



**PROGRAMA PARA O CÁLCULO NO COMPUTADOR
IBM 1620 DE RETICULADO DE URÂNIO NATURAL
E GRAFITA**

WILMA S. C. HEHL

Publicação IEA — N.º 57
Janeiro — 1963

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

PROGRAMA PARA O CÁLCULO NO COMPUTADOR IBM 1620
DE RETICULADO DE URÂNIO NATURAL E GRAFITA

W.S.C. Hehl

Divisão de Física de Reatores - Instituto de Energia Atômica

São Paulo - Brasil

Publicação IEA nº 57

janeiro - 1963

I. INTRODUÇÃO

No presente trabalho será utilizada uma versão simplificada de um esquema completo de cálculo de reticulado de urânio natural e grafita, baseado na teoria de difusão de dois grupos.

O esquema completo foi desenvolvido em Saclay, sendo o cálculo do fator de utilização térmica, de probabilidade de escape à ressonância e do fator de fissão rápida baseado em novas formulações que se mostraram suficientemente precisas.

Várias fórmulas empíricas são utilizadas e foram obtidas através de extensa análise de dados precisos, obtidos em estudos experimentais do referido reticulado.

A versão simplificada daquele esquema foi fornecida por M. P. Birien ao Grupo de Trabalho do Reator de Potência, (G.T.R.P.), e encontra-se publicada no GTRP-N-1.

Baseado nesse formulário simplificado foi desenvolvido um programa em Fortran, para o computador IBM-1620 onde são calculados os: fator de utilização térmica, probabilidade de escape a ressonância, fator de fissão rápida, k infinito, áreas de moderação, áreas de difusão, laplaciano material, fator de conversão inicial e secções de choque macroscópicas de Westcott.

O programa para o cálculo das secções de choque microscópicas de Westcott, bem como o cálculo dos coeficientes de difusão foi baseado no cálculo completo de reticulados,

apresentado no SPM-687, Juin 1961.

II. Notação e equivalência dos símbolos em Fortran

Na notação usual do formulários as secções eficazes térmicas (epitérmicas), o fator de utilização térmica (epitérmico) etc., podem ser indicados especificamente com o índice $M(\mathcal{L})$.

Em Fortran, essas variáveis são subscritadas com o índice J, indicando o grupo epitérmico para $J = 1$ e o grupo térmico para $J = 2$.

As secções de choque de Westcott, na simbologia em Fortran, apresentam a letra W em sua nomenclatura.

<u>NOTAÇÃO</u> <u>FORTRAN</u>	<u>NOTAÇÃO USUAL</u> <u>DO FORMULÁRIO</u>		
H	h	comprimento do urânio por cartucho	(cm)
H1	h'	" de um cartucho	(cm)
A	a	raio exterior de um cartucho sem camisa	(cm)
D	d	raio interior de um cartucho	(cm)
CO	co	" de um cartucho com camisa homogeneizada	(cm)
B	b	" equivalente da célula	(cm)
C	c	" do canal	(cm)
VB	v_b	volume total do tampão por cartucho	(cm ³)
RO 1	ρ_u	densidade do combustível	(g/cm ³)
RO 3	ρ_1	" " moderador	(g/cm ³)

NOTAÇÃO NOTAÇÃO USUAL
FORTRAN DO FORMULÁRIO

N 1	N_8	número de átomos de U-238 por $\text{cm}^3 \times 10^{-21}$	
N 2	N_5	" " " " U-235 " $\text{cm}^3 \times 10^{-21}$	
ENX	N_{xe}	" " " " Xenon " $\text{cm}^3 \times 10^{-21}$	
T	T	temperatura do moderador (tomada igual à temp. dos neutrons	(°K)
TU	T_u	temperatura do urânio	(°K)
ALFA	$\bar{\alpha}$	coeficiente de ponderação, 1ª aproximação, valor médio do quadrado do fluxo	
P MAX	P_{max}	potência específica	(W/cm ³)
S J	λ_{mt}	caminho livre médio de transporte da grafita de densidade 1.6 g/cm ³	(cm)
AX		massa atômica do urânio natural	
E 1		porcentagem do U-238	
E 2		porcentagem do U-235	
AXW J	$\hat{\sigma}_x$	secção de choque microscópica de absorção do Xenon	(kbarn)
C5W J	$\hat{\sigma}_{c5}$	secção de choque microscópica de captura do U-235	(kbarn)
A8W J	$\hat{\sigma}_{a8}$	secção de choque microscópica de absorção do U-238	(kbarn)
F5W J	$\hat{\sigma}_{f5}$	secção de choque microscópica de fissão do U-235	(kbarn)
SASW J	$\hat{\Sigma}_{\text{as}}$	secção de choque eficaz de captura do material de estrutura	(cm ⁻¹)
SUFW J	$\hat{\Sigma}_{\text{uf}}$	secção de choque eficaz macroscópica de fissão do combustível	(cm ⁻¹)
SAUW J	$\hat{\Sigma}_{\text{au}}$	secção de choque eficaz macroscópica de absorção do combustível	(cm ⁻¹)
SMT J	Σ_{mt}	secção de choque eficaz macroscópica de transporte do moderador	(cm ⁻¹)

NOTAÇÃO USUAL
 FORTRAN DO FORMULÁRIO

SAGW J	$\hat{\Sigma}_{ag}$	secção de choque eficaz de captura da camisa	(cm ⁻¹)
SABW J	$\hat{\Sigma}_{ab}$	secção de choque eficaz de captura do tampão	(cm ⁻¹)
SAMW J	$\hat{\Sigma}_{am}$	secção de choque eficaz de captura do moderador	(cm ⁻¹)
SACW J	$\hat{\Sigma}_{ac}$	secção de choque eficaz macroscópica de absorção da célula	(cm ⁻¹)
SCW J	$\hat{\Sigma}_c$	secção de choque eficaz de captura, supondo o urânio distribuído uniformemente dentro do volume total do urânio e do canal central	(cm ⁻¹)
SSW J	$\hat{\Sigma}_s$	secção de choque eficaz de espalhamento, supondo o urânio distribuído uniformemente dentro do volume total do urânio e do canal central	(cm ⁻¹)
SOW J	$\hat{\Sigma}_o$	secção de choque eficaz total, urânio não homogeneizado no caso de tubo	(cm ⁻¹)
SW J	$\hat{\Sigma}$	secção de choque total do urânio homogeneizado no caso de tubo	(cm ⁻¹)
SUSW J	$\hat{\Sigma}_{us}$	secção de choque eficaz macroscópica de espalhamento do elemento combustível	(cm ⁻¹)
SSC 1	Σ_{sce}	secção de choque eficaz macroscópica de transferência do grupo epitérmico para o grupo térmico, para a célula	(cm ⁻¹)
SU	S_u	área da secção reta da barra ou tubo de urânio	(cm ²)
SM	S_m	área da secção reta do moderador (cilindro equivalente)	(cm ²)
SF	S_f	área da secção reta de passagem do fluido	(cm ²)

NOTAÇÃO NOTAÇÃO USUAL
 FORTRAN DO FORMULÁRIO

SG	S_g	área da secção reta da camisa	(cm ²)
SB	S'_b	área da secção reta do cilindro combustível, inclusive canal central no caso de tubo	(cm ²)
SEF	S_{eff}	área lateral externa eficaz do cartucho de urânio, sem camisa	(cm ²)
AO	a_o	variável auxiliar	(cm)
A 1	a_1	" "	(cm)
VM/VU	V_m/V_u	relação volume do moderador para volume do urânio	
R	R	variável auxiliar para cálculo de ENX	
TTA J	θ	função de correlação entre as secções de choque a 2200 m/s e as de Westcott	
G J	G	caracteriza a depressão do fluxo no combustível	
ENE J	N	caracteriza a depressão do fluxo entre a superfície externa do canal e a superfície externa do combustível	
X J	X	caracteriza a depressão do fluxo entre o limite exterior da célula e a superfície externa do canal	
ALF J	$\alpha(x)$	função auxiliar no cálculo de G	
AF J	$A(x)$	função auxiliar no cálculo de G	
BTF J	$\beta(x)$	função auxiliar no cálculo de G	
FI	$\psi(\gamma)$	função auxiliar no cálculo de X	
BDA	$\lambda(z)$	função auxiliar no cálculo de X	
XP	x	argumento das funções A, α , β	
YP	y	argumento da função ψ	
ZP	z	argumento da função λ	

NOTAÇÃO FORTRAN NOTAÇÃO USUAL DO FORMULÁRIO

RM J	R_m	fator de correção devido a diferença dos fluxos médios no moderador e no urânio	
RG J	R_g	fator de correção devido a diferença dos fluxos médios na camisa e no urânio	
RB J	R_b	fator de correção devido a diferença dos fluxos médios no tampão e no urânio	
F J	f	fator de utilização (térmica e epitérmica)	
FIM J	ϕ_m	relação dos fluxos médios no moderador e na célula	
FIU J	ϕ_u	relação dos fluxos médios no combustível e na célula	
FIF J	ϕ_f	relação dos fluxos médios no gás e na célula	
ETA J	η	número de neutrons emitidos por neutron absorvido no combustível	
EPS	ϵ	fator de fissão rápida	
EPSL	$\epsilon^* - \epsilon$	fração de neutrons rápidos capturados no U-238	
Q	Q	(Q - 1) é a fração de neutrons que sofreram um choque inelástico	
SR 8	Σ_{r8}	secção de choque macroscópica de absorção ressonante no U-238	(cm ⁻¹)
PR	p	probabilidade de escape à ressonância	
CAINF	k_{∞}	fator de multiplicação infinito	
FR	Q_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
FZ	Q_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
QR	Q'_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	

NOTAÇÃO NOTAÇÃO USUAL
FORTRAN DO FORMULÁRIO

QZ	Q'_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
WR	W_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
WZ	W_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
TR	T_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
TZ	T_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
QPO	q_o	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
BU J	λ_u	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
ER J	E_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
EZ J	E_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
HR J	H_r	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
HZ J	H_z	função auxiliar para o cálculo do coeficiente de difusão	
DR J	D_r	coeficiente radial de difusão	(cm ²)
DZ J	D_z	" axial " "	(cm ²)
DO J	D_o	" médio " "	(cm ²)
TALR	ζ_1	área radial de moderação	(cm ²)
TALZ	$\zeta_{//}$	" axial de moderação	(cm ²)
TALO	ζ_o	" média de moderação	(cm ²)
ADIFR	L^2_1	" radial de difusão	(cm ²)
ADIFZ	$L^2_{//}$	" axial de difusão	(cm ²)
ADIFO	L^2_o	" média de difusão	(cm ²)
BMQU	B^2_m	laplaciano material	(cm ⁻²)

<u>NOTAÇÃO</u> <u>FORTRAN</u>	<u>NOTAÇÃO USUAL</u> <u>DO FORMULÁRIO</u>
----------------------------------	--

RZERO	R_0	parâmetro caracterizando a proporção de espectro epitérmico
TALOL	ζ'_0	variável auxiliar para o cálculo de C_0
QLINH	q'	variável auxiliar para o cálculo de C_0
PI	i	variável auxiliar para o cálculo de C_0
ETAFW	$\hat{\eta}_f$	número médio de neutrons libertados por neutron capturado no U.
ETAW	$\hat{\eta}_w$	número médio de neutrons libertados por neutron capturado no combustível
CZERO	c_0	fator de conversão inicial
SAS8W	$\hat{\Sigma}_{a8}$	secção de choque eficaz macroscópica de absorção global no U-238 (cm ⁻¹)
SC5W	$\hat{\Sigma}_{c5}$	secção de choque eficaz macroscópica de captura global no U-235 (cm ⁻¹)
SF5W	$\hat{\Sigma}_{f5}$	secção de choque eficaz macroscópica de fissão global no U-235 (cm ⁻¹)
SAXW	$\hat{\Sigma}_{ax}$	secção de choque eficaz macroscópica de absorção global no Xenon (cm ⁻¹)
SAEW	$\hat{\Sigma}_{as}$	secção de choque eficaz macroscópica de absorção global no material estrutural (cm ⁻¹)
SE	$\hat{\Sigma}_e$	secção de choque eficaz macroscópica total, global da célula (cm ⁻¹)

III. Esquema de Cálculo

Este esquema é baseado essencialmente no cálculo sucessivo das capturas, fugas e fontes térmicas e epitérmicas e, após o balanço do número de neutrons de cada grupo, na obten-

ção das grandezas características do reticulado.

Os grupos térmico e epitérmico são considerados independentes.

a) Grupo Térmico:

Capturas Térmicas

$$\sum_{acM} F_M$$

Fugas

$$\left[D_{Mz} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{Mr} \nabla^2(r) \right] F_M$$

Fontes

provenientes do grupo rápido.

b) Grupo Epitérmico:

Capturas Epitérmicas

$\sum_{ace} F_e$ (são tôdas com exceção das capturas de ressonância do U_8)

Capturas de Ressonância no U_8

$$\frac{V_o}{V_t} \sum_{r8} F_e$$

Fugas Epitérmicas

$$\left[D_{ez} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{er} \nabla^2(r) \right] F_e$$

Transferência do Grupo Epitérmico ao Grupo Térmico

$$\sum_{sce} F_e$$

(1) fissões térmicas

Fontes Rápidas

(2) fissões epitérmicas

Para uma captura térmica f_M neutrons são capturados no urânio, dando $\eta_M f_M$ neutrons de fissão térmica, e $\eta_M f_M \epsilon$ neutrons de fissão térmica ou rápida aparecem no moderador. Tem-se então para (1):

$$\eta_M f_M \epsilon \Sigma_{acM} F_M$$

e para (2):

$$\eta_e f_e \epsilon \Sigma_{ace} F_e$$

c) Equações de balanço de neutrons

As equações para dois grupo, resultantes deste balanço são:

$$\left[D_{Mz} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{Mr} \nabla^2(r) \right] F_M - \Sigma_{acM} F_M + \Sigma_{sce} F_e = 0$$

$$\left[D_{ez} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{er} \nabla^2(r) \right] F_e - \left[\Sigma_{ace} (1 - \eta_e f_e \epsilon) + \frac{v_0}{v_t} \Sigma_{rB} + \Sigma_{sce} \right] F_e + \eta_M f_M \epsilon \Sigma_{acM} F_M = 0$$

Tomando

$$\Sigma_e = \Sigma_{ace} (1 - \eta_e f_e \epsilon) + \frac{v_0}{v_t} \Sigma_{rB} + \Sigma_{sce}$$

$$p = \frac{\Sigma_{sce}}{\Sigma_e}$$

$$k = \eta_M f_M \epsilon p$$

as equações acima podem ser escritas:

$$\left[D_{Mz} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{Mr} \nabla^2(r) \right] F_M - \sum_{acM} F_M - p \sum_e F_e = 0$$

$$\left[D_{ez} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + D_{er} \nabla^2(r) \right] F_e - \sum_{e'e} F_e + \frac{k}{p} \sum_{acM} F_M = 0$$

que são as equações fundamentais da teoria de dois grupos.

O esquema de cálculo foi feito para: metal não irradiado, xenon saturado, sem samário, urânio natural.

IV. Formulário e respectivo programa em Fortran

Considerando que o computador IBM-1620 da Universidade de São Paulo, para o qual o programa foi desenvolvido, tem atualmente 20 000 posições de memória, o cálculo de reticulado de urânio natural e grafita foi dividido em 5 partes.

Neste trabalho, é apresentado cada parte do programa, com suas respectivas fórmulas, dados de entrada e de saída em cartões perfurados, ou imprimidos pela máquina de escrever.

Para o cálculo da primeira parte do programa, são fornecidos dados característicos do reticulado, perfurados em cartões IBM.

Todos os outros dados de entrada para as demais partes do programa, são perfurados pelo próprio computador, e são provenientes das partes anteriores, numa ordem bem determinada.

Os dados são perfurados na forma E14.8, a partir da

primeira coluna do cartão e sem coluna de separação entre dois dados; a primeira coluna é reservada ao sinal e uma ausência de perfuração indicará um dado positivo.

a. Primeira Parte: Cálculo das seções de choque microscópicas e macroscópicas de Westcott e cálculos geométricos

a.1 - Fórmulas: (Vide Tabela I)

$$\hat{\Sigma}_{au} = N_8 \hat{G}_{a8} + N_5 \hat{G}_{c5} + N_{xe} \hat{G}_{ax} + N_5 \hat{G}_{f5} + \hat{\Sigma}_{as}$$

$$\hat{\Sigma}_{uf} = N_5 \hat{G}_{f5}$$

$$\Sigma_{us} = (N_8 + N_5 + N_{xe}) 8.3 \times 10^{-3}$$

Embora \hat{G}_x seja bastante maior que \hat{G}_5 e \hat{G}_8 , a fórmula acima pode ser usada com boa aproximação

$$N_{xe} = \frac{\hat{\Sigma}_{ufM}}{\hat{G}_{xM}} \gamma \frac{R}{1+R} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{xenon saturado, em regime} \\ \gamma = 0.064 \text{ ("Yield" de } X_e \\ \text{por fissão)} \end{array} \right.$$

$$R = 10^{-10} \bar{\alpha} \frac{P_{max.}}{3.2 \lambda_{xe}} \cdot \frac{\hat{G}_{xM}}{\hat{\Sigma}_{ufM}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{xe} = 2.1 \times 10^{-5} \text{ seg}^{-1} \\ \text{(constante de desin} \\ \text{tegração do Xe)} \end{array} \right.$$

$$\Sigma_{mtM} = \frac{1}{2.54} \cdot \frac{\rho_1}{1.6}$$

FÓRMULAS

Secções eficazes térmicas

$$\hat{\sigma}_{im} = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5$$

(em kb.)

$$\theta_m = \sqrt{\frac{293}{T} - \frac{\pi}{4}}$$

Valores dos coeficientes

$\hat{\sigma}$	A	B	C	D	E	F
$\hat{\sigma}_a(U-238)$	2,7187. -3	5,7894. -8	2,3131. -12	0	0	0
$\hat{\sigma}_a(U-235)$	7,6243. -1	-4,2100. -4	5,0614. -7	-2,6329. -10	4,2896. -14	0
$\hat{\sigma}_a(xe)$	1,5652. +3	6,8104. 0	-9,4218. -3	3,6062. -6	0	0
$\hat{\sigma}_f(U-235)$	6,3820. -1	-3,3272. -4	3,7689. -7	-1,8953. -10	2,9888. -14	0

Secções eficazes macroscópicas térmicas
Urânio novo ($\gamma=0$)

$$\Sigma_{aUM} = \sum_{i=1}^M N_i \hat{\sigma}_{im} + \Sigma_{aSM} ; \Sigma_{ufM} = N_2 \hat{\sigma}_{6M}$$

Obs:
Os números de átomos entram em 10^{21}

Secções eficazes epitérmicas

$$\hat{\sigma}_{ie} = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5$$

$$\theta_e = 0,894 \sqrt{\frac{293}{T}} \cdot \frac{1 - 0,5157 \sqrt{\frac{293}{T}}}{\ln(3,76 \frac{293}{T})}$$

Valores dos coeficientes

$\hat{\sigma}$	A	B	C	D	E	F
$\hat{\sigma}_a(U-238)$	2,7187. -3	5,7894. -8	2,3131. -12	0	0	0
$\hat{\sigma}_a(U-235)$	5,4954. -1	7,7332. -4	-9,2743. -7	2,3074. -10	1,4785. -13	0
$\hat{\sigma}_a(xe)$	1,5652. +3	6,8104. 0	-9,4218. -3	3,6062. -6	0	0
$\hat{\sigma}_f(U-235)$	4,5623. -1	4,1418. -4	-4,2788. -7	-6,4845. -11	1,9024. -13	0

TABELA I

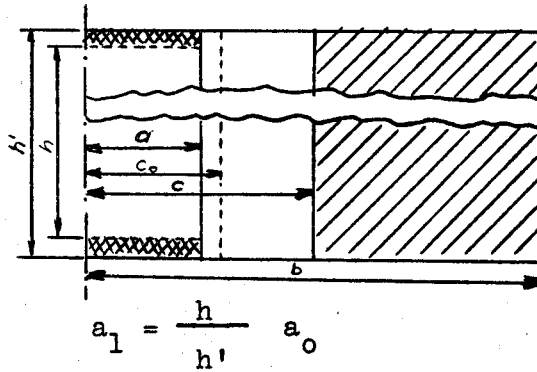
$$S_u = \pi(a^2 - d^2)$$

$$S_m = \pi(b^2 - c^2)$$

$$S_f = \pi(c^2 - c_o^2)$$

$$S_g = \pi(c_o^2 - a^2)$$

$$a_o = a^2 - d^2$$



$$S'_b = \pi a'^2$$

$$S_{\text{eff}} = 2\pi ah + 2\pi a^2 \cos \theta'$$

onde $\cos \theta' = \frac{h' - h}{(h' - h)^2 + (a')^2}$ e $a' = \sqrt{\frac{S'_b}{\pi}}$

$$\frac{V_m}{V_u} = \frac{S_m \cdot h'}{S_u \cdot h}$$

a.2 - Dados de entrada: São 26 dados, dispostos em 6 cartões, da seguinte maneira:

<u>Cartões</u>	<u>Dados</u>				
1	h	h'	T	T _u	
2	a	b	c	d	c _o
3	$\hat{\Sigma}_{ame}$	$\hat{\Sigma}_{age}$	$\hat{\Sigma}_{abe}$	$\hat{\Sigma}_{ase}$	λ_{mte}
4	$\hat{\Sigma}_{amm}$	$\hat{\Sigma}_{agm}$	$\hat{\Sigma}_{abm}$	$\hat{\Sigma}_{asm}$	λ_{mtm}
5	ρ_u	ρ_1	N ₈	N ₅	
6	P _{max}	$\bar{\alpha}$	V _b		

a.3. - PROGRAMA FORTRAN

```

C      CALCULO DE RETICULADO DE URANIO NATURAL E GRAFITA
C      PRIMEIRA PARTE      CALCULO DAS SECCOES DE CHOQUE MICROSCOPICAS E
C      MACROSCOPICAS DE WESTCOTT , E CALCULOS GEOMETRICOS
      DIMENSION SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),RO(3),AXW(2),ABW(2),C5W(2),EN(2)
      DIMENSION F5W(2),SASW(2),S(2),A5W(2),A5W1(2),F5W1(2)
      DIMENSION SMT(2),SUFW(2),SAUW(2)
1     READ 2,H,H1,T,TU
      READ 2,A,B,C,D,CO
      READ 2,SAMW(1),SAGW(1),SABW(1),SASW(1),S(1)
      READ 2,SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),SASW(2),S(2)
      READ 2,RO(1),RO(3),EN(1),EN(2)
      READ 2,PMAX,ALFA,VB
2     FORMAT (SE14.8)
      ABW(1)=(2.3131E-12*T+5.7894E-8)*T+2.7187E-3
      A5W1(1)=(((1.4785E-13*T+2.3074E-10)*T-9.2743E-7)*T+7.7332E-4)*T
      A5W(1)=A5W1(1)+5.4954E-1
      F5W1(1)=(((1.9024E-13*T-6.4845E-11)*T-4.2788E-7)*T+4.1418E-4)*T
      F5W(1)=F5W1(1)+4.5623E-1
      C5W(1)=A5W(1)-F5W(1)
      AXW(1)=((3.6062E-6*T-9.4218E-3)*T+6.8104)*T+1.5652E+3
      ABW(2)=(2.3131E-12*T+5.7894E-8)*T+2.7187E-3
      A5W1(2)=(((4.2896E-14*T-2.6329E-10)*T+5.0614E-7)*T-4.21E-4)*T
      A5W(2)=A5W1(2)+7.62435-1
      F5W1(2)=(((2.9888E-14*T-1.8953E-10)*T+3.7689E-7)*T-3.3272E-4)*T
      F5W(2)=F5W1(2)+6.382E-1
      C5W(2)=A5W(2)-F5W(2)
      AXW(2)=((3.6062E-6*T-9.4218E-3)*T+6.8104)*T+1.5652E+3
      DO 30 J=1,2
      PRINT 17,J,AXW(J),J,ABW(J)
17    FORMAT (1X,3HAXW12,1H=,E14.8,11X,3HABW,12,1H=,E14.8)
      PRINT 19,J,C5W(J),J,F5W(J)
19    FORMAT (1X,3HC5W,12,1H=,E14.8,11X,3HF5W,12,1H=,E14.8)
      PRINT 20,J,SASW(J),J,S(J)
20    FORMAT (4HSASW,12,1H=,E14.8,13X,1HS,12,1H=,E14.8)
      PRINT 600
30    SUFW(J)=EN(2)*F5W(J)
      R=(10.E-11*ALFA*PMAX*AXW(2)/((3.2)*(2.1E-5)*SUFW(2)))
      ENX= SUFW(2)*(0.064)*R/(AXW(2)*(1.0+R))
      DO 40 J=1,2
      SAUW(J)=EN(1)*ABW(J)+EN(2)*(C5W(J)+F5W(J))+ENX*AXW(J)+SASW(J)
      SMT(J)=RO(3)/(S(J)*1.6)
      PRINT 29,J,SUFW(J),J,SAUW(J)
29    FORMAT (4HSUFW,12,1H=,E14.8,10X,4HSAUW,12,1H=,E14.8)
      PRINT 60,J,SMT(J)
60    FORMAT (1X,3HSMT,12,1H=,E14.8)
      PRINT 600
600   FORMAT(2X)
40    PRINT 41,J,EN(J)
41    FORMAT (2X,2HEN,12,1H=,E14.8)
      PRINT 31,RO(1),RO(3)
31    FORMAT (2X,2HRO,1X,2H1=,E14.8,12X,2HRO,1X,2H3=,E14.8)
      SUS=(EN(1)+EN(2)+ENX)*8.3E-03
      PRINT 22,SUS,ENX,R
22    FORMAT (3X,4HSUS=,E14.8,13X,4HENX=,E14.8,15X,2HR=,E14.8)
      PRINT 26,PMAX,ALFA
26    FORMAT (2X,5HPMAX=,E14.8,12X,5HALFA=,E14.8)
C      CALCULOS GEOMETRICOS
      SU =3.1416*(A*A-D*D)
      SM =3.1416*(B*B-C*C)
      SF =3.1416*(C*C-CO*CO)
      SG =3.1416*(CO*CO-A*A)
      AO =(A*A-D*D)/A
      A1 =H*AO/H1
      SB =3.1416*A*A
      ALINH=SQRT(SB/3.1416)
      SEF=6.2832*A*(H+(A*(H1-H)/SQRT((H1-H)**2+(ALINH*ALINH))))

```

```

VMVU =SM*H1/(SU*H)
PRINT 600
PRINT 34,A,B,C,CO
34 FORMAT (5X,2HA=,E14.8,15X,2HB=,E14.8/5X,2HC=,E14.8,14X,3HC0=,E14.8)
PRINT 35,D,H,H1
35 FORMAT (5X,2HD=,E14.8,15X,2HH=,E14.8,14X,3HH1=,E14.8)
PRINT 36,SEF,VMVU
36 FORMAT (3X,4HSEF=,E14.8,11X,6HVM/VU=,E14.8)
PRINT 400,SU,SM
400 FORMAT (4X,3HSU=,E14.8,14X,3HSM=,E14.8)
PRINT 401,SF,SG,SB
401 FORMAT (4X,3HSF=,E14.8,14X,3HSG=,E14.8,14X,3HSB=,E14.8)
N=201
PUNCH 503,H,H1,T,TU,N
N=301
PUNCH 503,H,H1,T,TU,N
N=501
PUNCH 503,H,H1,T,TU,N
N=202
PUNCH 502,A,B,C,N
N=302
PUNCH 502,A,B,C,N
N=402
PUNCH 502,A,B,C,N
N=502
PUNCH 502,A,B,C,N
N=203
PUNCH 502,CO,D,VB,N
N=303
PUNCH 502,CO,D,VB,N
N=204
PUNCH 502,SAMW(1),SAGW(1),SABW(1),N
N=304
PUNCH 502,SAMW(1),SAGW(1),SABW(1),N
N=205
PUNCH 502,SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),N
N=305
PUNCH 502,SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),N
N=506
PUNCH 502,EN(1),EN(2),ENX,N
N=507
PUNCH 503,AXW(1),ABW(1),C5W(1),F5W(1),N
N=508
PUNCH 503,AXW(2),ABW(2),C5W(2),F5W(2),N
N=509
PUNCH 501,SASW(1),SASW(2),N
N=210
PUNCH 503,SUFW(1),SAUW(1),SUFW(2),SAUW(2),N
N=310
PUNCH 503,SUFW(1),SAUW(1),SUFW(2),SAUW(2),N
N=211
PUNCH 503,SEF,SUS,ENX,RO(3),N
N=212
PUNCH 503,SF,SG,SM,SU,N
N=312
PUNCH 503,SF,SG,SM,SU,N
N=412
PUNCH 503,SF,SG,SM,SU,N
N=512
PUNCH 503,SF,SG,SM,SU,N
N=213
PUNCH 501,AO,SB,N
N=313
PUNCH 501,AO,SB,N
N=413
PUNCH 501,AO,SB,N

```

```
N=314
PUNCH 501,EN(1),RO(1),N
N=215
PUNCH 501,SMT(1),SMT(2),N
N=315
PUNCH 501,SMT(1),SMT(2),N
N=415
PUNCH 501,SMT(1),SMT(2),N
501 FORMAT (2E14,8,31X,14)
502 FORMAT (3E14,8,17X,14)
503 FORMAT (4E14,8,3X,14)
PAUSE
GO TO 1
END
```

a.4 - Dados de saída: Todos os resultados dos cálculos, assim como dados iniciais do problema, têm saída tanto pela máquina de escrever, para que se possa facilmente tomar conhecimento de seus valores, como perfurados em cartões, para que êsses mesmos cartões possam servir de entrada nas demais partes do programa.

b. Segunda Parte: Cálculo das funções auxiliares para o cálculo do fator de utilização térmico e epitérmico

b.1 - Fórmulas:

$$\hat{\Sigma}_c = \frac{s_u}{s'_b} \hat{\Sigma}_{au}$$

$$\hat{\Sigma}_s = \frac{s_u}{s'_b} \hat{\Sigma}_{us} \quad \text{com} \quad \hat{\Sigma}_{us} = \frac{\Sigma_{us}}{\theta}$$

$$\theta_M = \sqrt{\frac{293}{T} \cdot \frac{\pi}{4}} \quad \text{e} \quad \theta_e = 0.894 \sqrt{\frac{293}{T}} \cdot \frac{1 - 0.5757 \sqrt{\frac{T}{293}}}{L_n \left(3.76 \cdot \frac{293}{T} \right)}$$

$$\hat{\Sigma} = \hat{\Sigma}_c + \hat{\Sigma}_s$$

$$\hat{\Sigma}_0 = \hat{\Sigma}_{au} + \hat{\Sigma}_{us} = \frac{s'_b}{s_u} \hat{\Sigma}$$

$$G = 1 + A(x) \frac{\hat{\Sigma}_c}{\hat{\Sigma}} \left[1 + \alpha(x) \frac{\hat{\Sigma}_s}{\hat{\Sigma}} + \beta(x) \left(\frac{\hat{\Sigma}_s}{\hat{\Sigma}} \right)^2 \right]$$

$$\text{com } x = a_0 \theta \hat{\Sigma}_0$$

$$N = a_0 \theta \sum_{au} \left[1 - \frac{S_{\text{eff}}}{2\pi ch'} \right]$$

$$X = 3 \theta \sum_{am} \sum_{mt} b^2 \phi(b/c) + \frac{b^2 - c^2}{c} \theta \sum_{am} \left(\frac{3}{2} \lambda - 1 \right)$$

com $\lambda = \lambda(c \sum_{mt})$

As funções $A(x)$, $\alpha(x)$, $\beta(x)$, $\lambda(c \sum_{mt})$ e $\phi\left(\frac{b}{c}\right)$ são encontradas em "Genie Atomique, cap. B XV"; em particular, $\phi(b/c)$ é aí indicado como $C(x)$.

Essas funções podem também ser calculadas com polinômios de aproximação.

Para $x = a_0 \theta \sum_0$:

$$A(x) = -0.04 + 0.345x + 0.15x^2$$

$$\alpha(x) = 0.075x - 0.01x^2$$

$$\beta(x) = 0.02$$

Para $x = b/c$:

$$\phi(x) = \frac{1}{2} \left[\frac{x^2}{x^2 - 1} \log x - \frac{3}{4} + \frac{1}{4x^2} \right]$$

Para $x = c \sum_{mt}$:

$$\lambda(x) = \frac{0.71x + 0.545}{x + 0.41}$$

$$\sum_{sme} = 0.0492 \frac{\rho_1}{1.6}$$

$$\sum_{sce} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot \frac{s_m \sum_{sme}}{\pi b^2}$$

b.2 - Dados de entrada: São 32 dados dispostos em 10 cartões, que saem perfurados da primeira parte do programa, já na ordem em que entram nesta parte, e são os seguintes:

CartõesDados

1	h	h'	T	T _u
2	a	b	c	
3	c _o	d	V _b	
4	$\hat{\Sigma}_{ame}$	$\hat{\Sigma}_{age}$	$\hat{\Sigma}_{abe}$	
5	$\hat{\Sigma}_{amM}$	$\hat{\Sigma}_{agM}$	$\hat{\Sigma}_{abM}$	
6	$\hat{\Sigma}_{ufe}$	$\hat{\Sigma}_{aue}$	$\hat{\Sigma}_{ufM}$	$\hat{\Sigma}_{aum}$
7	S _{eff}	Σ_{us}	N _{xe}	ρ_u
8	S _f	S _g	S _m	S _u
9	a _o	S _b		
10	Σ_{mte}	Σ_{mtM}		

b.3. - PROGRAMA FORTRAN

```

C      CALCULO DE RETICULADO DE URANIO NATURAL E GRAFITE
C      SEGUNDA PARTE  CALCULO DAS FUNCOES AUXILIARES PARA O CALCULO DE
DIMENSION SUSW(2),SSW(2),SCW(2),SW(2),SOW(2),TTA(2),W(2),PTTA(2)
DIMENSION XP(2),AF(2),ALF(2),BTF(2),G(2),ENE(2),X(2),G1(2),RO(3)
DIMENSION SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),SUFW(2),SAUW(2),SMT(2),EN(3)
80 READ 9,H,H1,T,TU
   READ 9,A,B,C
   READ 9,CO,D,VB
   READ 9,SAMW(1),SAGW(1),SABW(1)
   READ 9,SAMW(2),SAGW(2),SABW(2)
   READ 9,SUFW(1),SAUW(1),SUFW(2),SAUW(2)
   READ 9,SEF,SUS,ENX,RO(3)
   READ 9,SF,SG,SM,SU
   READ 9,AO,SB
   READ 9,SMT(1),SMT(2)
9  FORMAT(4E14.8)
   Y =SQRT(293./T)
   DO 41J=1,2
   W(J)=J
   PTTA (J)=(2.-W(J))*0.894*Y*(1.-0.5157/Y)/LOG(3.76*293./T)
   TTA (J)=PTTA(J)+(W(J)-1.)*0.88623*Y
   SUSW (J)=SUS/TTA(J)
   SSW (J)=SU*SUSW(J)/SB
   SCW(J)=SU*SAUW(J)/SB
   SW (J)=SCW(J)+SSW(J)
   SOW (J)=SAUW(J)+SUSW(J)
   PRINT 39,J,TTA(J),J,SUSW(J)
39 FORMAT (1X,3HTTA,I2,1H=.E14.8,10X,4HSUSW,I2,1H=.E14.8)
   PRINT 40,J,SSW(J),J,SCW(J)
40 FORMAT (1X,3HSSW,I2,1H=.E14.8,11X,3HSCW,I2,1H=.E14.8)
41 PRINT 42,J,SW(J),J,SOW(J)
42 FORMAT (2X,2HSW,I2,1H=.E14.8,11X,3HSOW,I2,1H=.E14.8)
   DO 51 J=1,2
   XP (J)=AO*TTA(J)*SOW(J)
   AF(J)=-0.04+0.345*XP(J)+0.15*XP(J)*XP(J)
   ALF (J)=0.075*XP(J)-0.01*XP(J)*XP(J)
   BTF(J)=0.02
   PRINT,50,J,XP(J),J,AF(J)
50 FORMAT (2X,2HXP,I2,1H=.E14.8,12X,2HAF,I2,1H=.E14.8)
51 PRINT52,J,ALF(J),J,BTF(J)
52 FORMAT (1X,3HALF,I2,1H=.E14.8,11X,3HBTF,I2,1H=.E14.8)
   YP =B/C
   FI =(YP*YP*LOG(YP)/(YP*YP-1.)-0.75+0.25/(YP*YP))*0.5
   ZP =C*SMT(2)
   BDA =(0.71*ZP+0.545)/(ZP+0.41)
   PRINT 53,YP,FI
53 FORMAT (4X,3HYP=.E14.8,14X,3HFI=.E14.8)
   PRINT 54,ZP,BDA
54 FORMAT (4X,3HZP=.E14.8,13X,4HBDA=.E14.8)
   DO 60 J=1,2
   G1(J)=1.+ALF(J)*SSW(J)/SW(J)+BTF(J)*SSW(J)*SSW(J)/(SW(J)*SW(J))
   G (J)=1.+AF(J)*SCW(J)*G1(J)/SW(J)
   ENE (J)=AO*TTA(J)*SAUW(J)*(1.-SEF/(6.2832*C*H1))
   YP=SM*(1.5*BDA-1.)/(3.1416*C)
   X (J)=TTA(J)*SAMW(J)*(3.*SMT(2)*B*B*FI+YP)
   PRINT 57,J,G(J),J,ENE(J)
57 FORMAT (3X,1HG,I2,1H=.E14.8,11X,3HENE,I2,1H=.E14.8)
   PRINT 59,J,X(J),J,SAMW(J)
59 FORMAT (3X,1HX,I2,1H=.E14.8,10X,4HSAMW,I2,1H=.E14.8)
60 PRINT 61,J,SAGW(J),J,SABW(J)
61 FORMAT (4HSAGW,I2,1H=.E14.8,10X,4HSABW,I2,1H=.E14.8)
   SSM 1=0.0492*RO(3)/1.6
   SSC 1=(1./Y)*SM*SSM1/(3.1416*B*B)
   PRINT 75,SSC1
75 FORMAT (2X,5HSSC1=.E14.8)
   N=316

```

22

```
PUNCH502,X(1),G(1),ENE(1),N
N=317
PUNCH502,X(2),G(2),ENE(2),N
N=318
PUNCH504,SSC1,N
N=518
PUNCH504,SSC1,N
N=419
PUNCH 503,Y,SUSW(2),SOW(2),TTA(2),N
502 FORMAT(3E14.8,17X,I4)
504 FORMAT(E14.8,45X,I4)
503 FORMAT(4E14.8,3X,I4)
PAUSE
GO TO 80
END
```


b. - Dados de saída: da mesma maneira que na primeira parte os resultados de cálculo saem imprimidos e perfurados em cartões que são entradas das demais partes do programa.

c. Terceira Parte: Cálculo de f, dos fluxos, da secção de captura da célula, de η , de ϵ , de $\epsilon^* - \epsilon$, de Q, de p e de k_∞

c.1 - Fórmulas

$$\frac{1}{f} - 1 = R_m + R_g + R_b$$

com

$$R_m = \frac{h'}{h} \left[X + \frac{S_m}{S_u} \cdot \frac{\sum \hat{a}_m}{\sum \hat{a}_u} N + \frac{S_m}{S_u} \cdot \frac{\sum \hat{a}_m}{\sum \hat{a}_u} G \right]$$

$$R_g = \frac{S_g}{S_u} \cdot \frac{\sum \hat{a}_g}{\sum \hat{a}_u} [G + 0,5 N]$$

$$R_b = \frac{V_b}{hS_u} \cdot \frac{\sum \hat{a}_b}{\sum \hat{a}_u} G$$

$$\hat{\sum}_{ac} = \frac{1}{f \sum \frac{R_i}{\hat{\sum}_{ai}}}$$

$i = m, g, b, u, f$

$R_u = 1$ por definição de R

$$R_f = \frac{h'}{h} \cdot \frac{S_f}{S_u} \cdot \frac{\hat{\Sigma}_{af}}{\hat{\Sigma}_{au}} [G + 0,5N],$$

logo

$$\frac{R_f}{\hat{\Sigma}_{af}} = \frac{h'}{h} \cdot \frac{S_f}{S_u} \cdot \frac{1}{\hat{\Sigma}_{au}} [G + 0,5 N]$$

$$\phi_m = \frac{\bar{F}_m}{\bar{F}_c} = \frac{\hat{\Sigma}_{ac}}{\hat{\Sigma}_{am}} \cdot \frac{\pi b^2}{S_m} f R_m$$

$$\phi_u = \frac{\bar{F}_u}{\bar{F}_c} = \frac{\hat{\Sigma}_{ac}}{\hat{\Sigma}_{au}} \cdot \frac{\pi b^2}{S_u} f \frac{h'}{h}$$

$$\phi_f = \frac{\bar{F}_f}{\bar{F}_c} = \frac{\hat{\Sigma}_{ac}}{\hat{\Sigma}_{au}} \cdot \frac{\pi b^2}{S_f} f \frac{h'}{h} [G + 0,5 N]$$

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{\hat{\Sigma}_{uf}}{\hat{\Sigma}_{au}}} \quad \sqrt[5]{\quad} = 2.47$$

$$\Sigma'_1 = \frac{S_u}{S'_b} \delta \Sigma'_u \quad a_2 = \frac{h'}{h} a$$

$$P = P(a_2 \Sigma'_1)$$

$$\Sigma'_u = 0.349$$

$$\Sigma'_1 = \frac{S_u}{S'_b} \delta \Sigma'_{1u}$$

$$\delta = 0.0526316 \rho_u$$

$$P_1 = P(a_2 \Sigma'_1)$$

$$\Sigma'_{1u} = 0.380$$

P e P_1 são respectivamente as probabilidades de colisão na barra de raio a_2 , de um neutron de fissão com energia superior ao limiar de fissão rápida no U-238, e de um neutron de fissão com energia inferior ao limiar da fissão rápida no U-238 ou de neutrons que sofreram uma colisão inelástica.

ρ' = fator de correção da densidade de urânio

$$Y = \frac{0.0176 P_1}{1 - 0.9824 P_1} \quad \text{probabilidade de captura de um neutron com energia inferior ao limiar da fissão rápida.}$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{0.0579 P - Y(0.439 - 0.116 P)}{1 - 0.736 P}$$

$$\varepsilon^* - \varepsilon = Y \frac{0.439 - 0.0116 P}{1 - 0.736 P}$$

$$Q = 1 - (1 - Y) \frac{0.064 P}{1 - 0.633 P}$$

$P(x)$ pode ser encontrado na Tabela II do "Genie Atomique", cap. B XV" ou calculado por:

$$P(x) = \frac{x}{x + 0.67} + 0.032x - 0.040 \quad \text{para } x = x_1 = a_2 \Sigma_1'$$

$$x = x_2 = a_2 \Sigma_1'$$

$$\Sigma_{r8} = N_8 \sigma_{r8} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

$$\Sigma_{r8} = \left[0.00552 + \frac{0.1112}{a_0 \rho_u} \right] \left[1 + 2 \times 10^{-4} \Delta T_u \right]$$

$\hat{\Sigma}_{r8}$ é a secção de choque microscópica efetiva de absorção ressonante no U-238 considerando a absorção volumétrica e a absorção superficial

$$\frac{1}{p} = 1 + \frac{h s_u \Sigma_{r8}}{\pi b^2 h' \Sigma_{sce}} + \frac{\hat{\Sigma}_{ace} (1 - \eta_e f_e \epsilon)}{\Sigma_{sce}}$$

Nesta fórmula, o segundo e o terceiro termos são respectivamente, o termo de absorção ressonante no U-238, o termo de absorção não ressonante no U-238 e ressonante e não ressonante no U-235.

$$k_{\infty} = \epsilon \eta_M p f_M$$

c.2 - Dados de entrada: são 37 dados provenientes das duas primeiras partes do programa e dispostos em 13 cartões perfurados, a saber:

CartõesDados

1	h	h'	T	T_u
2	a	b	c	
3	c_o	d	v_b	
4	$\hat{\Sigma}_{ame}$	$\hat{\Sigma}_{age}$	$\hat{\Sigma}_{abe}$	
5	$\hat{\Sigma}_{amm}$	$\hat{\Sigma}'_{agm}$	$\hat{\Sigma}_{abm}$	
6	$\hat{\Sigma}_{ufe}$	$\hat{\Sigma}_{aue}$	$\hat{\Sigma}_{ufm}$	$\hat{\Sigma}_{aum}$
7	s_f	s_g	s_m	s_u
8	a_o	s_b		
9	N_g	P_u		
10	$\hat{\Sigma}_{mte}$	$\hat{\Sigma}_{mtm}$		
11	x_e	G_e	N_e	
12	x_M	G_M	N_M	
13	Σ_{sce}			

c.3. - PROGRAMA FORTRAN

```

C   CALCULO DE RETICULADO DE URANIO NATURAL E GRAFITA
C   TERCEIRA PARTE  CALCULO DE F, DOS FLUXOS, DA SECCAO DE CAPTURA DA
C   CELULA, DE ETA, DE EPSILON, EPSILON ESTRELA-EPSILON, DE Q, DE P,
C   E DE K(INFINITO)
DIMENSION X(2),G(2),ENE(2),FIM(2),FIU(2),FIF(2)
DIMENSION RM(2),RG(2),RB(2),F(2),SACW(2),RO(3),W(2),EN(3),P(2)
DIMENSION QRM(2),QRG(2),QRB(2),QRF(2),QRU(2),ETA(2),XE(2)
DIMENSION SAMW(2),SAGW(2),SABW(2),SBF(2),SUFW(2),SAUW(2),SMT(2)
100 READ 1,H,H1,T,TU
    READ 1,A,B,C
    READ 1,CO,D,VB
    READ 1,SAMW(1),SAGW(1),SABW(1)
    READ 1,SAMW(2),SAGW(2),SABW(2)
    READ 1,SUFW(1),SAUW(1),SUFW(2),SAUW(2)
    READ 1,SF,SG,SM,SU
    READ 1,A0,SB
    READ 1,EN(1),RO(1)
    READ 1,SMT(1),SMT(2)
    READ 1,X(1),G(1),ENE(1)
    READ 1,X(2),G(2),ENE(2)
    READ 1,SSC1
    1 FORMAT (4E14.8)
    PRINT 63,VB
63  FORMAT (4X,3HVB=,E14.8)
    DO173 J=1,2
    RM (J)=H1*(X(J)+SM*SAMW(J))*(ENE(J)+G(J))/(SU*SAUW(J))/H
    QRM (J)=RM(J)/SAMW(J)
    RG (J)=SG*SAGW(J)*(G(J)+0.5*ENE(J))/(SU*SAUW(J))
    QRG(J)=RG(J)/SAGW(J)
    RB(J)=VB*SABW(J)*G(J)/(H*SU*SAUW(J))
    QRB (J)=RB(J)/SABW(J)
    QRF(J)=H1*Sf*(G(J)+0.5*ENE(J))/(H*SU*SAUW(J))
    QRU (J)=1./SAUW(J)
    F (J)=1./(1.+RM(J)+RG(J)+RB(J))
    SACW (J)=1./(F(J)*(QRM(J)+QRG(J)+QRB(J)+QRF(J)+QRU(J))
    SBF (J)=SACW(J)*3.1416*B*B*F(J)
    FIM (J)=SBF(J)*RM(J)/(SAMW(J)*SM)
    FIU (J)=SBF(J)*H1/(SAUW(J)*SU*H)
    FIF (J)=SBF(J)*H1*(G(J)+0.5*ENE(J))/(SAUW(J)*SU*H)
    PRINT 70,J, RM(J),J, RG(J)
70  FORMAT (2X,2HRM,12,1H=,E14.8,12X,2HRG,12,1H=,E14.8)
    PRINT 71,J, RB(J),J, F(J)
71  FORMAT (2X,2HRB,12,1H=,E14.8,13X,1HF,12,1H=,E14.8)
    PRINT 72,J,SACW(J)
72  FORMAT (4HSACW,12,1H=,E14.8)
173 PRINT 74,J,FIU(J),J,FIF(J)
74  FORMAT (1X,3HFIU,12,1H=,E14.8,11X,3HFIF,12,1H=,E14.8)
    PRINT 75,FIM(1),FIM(2)
75  FORMAT (1X,3HFIM,1X,2H1=,E14.8,11X,3HFIM,1X,2H2=,E14.8)
C   CALCULO DE ETA TERMICO E ETA EPITERMICO
AFN=1.00758-6.0E-8*(T-625.)*2-7.E-14*(T-625.)*4
DO85 J=1,2
ETA(J)=2.47*SUFW(J)*AFN/SAUW(J)
85  PRINT80,J,ETA(J)
80  FORMAT (1X,3HETA,12,1H=,E14.8)
    Y=(293./T)**0.5
    SEF=SU*0.05263*RO(1)*H*A/(SB*H1)
    DO 20 J=1,2
    W (J)=J
    XE(J)=((2.-W(J))*0.349+(W(J)-1.)*0.380)*SEF
20  P(J)=XE(J)/(XE(J)+0.67)+0.032*XE(J)-0.04
    YE =0.0176*P(2)/(1.-0.9824*P(2))
    EPS=1.+((0.0579*P(1))-YE*(0.439-0.116*P(1)))/(1.-0.736*P(1))
    EPSL=YE*(0.439-0.116*P(1))/(1.-0.736*P(1))
    Q =1.-((1.-YE)*0.064*P(1)/(1.-0.633*P(1)))
    PRINT 86,EPS,EPSSL,Q

```

```

86 FORMAT(2X,4HEPS=.E14.8,13X,5HEPSL=.E14.8,13X,2H0=.E14.8)
C   CALCULO DA PROBABILIDADE DE ESCAPE A RESSONANCIA (P)
   SPRB = (0.00552+0.1112/(AO*RO(1)))*(1.+2.E-4*(TU-20.))
   SRB = EN(1)*5PRB*(1./Y)
   EPR=1.+(H*SU*SRB)/(3.1416*B*B*H1*SSC1)
   PR=1./(EPR+SACW(1))*(1.-ETA(1))* (1)*EPS/SSC1)
   PRINT 90,SRB,PR
90 FORMAT(2X,4HSRB=.E14.8,15X,3HPR=.E14.8)
C   CALCULO DE K (INFINITO)
   CAINF=EPS*ETA(2)*PR*F(2)
   PRINT 91,CAINF
91 FORMAT (6HCAINF=.E14.8)
   N=520
   PUNCH 503,SACW(1),SACW(2),F(1),F(2) N
   N=521
   PUNCH 502,ETA(1),ETA(2),AFN,N
   N=422
   PUNCH 503,FIM(2),FIF(2),FIU(2),FIU(1),N
   N=522
   PUNCH 503,FIM(2),FIF(2),FIU(2),FIU(1),N
   =423
   PUNCH 502 EPS,EPSL,Q,N
   N=523
   PUNCH 502,EPS,EPSL,Q,N
   N=524
   PUNCH 502,SRB,PR,CAINF,N
502 FORMAT (3E14.8,17X,14)
503 FORMAT (4E14.8,3X,14)
   PAUSE
   GO TO 100
   END

```

c.4 - Dados de saída: Os resultados de cálculos, como nas duas primeiras partes do programa têm saída pela máquina de escrever e pela perfuradora, sendo que os resultados perfurados saem na ordem que devem entrar nas partes do programa que ainda não foram calculados.

d. Quarte Parte: Cálculo dos coeficientes de difusão

d.1 - Fórmulas

$$V_f = \pi c^2 - S'_b$$

$$V_t = \pi b^2$$

$$V_u = S'_b$$

$$D_{ik} = \frac{\lambda_{m,i}}{3} \left[1 + \frac{V_f}{V_t} E_{ik} + \frac{V_u}{V_t} H_{ik} \right] \bar{\omega}_i$$

$$\bar{\omega}_1 = 17.85 Q \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

com

$$\bar{\omega}_2 = \frac{1}{\theta_M}$$

- i = 1 → grupo rápido
- i = 2 → grupo térmico
- k = r → coeficiente radial
- k = z → " axial
- k = 0 → " médio

$$D_{io} = \frac{D_{iz} + 2 D_{ir}}{3}$$

$$E_{ik} = 1 + \frac{c - a'}{\lambda_{m_1}} (Q_k + Q'_k - q_k) + \frac{2 a'}{\lambda_{m_1}} \left(1 - \frac{\lambda_{m_1}}{\lambda_{u_1}}\right) W_k$$

$$H_{ik} = \left(1 - \frac{\lambda_{m_1}}{\lambda_{u_1}}\right) + \frac{a'}{\lambda_{m_1}} \left(1 - \frac{\lambda_{m_1}}{\lambda_{u_1}}\right)^2 T_k$$

$$E_{2k} = \phi_{mm} + \phi_{fm} \frac{c - a'}{\lambda_{m_2}} (Q_k + Q'_k - q_k) + \frac{a'}{\lambda_{m_2}} \left[\left(1 - \frac{\lambda_{m_2}}{\lambda_{u_2}}\right) \phi_{fm} + \phi_{um} - \frac{\lambda_{m_2}}{\lambda_{u_2}} \phi_{mm}\right] W_k$$

$$H_{2k} = \phi_{mm} \left(1 - \frac{\lambda_{m_2}}{\lambda_{u_2}}\right) + \frac{a'}{\lambda_{m_2}} \left(1 - \frac{\lambda_{m_2}}{\lambda_{u_2}}\right) \left(\phi_{um} - \frac{\lambda_{m_2}}{\lambda_{u_2}} \phi_{mm}\right) T_k$$

com

$$\lambda_{u_1} = \frac{a'}{a_0 \theta_m \hat{\Sigma}_{usm}}$$

$$\lambda_{u_2} = \frac{a'}{a_0 \theta_m \hat{\Sigma}_{om}}$$

As fórmulas usadas nesses cálculos encontram-se no "SPM-1967, Juin 1961", assim como as funções auxiliares:

$$F(\alpha) = 1 + 0.06\alpha - 0.1875 \text{ Log}(1-\alpha) \text{ onde } \alpha = \frac{a'}{c}$$

$$Q_r = F(\alpha)$$

$$Q_z = 2 F(\alpha)$$

$$q_z = 0$$

$$q_r = q_0$$

As funções Q'_r , Q'_z , W_r , W_z são da forma:

$$H(\alpha, \eta) = \exp [A_0 + A_1\eta + A_2\eta^2 + A_3\eta^3]$$

$$\text{onde } \begin{cases} \eta = \frac{a'}{\lambda_{u_1}} \text{ grupo rápido} \\ \eta = \frac{a'}{\lambda_{u_2}} \text{ grupo térmico} \end{cases}$$

A_0, A_1, A_2, A_3 são polinômios de ordem 3 ou menor que 3, em α .

Polinômios A_0

$$A_0 = b_0 + b_1\alpha + b_2\alpha^2 + b_3\alpha^3$$

H	b_0	b_1	b_2	b_3
Q'_r	-3.401	8.909	-11.862	6.3818
Q'_z	-2.7685	8.9225	-11.8928	6.4197
W_r	-2.9787	9.003	-12.936	6.9769
W_z	-2.2690	8.3305	-10.996	5.4169

Polinômios A_1

$$A_1 = b_0 + b_1\alpha + b_2\alpha^2$$

H	b_0	b_1	b_2
Q'_r	-1.886	-0.1006	0.6173
Q'_z	-3.83	-0.1332	1.099
W_r	-1.0486	0.05201	0
W_z	-2.243	0.1053	0

Polinômios A_2 e A_3

$$A_2 = b_0 + b_1\alpha$$

$$A_3 = c_0 + c_1\alpha$$

H	b_0	b_1	c_0	c_1
Q'_r	0.2716	0.04364	-0.0128	-0.02085
Q'_z	1.5746	-0.18657	-0.2865	0
W_r	0.2422	-0.01185	-0.02975	0
W_z	1.04212	0.05046	-0.2085	0.01

$$T_r = \exp [- 0.0086 - 0.674\eta + 0.089 \eta^2]$$

$$T_z = \exp [0.601 - 1.255\eta + 0.255 \eta^2]$$

$$q_o = A + B\alpha + C \alpha^2 - De^{-E\alpha}$$

com:

$$A = 0.0356 - 10^{-3} e^{5.54 - 1.668\gamma}$$

$$B = 0.1381 + 0.1212\gamma - 0.2582\gamma^2 + 0.10135\gamma^3 - 0.01172\gamma^4$$

$$C = -0.01056 - 0.4708\gamma + 0.4546\gamma^2 - 0.1495\gamma^3 + 0.01606\gamma^4$$

$$D = 0.00541 + 0.01877\gamma - 0.0044\gamma^2$$

$$E = 6.7544 + 4.8657\gamma - 0.6145 \gamma^2$$

onde $\gamma = \frac{c}{\lambda_{m1}}$ grupo rápido ; $\delta = \frac{c}{\lambda_{m2}}$ grupo térmico

d.2 - Dados de entrada: são 22 dados perfurados em 7 cartões, provenientes das partes anteriores do programa, da seguinte maneira:

<u>Cartões</u>	<u>Dados</u>			
	a	b	c	
1				
2	S_f	S_g	S_m	S_u
3	a_o	S_b		
4	Σ_{mte}	Σ_{mtM}		
5	Y	Σ_{usM}	$\hat{\Sigma}_{oM}$	θ_M
6	ϕ_{mM}	ϕ_{fM}	ϕ_{uM}	ϕ_{ue}
7	E	$E^* - E$	Q	

d.3. - PROGRAMA FORTRAN

```

C      CALCULO DE RETICULADO DE URANIO NATURAL E GRAFITA
C      CUARTA PARTE  CALCULO DOS COEFICIENTES DE DIFUSAO
DIMENSION TTA(2),SUSW(2),SOW(2),SMT(2),BU(2),QR(2),QZ(2),WR(2)
DIMENSION S(2),TZ(2),Z(2),AF(2),BF(2),CF(2),DF(2),TR(2)
DIMENSION QPO(2),WZ(2),OMGA(2)
DIMENSION DR(2),ER(2),HR(2),FIM(2),FIU(2),FIF(2)
DIMENSION DZ(2),EZ(2),HZ(2),QAR(2),RF(2),DO(2),QAZ(2)
100 READ 2,A,B,C
    READ 2,SF,SG,SM,SU
    READ 2,AO,SB
    READ 2,SMT(1),SMT(2)
    READ 2,Y,SUSW(2),SOW(2),TTA(2)
    READ 2,FIM(2),FIF(2),FIU(2),FIU(1)
    READ 2,EPS,EPSL,Q
2  FORMAT (4E14.8)
    ALINH=(SB/3.1416)**0.5
    X=ALINH/C
    FR=1.+0.06*X-0.1875*LOG(1.-X)
    BU (1)=ALINH/(AO*TTA(2)*SUSW(2))
    BU (2)=ALINH/(AO*TTA(2)*SOW(2))
    AOQR=((6.3818*X-11.862)*X+8.909)*X-3.401
    AOQZ=((6.4197*X-11.8928)*X+8.9225)*X-2.7685
    AOWR=((6.9769*X-12.9360)*X+9.0030)*X-2.9787
    AOWZ=((5.4169*X-10.9960)*X+8.3305)*X-2.2690
    A1QR=(0.6173*X-0.1006)*X-1.886
    A1QZ=(1.099*X-0.1332)*X-3.83
    A1WR=0.05201*X-1.0486
    A1WZ=0.1053*X-2.243
    A2QR=0.04364*X+0.2716
    A2QZ=-0.18657*X+1.5746
    A2WR=-0.01185*X+0.2422
    A2WZ=-0.05046*X+1.04212
    A3QR=-0.02085*X-0.0128
    A3QZ=-0.2865
    A3WR=-0.02975
    A3WZ=0.01*X-0.2085
    DD 9 J=1,2
    Z (J)=ALINH/BU(J)
    QR(J)=EXP(((A3QR*Z(J)+A2QR)*Z(J)+A1QR)*Z(J)+AOQR)
    QZ (J)=EXP(((A3QZ*Z(J)+A2QZ)*Z(J)+A1QZ)*Z(J)+AOQZ)
    WR (J)=EXP(((A3WR*Z(J)+A2WR)*Z(J)+A1WR)*Z(J)+AOWR)
    WZ (J)=EXP(((A3WZ*Z(J)+A2WZ)*Z(J)+A1WZ)*Z(J)+AOWZ)
    TR (J)=EXP((0.089*Z(J)-0.674)*Z(J)-0.0086)
    TZ (J)=EXP((0.255*Z(J)-1.255)*Z(J)-0.601)
    S (J)=C*SMT(J)
    AF (J)=0.356-1.E-3*EXP(5.54-1.668*S(J))
    BF (J)=((-0.01172*S(J)+0.10135)*S(J)-0.2583)*S(J)+0.1212)*S(J)
    BF (J)=BF(J)+0.1381
    CF (J)=((0.01606*S(J)-0.1495)*S(J)+0.4546)*S(J)-0.4708)*S(J)
    CF (J)=CF(J)-0.01056
    DF(J)=(-0.0044*S(J)+0.01877)*S(J)+0.00541
    RF (J)=(-0.6145*S(J)+4.8657)*S(J)+6.7544
9  QPO (J)=(CF(J)*X+BF(J))*X+AF(J)-DF(J)*EXP(-RF(J)*X)
    VF=3.1416*C*C-SB
    VT=3.1416*B*B
    DO 10 J=1,2
    QAR(J)=FR-QR(J)-QPO(J)
    QAZ(J)=2.*FR-QZ(J)
10  RF (J)=1.-1./(SMT(J)*BU(J))
    A=FIU (2)-FIM(2)/(SMT(2)*BU(2))
    ER (1)=1.+SMT(1)*((C-ALINH)*QAR(1)+2.*ALINH*RF(1)*WR(1))
    HR (1)=RF(1)+ALINH*SMT(1)*RF(1)*RF(1)*TR(1)
    ER (2)=FIM(2)+FIF(2)*SMT(2)*((C-ALINH)*QAR(2))
    ER (2)=ER(2)+ALINH*SMT(2)*(RF(2)*FIF(2)+A)*WR(2)
    HR (2)=FIM(2)*RF(2)+ALINH*SMT(2)*RF(2)*A*TR(2)
    EZ (1)=1.+SMT(1)*((C-ALINH)*QAZ(1)+2.*ALINH*RF(1)*WZ(1))

```

```

HZ (1)=RF(1)+ALINH*SMT(1)*RF(1)*RF(1)*TZ(1)
EZ(2)=FIM(2)+FIF(2)*SMT(2)*(C-ALINH)*QAZ(2)
EZ(2)=EZ(2)+ALINH*SMT(2)*(RF(2)*FIF(2)+A)*WZ(2)
HZ(2)=FIM(2)*RF(2)+ALINH*SMT(2)*RF(2)*A*TZ(2)
OMGA(1)=17.85*Q/Y
OMGA(2)=1./TTA(2)
DO 20 J=1,2
DR(J)=(1.+VF*ER(J)/VT+SB*HR(J)/VT)*OMGA(J)/(3.*SMT(J))
DZ(J)=(1.+VF*EZ(J)/VT+SB*HZ(J)/VT)*OMGA(J)/(3.*SMT(J))
PRINT 15,J,ER(J),J,EZ(J)
15 FORMAT (2HER,12,1H=,E14.8,10X,2HEZ,12,1H=,E14.8)
PRINT 16,J,HR(J),J,HZ(J)
16 FORMAT (2HHR,12,1H=,E14.8,10X,2HHZ,12,1H=,E14.8)
PRINT 17,J,DR(J),J,DZ(J)
17 FORMAT (2HDR,12,1H=,E14.8,10X,2HDZ,12,1H=,E14.8)
DO(J)=(DZ(J)+2.*DR(J))/3.
20 PRINT 18,J,DO(J)
18 FORMAT (2HDO,12,1H=,E14.8)
N=525
PUNCH 503,DR(1),DR(2),DZ(1),DZ(2),N
N=526.
PUNCH 501,DO(1),DO(2),N
501 FORMAT (2E14.8,3I,14)
503 FORMAT (4E14.8,3X,14)
PAUSE
GO TO 100
END

```

e. Quinta Parte: Cálculo das áreas de moderação, de difusão, do laplaciano material, do fator de conversão inicial, e das secções de choque macroscópicas médias de Westcott da célula.

e.1 - Fórmulas

$$\zeta_{\perp} = \frac{D_{1\perp}}{\Sigma_{sce}} p, \quad \zeta_{\parallel} = \frac{D_{1\parallel}}{\Sigma_{sce}} p, \quad \zeta_0 = \frac{D_{10}}{\Sigma_{sce}} p$$

ζ_{\perp} = área de moderação radial

ζ_{\parallel} = área de moderação axial

ζ_0 = área média de moderação

$$L_{\perp}^2 = \frac{D_{2\perp}}{\Sigma_{acm}}, \quad L_{\parallel}^2 = \frac{D_{2\parallel}}{\Sigma_{acm}}, \quad L_0^2 = \frac{D_{20}}{\Sigma_{acm}}$$

O laplaciano material ou curvatura material B_m^2 , em teoria de dois grupos, é a solução positiva da seguinte equação:

$$(L_0^2 B_m^2 + 1) (\zeta_0 B_m^2 + 1) - k_{\infty} = 0$$

escrevendo que:

$$B_1^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left(-\frac{1}{\zeta_0} + \frac{1}{L_0^2} \right) + \left[\left(-\frac{1}{\zeta_0} + \frac{1}{L_0^2} \right)^2 + \frac{4(k_{\infty} - 1)}{\zeta_0 L_0^2} \right]^{1/2} \right\}$$

obtem-se a seguinte expressão para o laplaciano material B_m^2 :

$$B_m^2 = \frac{k_{\infty} - 1}{B_1^2 \tau_0 L_0^2}$$

O fator de conversão inicial é definido pela relação entre o número de átomos de plutônio formados e o número de átomos de U-235 destruído.

A expressão completa para o fator de conversão inicial, C_0 , quando praticamente não houve diminuição sensível dos átomos de U-235 é:

$$C_0 = \frac{[\hat{\Sigma}_{aSM} \Phi_M \phi_{UM} + \hat{\Sigma}_{ace} F_e \phi_{ue}] + \hat{\Sigma}_{rS} F_e + \nu_S [\hat{\Sigma}_{fSM} \Phi_M \phi_{UM} + \hat{\Sigma}_{fse} F_e \phi_{ue}]}{\hat{\Sigma}_{cSM} \Phi_M \phi_{UM} + \hat{\Sigma}_{cse} F_e \phi_{ue} + \hat{\Sigma}_{fSM} \Phi_M \phi_{UM} + \hat{\Sigma}_{fse} F_e \phi_{ue}}$$

sendo $(\hat{\Sigma}^+ - \Sigma)$ a fração dos neutrons de fissões térmicas, e-pitérmicas ou rápidas que são absorvidos no U-238, antes de penetrar no moderador.

No numerador tem-se então as absorções no U-238, ressonantes ou não, e que, portanto levam à produção do plutônio, enquanto que no denominador aparecem as absorções de neutrons no U-235 e que, portanto, levam à destruição de tais átomos.

O cálculo de C_0 torna-se mais cômodo, introduzindo-se duas quantidades:

$$\frac{1}{q'} = \frac{1}{p} + \frac{\hat{\Sigma}_{ace} \eta_e f_e \epsilon}{\hat{\Sigma}_{sce}}$$

$$i = \frac{q'}{1 + Z'_0 B_m^2} \cdot \frac{\sum_{r8}}{\sum_{sce}} \cdot \frac{h_0 S_u}{\pi b^2 h'} + (\varepsilon^* - \varepsilon)$$

sendo

$$Z'_0 = \frac{D_{10}}{\sum_{sce}} q'$$

então

$$c_0 = \frac{\hat{\Sigma}_{a8}}{\hat{\Sigma}_{f5} + \hat{\Sigma}_{cs}} + \hat{\eta}_f i$$

$$\hat{\eta}_f = \nu_5 \frac{\alpha_n \hat{\Sigma}_{f5}}{\hat{\Sigma}_{cs} + \hat{\Sigma}_{f5}}$$

$$\eta_w = \frac{\nu_5 \hat{\Sigma}_{f5}}{\hat{\Sigma}_{c5} + \hat{\Sigma}_{f5} + \hat{\Sigma}_{as} + \hat{\Sigma}_{a8} + \hat{\Sigma}_{ax}}$$

Para o cálculo das secções de choque macroscópicas médias de Westcott, da célula, utilizam-se as expressões:

$$\beta_0 = \frac{\phi_{ue}}{\phi_{um}} \cdot \frac{\hat{\Sigma}_{acm}}{\sum_{sce}} [1 + L_0^2 B_m^2]$$

$$r_0 = \frac{1}{1.01} \cdot \frac{\beta_0}{1 + \beta_0} \quad \text{no combustível}$$

$$\hat{\Sigma}_{a8} = N_8 [\hat{\sigma}_{a8m} + r_0 (\hat{\sigma}_{a8e} - \hat{\sigma}_{a8m}) 1.01]$$

$$\hat{\Sigma}_{c5} = N_5 [\hat{\sigma}_{c5M} + r_o (\hat{\sigma}_{c5e} - \hat{\sigma}_{c5M}) 1.01]$$

$$\hat{\Sigma}_{f5} = N_5 [\hat{\sigma}_{f5M} + r_o (\hat{\sigma}_{f5e} - \hat{\sigma}_{f5M}) 1.01]$$

$$\hat{\Sigma}_{ax} = N_{xe} [\hat{\sigma}_{axM} + r_o (\hat{\sigma}_{axe} - \hat{\sigma}_{axM}) 1.01]$$

$$\hat{\Sigma}_{as} = \hat{\Sigma}_{asM} + r_o (\hat{\Sigma}_{ase} - \hat{\Sigma}_{asM}) 1.01$$

$$\Sigma_e = \Sigma_{sce} + \Sigma_{ace} (1 - \eta_e f_e \epsilon) + \frac{V_o}{V_t} \Sigma_{r8}$$

e.2 - Dados de entrada: são 48 dados, perfurados em 15 cartões IBM. Esses dados, como nas demais partes do programa, já vêm perfurados das outras partes, na seqüência que aqui devem entrar.

São os seguintes:

<u>Cartões</u>	<u>Dados</u>			
1	h	h'	T	T _u
2	a	b	c	
3	N ₈	N ₅	N _{xe}	
4	$\hat{\sigma}_{axe}$	$\hat{\sigma}_{a8e}$	$\hat{\sigma}_{c5e}$	$\hat{\sigma}_{f5e}$
5	$\hat{\sigma}_{axM}$	$\hat{\sigma}_{a8M}$	$\hat{\sigma}_{c5M}$	$\hat{\sigma}_{f5M}$

<u>Cartões</u>	<u>Dados</u>			
6	$\hat{\Sigma}_{ase}$	$\hat{\Sigma}_{asm}$		
7	s_f	s_g	s_m	s_u
8	Σ_{sce}			
9	$\hat{\Sigma}_{ace}$	$\hat{\Sigma}_{acm}$	f_e	f_m
10	η_e	η_m	α_n	
11	ϕ_{mm}	ϕ_{fm}	ϕ_{um}	ϕ_{ue}
12	ϵ	$\epsilon^* - \epsilon$	Q	
13	Σ_{r8}	p	k_{oo}	
14	$D_{1\perp}$	$D_{2\perp}$	$D_{1\parallel}$	$D_{2\parallel}$
15	$D_{0\perp}$	$D_{0\parallel}$		

e.3. - PROGRAMA FORTRAN

```

C   CALCULO DE RETICULADO DE URANIO NATURAL E GRAFITE
C   QUINTA PARTE  CALCULO DAS AREAS DE MODERACAO,DE DIFUSAO,DO LAPLA
C   CIANO MATERIAL,DO FATOR DE CONVERCAO INICIAL,E DAS SECCOES DE CHO-
C   QUE MACROSCOPICAS DE WESTCOTT
DIMENSION DR (2),DZ(2),DO(2),SACW(2),ETA(2),F(2),FIU(2),EN(2)
DIMENSION ABW(2),C5W(2),F5W(2),SASW(2),AXW(2),FIM(2),FIF(2)
200 READ 3,H,H1,T,TU
    READ 3,A,B,C
    READ 3,EN(1),EN(2),ENX
    READ 3,AXW(1),ABW(1),C5W(1),F5W(1)
    READ 3,AXW(2),ABW(2),C5W(2),F5W(2)
    READ 3,SASW(1),SASW(2)
    READ 3,SF,SG,SM,SU
    READ 3,SSC1
    READ 3,SACW(1),SACW(2),F(1),F(2)
    READ 3,ETA(1),ETA(2),AFN
    READ 3,FIM(2),FIF(2),FIU(2),FIU(1)
    READ 3,EPS,EPSSL,Q
    READ 3,SRB,PR,CAINF
    READ 3,DR(1),DR(2),DZ(1),DZ(2)
    READ 3,DO(1),DO(2)
3   FORMAT (4E14.8)
    TALR=DR(1)*PR/SSC1
    TALZ=DZ(1)*PR/SSC1
    TALO=DO(1)*PR/SSC1
    ADIFR=DR(2)/SACW(2)
    ADIFZ=DZ(2)/SACW(2)
    ADIFO=DO(2)/SACW(2)
    R=1./TALO+1./ADIFO
    B1QU=(R+SQRT(R*R+4.*(CAINF-1.)/(TALO*ADIFO)))/2.
    BMQU=(CAINF-1.)/B1QU*TALO*ADIFO
    QLINH=1./(1./PR+SACW(1)*ETA(1)*F(1)*EPS/SSC1)
    TALOL=DO(1)*QLINH/SSC1
    PI=EPS*QLINH*SRB*H*SU/((1.+TALOL*BMQU)*SSC1*3.1416*B*B*H1)+EPSSL
    BETAO=FIU(1)*SACW(2)*(1.+ADIFO*BMQU)/(FIU(2)*SSC1)
    RZERO=BETAO/(1.01*(1.+BETAO))
    SABW=EN(1)*(ABW(2)+RZERO*(ABW(1)-ABW(2))*1.01)
    SC5W=EN(2)*(C5W(2)+RZERO*(C5W(1)-C5W(2))*1.01)
    SF5W=EN(2)*(F5W(2)+RZERO*(F5W(1)-F5W(2))*1.01)
    SAXW=ENX*(AXW(2)+RZERO*(AXW(1)-AXW(2))*1.01)
    SAEW=SASW(2)+RZERO*(SASW(1)-SASW(2))*1.01
    ETAFW=2.47*AFN*SF5W/(SC5W+SF5W)
    ETAW=2.47*SF5W/(SC5W+SF5W+SAEW+SABW+SAXW)
    CZERO=SABW/(SF5W+SC5W)+ETAFW*PI
    VO=3.1416*A*A*H
    VT=3.1416*B*B*H1
    SE=SSC1+SACW(1)*(1.-ETA(1)*F(1)*EPS)+VO*SRB/VT
10  PRINT 10,TALR,TALZ,TALO
11  PRINT 11,ADIFR,ADIFZ,ADIFO
12  PRINT 12,BMQU,QLINH,TALOL
13  PRINT 13,PI,BETAO,RZERO
14  PRINT 14,SABW,SC5W,SF5W
15  PRINT 15,SAXW,SAEW,CZERO
16  PRINT 16,ETAFW,ETAW,SE
    PAUSE
    GO TO 200
END

```

e.4 - *Dados de saída:* sendo esta a última parte do programa de reticulado de urânio natural e grafita, os resultados de cálculo têm saída somente pela máquina de escrever, uma vez que não há mais necessidade de saídas perfuradas.

IV. Método de obtenção de dados para entrada das demais partes do programa.

Quando os cartões saem perfurados, de uma dada parte do programa, trazendo resultados de cálculo, apresentam também uma perfuração na coluna 61, onde está o número da parte do programa onde devem entrar, ou seja, contem os números 2, ou 3, ou 4 ou 5.

Com o auxílio de uma classificadora ajustada na coluna 61, determinam-se os cartões que devem entrar na parte do programa a ser calculado.

Como já foi explicado no decorrer desse trabalho, os cartões do grupo de cada parte do programa já são obtidos na sequência desejada.

Existem também nestes cartões de resultados perfurações nas colunas 62 e 63, contendo a numeração, 01, ou 02, ... ou 09, ou 10, ou 11, ... ou 19, ou 20, ou 21 etc.

Essa numeração indica exatamente, a sequência em que os cartões de uma determinada parte, devem entrar nesta mesma parte do programa. No caso de acidentalmente os cartões saírem de ordem, com essa sequência de numeração e com uma clas

sificadora ajustada na coluna 62 e depois 63, pode-se novamente determinar a ordem de entrada de dados.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ - Effective Cross Sections Values for Well-Moderated Thermal Reactor Spectra - AECL-1101, Sept. 1, 1960.
- /2/ - Calculs des Reseaux a Graphite - SPM n° 687, Juin 1961.
- /3/ - Génie Atomique, Tome I, B

AGRADECIMENTOS

O autor aproveita a oportunidade para agradecer ao Prof. P.S. Toledo pela grande cooperação no desenvolvimento, compilação e teste do programa Fortran, além das valiosas discussões e sugestões na realização do mesmo; ao Centro de Cálculo Numérico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que permitiu o uso do computador IBM-1620; aos engenheiros E. de Vita Jr. e A. Gil por discussões que muito ajudaram no desenvolvimento do programa de reticulado de urânio natural e grafita.