

07/06/73

DADOS PARA O CÁLCULO DO TRIGA

Fernando A.N. Carneiro

José L. Terra

Prezando-se com a presente nota reunir, de forma sucinta, os dados necessários para os cálculos do TRIGA referidos na Nota PMC 71.

PARTE I : Dados Obtidos Diretamente das Referências

A descrição do reator será feita através das figuras que serão apresentadas a seguir.

Após essas figuras serão relacionados os dados encontrados nas referências citadas no fim da nota.

Dificuldades encontradas :

- o reticulado tem passo variável e as referências não indicam os valores das distâncias eixo a eixo dos elementos combustíveis;
- a espessura dos discos de samário presentes nos elementos combustíveis não é citada;
- sobre o material das barras de controle apenas se diz que é B_4C , e sobre o seu revestimento sabe-se apenas que é alumínio;
- sobre os tubos guias das barras de controle sabe-se apenas que são tubos de alumínio, com várias perfurações laterais, e se conhece o seu diâmetro externo;

- as dimensões do suporte da fonte não são conhecidas;
- as dimensões da cavidade no refletor de grafita não são fornecidas;
- as dimensões do tubo do circuito pneumático que penetra no núcleo não são dadas.

1. RETICULADO (Fig.2)

Trata-se de um reticulado "hexagonal centrado", tendo portanto valores variáveis para as distâncias eixo a eixo dos elementos combustíveis. As células têm, assim, volumes diferentes.

O único valor encontrado para distância entre eixos de elementos combustíveis foi o referente a essa distância na direção x da Fig. 2 e que foi medido no IPR por V.M.A.eSilva.

Esse valor é $p = 4$ cm.

2. ELEMENTO COMBUSTIVEL (Fig. 4)(1)

Parte ativa

material

- liga ternária de Zr, U e H
- composição em peso
 - . urânio 8%
 - . Zr 91%
- número de átomos de H aproximadamente igual ao número de átomos de zircônio
- enriquecimento 20% de U235

$$\phi = 3,56 \text{ cm}$$

$$l = 35,6 \text{ cm}$$

$$\text{densidade } \rho = 6,83 - 0,55 n, \text{ onde } n = 1 \quad (2)$$

Seções de grafita

$$\phi = 3,56 \text{ cm}$$

$$l = 10,2 \text{ cm}$$

(1) - Dados provenientes da pág. 11 da ref. | 2 |, exceto onde outra ref. é citada
(2) - Pág. 70 da ref. | 1 |.

Discos de Sm : cada disco contém 3 g de Sm dispersas em Al (3)

Revestimento

material : Al

espessura: e = 0,08 cm

$\phi_e = 3,73$ cm (4)

Comprimento total incluindo pinos : L = 72,4 cm

3. ELEMENTOS DE GRAFITA ("dummy elements")

Mesmas dimensões dos elementos combustíveis (pág. 13, ref.(2)). A parte ativa do combustível é substituída por grafita.

4. BARRAS DE CONTROLE (5)

Material : B₄C
Comprimento ativo : 50,8 cm
Diâmetro : 2,22 cm
Curso : 38,1 cm
Revestimento : Al

5. TUBOS GUIAS DAS BARRAS DE CONTROLE (6)

Tubos perfurados de alumínio

Diâmetro externo = 3,8 cm

6. TUBO CENTRAL (7)

Material : Al

Espessura : 2,11 mm

Diâmetro externo : 3,81 cm

- (3) - Pág. 82 da ref. | 1 |.
(4) - Fig. 24, pág. 83 da ref. | 1 |.
(5) - Pág. 17 e 20 da ref. | 2 |.
(6) - Pág. 15 e 17 da ref. | 2 |.
(7) - Pág. 61, ref. | 2 |.

7. REFLETOR DE GRAFITA (8)

Diâmetro interno = 45,7 cm
Espessura = 30,5 cm
Altura = 55,9 cm

Esse refletor é todo revestido de alumínio.

O refletor tem uma cavidade (Fig. 3) para colocação de amostras.

8. PLACAS DE SUSTENTAÇÃO (9)

Placa superior

Material = Al
Diâmetro = 49,4 cm
Espessura = 1,9 cm
90 posições (furos) para elementos combustíveis em cinco anéis con
oncêntricos
Diâmetro dos furos = 3,82 cm
Furo central : ϕ = 3,85 cm

Placa inferior

Material = Al
Diâmetro = 40,6 cm
Espessura = 1,9 cm
90 posições (furos) para os pés dos elementos combustíveis, com
diâmetro de 7,14 mm
Furo central : ϕ = 3,97 cm
36 furos, ϕ = 3,97 cm, para passagem de água

(8) - Pág. 4, ref. | 2 |.

(9) - Pág. 8 e 10, ref. | 2 |.

PARTE II - Dados de Entrada Necessários aos Códigos de Cálculo, Deduzidos dos Dados Apresentados na Parte I

1. VOLUMES E RELAÇÕES DE VOLUME

a) Volume da célula média

$$V_T = \pi (5,5 p)^2 / 91 = 16,709 \text{ cm}^2$$

p = passo na direção x = 4 cm (Parte I)

91 = número de posições do reticulado (Parte I)

b) Volume do combustível

$$V_f = \frac{\pi}{4} \times 3,556^2 = 9,9315 \text{ cm}^2$$

c) Volume do revestimento

$$V_c = \frac{\pi}{4} (3,734^2 - 3,582^2) = 0,87339 \text{ cm}^2$$

d) Volume do Moderador

$$V_m = V_T - \frac{\pi}{4} \times 3,734^2 = 5,758 \text{ cm}^2$$

e) Relações de volume

$$\frac{V_f}{V_T} = 0,59438$$

$$\frac{V_m}{V_T} = 0,34460$$

$$\frac{V_c}{V_T} = 0,052271$$

2. DENSIDADES ATOMICAS (Ver Apêndice II)

a) Parte ativa do elemento combustível

$$\text{Massa de urânio} : M = 6,59 \times 0,08 = 0,5272 \text{ g/cm}^3$$

Massa de urânio 235	:	M_{U5}	=	$0,5272 \times 0,20 = 0,10544 \text{ g/cm}^3$	
" " "	238	:	M_{U8}	=	$0,5272 \times 0,80 = 0,42176 \text{ g/cm}^3$
" " H	:	M_H	=	$6,59 \times 0,92 \times \frac{1,00867}{91,22 + 1,00867}$	
				=	$0,066306 \text{ g/cm}^3$
" " Zr	:	N_{Zr}	=	$6,59 \times 0,92 \times \frac{91,22}{91,22 + 1,00867}$	
				=	$5,9965 \text{ g/cm}^3$
Átomos de U235 por cm^3	:	N_{U5}	=	$0,00027016 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$	
" " U238 " "	:	N_{U8}	=	$0,0010670 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$	
" " H " "	:	N_H	=	$0,039590 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$	
" " Zr " "	:	N_{Zr}	=	$0,039590 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$	

b) Revestimento do elemento combustível

Átomos de Al por cm^3 : $N_{Al} = 0,060244 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$

c) Água

Moléculas de H_2O por cm^3 : $N_{\text{H}_2\text{O}} = 0,033427 \times 10^{24} \text{ mol/cm}^3$

d) Elementos de grafita

Átomos de C por cm^3 : $N_C = 0,08023 \times 10^{24} \text{ at/cm}^3$

e) Barras de controle (1)

Átomos de B por cm^3 : N_{B^*}
 Átomos de C por cm^3 : N_C

4. DENSIDADES ATOMICAS MEDIAS (em at/cm^3)

São calculadas a partir das densidades atômicas achadas no item anterior multiplicando-as por V_j/V_T , onde V_j é o volume da região da célula onde se

(1) - Não são apresentados os valores de N_{B^*} e N_C por falta de maiores informações sobre o B_4C das barras de controle.

representa o elemento considerado e V_T o volume da célula. Assim, por exemplo, $\bar{N}_{U5} = \frac{V_U}{V_T}$.

a) Célula média

\bar{N}_{U5}	=	0,00016058	x	10^{24}
\bar{N}_{U8}	=	0,00063420	x	10^{24}
\bar{N}_{Zr}	=	0,023532	x	10^{24}
\bar{N}_H	=	0,046570	x	10^{24}
\bar{N}_{Al}	=	0,0031490	x	10^{24}
\bar{N}_O	=	0,011519	x	10^{24}

b) Célula média com elem. de grafita

\bar{N}_C	=	0,047687	x	10^{24}
\bar{N}_{Al}	=	0,0031490	x	10^{24}
\bar{N}_H	=	0,023038	x	10^{24}
\bar{N}_O	=	0,011519	x	10^{24}

c) Célula do tubo central

\bar{N}_{Al}	=	0,0086016	x	10^{24}
\bar{N}_H	=	0,057308	x	10^{24}
\bar{N}_O	=	0,028654	x	10^{24}

d) Célula das barras de controle (*)

i) Com a barra de controle retirada

\bar{N}_{Al}	=	
\bar{N}_H	=	
\bar{N}_O	=	

ii) Com a barra de controle totalmente inserida

\bar{N}_B	=	
\bar{N}_C	=	

\bar{N}_{Al} =
 \bar{N}_H =
 \bar{N}_O =

(*) - Os valores abaixo não são apresentados por falta de maiores dados sobre as barras de controle e seus tubos guias.

APENDICE I

MASSAS DE U235 NOS DIVERSOS ELEMENTOS COMPOSITIVOS DO TUBO
NO INICIO DE SUA VIDA

B20

38,84

B21

38,51

B22

38,53

B23

38,66

B24

38,73

POSICÃO	GRAMAS DE U235/ELEM.	POSICÃO	GRAMAS DE U235/ELEM.
B1	38,65	D14	37,21
B2	38,52	D15	37,19
B3	38,46	D16	37,19
B4	38,27	D17	37,19
B5	38,26	D18	37,06
B6	38,15	E1	36,97
C1	37,85	E2	36,99
C2	37,85	E3	36,91
C3	37,81	E4	36,87
C4	37,77	E5	36,85
C5	37,73	E6	36,81
C6	37,71	E7	36,60
C7	37,71	E8	36,59
C8	37,67	E9	36,49
C9	37,67	E10	36,47
C10	37,57	E11	36,28
C11	37,56	E12	36,30
C12	37,54	E13	36,78
D1	SHIM	E14	36,76
D2	37,53	E15	36,75
D3	37,46	E16	36,74
D4	37,45	E17	36,73
D5	37,41	E18	GRAFITA
D6	37,40	E19	GRAFITA
D7	37,38	E20	36,64
D8	37,34	E21	36,53
D9	37,31	E22	36,52
D10	SEGURANÇA	E23	36,66
D11	37,31	E24	36,72
D12	37,28		
D13	37,22		

APENDICE II

TESTE DA FORMULA PARA A DENSIDADE DO COMBUSTIVEL

Na Parte I foi dito que a densidade do combustível é calculada por $\rho = 6,83 - 0,55n$, onde $n = 1$, i.e., que $\rho = 6,28 \text{ g/cm}^3$.

No Apêndice I estão indicados os conteúdos de U235 de cada um dos elementos combustíveis do Triga do IPR no início de sua vida. A massa de U235 no reator era então de 2.086,59 g.

A configuração do núcleo no início de sua vida era

Posição A ₁	.....	Tubo Central
Posição D ₁	.....	Barra de controle (shim)
Posição D ₁₀	.....	Barra de controle (segurança)
Posição F ₁₆	.....	Barra de controle (reguladora)
Posição E ₁₈	.....	Elemento de grafita(dummy elem.)
Posição E ₁₉	.....	Elemento de grafita(dummy elem.)
Posição F ₈	.....	Fonte
Posição F ₁₂	.....	Tubo do sistema pneumático

Todas as outras posições "F" eram ocupadas por elementos de grafita. Todas as posições restantes eram ocupadas por elementos combustíveis, i.e., 56 elementos combustíveis.

Assim, a massa média de U235 por elemento combustível era de

$$\bar{m} = \frac{2.086,59}{56} = 37,26 \text{ g}$$

Partindo desse valor e de acordo com a composição do combustível dada na Parte I o peso do centímetro cúbico desse combustível é :

$$\frac{37,26}{V_{f \times l}} \times 5 \times \frac{100}{8} = 6,59 \text{ g/cm}^3$$

Este valor da densidade ($\rho = 6,59 \text{ g/cm}^3$) é o que será usado nos cálculos.

REFERENCES

(1 | - Technical Foundations of TRIGA - GA-471

| 2 | - Triga Mark I Reactor - Mechanical Maintenance and operating Manual
GA-1544

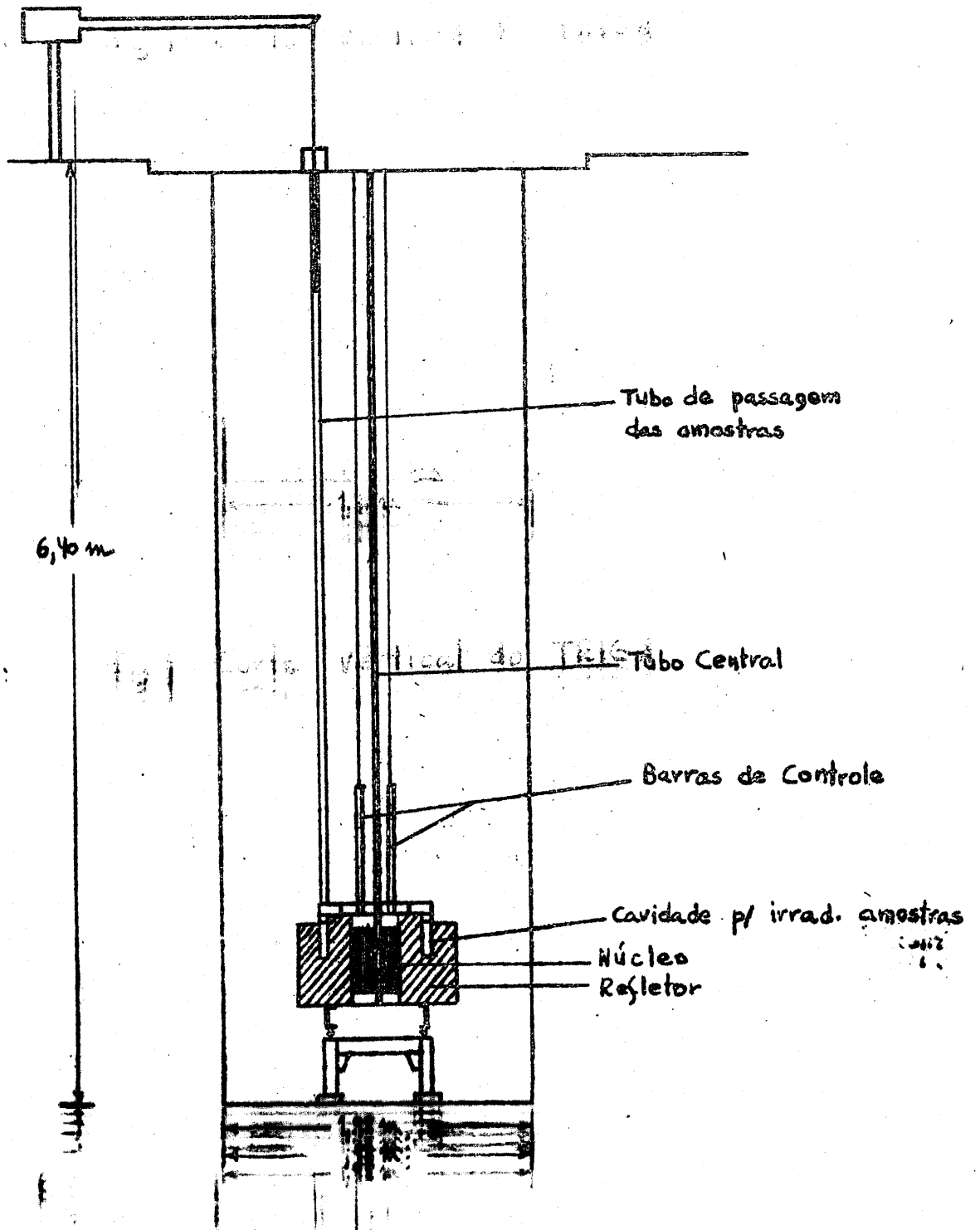


Fig. 1 - Corte Vertical do TRIGA

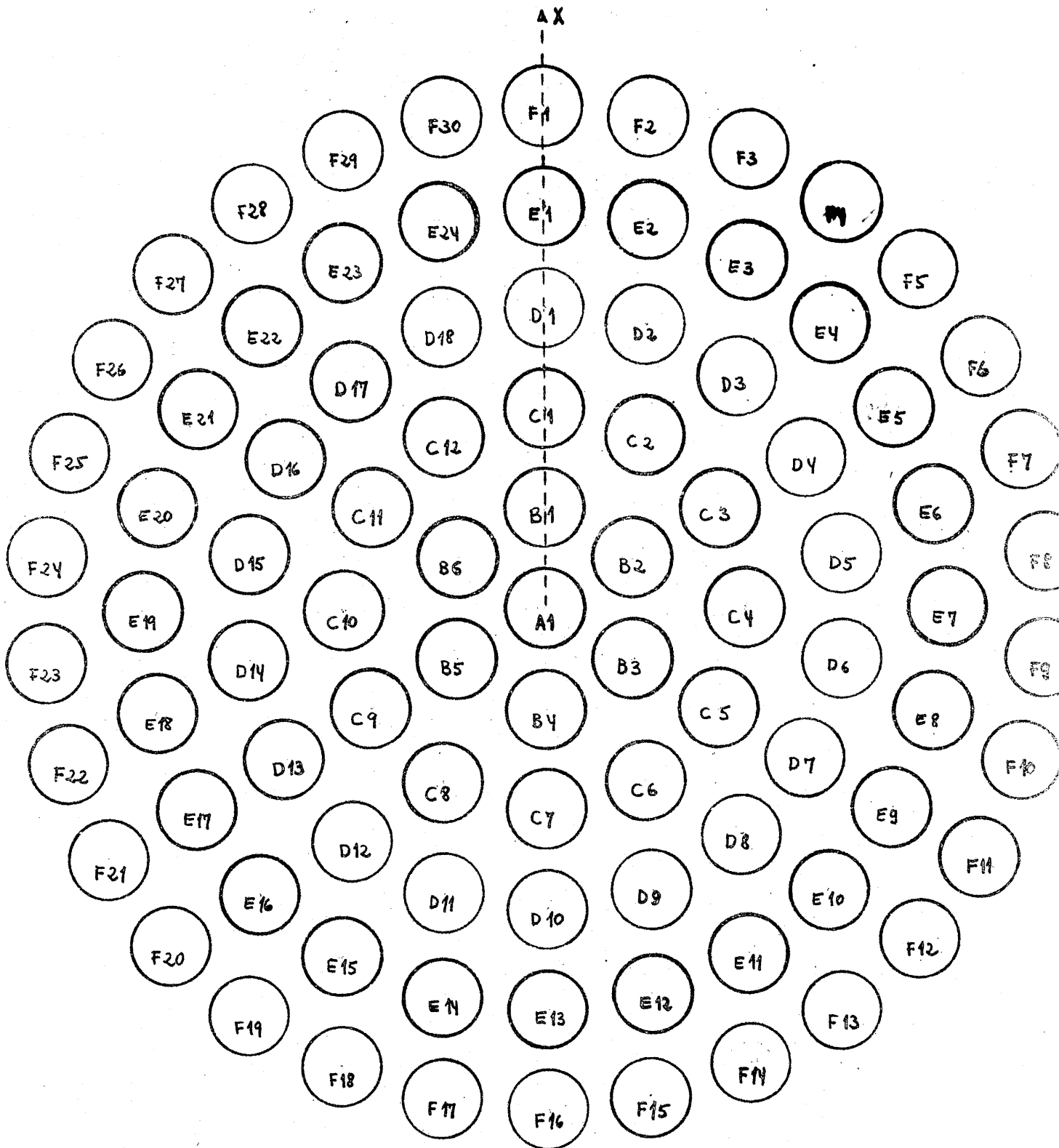
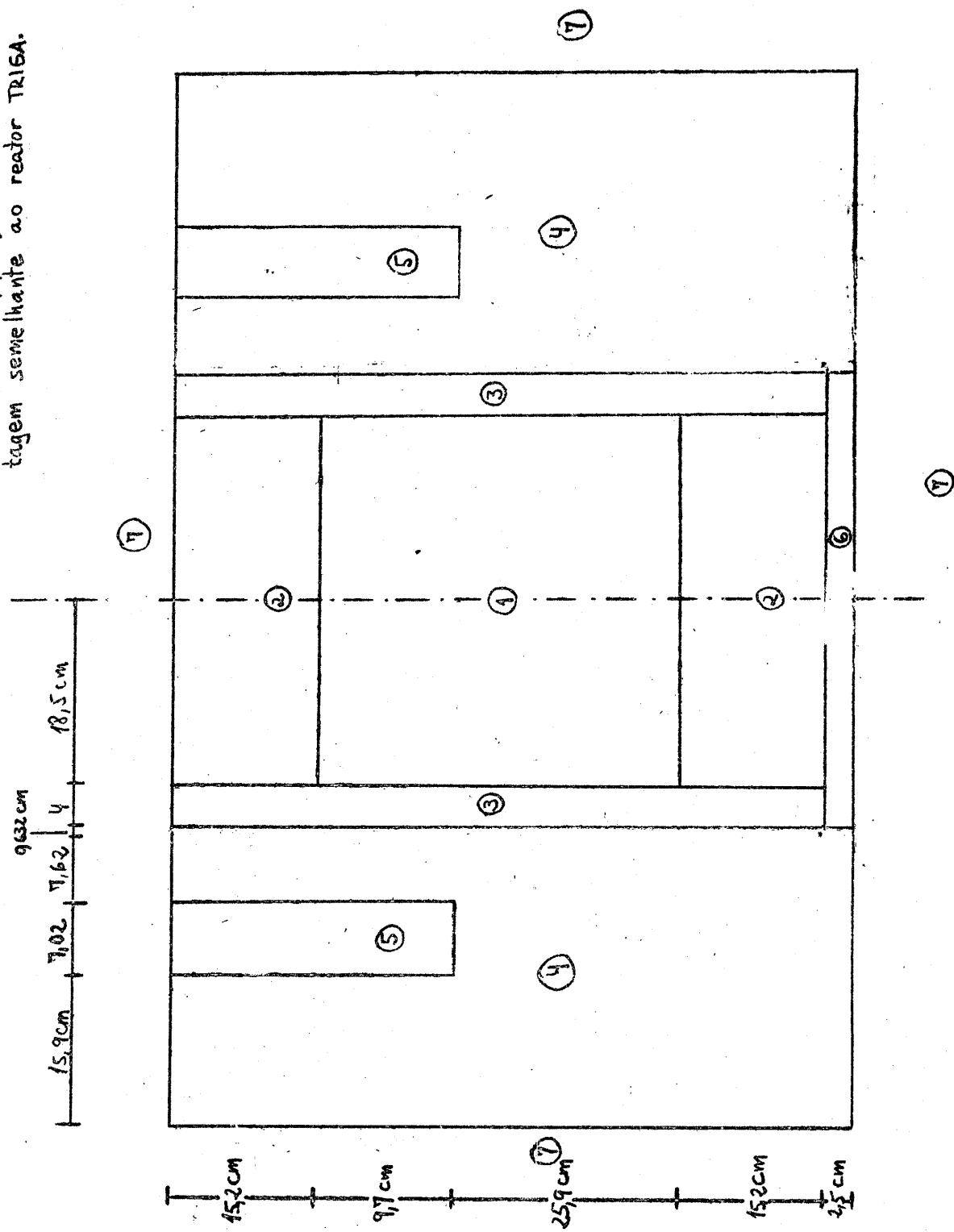


Fig. 2 - Reticulado do TRIGA

As dimensões apresentadas nesta figura (Cf. ref. Bibl. 1, p. 91) são de uma montagem semelhante ao reator TRIGA.



- Região ①:
Núcleo : $ZrO_2 + H_2O + Al$
- Região ②:
refletores sup. e inf.:
 $C + H_2O + Al$
- Região ③:
grafita do núcleo:
 $C + H_2O + Al$
- Região ④:
Região ⑤:
Refletor: C
- Região ⑥:
Cavidade no refletor
- Região ⑦:
Placa inferior: $Al + H_2O$
- Refletor : H_2O

Fig. 3 - Corte Vertical do TRIGA

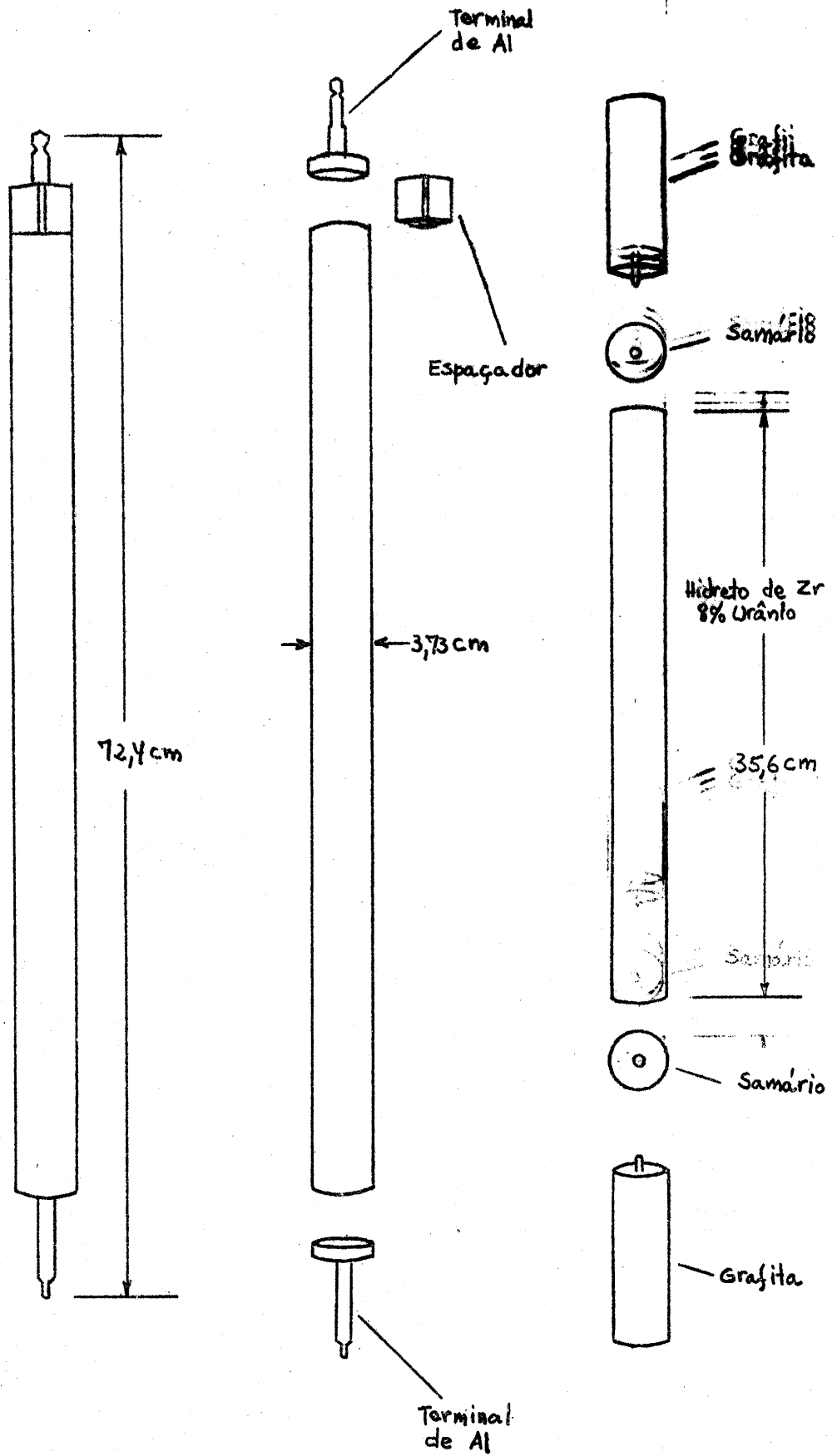


Fig. 4 - Elemento Combustível