

CIÊNCIA E SOCIEDADE

TEMAS E DEBATES

VOLUME II

NÚMERO 8



1100  
EXEMPLAR 13-74

EXPERIÊNCIA NA INTRODUÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR

St. C.C. Hood

Chefe da Divisão de Economia e Programas

da

Autoridade em Energia Atômica

do

Reino Unido

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

AV. WENCESLAU BRAZ 71

RIO DE JANEIRO

BRASIL

## APRESENTAÇÃO

Repleto de consequências em todos os terrenos, o desenvolvimento das tensões no Oriente Médio e a crise mundial do petróleo em que desembocou, levanta questões novas cuja escala e profundidade ainda não se podem avaliar.

Uma delas é o aparecimento de poderosos motivadores políticos e econômicos para a mobilização de formas substitutivas de geração de energia. Em que pese o fascínio das propostas correntes, em termos do aproveitamento do calor solar, terrestre, de movimentos aéreos e marítimos, os indícios disponíveis não sugerem que possam acomodar-se em futuro previsível às necessidades do consumo social e de sua progressão, quer na qualidade quer na escala do suprimento de energia, senão subsidiariamente.

A energia de origem nuclear reaparece assim como a mais consequente dentre as formas promissoras. E agora sob o impacto de motivadores da magnitude e onipotência daqueles que cercaram seu advento, trinta anos atrás. Embora imerso em múltiplas incertezas, um vislumbre de oportunidade parece despontar para a nuclearização dos sistemas energéticos nacionais fora das economias de guerra ostensiva que marcaram esses desenvolvimentos no passado.

O artigo do Dr. Hood foi extraído do texto publicado pela revista ATOM - órgão oficial da Autoridade em Energia Nuclear do Reino Unido - em agosto de 1974, reproduzindo uma conferência daquele especialista em Ankara, junho de 1974, para representantes de países em desenvolvimento. Sua reprodução em Ciência e Sociedade não deve ser entendida como a aprovação desta editoria ou desta casa às opiniões e recomendações nele contidas. Revela, isto sim, nosso entendimento de que se trata de abordagem autorizada e atual desses problemas e nossa pretensão de que sua divulgação possa ser útil para a formação e amadurecimento de opiniões entre nós.

A tradução limitou-se ao literal exceto num pequeno número de casos onde a adaptação ou omissão de expressões coloquiais pareceu-nos necessária. Acrescentamos notas explicativas das nomenclaturas de órgãos e instrumentos para esclarecer a origem das siglas que aparecem no texto e nas figuras; estas foram reproduzidas diretamente do original. Incluímos também nessas notas algumas expressões cuja tradução pode ter outro sentido em textos econômicos ou legais.

Rio de Janeiro, outubro de 1974

EXPERIÊNCIA NA INTRODUÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR\*

St. C. C. Hood

Chefe da Divisão de Economia e Programas

da

Autoridade em Energia Atômica

do

Reino Unido

Introdução

Até o último século ensinava-se na Europa que o progresso industrial era um processo como o da educação ou o de tornar-se maduro. Não havia atalhos, apenas uma estrada que evoluiu lentamente, através de aperfeiçoamentos na agricultura, na acumulação de capitais, no desenvolvimento de recursos minerais, na produção industrial básica, intermediária e avançada, até que em 1870 ou 1890 emergisse a economia perfeitamente industrializada na Inglaterra, na Alemanha ou nos E.U.A., conforme o caso.

Os japoneses romperam aquele mito nos últimos 50 anos e desde o término da II Guerra Mundial muitos outros países abrevia

---

\* - Publicado sob o título "Experience in the Introduction of Nuclear Power", em Atom 214, agosto de 1974.

ram o processo clássico sem sofrerem danos mais evidentes.

Em geral a transferência de tecnologias avançadas para países em desenvolvimento parece apresentar menores dificuldades do que se presumia. A transferência da energia nuclear pode se revelar tão fácil quanto, digamos, a operação de linhas aéreas comerciais, embora o balanço das dificuldades indique o contrário.

Neste artigo tentarei explicar os estágios por que passou o desenvolvimento da energia nuclear no Reino Unido nos últimos 30 anos; ilustrar os complexos problemas administrativos, gerenciais e econômicos enfrentados e os que ainda enfrentamos; e as medidas de organização que tomamos para lidar com esses problemas. Podemos então examinar conjuntamente as lições que países iniciando agora o desenvolvimento da energia nuclear tirarão de nossos sucessos e fracassos. Os pontos de vista apresentados são pessoais e não refletem necessariamente a política ou as práticas da indústria da Energia Atômica do Reino Unido.

Existem hoje tantos países ativos no desenvolvimento nuclear que parece oportuno lembrar que o Reino Unido começou antes de qualquer outro, incluindo os E.U.A., a trilhar os caminhos do desenvolvimento da energia nuclear para fins civis.

Lançado este lembrete quanto à maturidade dos empreendimentos nucleares do Reino Unido, podemos passar à sua história.

### Primeiros Desenvolvimentos no Reino Unido

A base sobre a qual se estabeleceu o programa nuclear britânico foi o programa militar, que produziu a tecnologia e a

infraestrutura para o programa comercial posterior.

Imediatamente após a guerra o Reino Unido propoz-se um programa de desenvolvimento nuclear independente, com a formação do Estabelecimento de Pesquisas em Energia Atômica em Harwell. Harwell dedicou-se a todas as formas de pesquisa e desenvolvimento nuclear; mas nosso compromisso com a produção de material físsil em 1946 visava especificamente ao programa militar. O desenvolvimento imediato de reatores foi uma guinada nesse esforço de defesa.

Um programa extenso de pesquisa e investimento foi empreendido visando a construir uma capacidade nuclear e o escalonamento do programa foi acoplado aos processos sequenciais de produção de material físsil.

Em 1946 começaram em Springfields os trabalhos de construção de uma fábrica para a produção de urânio e elementos combustíveis, requerendo dispositivos complexos para processamentos químicos. Seguiu-se em 1947 a decisão de construir uma fábrica de plutônio em Windscale, envolvendo pilhas a grafite, resfriadas a gas, processando o combustível de Springfields, dotada também de facilidades para reprocessamento e tratamento do refugo.

O desenvolvimento em 1950 da instalação de Capenhurst para enriquecimento por difusão gasosa teve o sentido de prover um processo alternativo para a produção de material físsil para fins militares.

No desenvolvimento dessas instalações o trabalho de Harwell e Risley sobre reatores lançou os fundamentos do futuro

programa energético. A escolha de pilhas resfriadas a gas em vez de a água leve conduziu logicamente à linha de reatores de potência resfriados a gas. Mesmo em 1950 a energia nuclear não era considerada econômica em termos comerciais e na verdade as centrais geradoras de Calder Hall (1956) e de Chapelcross (1958) foram justificadas em bases comercial-militares. Entretanto a decisão de proceder à construção de instalações para a produção de plutônio e força elétrica em Calder Hall concluiu o estágio inicial de desenvolvimento tecnológico. Num lapso de dez anos a infraestrutura e direção do programa britânico de energia nuclear emergiram do projeto militar.

As diferentes facilidades para pesquisa e produção foram reunidas e submetidas à UKAEA\* em 1954. Em 1955 o programa nuclear comercial começou vigorosamente, com o anúncio do primeiro programa para a produção de força pela instalação de doze estações Magnox com uma capacidade total de 1500 - 2000 MWe\*\* a ser atingida em 1965. Contudo desde o início fatores políticos e econômicos combinaram-se para provocar flutuações na evolução do programa. A crise de Suez determinou uma expansão do programa que foi subseqüentemente reduzido, reescalonado e retardado, pela necessidade de comprimir os gastos de capital na economia britânica, pela disponibilidade de petróleo barato e pela emergência no Mar do Norte de uma ocorrência de gas e petróleo. Na onda das recentes elevações no preço do petróleo novas seqüências de decisões

---

\* - United Kingdom Atomic Energy Authority (NT).

\*\* - Megawatts de força elétrica (NT).

e re-aloções estão tendo curso.

Evidentemente a apreciação de programas nucleares futuros requer consideração cuidadosa das taxas de crescimento, fatores de carga, custos e suprimento de combustível. Na tentativa de estabelecer uma indústria - já um risco comercial devido às novidades de sua tecnologia - os erros de previsão podem causar confusão considerável. O único ensinamento claro que se pode extrair é que os benefícios decorrentes da adoção de programas a longo prazo devem superar os benefícios de se tentar adaptar investimentos vultosos para tirar vantagens de perturbações a curto prazo.

### A Infraestrutura Legal e Industrial

A experiência adquirida com o primeiro e o segundo programa nuclear exerceu um impacto considerável sobre a estrutura industrial que discutirei adiante. Através da experiência com esses programas fomos capazes de construir organizações oficiais e privadas para regular as atividades nucleares. Este é um elemento essencial de infraestrutura para políticos de qualquer Estado que se prepara para a introdução da força nuclear comercial.

#### a) A Infraestrutura Legal.

O acidente de 1957 em Windscale, no qual um reator nuclear pegou fogo, sublinhou a necessidade de uma regulamentação estrita da indústria nuclear. Embora a ocorrência não tenha resultado no desprendimento sério de materiais radioativos, proporcionou um ímpeto adicional para o desenvolvimento de agências fiscalizadoras.

Em 1959 a Autoridade\* criava uma Divisão de Segurança e Proteção\*\* submetida diretamente ao seu Conselho. A Divisão competia formular políticas de segurança e proteção à saúde bem como inspecionar instalações nucleares para assegurar a implementação de suas normas.

Ao mesmo tempo o governo estabelecia por lei uma Inspeção de Instalações Nucleares (NII). A Inspeção é a única fonte no Reino Unido para a concessão de licenças de construção e operação de qualquer instalação para a fabricação, armazenagem e processamento de combustível nuclear, contendo urânio enriquecido ou plutônio ou grandes estoques de material radioativo.

Em 1971 o governo decidiu que o número de instalações fora do controle da UKAEA se tornaria provavelmente tão grande que algumas das funções da Divisão de Segurança e Proteção deveriam ser exercidas numa base nacional. Um Conselho Nacional de Proteção Radiológica (NRPB) foi estabelecido por lei, absorvendo as funções de um pequeno Serviço de Proteção de Radiações e as responsabilidades de pesquisa da Divisão. O Conselho Nacional de Proteção Radiológica empreendeu pesquisas e aconselhou os departamentos do governo e outras organizações, inclusive a UKAEA, sobre todos os aspectos da proteção radiológica e proporcionou serviços adequados. A UKAEA retém um Diretório de Segurança e Confiabilidade, fonte singular para o desenvolvimento de práticas de segurança.

---

\* - United Kingdom Atomic Energy Authority (NT)

\*\* - Health and Safety Branch (NT)

O Conselho e a Inspetoria proporcionam os instrumentos principais para o controle da segurança na indústria nuclear, mas o governo britânico promulgou também regulamentos para cobrir todos os aspectos da atividade nuclear. Qualquer governo que adote um programa nuclear deveria estabelecer um corpo semelhante de leis administrativas e obrigações de amplo alcance.

Em adição ao Departamento de Energia seis outras repartições estão envolvidas diretamente na supervisão da indústria nuclear (Fig. 1):

1. Departamento de Saúde e Segurança Social: acidentes potenciais envolvendo produtos radioativos disponíveis para o público (em adição ao Conselho Nacional de Proteção Radiológica).

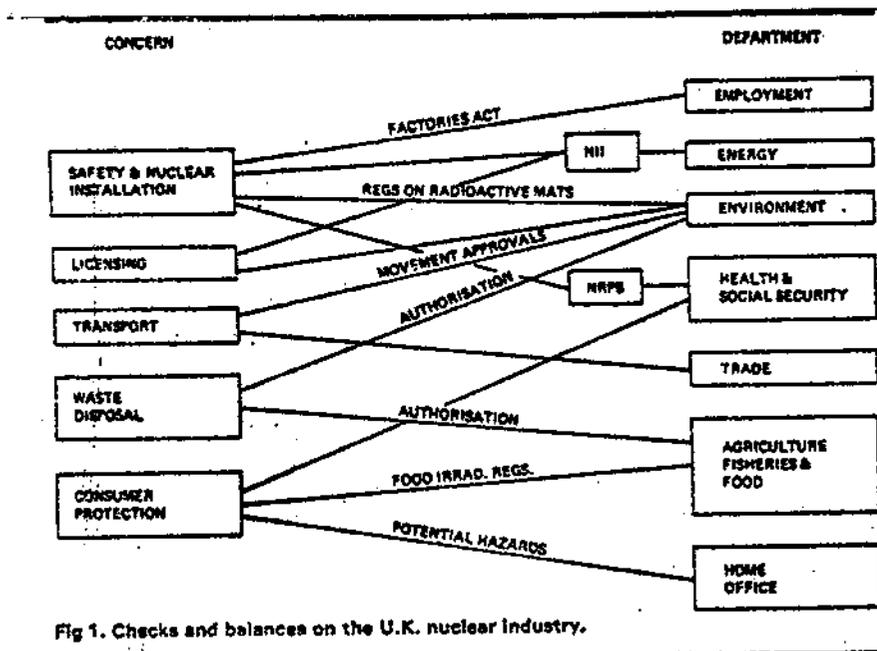


Fig 1. Checks and balances on the U.K. nuclear industry.

2. Departamento do Ambiente: regulamentos para o transporte interno, armazenagem e tratamento do refugo radioativo.
3. Departamento de Emprego: obrigações aos regulamentos de radiações do Ato das Fábricas 1961.
4. Ministério da Agricultura, Pesca e Alimentos: regulamentos a respeito da irradiação de alimentos; descarte do refugo especi-

almente no mar.

5. Departamento de Tráfego<sup>\*</sup>: transporte aéreo e marítimo de materiais radioativos.
6. Escritório do Interior<sup>\*\*</sup>: acidentes potenciais com produtos radioativos disponíveis para o público e de uso doméstico.

Essa estrutura proporciona uma série de pontos de prova e aferição do uso de materiais radioativos e assegura o comportamento regular da indústria nuclear atribuindo claramente as responsabilidades a repartições específicas.

b) A infraestrutura Industrial.

Em 1954 as diferentes facilidades governamentais foram reunidas na AEA<sup>\*\*\*</sup>, para coordenar o desenvolvimento da indústria nuclear. Esta e as modificações subsequentes na estrutura da Autoridade de estão ilustradas na Fig. 2.

Até o advento do programa comercial a Autoridade foi responsável pela pesquisa, desenvolvimento, construção, abastecimento e operação de todas as instalações nucleares. O objetivo era o de lançar as bases para o desenvolvimento posterior, estabelecendo a tecnologia e então transferindo-a à indústria. Constitui ponto aberto à discussão identificar a etapa mais difícil, se a do estabelecimento da tecnologia ou a de sua transferência. Quando a tecnologia é desenvolvida às custas de fundos públicos mas a indústria receptora é privada a questão de definir quem faz o que, quem paga a quem, não é fácil de responder.

---

\* - Department of Trade (NT)

\*\* - Home Office (NT)

\*\*\* - Atomic Energy Authority (NT)

Como foi indicado antes, a organização para o suprimento de combustíveis - o Grupo de Produção - começou apoiando o projeto militar mas desenvolveu-se e expandiu-se para usos pacíficos nos últimos vinte anos. Nova tecnologia foi desenvolvida quanto à instalação planejada de enriquecimento por centrifugação. O grupo de Produção proporcionou uma faixa completa de serviços de combustível que se tornou disponível internacionalmente. Quase trinta anos depois de tomar a decisão de construir Springfields, a transferência para a indústria ainda não foi completada. As operações comerciais do Grupo tornaram-se financeiramente independentes em 1965, com a criação de um Fundo de Comercialização. Esta separação foi formalizada com a criação da Combustíveis Nucleares Britânicos Ltda. (BNFL), em 1971, como uma subsidiária cujo único proprietário é a Autoridade. A transferência será completada futuramente com a emissão ao público de ações da companhia. As operações de produção de radioisótopos da Autoridade foram na mesma época acomodadas no Centro Radioquímico Ltda. (RCL).

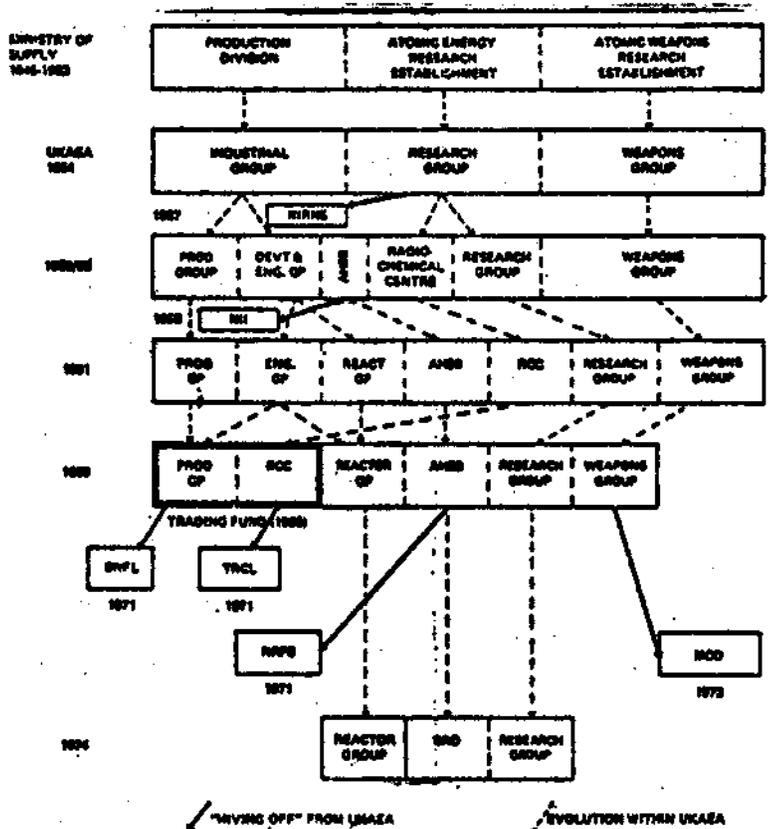


Fig 2. Evolution of the U.K.A.E.A.

proportionou uma faixa completa de serviços de combustível que se tornou disponível internacionalmente. Quase trinta anos depois de tomar a decisão de construir Springfields, a transferência para a indústria ainda não foi completada. As operações comerciais do Grupo tornaram-se financeiramente independentes em 1965, com a criação de um Fundo de Comercialização. Esta separação foi formalizada com a criação da Combustíveis Nucleares Britânicos Ltda. (BNFL), em 1971, como uma subsidiária cujo único proprietário é a Autoridade. A transferência será completada futuramente com a emissão ao público de ações da companhia. As operações de produção de radioisótopos da Autoridade foram na mesma época acomodadas no Centro Radioquímico Ltda. (RCL).

A transferência da tecnologia do combustível para a indústria parece promissora, mas envolve apenas uma mudança de nomenclatura. Uma mudança semelhante envolvendo a propriedade de uma organização completa aconteceu com a transferência do Grupo de Armas para o Ministério da Defesa, em 1973. A tentativa de transplantar a tecnologia de reatores para a estrutura industrial existente revelou-se muito mais difícil.

O desenvolvimento do sistema de geração de força nuclear envolve a aplicação de tecnologias complexas, interrelacionadas, por equipes altamente qualificadas. Essas equipes foram criadas nos Grupos Industrial e de Engenharia da Autoridade. Tentativas iniciais de simplesmente buscar transferir idéias para a indústria não lograram pleno sucesso; os tecnólogos e engenheiros na indústria não dispunham de experiência na prática e na teoria dos projetos de reatores.

No curso dos programas de pesquisa e desenvolvimento a Autoridade construiu cerca de 25 reatores de pesquisa e protótipos, variando em tamanho desde 10 Watt de débito térmico a 250 Watt de potência elétrica.

Os primeiros protótipos de reatores para Magnox, AGR, SGHWR e DFR\*, foram todos construídos nas instalações da Autoridade mas o segundo reator rápido, um Protótipo de Reator Rápido, foi construído em colaboração íntima com o Grupo de Força Nuclear (NPG) que é hoje parte da Corporação de Força Nuclear (NPC). Assim, para

---

\* AGR: Advanced Gas Reactor; SGHWR: Steam Generating Heavy Water Reactor; DFR: Developmental Fast Reactor. (NT).

o programa de reatores rápidos, já existe uma equipe com experiência tanto teórica como prática na construção de reatores. O HTR\* foi desenvolvido no Reino Unido através do projeto Dragão.

Para os reatores Magnox e AGR a indústria ganhou experiência pelas próprias mãos, isto é, pela construção de instalações comerciais. Para o SGHWR a indústria levou de fato toda a equipe de projetos da Autoridade, estando assim bem colocada para receber pedidos de construção.

A Autoridade consiste hoje de dois grupos: Grupo de Pesquisas, baseado em Harwell, e Grupo de Reatores, baseado em Risley. O Grupo de Reatores é responsável pela continuação do programa de desenvolvimentos. Existem em curso três projetos principais. O Reator Rápido está previsto para os 1980's e 1990's e o Reator de Alta Temperatura é um reator térmico de uso projetado dentro de uma escala de tempo semelhante, como parte de um programa equilibrado de reatores rápidos e térmicos. O Reator a Água Pesada Gerador de Vapor\*\* está disponível para programas térmicos correntes; projetos para uma estação comercial completa já foram preparados. O Grupo de Pesquisas continua seu compromisso original de examinar todos os aspectos da energia nuclear, inclusive um programa em expansão de pesquisa sobre a fusão, no Laboratório Culham.

O Conselho Central de Geração de Eletricidade (CEGB), o maior consumidor de instalações nucleares no Reino Unido constituiu seus próprios laboratórios para habilitá-lo a aferir projetos e

---

\* - HTR: High Temperature Reactor (NT)

\*\* - SGHWR (NT)

proporcionar os meios para otimização do ganho de suas estações. Os laboratórios estão engajados também com a segurança e confiabilidade de reatores; assim, no Reino Unido, o produtor, consumidor e o Estado, todos dispõem de facilidades para estudos de segurança e confiabilidade.

A indústria no Reino Unido divide-se portanto em quatro partes distintas: pesquisa e desenvolvimento - principalmente, mas não exclusivamente, aos cuidados da Autoridade; construção de estações de potência - pela Corporação de Força Nuclear; suprimento de

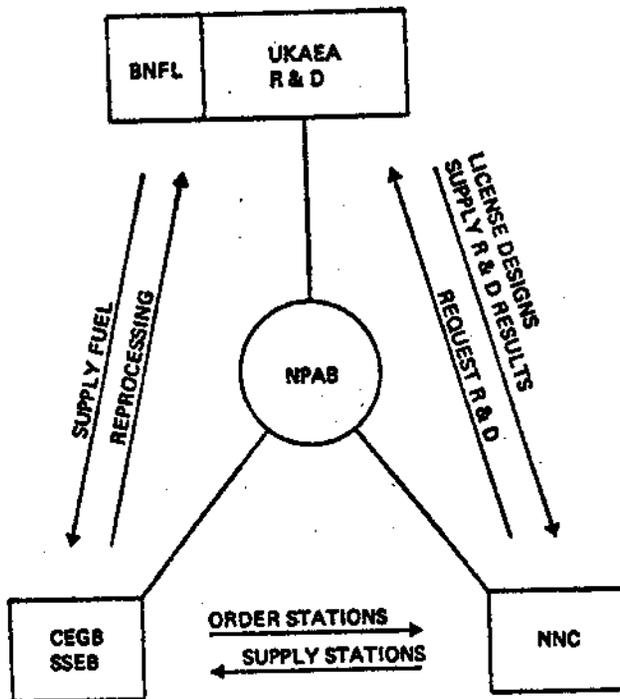


Fig. 3. Structure of the U.K. nuclear industry.

combustível - pela Com - bustíveis Nucleares Bri - tânicos Ltda.; e opera - ção - pelo Conselho Cen - tral de Geração de Ele - tricidade, na Inglaterra e no País de Gales e ou - tros Conselhos na Escó - cia. A indústria como um todo reúne-se para acons - selhar o governo no Con - selho Consultivo para For

ça Nuclear (NPAB). As relações entre essas partes e a posição do NPAB estão representadas na Fig. 3. O NPAB consiste de representan - tes da CEGB, do Conselho de Eletricidade da Escócia do Sul (SSEB) , do Conselho de Eletricidade (os consumidores), da Corporação Nucle - ar Nacional (os construtores), da Autoridade de Energia Atômica e de três membros independentes. O Conselho é presidido pelo Secretá

rio de Estado para a Energia; isto reflete as considerações políticas envolvidas em decisões importantes como as sobre força nuclear, demandando vultosos investimentos nacionais. A principal função do Conselho é a de proporcionar um fórum para todos os setores da indústria formularem ao governo seus pontos de vista. Um aspecto importante dessa função é o de aconselhar o governo na escolha dos reatores.

Os problemas que o governo britânico enfrenta para decidir sobre a adoção de diferentes sistemas de reatores traz à cena todas as considerações e toca a todos os organismos já mencionados. Talvez haja mecanismos mais simples - e deve haver-los mais rápidos - para formular decisões, mas opções de investimentos envolvendo bilhões de dólares e questões vitais de segurança não podem ser apressadas. Nem podem ser encontradas na retórica de partes interessadas como os agentes vendedores.

### Problemas Relevantes no Desenvolvimento de Reatores no Reino Unido

#### a) Reatores Térmicos.

O comprador em perspectiva de um reator térmico defronta-se com uma escolha diversificada de sistemas. Estes podem ser subdivididos em duas classes: os abastecidos com urânio natural e os abastecidos com urânio enriquecido. Reatores a urânio natural são dispendiosos mas são bons produtores de plutônio; reatores a urânio enriquecido apresentam um custo de capital muito mais baixo mas produzem menos plutônio por unidade de eletricidade debitada e requerem o suporte de uma indústria mais complicada para a produ -

ção de combustível. Pode-se notar de passagem que o reator CANDU\*  
exibe essas feições muito nitidamente: sua economia em combustível  
e produção de plutônio são excelentes mas seus custos de capital  
parecem situar-se um tanto acima da média.

Qualquer sistema de reatores a ser instalado no Reino  
Unido deve satisfazer a severos padrões de segurança pois exigimos  
que nossas estações nucleares possam ser instaladas em áreas vizi-  
nhas a concentrações urbanas para reduzir os custos de transmissão  
sem comprometer a segurança da população. A Inspetoria de Instala-  
ções Nucleares considerou que as últimas duas estações da série de  
AGR, presentemente em construção, satisfazem a essas exigências. Es-  
ses reatores satisfazem à Inspetoria porque são embutidos em va-  
sos de pressão a concreto pré-tendido. A Inspetoria exigiria satis-  
fação semelhante de qualquer sistema novo de reatores que viesse a  
ser escolhido.

Os métodos de controle de qualidade usados presentemente  
pela indústria para os reatores a gas-grafite teriam indubitavel -  
mente de ser modificados se se pretendesse construir uma série de  
LWR\*\*. Métodos talhados para um sistema usando resfriamento a gas  
não seriam adequados para as pressões muito mais elevadas associa-  
das com, digamos, o sistema PWR\*\*\*, com seu vaso de pressão de aço  
massiço, para o qual nossa indústria nuclear tem pouca experiência  
e as técnicas de aferição ainda não estão satisfatoriamente desen-  
volvidas. Ainda o NII exigiria que os procedimentos usados no con-

---

\* - Canadian Deuterium-Uranium (NT)

\*\* - LWR: Light Water Reactor (NT).

\*\*\* - PWR: Pressurized Water Reactor (NT)

trole de qualidade durante a fabricação de componentes e os padrões estabelecidos para materiais de qualquer sistema garantissem completa segurança durante a vida do reator.

O CEEB declarou que prefere comprar um reator de desempenho comprovado, tal como o PWR do tipo agora entrando em carga nos E.U.A., em vez de se envolver, como acontece com o AGR, na instalação de um sistema que não foi provado em escala comercial. O SSEB expressou preferência pelo SGHWR, que os impressionou mais favoravelmente. O projeto é tal que um representante do cliente pode controlar a qualidade da fabricação e o cliente pode contar com a possibilidade de fazer completas inspeções em serviço. Tais facilidades não são disponíveis com reatores a vasos pressurizados. O reator é de estrutura modular, para a qual o redimensionamento para escala maiores apresenta poucos problemas, mas a extrapolação do único prototipo pequeno (300 MW) construído pela Autoridade para o tamanho gigante exigido pela rede britânica constituiria um salto grande. O atrativo do "desempenho comprovado" é que ele diminui os riscos de despesas imprevistas durante a construção e a operação. A objeção é que "desempenho comprovado" implica em uma das seguintes alternativas. Primeiro, a duplicação de instalações anteriores, nenhuma das quais demonstrou ainda as suas características de envelhecimento, ou, segundo, abrir um crédito ao princípio de segurança por números, isto é, que X usuários não se podem equivocar.

Entretanto os riscos associados ao desenvolvimento do reator e à extrapolação de dimensões tem de aparecer em alguma parte; assim a tendência atual é de reduzir o impacto financeiro sobre as

organizações através da colaboração internacional. Os elevados custos marginais\* do projeto, desenvolvimento e construção de protótipos sugerem que os benefícios para todos os interessados podem ser obtidos pela colaboração internacional sobre sistemas avançados como os Reatores a Alta Temperatura e os Regeneradores Rápidos. Além disso o exame dos trabalhos de desenvolvimento e projeto de reatores por equipes de diferentes organizações e a discussão internacional tendem a evoluir na direção de assegurar melhores padrões de projeto, de engenharia e segurança bem como favorecer a consecução de objetivos econômicos.

Duas exigências que qualquer unidade geradora coloca em primeiro plano são aquelas de flexibilidade e confiabilidade. A primeira é necessária sempre que a estação deva acoplar-se a uma carga flutuante e acompanhá-la; e embora a presente geração de estações nucleares britânicas opere em regime de carga-base espera-se que as futuras estações sejam solicitadas a acompanhar a carga e capazes de assumir o regime de plena carga num intervalo de tempo muito curto. Analogamente a confiabilidade é um atributo necessário. Qualquer unidade busca evitar o embaraço e inconveniência decorrentes de cortes imprevistos para manutenção. Busca também evitar dificuldades associadas com reparos no reator que possam envolver trabalhos sob condições adversas. O problema dos cortes imprevistos é particularmente sério para os países com rede de pequenas dimensões, onde uma só estação de grande porte pode acomodar uma

---

\* - Overhead costs (NT).

proporção elevada da carga-base. Estas considerações requerem o controle mais cuidadoso desde o estágio de projeto até a fabricação de componentes e a construção. Uma faceta adicional, embora não tão vital como aquelas mencionadas, é a do custo dos suprimentos alternativos de eletricidade. Estes suprimentos são usualmente disponíveis apenas através de estações abaixo do nível de desempenho e são, por conseguinte, muito dispendiosos.

A disponibilidade de sítios adequados, especialmente do ponto de vista do suprimento satisfatório de água para refrigeração, é um outro fator adicional que afeta a escolha dos reatores. Em localidades onde a água para refrigeração é escassa existe um bom caso para a instalação de reatores de alta eficiência térmica, tais como o HTR, que usa menos água que os reatores térmicos do tipo LWR.

Outras considerações afetando a escolha do reator são as relacionadas com o suprimento de serviços de combustível, tais como enriquecimento, fabricação e reprocessamento.

Considerações secundárias para a escolha de reatores mas que podem ser relevantes para países em desenvolvimento envolvem apreciações sobre a disponibilidade de projetos para instalações em redes nacionais relativamente pequenas. Aplicações de processos térmicos podem ser particularmente atrativas para países em desenvolvimento que tem oportunidade para construir complexos de força industrial dentro dos quais o calor de origem nuclear pode ser distribuído eficientemente como vapor de alta qualidade. A indústria e outras organizações no Reino Unido e na Europa como

um todo estão estudando a viabilidade do HTR vir a satisfazer essas exigências.

b) A Importância Central dos Reatores Rápidos.

O "World Survey N.E.A./O.E.C.D." 1973 - Recursos em Urânio, Produção e Demanda - prevê que as reservas presentemente assegura

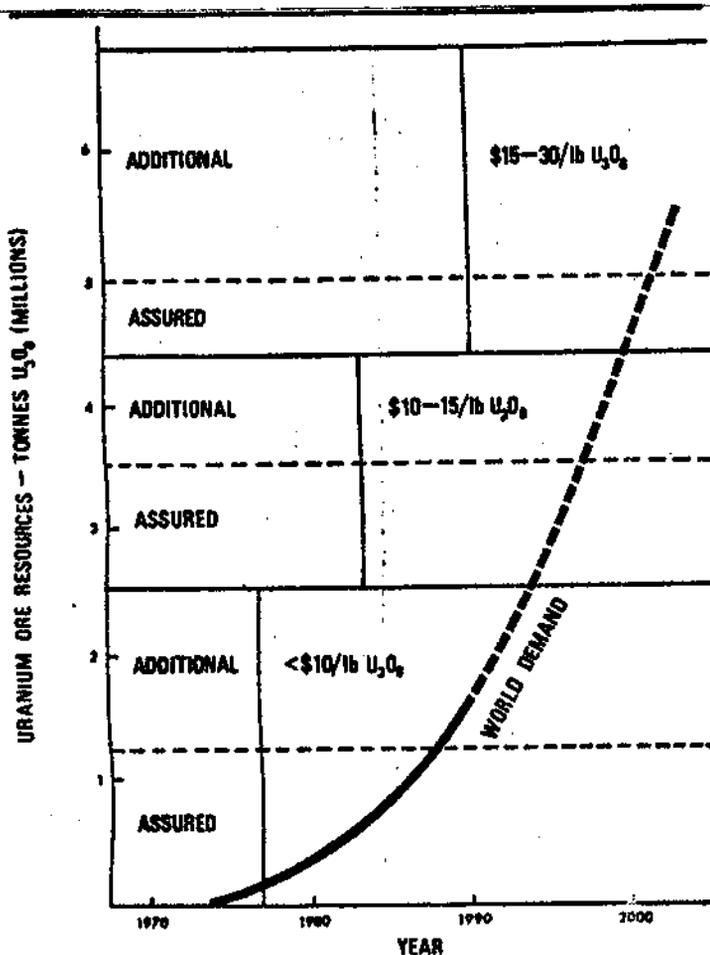


Fig 4. Estimated "world" uranium ore resources and demand using thermal reactors. Reproduced by permission of B.N.E.S.

radas de urânio podendo ser produzido a um custo de até US\$10.00 por libra-peso de  $U_3O_8$ , proporcionariam combustível somente até 1987 para um programa nuclear mundial (não-Comunista) baseado em projeções nacionais (Fig. 4). A indústria de mineração deve manter uma reserva antecipada correspondente à produção de cerca de oito anos para assegurar o suprimento de urânio na taxa necessária. Isto significa que antes de 1980 a indústria precisará começar a trabalhar no desenvolvimento

de reservas adicionais, a extensão das quais não se encontra ainda firmemente estabelecida. Embora os preços crescentes venham a estimular explorações que conduzam à descoberta de novos recursos, há limitações ambientais à exploração das jazidas mais pobres de urânio. To

dos os países nucleares estão voltando atenção para a necessidade de considerar meios alternativos de superar a escassez de urânio. O único método prático é proporcionado pelo reator rápido.

A justificativa primordial para o desenvolvimento do sistema de reator rápido repousa na sua excelente utilização do urânio, cerca de 70% do limite teoricamente possível, comparado com 1-2% para reatores térmicos, resultando em custos mais baixos do combustível básico e exigências mínimas das jazidas uraníferas. A última consideração é particularmente importante porque a posição do suprimento de urânio se tornará provavelmente crítica na altura dos 1990. A introdução de um reator que pode ser abastecido com plutônio produzido em reatores térmicos, misturado com urânio despojado de U-235 nos mesmos reatores, é certamente um passo sensato para o conjunto da indústria de força nuclear.

O melhor uso para o plutônio produzido em reatores térmicos é queimá-lo num reator rápido porque todos os isótopos do plutônio são físséis num fluxo de nêutrons rápidos e mais plutônio pode ser regenerado nas mantas de urânio\* do que é queimado no núcleo do reator. A alternativa de queimar plutônio num reator térmico é menos eficiente de vez que apenas os isótopos Pu-239 e 241 são físséis. Na realidade estudos estratégicos promovidos no Reino Unido confirmaram que a maneira mais econômica de utilizar o plutônio é armazená-lo até que um sistema de reator rápido seja instalado; e esta é a abordagem adotada. A vantagem para o Reino Unido de

---

\* uranium blankets (NT)

ser menos dependente das importações de combustível será provavelmente suplementada por economias de cerca de US\$200-400 m por ano, nessas importações, pelo ano 2000, crescendo rapidamente daí em diante.

A existência de bons produtores de plutônio, por exemplo as estações Magnox, no sistema gerador do Reino Unido significa que um estoque substancial terá sido acumulado ao tempo em que os reatores rápidos serão operativos em escala comercial. A necessidade para a compra de plutônio fora do sistema não está sendo contemplada nem tampouco a sua venda. Também é discutível se ou não outros países que esperam possuir estoques substanciais brevemente, venderão a países desejosos de iniciar seus próprios reatores rápidos. Além disso, não havendo competição para esses suprimentos não poderá haver certeza quanto ao fornecimento de plutônio nem incentivos para preços atraentes. É provável portanto que uma proporção significativa da capacidade em reatores térmicos deva ser instalada e tenha de ser operada antes que um país possa introduzir e sustentar um programa de estações de força a reatores rápidos. O urânio para um tal programa poderia ser obtido do combustível reprocessado dos reatores térmicos e não deveria apresentar problemas de suprimento.

Os reatores rápidos encontram-se agora na fase de protótipos e estações comerciais de grande porte começam a ser projetadas para comissionamento por volta do início até a metade dos 1980's. A eletricidade obtida a partir dos projetos correntes de reatores rápidos tende a ser cara por causa do elevado custo de

capital do sistema de suprimento do vapor nuclear, comparado com o custo de estações térmicas com débito elétrico semelhante. Contudo é razoável esperar que a diferença em custos diminua substancialmente à medida que se ganha experiência com a construção dos reatores rápidos. Ciclos de combustível a custos muito baixos são previsíveis para o reator rápido, enquanto que os custos do ciclo de combustível dos sistemas a reatores térmicos se elevarão com os preços do minério de urânio. Isto sugere que os custos de geração dos reatores rápidos cairão abaixo daqueles das estações térmicas em futuro previsível.

Não há hoje qualquer motivo para supor que uma estação a reator rápido seja mais difícil de operar que uma estação a reator térmico. A área residual de dúvida está fortemente concentrada na segurança, especialmente no que se refere ao núcleo do reator e ao sódio de refrigeração. O desenvolvimento de testes e padrões está sendo promovido em escala crescente através da colaboração internacional visando à identificação de critérios de segurança aceitáveis. Os trabalhos no Reino Unido visam a estações comerciais que possam satisfazer aos critérios do NII e permitam localização vizinha a centros urbanos.

O cronograma de introdução do reator rápido é importante em vista da carência previsível de urânio. É provável que uma parcela substancial de eletricidade mundial seja produzida nessas estações pelo ano 2000. No Reino Unido um protótipo de 250 MWe está sendo agora contratado. Um contrato para uma estação comercial de 1300 MWe, CFR1, será provavelmente colocado em 1976, a entrada em

carga sendo esperada para 1983; e uma segunda estação deverá ser con-  
 tratada em 1981, quer dizer, antes que a primeira entre em opera -  
 ção. Essa confiança decorre do protótipo que incorpora tantos aspect  
 tos quanto possível nas instalações comerciais. Outras estações são  
 contempladas numa sequência rápida após essas, como apresentado na  
 Fig. 5, de modo que em 1990 possa haver cerca de 6000 MWe de capaci-  
 dade em reatores rápidos, elevando-se a cerca de 50000 MWe pelo ano  
 2000.

O projeto de circuito primário dos reatores rápidos tem  
 duas variantes: o tipo piscina, em que todas as componentes estão con  
 tidas num grande tanque cheio com sódio; e o tipo espira\* onde as  
 bombas circulantes e os trocadores intermediários de calor (sódio pa  
 ra sódio) são externos ao vaso principal do reator. Os projetos no  
 Reino Unido se tem concentrado no tipo piscina mas tanto o SNR-300, na

Alemanha como o LMFBR\*\*  
 nos E.U.A., escolheram  
 projetos em espira. Ca-  
 da variante tem seus mé  
 ritos próprios e possí  
 veis inconveniências; in  
 tima ligação e colabora  
 ção internacional estão  
 sendo promovidas nessa  
 área de modo que é mui  
 to provável que um pro  
 jeto comum otimizado ve

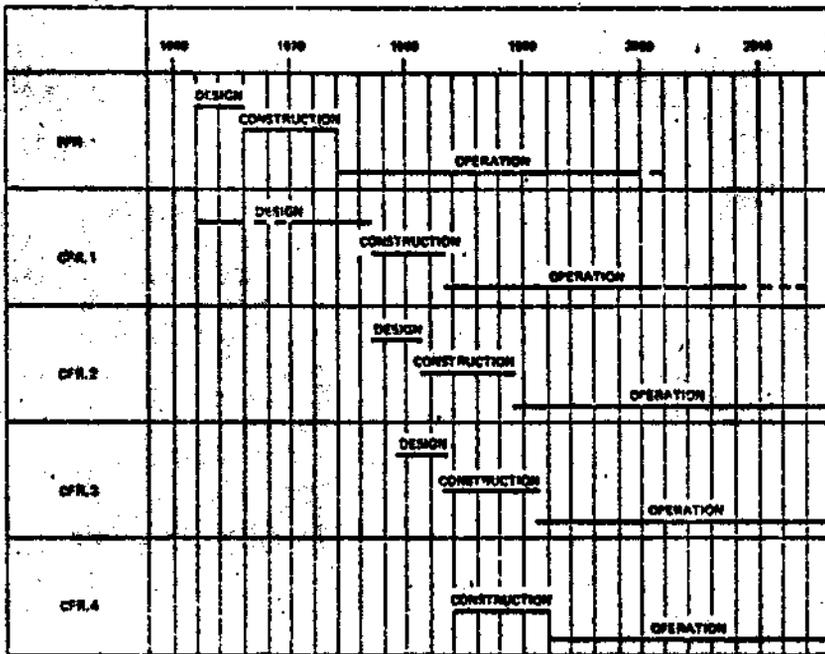


Fig 5. Early C.F.R. installation programme.

\* loop type (NT)

\*\*LMFBR: Liquid Metal-cooled Fast Breeder Reactor

nha a ser encontrado.

O estoque total deve ser completamente duplicado com plutônio gerado antes que um segundo reator rápido possa ser introduzido no sistema e sustentado. O tempo requerido para isto é conhecido como tempo de duplicação e constitui uma parte importante dos programas de R & D a busca da sua redução. Um método para consegui-lo é reduzir os materiais no núcleo do reator que absorvem nêutrons improdutivamente, como o revestimento, materiais estruturais, refrigerante, etc e um dos resultados dessa abordagem é o reator rápido refrigerado a gas. Outro método consiste em usar combustíveis com melhores propriedades regeneradoras que o costumeiro  $\text{PuO}_2/\text{UO}_2$ . Testes de irradiação com misturas de carbonetos de (U, Pu) encontram-se em progresso.

### Abordagem Conceitual para a Introdução da Força Nuclear

Países de todo o mundo estão agora reconhecendo a importância da força nuclear no suprimento de suas demandas de energia. Em particular as economias que até agora usaram relativamente pouca "energia comercial" estão crescendo tão rapidamente que a demanda de fontes de energia com elevada eficiência está em muitos casos ultrapassando o suprimento de fontes nativas. Até recentemente essa demanda era usualmente satisfeita pela importação de petróleo mas a elevação dos preços de 1973/1974 resultou em sérias dificuldades na balança de pagamentos dos países em desenvolvimento (Fig. 6).

Nesse contexto a produção de eletricidade em estações nucleares é uma proposta de crescente atrativo para os países em de -

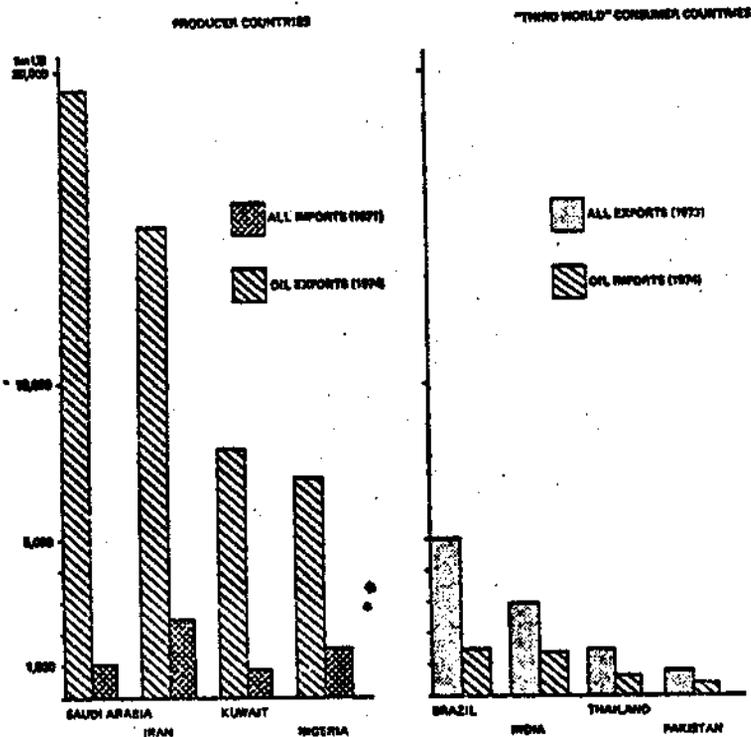


Fig 8. Balance of payments effects.

envolvimento.

Nesta seção discuti tirei primeiro o conceito de um sistema de força nuclear e então examinarei as medidas, opções e problemas a serem enfrentados na consecução daquele objetivo.

Um sistema plenamente desenvolvido de geração de eletricidade é aquele em que um porcentual elevado (até 85%) da eletricidade é produzido por um sistema

equilibrado de reatores térmicos e rápidos. Num tal sistema os reatores térmicos queimam urânio, quer em seu estado natural quer com algum grau de enriquecimento, e produzem urânio despojado e plutônio, com os quais abastecem os reatores rápidos. O número requerido de cada tipo de reator e o momento adequado para a sua construção dentro de um programa nuclear global podem ser facilmente calculados segundo um critério de custo mínimo para o sistema total.

Antes de considerar um tal sistema como um objetivo da política energética, contudo, se deve notar que países em estágio embrionário da força nuclear precisarão de vários anos de operação com reatores térmicos até que tenham produzido quantidade suficiente de plutônio doméstico para abastecer seus reatores rápidos. Não é fácil prever, a partir dos dados presentes, uma situação em que o plutônio

se torne disponível para a venda a esses países.

A constituição de uma capacidade em força nuclear deve começar com um programa planejado de reatores térmicos. Nos casos em que o sistema gerador de eletricidade seja razoavelmente pequeno no presente, o tamanho das primeiras estações será importante, de modo que o rompimento do sistema em virtude de eventuais indisponibilidades de reatores possa ser minimizado.

Provavelmente os reatores mais econômicos em tamanhos pequenos serão aqueles de construção modular, tais como o SGHWR (Reino Unido) ou o CANDU (Canadá). Tem a vantagem de poderem ser construídos também em maiores tamanhos e assim a transição a estações de maior porte não requererá o retreinamento de pessoal em larga escala.

A opção básica que um país enfrenta para erigir um sistema de força nuclear reside na extensão a que pretende levar sua própria indústria nuclear e instituições. Há certamente muitas vantagens em adotar a política de comprar equipamentos, serviços e experiência. Em primeiro lugar permite que o programa de instalação tenha uma partida rápida, sem os ônus de estabelecer primeiro todos os elementos de infraestrutura. Além disso o que se compra são anos de experiência nas mãos dos fabricantes de reatores e combustível e as garantias de entrega, desempenho e segurança que acompanham aquela experiência. Comprar pode ser também o caminho mais barato para ação a curto prazo.

Entretanto nenhum país em desenvolvimento desconhecerá as desvantagens. Além do custo em moeda estrangeira a política de

compra deixa o país com estreita margem de experiência local, capacidade de fabricação e infraestrutura e numa posição mais difícil, partindo da qual possa reduzir seu atraso. Ficará à mercê de decisões impostas de fora para dentro sobre preço, local de fabricação e mão de obra a ser empregada.

Toma muitos anos e muitos gastos para estabelecer uma infraestrutura plenamente desenvolvida, compreendendo instalações para a fabricação de reatores e componentes, pessoal para contratos e operação,

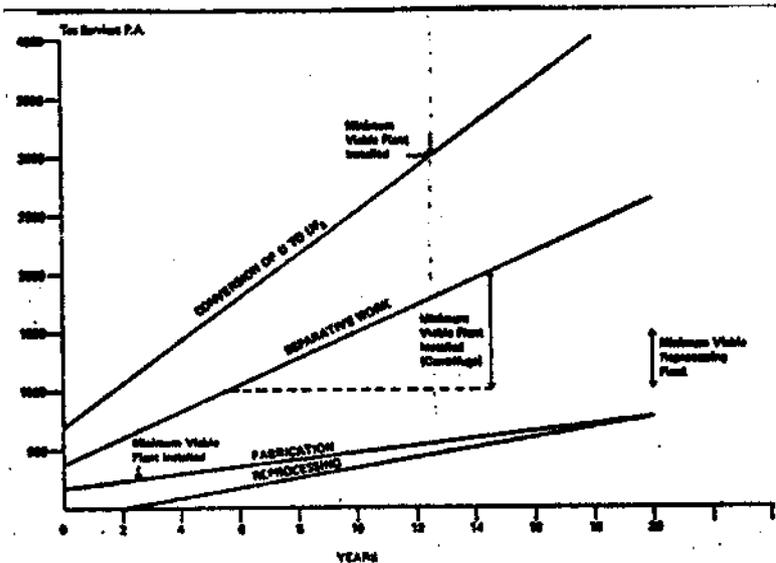


Fig 7. Requirements for nuclear services (30 GWe capacity).

instalações para fabricação, enriquecimento e reprocessamento de combustível, serviços médicos e de segurança, escolas para treinamento de pessoal, serviços para o tratamento do refugo, inspetorias nucleares independentes, etc. Obviamente nem tudo isto pre-

cisa estar de pé antes que a primeira estação comece a operar mas um país que se coloque esses objetivos deverá assegurar-se no devido tempo que dispõe dentro de seus limites dos recursos e habilitações com os quais continuar independentemente no caminho escolhido.

É difícil dar uma visão de como uma nova indústria de força nuclear deva evoluir no tempo, por causa de problemas de escala, das opções pela política de compra, e das possibilidades de colaboração com outros países.

A Fig. 7 mostra o crescimento anual dos serviços de combus-

tível necessários para apoiar uma instalação nuclear hipotética que crescesse linearmente até 30 GWe<sup>\*</sup>. Para fixar a taxa de evolução su põe-se que essa instalação será completada num período de 20 anos . Ao tempo em que os primeiros reatores são contratados alguns serviços de combustível já terão sido adquiridos, por exemplo, conversão de urânio, enriquecimento e fabricação de combustível mas o repro - cessamento será dispensável até que combustível bastante para fazer a operação econômica tenha sido removido e resfriado suficientemen - te.

Os tamanhos aproximados das instalações atingidos os quais, nas presentes condições, a operação independente se torna conveniente são:

Conversão para UF<sub>6</sub><sup>\*\*</sup> : - 3000 Tes de UF<sub>6</sub> p.a. (2000 Tes U)

Enriquecimento:

difusão : - 9000 Tes SW p.a. (5300 Tes U a 2%; ou - 2600 Tes U a 3%)

centrifugação : - 1000-2000 Tes SW p.a. (~ 900 Tes U a 2%)

Fabricação de Combustível:

UF<sub>6</sub> a pó<sup>\*\*</sup> de UO<sub>2</sub> : - 250 Tes U p.a.; pastilhas - 250 Tes U p.a.

Embalagem e Montagem - 125 Tes U p.a.

Reprocessamento : -1000 ~ 1500 Tes metal pesado p.a.

A construção e o comissionamento dessas instalações devem ser considerados no planejamento e evolução de uma indústria inte - grada. O tempo admitido dependerá da experiência prévia nessas tec - nologias e intervalos típicos de tempo para a consecução de objeti -

---

\* 1 GWe = 1000 MWe (NT)

\*\* CANDU requer instalações para UOC → UO<sub>2</sub>

vos, para esse tamanho das instalações construídas em condições típicas do Reino Unido são:

Conversão para  $UF_6$  : - 3-4 anos

Enriquecimento :

difusão : - 6-8 anos

centrifugação : - 4-5 anos

Fabricação de Combustível :  $UF_6 \rightarrow UO_2$  :

pó : - 3 anos

pastilhas : - 3 anos

embalagem e montagem : - 3 anos

Reprocessamento : - 8 anos

Esses tempos podem ser afetados por problemas locais em setores como da disponibilidade de áreas de localização, licenciamentos, treinamento de pessoal, finanças, etc.

As grandes diferenças entre as capacidades econômicas desses componentes do ciclo de combustível significam que o casamento das diferentes unidades numa indústria integrada independente não é apenas dispendioso mas requer também um programa nuclear doméstico substancial ou vendas para programas no exterior. As diferenças entre essas capacidades econômicas mínimas surgem dos graus extensamente diversos de complexidade técnica das operações e dos correspondentes custos de capital da instalação e equipamento requeridos para pleno funcionamento. Por exemplo uma instalação para enriquecimento por difusão gasosa envolve sequências complicadas de custosos compressores, refrigeradores e membranas, ocupando uma grande área, suportada por um sistema de geração de eletricidade

substancial, enquanto que uma linha de embalagem e montagem para a qual converge a maior parte, senão todos os componentes do elemento combustível, pode perfeitamente consistir apenas de equipamento leve para encapsulamento, solda e acessórios, bem como de uma área de inspeção e alguns escritórios.

Tão logo a instalação para reprocessamento de combustível seja estabelecida, estoques de plutônio podem ser purificados e transformados em combustível para reatores rápidos. Seria provavelmente um erro para qualquer país planejar a introdução de reatores rápidos, qualquer que seja a escala, antes que as primeiras instalações comerciais entrem em operação nos países que desenvolveram o sistema e é claro que países fornecedores podem suprir componentes de reatores, treinamento para operadores e garantias adequadas de desempenho e segurança.

A colaboração com outros países (talvez através de arranjos regionais ou tratados) para a construção da infraestrutura já foi mencionada acima. É quase inevitável que um novo país nuclear terá ligações íntimas com um ou mais países desenvolvidos - para a fabricação de reatores, treinamento, suprimento de combustível, etc. - nas etapas iniciais. É mais difícil para um país decidir constituir um grupo com outros países em posição semelhante. Vantagens podem resultar da coparticipação em instalações - por exemplo para a manufatura do combustível - que poderiam não ser econômicas para um só país. Experiência em operação poderia ser compartilhada em facilidades conjuntas de treinamento. Tais agrupamentos poderiam servir para estreitar laços que já existem entre países através da repre -

sentação em diferentes organizações de assistência econômica como o CENTO\*\* . Quem sabe, o fato da interdependência econômica possa ele próprio vir a ajudar nessa estabilidade ? É oportuno lembrar também que empreendimentos conjuntos\* desse tipo requerem tempo e esforço para fazê-los funcionar satisfatoriamente, de modo que os objetivos individuais das nações não sejam atingidos uns às custas dos outros. Entretanto o CENTO proporciona um esquema de colaboração e eu estimo que este simpósio produza algumas propostas de desenvolvimento conjunto.

### Serviços de Apoio

Para concluir gostaria de descrever com um pouco mais de detalhes as habilidades e serviços que seriam exigidos num país iniciando-se na construção de instalações de força nuclear. É obviamente desnecessário, para países que compram instalações de força nuclear, começar criando uma grande organização de pesquisas, mas alguma capacidade é necessária para a avaliação de méritos, e particularmente da segurança e tolerância ambiental dos diferentes sistemas de força, para assegurar que seus elevados investimentos em instalações nucleares são plena e adequadamente explorados. Os seguintes itens serão considerados:

- (i) Apreciações précontratuais
- (ii) Supervisão de contrato
- (iii) Fabricação de reator

---

\* joint ventures (NT)

\*\* Central Treatise Organization (NT).

- (iv) Treinamento de Pessoal
- (v) Equipes de físicos sanitaristas e de registro radiológico
- (vi) Tratamento do refugo no sítio do reator
- (vii) Inspeção da instalação nuclear
- (viii) Atividades do ciclo de combustível

A IAEA\* tem sido certamente muito ativa na maioria dessas áreas. A recente elevação nos preços do petróleo aumentou grandemente a importância de suas atividades. Muitos países que estavam acomodadamente acumulando conhecimentos com vistas ao uso possível da força nuclear a longo prazo enfrentarão agora os problemas conspicuamente. Vou portanto realçar as formas de assistência especializada que o Reino Unido poderia em princípio oferecer, em termos convenientes, para tais países.

#### A. Requerimentos Iniciais de Infraestrutura

##### (i) Apreciações Précontratuais

Antes de abrir concorrência para uma estação nuclear sua posição na rede geradora deve ser apreciada. As considerações principais são o tamanho e a localização geográfica. Assessoramento independente é disponível na IAEA e outros sobre ambos os aspectos da apreciação de sistemas. O Diretorio de Segurança e Confiabilidade (SRD) da UKAEA pode aconselhar sobre avaliações da localização com respeito a riscos inflingíveis à população em condições de acidente e rotina. O Conselho Nacional de Proteção Radiológica do Reino Uni-

---

\* International Atomic Energy Agency (NT)

do pode aconselhar sobre proteção radiológica no momento em que um local entre em consideração.

A escolha do tipo de reator também deve ser feita nesta etapa. As considerações envolvidas no recente debate no Reino Unido e os principais pontos de interesse para países em desenvolvimento foram destacados acima. Por causa dos diferentes interesses nacionais em jogo pode ser difícil obter sugestões quanto ao sistema a adotar. Os pontos principais, entretanto, são que se deve concentrar inicialmente numa série de reatores do mesmo tipo e que se deve ter suficiente confiança no parceiro escolhido para acreditar nas suas diretrizes para a criação de experiência local.

#### (ii) Supervisão do Contrato

Quando as propostas são recebidas, sua apreciação pode requerer qualificações ainda não disponíveis na engenharia local. Há vários consultores (ANS no Reino Unido) que são competentes para assumir essas tarefas e também para supervisionar o planejamento a evolução e o controle de qualidade no projeto de construção. A apreciação da confiabilidade do sistema de interrupção e outros aspectos do projeto do reator podem ser empreendidos pelo Serviço de Confiabilidade de Sistemas da UKAEA. Os países em desenvolvimento podem visar a empregar seus próprios especialistas nas posições de liderança afetando essas tarefas nas estações subsequentes, recorrendo aos consultores apenas quando necessário.

#### (iii) Fabricação do Reator

Uma parte ponderável de uma estação de força nuclear

consiste em trabalhos de engenharia de construção civil e pode absorver mão de obra local. Facilidades para a fabricação de componentes e itens subsidiários poderiam também ser estabelecidas em etapa posterior, reduzindo assim a dependência de fornecedores externos. As partes restantes da indústria poderiam ser agregadas mais tarde. O fabricante do tipo escolhido de reator estará provavelmente interessado em estabelecer uma instalação para a fabricação local e estender seus laços de relacionamento com o país cliente. Por exemplo, deve-se esperar que o fabricante tenha interesse em agregar às suas próprias equipes pessoal selecionado em projetos, contratos e de operações, durante o período de construção.

#### (iv) Treinamento de Pessoal

Tão logo o contrato é aprovado, pessoal adequado deve ser enviado para treinamento operacional com o fabricante do reator. Outros requererão preparo em problemas de projeto e segurança do reator, administração do combustível, etc. A UKAEA mantém vários desses cursos em Harwell.

#### (v) Equipes de Físicos Sanitaristas

Num dos primeiros estágios de implantação da força nuclear deve-se criar as equipes locais para operar os serviços de física da saúde e registro radiológico no interior dos edifícios do reator e nas vizinhanças. Em uma etapa (possivelmente posterior) parte desse pessoal poderá ser destacado para formar o núcleo de um conselho nacional de proteção radiológica. O NRPB no Reino Unido oferece cursos sobre esses assuntos e pode arranjar estágios de

treinamento para adquirir experiência na operação de instalações da CEGB ou da indústria química.

(vi) Tratamento do Refugo

Emanações gasosas nos locais dos reatores devem ser registradas e controladas; refugo líquido ou sólido deve ser adequadamente depositado ou descartado. A UKAEA pode aconselhar sobre esses assuntos.

B. Adições Posteriores à Infraestrutura

(vii) Inspeção da Instalação Nuclear

Pessoal local com experiência adquirida nas etapas anteriores em examinar contratos para novos reatores, pode formar o núcleo de uma inspetoria nuclear. A instituição das inspetorias deve ser planejada por pessoas com bom trânsito pela estrutura política do país porque a inspetoria deve agir como fiscal do fornecedor do reator e da unidade de eletricidade, recusando a permissão para desenvolvimentos que não se acomodem ao interesse público a prazo longo. Tanto a UKAEA como a NII podem assessorar e ajudar na instituição de inspetorias.

(viii) Atividades do Ciclo do Combustível

Como já mencionado, o estabelecimento local da fabricação de combustível não será normalmente econômico abaixo, digamos, de 10000 MW de capacidade nuclear instalada. Até que esse estágio seja atingido muitas companhias no mundo inteiro poderão fornecer o combustível do reator dentro de arranjos comerciais padronizados.

O Reino Unido pode oferecer os serviços de combustível da BNFL\*, nesse contexto. A BNFL pode também ajudar um país que deseje construir sua própria indústria de combustível.

Finalmente todos os países nuclearizados se defrontarão com o problema de armazenar ou descartar-se de quantidades crescentes de refigo líquido altamente ativo, resultante dos processos do ciclo do combustível nuclear. No presente um país novo na força nuclear poderá evitar esse problema comprando todo o seu combustível no exterior e devolvendo o resíduo após a irradiação. Mas não é completamente certo que os países reprocessadores desejem aceitar indefinidamente essas adições a seus estoques de refigo. Uma possibilidade é fazer o refigo de alta atividade retornar ao país cliente após um período de resfriamento e devidamente embalado. Por essa época os fornecedores de combustível serão capazes provavelmente, de oferecer sugestões e assistência para a armazenagem ou descarte do refigo devolvido.

### Conclusões

1. O Reino Unido desenvolveu a força nuclear em 20 anos, após ter dado a partida através de um intenso programa militar.
2. Nossa indústria nuclear tem até agora se desenvolvido quase inteiramente usando apenas recursos técnicos disponíveis no Reino Unido.
3. E temos recebido constante atenção do governo através de financi

---

\* British Nuclear Fuel Ltd. (NT).

amentos e de legislação detalhada, da criação de inspetorias especializadas e organismos de assessoramento. Também desfrutamos das atenções de meia dúzia de departamentos governamentais.

4. Em consequência de todas essas vantagens hoje possuímos uma ampla e muito eficiente organização capaz de assegurar a integração da força nuclear em nossa vida econômica.
5. Essa experiência custou um preço elevado.
6. Qualquer nação agora no início da rota para a introdução da força nuclear pode extrair lições de nossos erros tão bem como de nossa experiência. Pode beneficiar-se de relações de igual para igual com um país mais desenvolvido sobre uma ampla faixa de tópicos e problemas. Pode também cuidar de refletir sobre a história e vicissitudes de nosso desenvolvimento.
7. A colaboração entre países em estágios comparáveis de desenvolvimento pode acelerar o progresso e organizações do tipo CENSO podem proporcionar um esquema para isso.

### Agradecimentos

O Autor deseja agradecer a numerosos colegas na Autoridade e outros organismos, e em particular a F.W. Bamford e D. S. Briggs (BNFL) por sua assistência na preparação deste artigo.