

SECÇÃO 4 — ALGUMAS INCIDÊNCIAS NA ACTIVIDADE
ECONÓMICA NACIONAL DA PROGRAMAÇÃO DE NOVOS
CENTROS PRODUTORES

INCIDÊNCIAS DE UM PROGRAMA NUCLEAR
NAS INDÚSTRIAS DE FABRICO DE
ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL

1 — As incidências de um programa energético nuclear nas indústrias de fabrico de elementos de combustível são essencialmente função de três factores:

- número de centrais nucleares a instalar, do qual vai depender o inventário de combustível a imobilizar;
- utilização de cada uma das centrais, da qual vai depender o ritmo de consumo de combustível;
- tipo de reactor que equipa cada uma das centrais, do qual dependerá tanto a imobilização para inventário como o ritmo de consumo.

2 — No sentido de uma primeira quantificação do problema, consideraremos um programa energético médio no período 1970-1985,

Quadro I e fig. 1, e suporemos que será satisfeito independentemente por três tipos de reactores: óxido enriquecido-água ebuliente; óxido natural-água pesada; metal natural-grafite, cujas características e outras hipóteses suplementares se apresentam no Quadro II.

QUADRO I

PROGRAMA ENERGÉTICO NUCLEAR

Ano	Potência (MW) em 31-12	Produção anual (GWh)	Data de arranque das centrais
1973	250	625	1/7
1974	250	1 250	—
1975	250	1 600	—
1976	500	1 875	1/7
1977	500	2 500	—
1978	750	3 400	1/7
1979	750	3 850	—
1980	1 000	5 000	1/1
1981	1 250	5 950	1/7
1982	1 250	7 100	—
1983	1 500	8 400	1/1
1984	1 750	9 850	1/1
1985	2 000	11 000	1/1

Os valores sublinhados são os indicados na hipótese B₂ da Nota IC.4 do ONIE

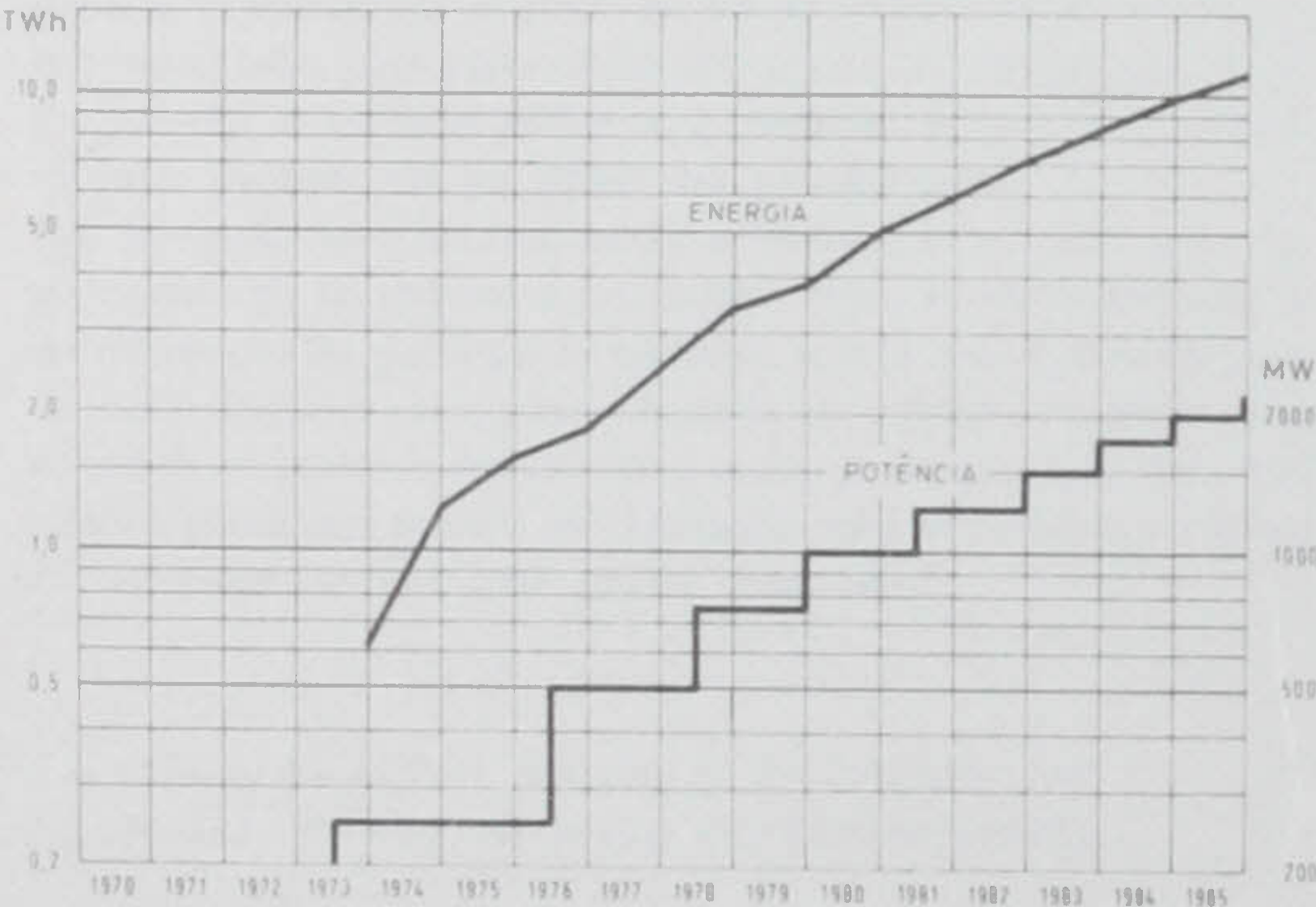


Fig. 1 — Programa energético nuclear

QUADRO II

CARACTERÍSTICAS E HIPÓTESES CONSIDERADAS

	Óxido enriquecido Água ebuliente	Óxido natural Água pesada	Metal natural Grafite
Potência eléctrica líquida por central (MW)	250	250	250
Rendimento termodinâmico global (%)	30	29	31
Potência específica média (MW/t de U)	19	19	3,8
Taxa de queima 1.º núcleo (MWd/t de U)	13 450	5 800	2 030
Taxa de queima equilíbrio (MWd/t de U)	16 000	10 000	3 500
Enriquecimento inicial (% U ₂₃₅)	1,90	0,711	0,711
Tipo de carregamento	20 % do núcleo	Contínuo, início retardado	Contínuo, início retardado
Inventário de combustível (tonel. de U)	43 860	45 372	212 224
Reserva em armazém (tonel. de U)	4 386	4 537	21 222
Perdas durante o fabrico (%)	2	2	2
Entrega do 1.º núcleo, anos antes do arranque	1	1	1
Entrega do combustível, meses antes do carrega- mento	3	3	3

3 — Os programas de fabrico que decorrem das hipóteses consideradas são apresentados nos Quadros III, IV e V, de que a fig. 2 é uma representação gráfica resumida.

4 — Como se torna particularmente evidente na fig. 2, há, em todos os casos considerados, um ano de intervalo entre o fim do fabrico do primeiro núcleo da primeira central e o início da laboração contínua das indústrias de fabrico de elementos de combustível, início que coincide com a data de entrada em serviço da primeira central.

5 — Atendendo às garantias que o utilizador necessariamente exige sobre os elementos de combustível, à interrupção da laboração acima indicada e à reduzida propensão do industrial português para investir em actividades semi-laboratoriais, não imediatamente remuneradas, parece pouco provável que o fabrico dos elementos de combustível que formarão o primeiro núcleo da primeira central seja feito por indústrias nacionais.

6 — Para que tal fabrico fosse possível, haveria que, desde já, encetar negociações para a obtenção de licenças e iniciar alguma actividade industrial, que poderia encontrar um mercado nacional, reduzido, é certo, mas potencialmente existente, de montagens sub-críticas ou críticas de potência nula, e que permitiria um adestramento do pessoal, altamente desejável na altura em que for resolvido lançar a indústria.

7 — Quanto à possibilidade de utilização do urânio nacional, a fig. 3 representa para os três tipos de reactores considerados as quantidades acumuladas de urânio utilizado para a satisfação do programa energético. Como se verifica, apenas no caso do metal natural se atinge no fim do período o valor das reservas nacionais de urânio anunciadas em 1962. Atendendo a que este valor foi indicado referido a um teor mínimo de minério relativamente elevado e a que a prospecção do território não estava naquela data sistematicamente feita, é de prever que até 1985 não seja necessário importar urânio natural.

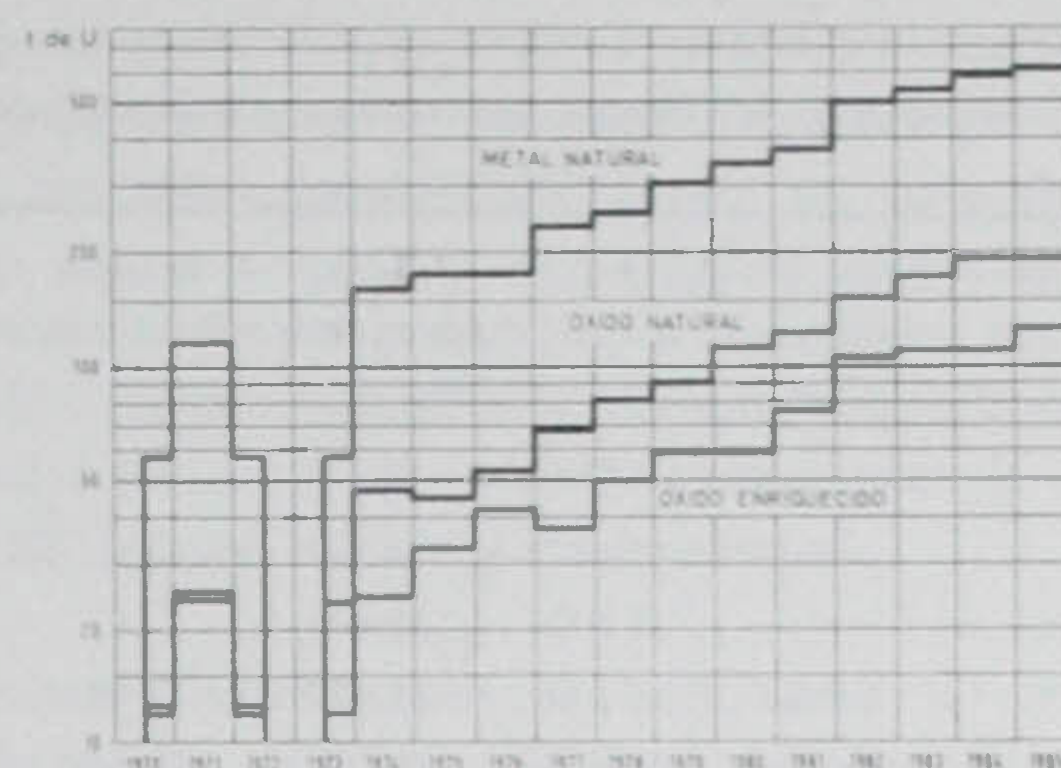


Fig. 2 — Programa de fabrico

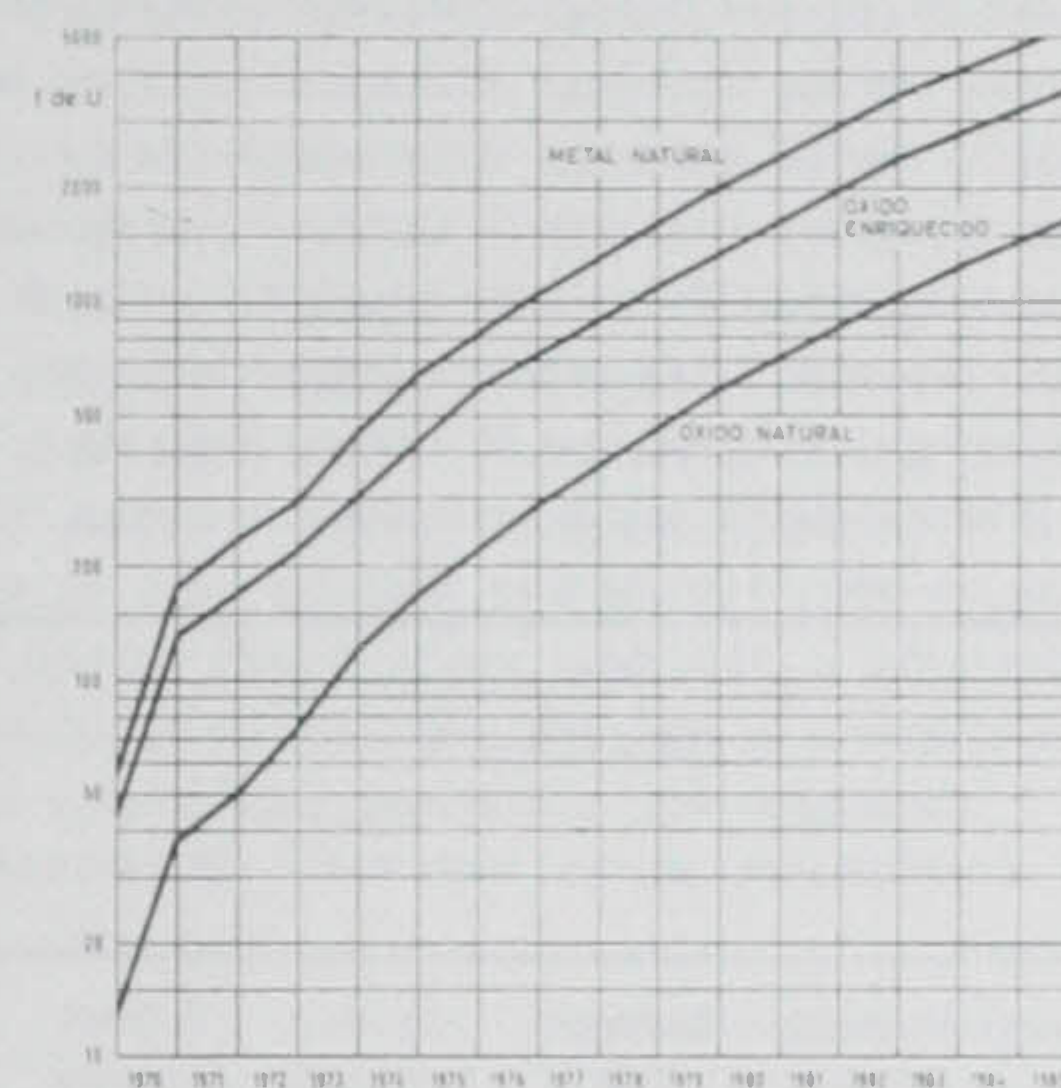


Fig. 3 — Urânio natural utilizado

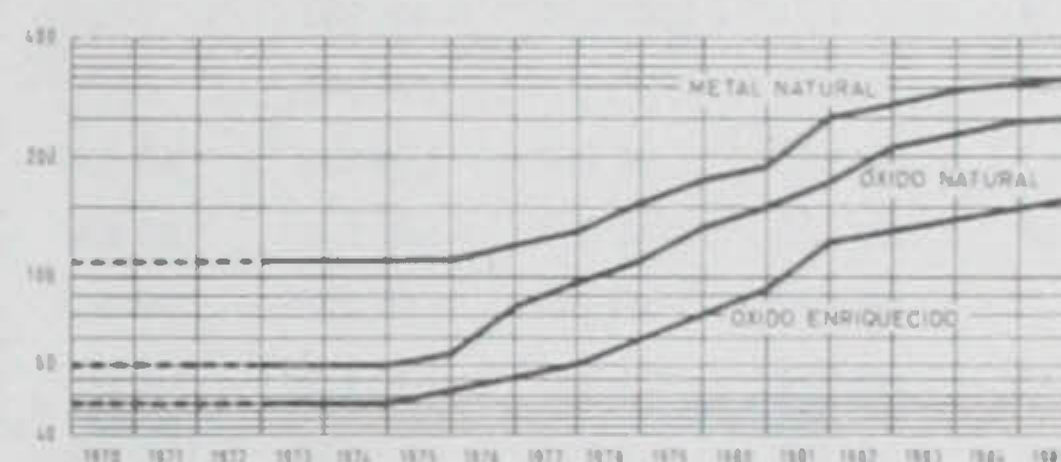


Fig. 4 — Pessoal de fabrico

QUADRO III

ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL ÓXIDO ENRIQUECIDO — QUILOGRAMAS DE U

Ano	Entregas Inventário	Entregas Consumo	Entregas Totais	Fabrico Inventário	Fabrico Consumo	Fabrico Total
1970	—	—	—	12 061	—	12 061
1971	—	—	—	24 123	—	24 123
1972	48 246	—	48 246	12 062	—	12 062
1973	—	—	—	12 062	—	12 062
1974	—	—	—	24 123	—	24 123
1975	48 246	8 772	57 018	24 123	8 772	32 895
1976	—	17 544	17 544	24 123	17 544	41 667
1977	48 246	8 772	57 018	28 143	8 772	36 915
1978	48 246	17 544	65 790	32 164	17 544	49 708
1979	—	26 316	26 316	32 164	26 316	58 480
1980	48 246	26 316	74 562	32 164	26 316	58 480
1981	48 246	43 860	92 106	32 164	43 860	76 024
1982	48 246	35 088	83 334	48 246	55 556	103 802
1983	48 246	78 948	127 194	48 246	61 404	109 650
1984	48 246	61 404	109 650	48 246	61 404	109 650
1985	48 246	70 176	118 422	48 246	76 024	124 270

QUADRO IV

ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL ÓXIDO NATURAL — QUILOGRAMAS DE U

Ano	Entregas Inventário	Entregas Consumo	Entregas Totais	Fabrico Inventário	Fabrico Consumo	Fabrico Total
1970	—	—	—	12 477	—	12 477
1971	—	—	—	24 954	—	24 954
1972	49 909	—	49 909	12 478	—	12 478
1973	—	5 671	5 671	12 477	11 343	23 820
1974	—	22 686	22 686	24 954	22 686	47 640
1975	49 909	21 139	71 048	24 955	20 417	45 372
1976	—	22 169	22 169	24 954	27 841	52 795
1977	49 909	39 184	89 093	29 113	39 184	68 297
1978	49 909	44 133	94 042	33 273	48 072	81 345
1979	—	57 333	57 333	33 273	57 333	90 606
1980	49 909	73 716	123 625	33 273	78 758	112 031
1981	49 909	85 002	134 911	33 273	91 592	124 865
1982	49 909	103 851	153 760	49 909	103 851	153 760
1983	49 909	120 865	170 774	49 909	126 537	176 446
1984	49 909	141 660	191 569	49 909	146 702	196 611
1985	49 909	159 682	209 591	49 909	145 441	195 350

QUADRO V

ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL METAL NATURAL — QUILOGRAMAS DE U

Ano	Entregas Inventário	Entregas Consumo	Entregas Totais	Fabrico Inventário	Fabrico Consumo	Fabrico Total
1970	—	—	—	58 361	—	58 361
1971	—	—	—	116 723	—	116 723
1972	233 446	—	233 446	58 362	—	58 362
1973	—	—	—	58 361	—	58 361
1974	—	30 319	30 319	116 723	45 478	162 201
1975	233 446	60 635	294 081	116 724	60 635	177 359
1976	—	60 635	60 635	116 723	60 635	177 358
1977	233 446	90 954	324 400	136 178	101 565	237 743
1978	233 446	103 080	336 526	155 630	103 080	258 710
1979	—	135 730	135 730	155 630	152 055	307 685
1980	233 446	184 704	418 150	155 631	198 354	353 985
1981	233 446	222 980	456 426	155 630	222 215	377 845
1982	233 446	242 024	475 470	233 446	270 677	504 123
1983	233 446	297 801	531 247	233 446	311 065	544 511
1984	233 446	350 857	584 303	233 446	363 542	596 988
1985	233 446	376 532	609 978	233 446	381 957	615 403

8 — No caso do óxido enriquecido o problema é diferente, dado que a utilização do urânio nacional pressupõe a possibilidade de utilização das fábricas de difusão estrangeiras, e a preços convenientes. Embora tanto os ingleses como os americanos tenham anunciado que têm em estudo tal possibilidade, as várias e delicadas implicações que acarreta aconselham a que as negociações se iniciem o mais rapidamente possível.

9 — No que vai seguir-se admitiremos que o urânio a utilizar no programa considerado será em todos os casos proveniente dos minérios nacionais e que o custo do concentrado será de 505\$00/kg de U (6,7 dól/lb de U_3O_8), sendo 50\$00/kg de U a pagar em moeda estrangeira.

10 — Estudos económicos realizados por uma empresa italiana (ITALATOM) sobre o lançamento de uma indústria de fabrico de elementos

de combustível nuclear, parecem concluir que capacidades da ordem das 30 t de U/ano, no caso do óxido, natural ou enriquecido, e de 100 t de U/ano, no caso do metal natural, serão as dimensões mínimas económicas.

11 — No programa que considerámos, as capacidades necessárias serão logo de início superiores a estes valores, pelo que parece haver uma certa evidência da viabilidade económica do lançamento de indústrias de fabrico de elementos de combustível. Será, portanto, razoável que os preços de mercado existentes e a evolução prevista sejam válidas como ordem de grandeza, no caso nacional.

12 — Um primeiro dimensionamento simplista das capacidades de fabrico necessárias, Quadro VI, e, portanto, sem ter em conta uma optimização económica possível, permite verificar que em todos os casos, no período considerado, as capacidades necessárias passam do simples ao triplo, portanto susceptíveis de ser satisfeitas com uma instalação única cuja laboração evoluiria de um turno para três turnos. Consideraremos, contudo, a hipótese mais pessimista de instalação de novas unidades para satisfazer as necessidades de fabrico.

13 — As informações colhidas junto de fabricantes e fornecedores por Missões organizadas pela «Companhia Portuguesa de Indústrias Nucleares», e os valores que têm sido publicados, permitem avaliar os investimentos que, no período considerado, seriam necessários para o estabelecimento da indústria do fabrico de elementos de combustível, entendendo por fabrico todas as operações desde a recepção de concentrado de urânio natural ou de hexafluoreto de urânio enriquecido, até à expedição de elementos de combustível completos. Teríamos assim, no caso do óxido enriquecido 60 000 + +80 000 = 140 000 contos, no caso do óxido natural 60 000 + 75 000 + +80 000 = 215 000 contos e no caso do metal natural 3 x 250 000 = =750 000 contos, ou seja, da ordem dos 70\$00/kWe nos dois primeiros casos e 215\$00/kWe no terceiro.

14 — Com estes investimentos e admitindo para custos de fabrico 2349\$00/kg de U, no caso do óxido enriquecido; 1566\$30/kg de U, no caso do óxido natural e 559\$20/kg de U, no caso de metal natural, o volume total de fornecimentos da indústria de fabrico de elementos de combustível de 1975 a 1985, sem incluir, portanto, o primeiro núcleo da primeira central, seria respectivamente de: 1 947 213 contos; 2 108 666 contos e 2 380 663 contos. A contribuição nacional no fabrico pode estimar-se em 1520\$00; 1040\$00 e 385\$00/kg de U, respectivamente. Tendo em atenção o que foi dito sobre o concentrado, aqueles valores subirão para 3185\$00, 1505\$00 e 850\$00/kg de U, no total, ou seja da ordem dos 45 %, 65 % e 70 % do custo total de utilização do combustível nuclear.

15 — A aquisição de instalações de fabrico de elementos de combustível é susceptível de ser feita em bases semelhantes às de qualquer outra indústria. À luz da experiência europeia pode prever-se que sejam necessários dois anos para a construção e instalação e cerca de seis meses para o lançamento da produção. Considerando que dois anos não serão demais para a realização de estudos prévios, estabelecimento de contactos, realização do projecto e apreciação de ofertas, resulta que as decisões devem ser tomadas preferivelmente em 1965 ou, pelo menos, em 1968, admitindo que a primeira central nuclear entrará em serviço durante 1973. Como é evidente uma decisão só em 1968 fará perder o fabrico do primeiro núcleo, o que representa 113 330 contos, 78 170 contos e 130 540 contos, para os três casos que temos estado a considerar.

16 — Quanto às necessidades de pessoal, cuja qualificação não será superior à necessária para o fabrico, por exemplo, de armas ligeiras, é de prever uma evolução como se indica na fig. 4, atingindo-se, portanto, efectivos totais de 160, 250 e 320 pessoas nos três casos

QUADRO VI

CAPACIDADE DE FABRICO

TONELADAS DE U POR ANO

Combustível	Anos	Capacidade Min — Max		Capacidade Média
Óxido enriquecido	1970-72	—	—	(25)
	1973-80	25	60	40
	1981-85	80	125	105
Óxido natural	1970-72	—	—	(25)
	1973-77	25	70	50
	1978-82	80	160	120
	1983-(87)	180	(240)	200
Metal natural	1970-72	—	—	(120)
	1973-78	160	260	220
	1979-83	310	550	440
	1984-(88)	600	(700)	660

considerados. Nestes totais estão incluídas as pessoas de formação universitária cuja percentagem será inferior aos 10 %.

17 — O estabelecimento de indústrias de fabrico de elementos de combustível pressuporia desejavelmente o estabelecimento de indústrias para a produção dos materiais auxiliares que serão necessários, nomeadamente nos casos considerados, tubos em ligas de magnésio e de zircónio. Como o mercado destas indústrias é mais vasto que o mercado nuclear, não nos parece impossível que tal se possa fazer. Representando os materiais auxiliares, durante o período considerado, um valor global da ordem dos 600 000 contos, será de esperar que pelo menos 50 % deste valor seja nacionalizável.

18 — Esta primeira quantificação das incidências de um programa nuclear nas indústrias de fabrico de elementos de combustível, conduziu-nos a resultados interessantes quer em economia de divisas, quer em aumento da riqueza nacional, mas conduziu-nos também a um problema cuja resolução deve ser considerada quando do estabelecimento de um programa definitivo. Como se verifica facilmente pela fig. 2, o lançamento de um programa nuclear como o considerado tem como consequência um arranque, que se pode considerar brusco, das indústrias de fabrico de elementos de combustível. O estabelecimento de uma produção que satisfaça as garantias exigidas é, portanto, particularmente delicado. Seria, por isso, da máxima conveniência que o lançamento de um programa propriamente dito fosse precedido com suficiente antecedência, digamos cinco a seis anos, pelo arranque de uma primeira central, para que as indústrias do combustível possam iniciar a sua laboração a uma escala piloto, durante, portanto, um a dois anos, para que a obtenção da eficiência desejada não apresentasse problemas tão delicados.

J. ROCHA CABRAL

Engenheiro Electrotécnico (I. S. T.)

BIBLIOGRAFIA

- ARÍLIO AUGUSTO FERNANDES — *Elementos de combustível para centrais nucleares com reactores térmicos conversores. Alguns aspectos industriais.* — 1962 — CPIN.
- VIRGÍLIO RUI TEIXEIRA LOPO — *Visita de estudo a França. Relatório parcial.* — 1959 — CPIN.
- J. ROCHA CABRAL — *Estrutura do custo do combustível nuclear. Custos directos.* — 1964.
- J. ROCHA CABRAL — *Indústrias do combustível nuclear. Estudo preliminar do mercado.* — 1963 — CPIN.
- J. ROCHA CABRAL — *Missões de Informação. Março e Outubro. Relatórios parciais.* — 1963 — CPIN.
- J. GAUSSENS — *Caractéristiques économiques des centrales nucléaires et des cycles de combustible.* — 1963.
- S. A. GHALIB — *Nuclear power in under-developed countries: financial considerations.* — 1962.
- W. B. LEWIS — *Initial fuelling of power reactors.* — 1958.
- S. E. LEWIS — *Theory of once-through fuel cycles.*