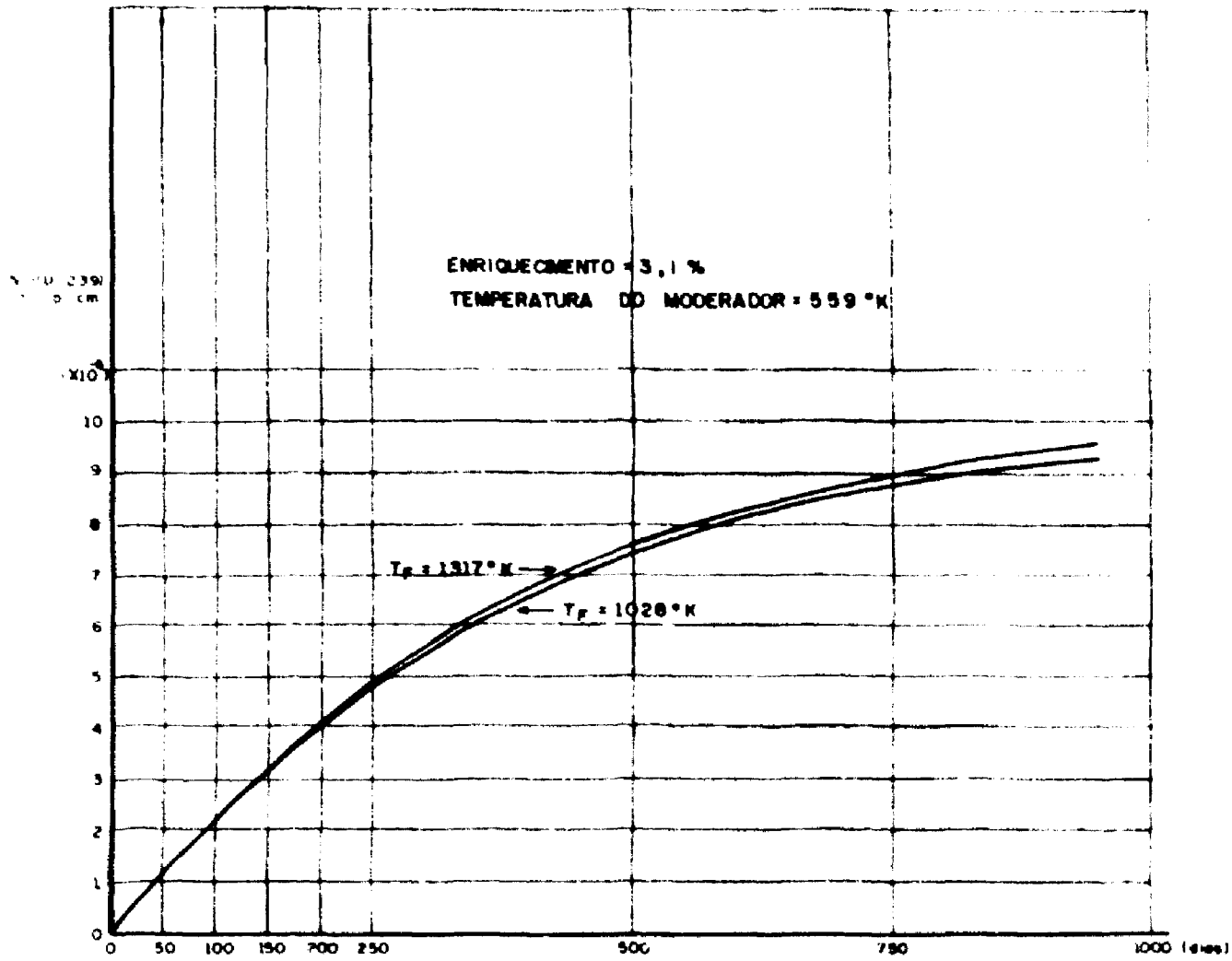
FIG. 1

K_{eff}

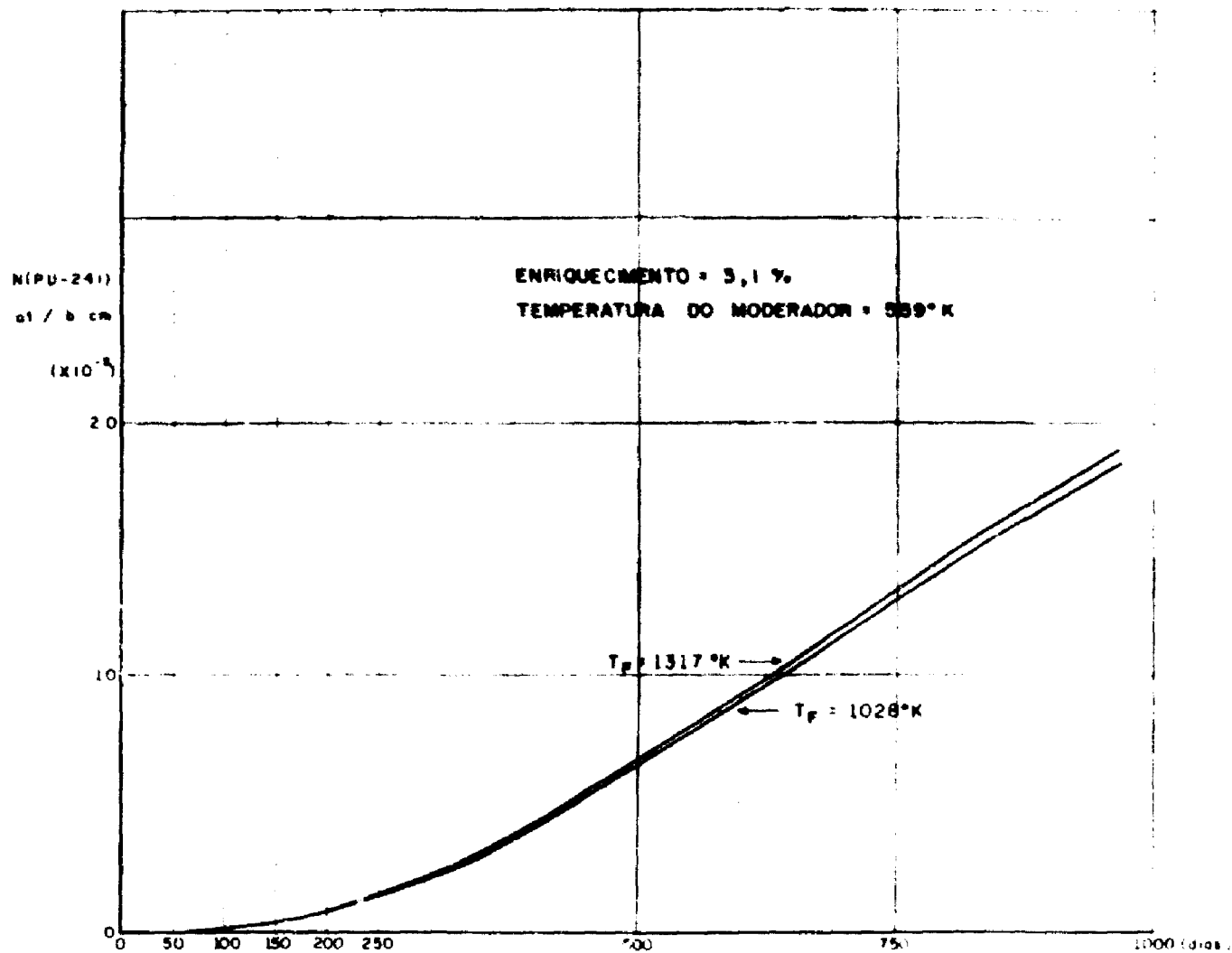


VARIAÇÃO DO FATOR DE MULTIPLICAÇÃO COM A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO COMBUSTIVEL

Fig. 2



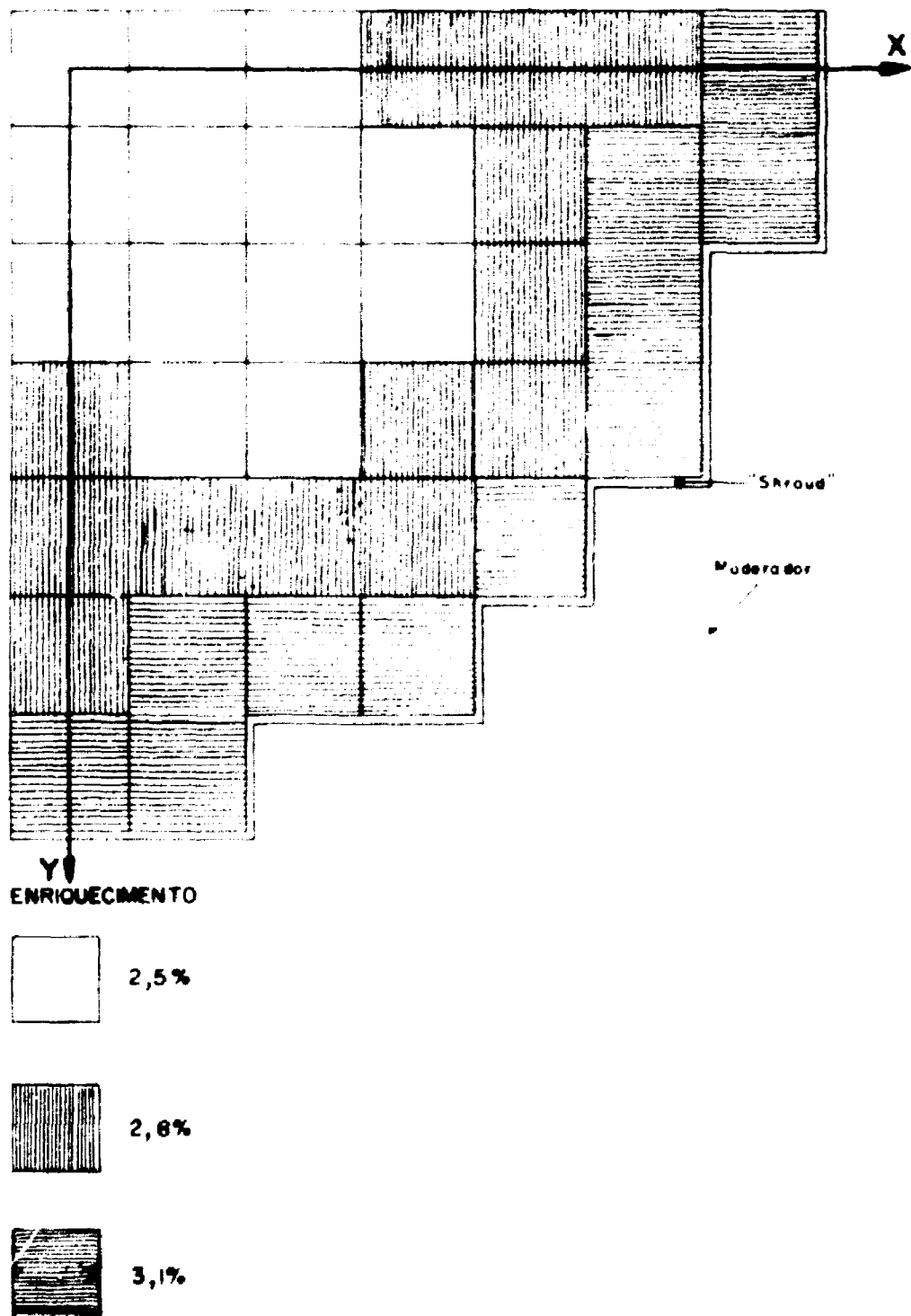
VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PU-239 COM A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO COMBUSTÍVEL
Fig. 3



VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PU-241 COM A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO COMBUSTÍVEL
 Fig. 4

ESQUEMA DO REATOR KWO UTILIZADO PARA
OS CÁLCULOS DE PARÂMETROS DE FÍSICA
DO REATOR KWO

Fig. 5



DISTRIBUIÇÃO DA POTÊNCIA RELATIVA
NO REATOR KWO

FIGURA 6

1.0974	1.1150	1.1858	1.4025	1.4262	1.1583	6236
1.0534	1.0589	1.0821	1.1871	1.2173	1.1199	7304
	1.1226	1.1627	1.2395	1.3398	1.1074	4794
	1.0672	1.0841	1.1228	1.2023	1.0967	5764
		1.1387	1.1340	1.1299	7766	
		1.1002	1.1242	1.1504	8729	
			1.0920	8415	4415	
			1.1641	9979	5845	
				4767		
				6457		

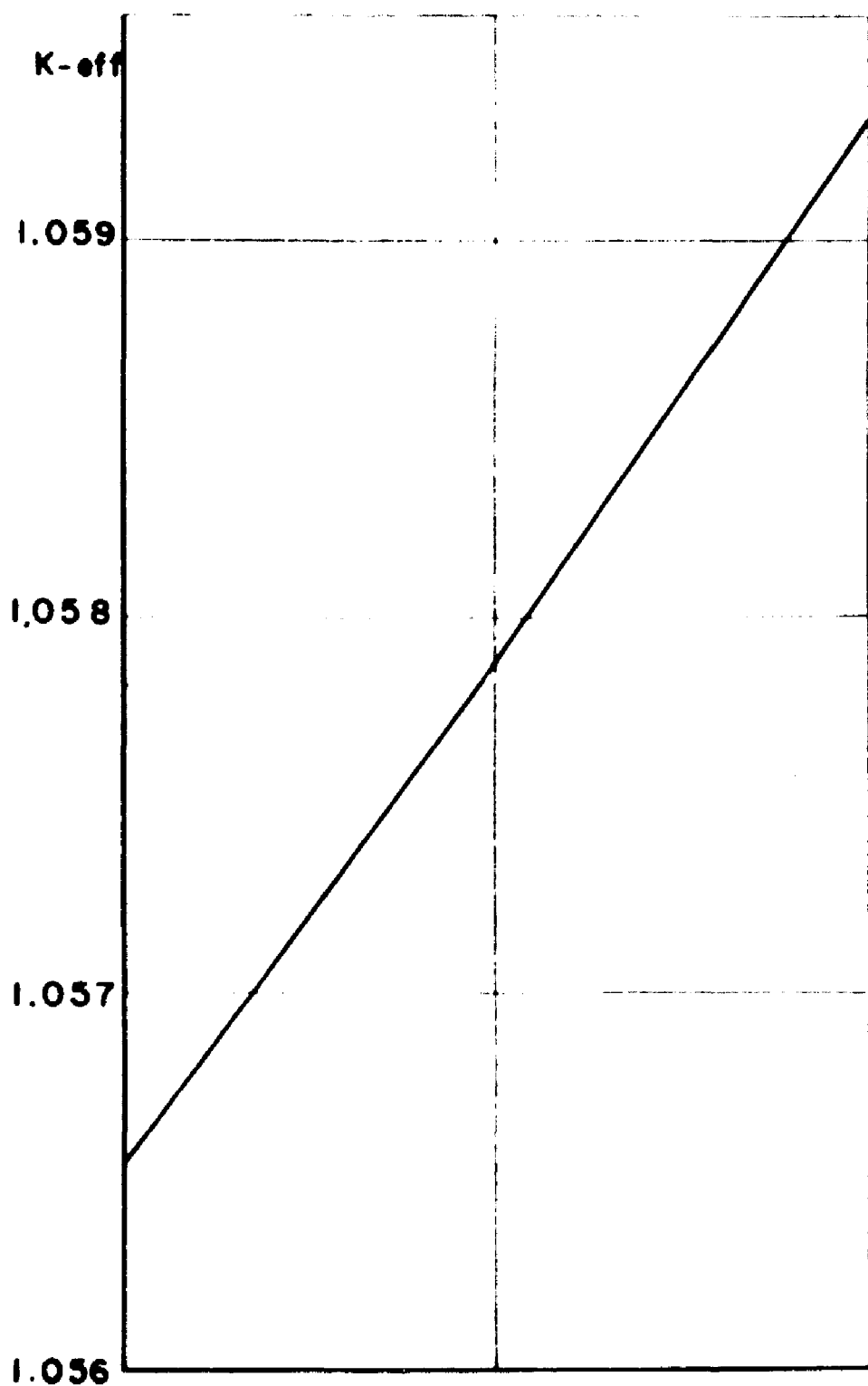
INICIO ————
 AÓS }
 150 DIAS }

Fig. 7

DISTRIBUIÇÃO DA QUEIMA TOTAL DE COMBUSTÍVEL
NO REATOR KWO APÓS 300 DIAS DO INÍCIO DE
OPERAÇÃO

7280	7360	7674	4590	8720	7250	4060
	7398	7520	7843	8325	7011	3457
		7410	7386	7349	5409	
			7312	5855	3470	
				3855		

MWD/T



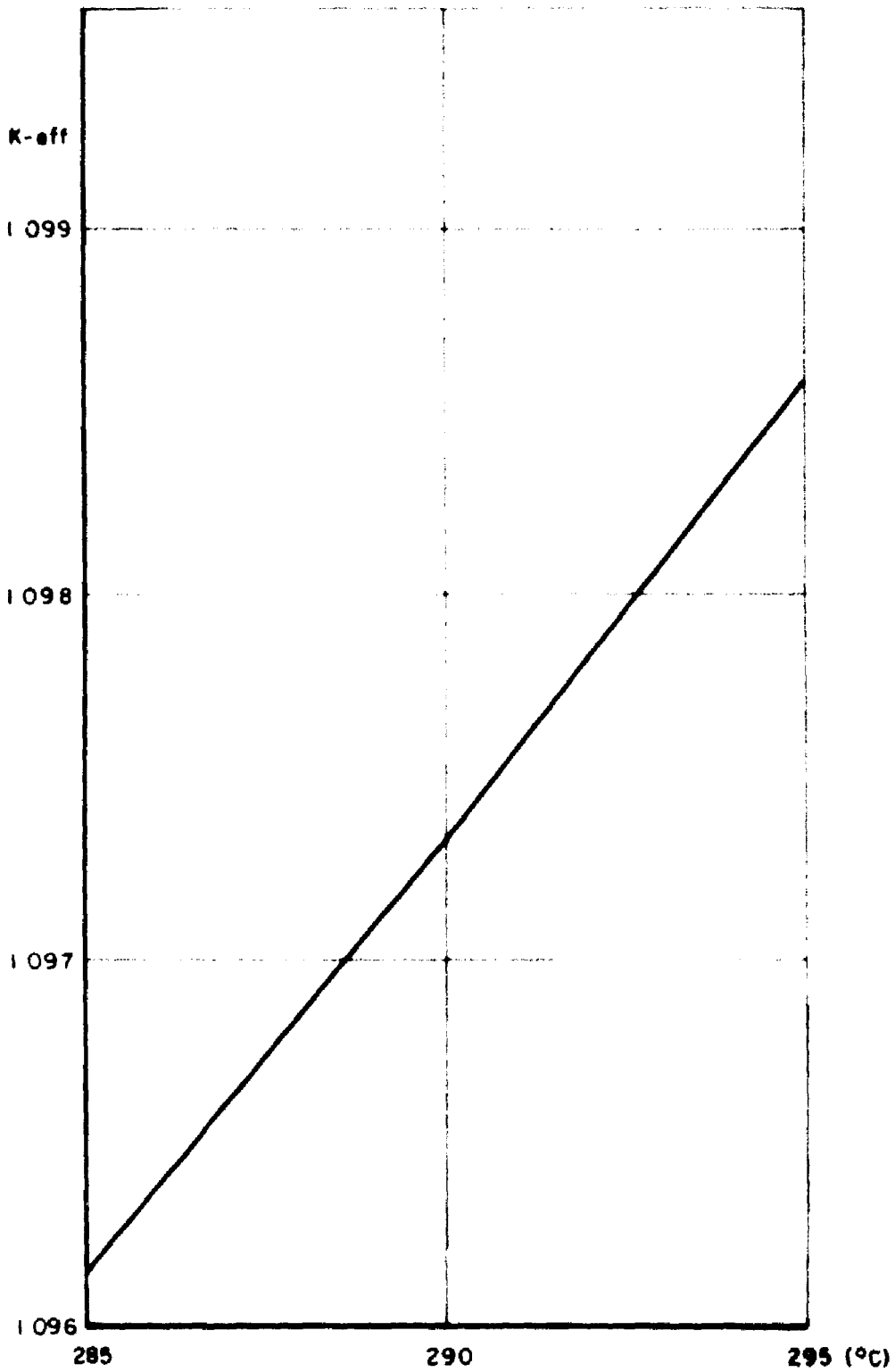
VARIAÇÃO DO K-eff EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA

ENR. = 2,5%

CAROÇO LIMPO

BORO = 1600 ppm

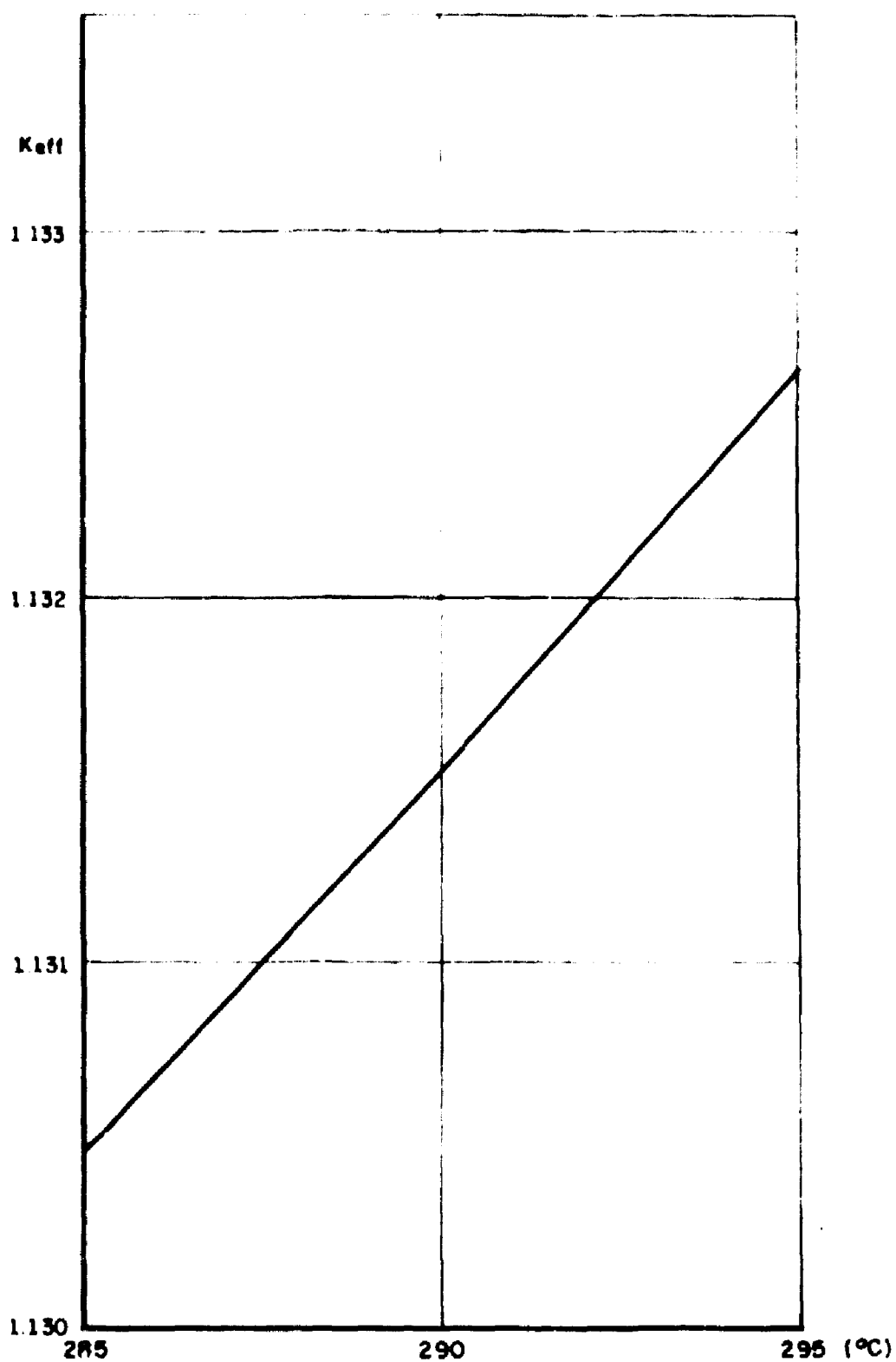
Fig. 8



**VARIAÇÃO DO K-eff. EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA**

**PROGRAMA GELS
CAROÇO LIMPO
ENRIQUECIMENTO = 2,8%
BORO = 1600 PPM**

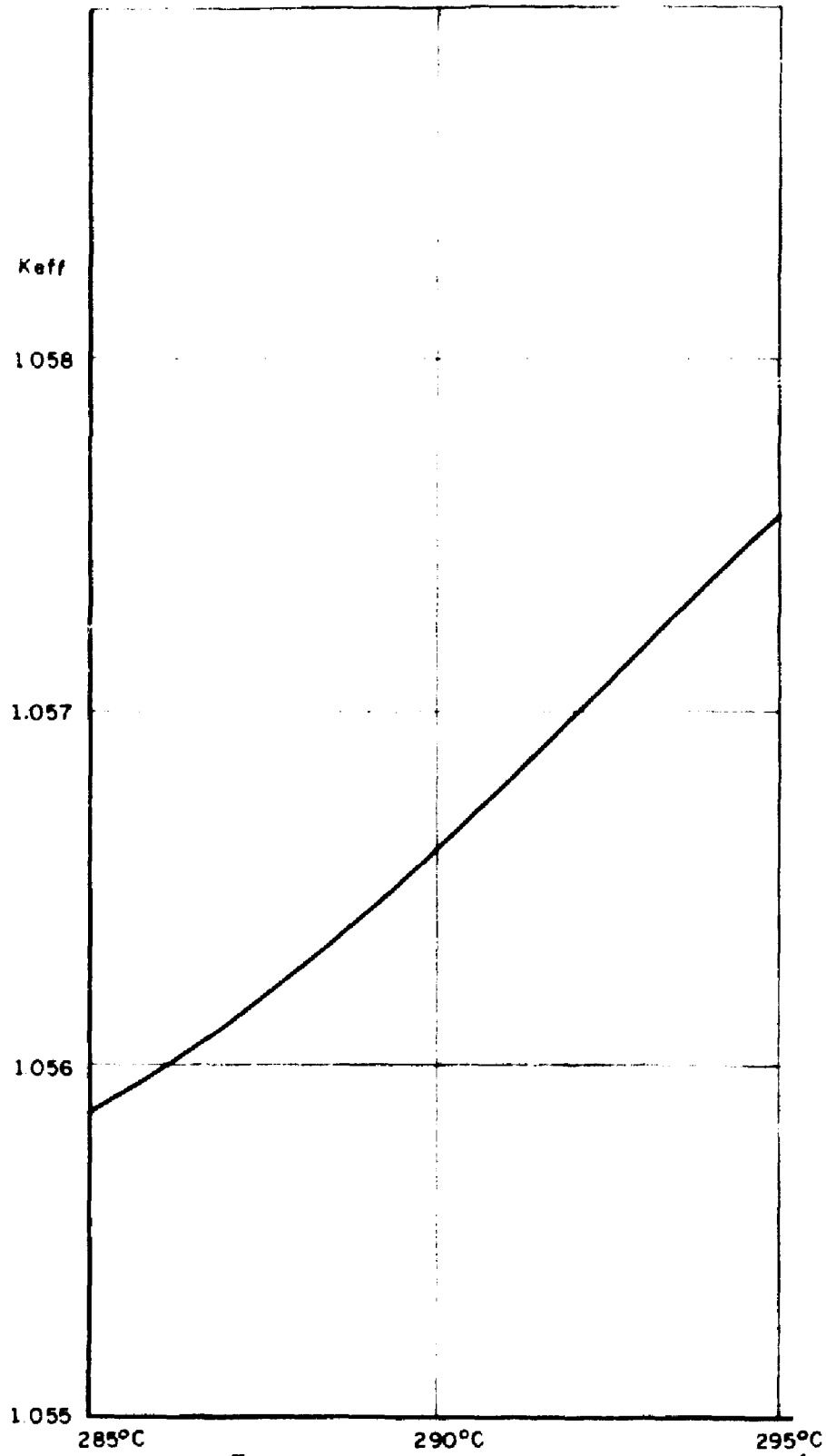
Fig. 9



**VARIAÇÃO DO K_{eff} EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA**

ENR. = 3,1 %
CAROÇO LIMPO
BORO = 1600 ppm

Fig. 10



VARIAÇÃO DO K_{eff} EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA

Fig. 11

PROGRAMA EREBUS
CAROÇO LIMPO
BORO = 1600 ppm