

# ENERGIA TECNOLOGIA E DESENVOLVI MENTO

## A QUESTÃO NUCLEAR

Affonso da Silva Telles /  
Alberto Luiz Coimbra / Alcir  
Monticelli / Antônio Barros  
de Castro / Cássio Sigaud /  
Frederico B. M. Gomes / Jair  
Mello / José Goldemberg /  
Kurt Rudolf Mirow / Luiz  
Pinguelli Rosa / Mário  
Schemberg / Paul Singer /  
Rômulo de Almeida / Severo  
Gomes / Silvio de Abreu  
Puppo

## I. O CRESCIMENTO DA ECONOMIA BRASILEIRA E A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

*Antônio Barros de Castro (UNICAMP)*

A acelerada expansão do mercado de energia elétrica — cujo consumo vem dobrando a cada 6/7 anos — e a necessidade de que os investimentos tenham início com vários anos de antecedência — de 6 a 10 anos — impõem a permanente existência de um enorme volume de obras em andamento. Mais precisamente, a excepcional taxa de expansão do mercado de energia elétrica e o longo prazo de maturação das obras vêm impondo nos últimos anos que a relação entre a capacidade que se está instalando e a que se encontra em operação seja superior a 1,5 para 1. Presentemente, por exemplo, dispõe o país de cerca de 20.000 Mw em funcionamento, enquanto se encontram em diferentes estágios de construção cerca de 30.000 Mw. Trata-se, portanto, de um setor que opera com um amplo horizonte temporal, obrigado a prever a longo prazo e a antecipar decisões que viabilizarão o crescimento futuro da economia. Dado o que precede (e o montante gigantesco de recursos absorvidos pelo setor), compreende-se que a sua expansão tenha que ser *programada*. Vejamos sumariamente como isto vem sendo feito.

A programação do crescimento do setor engloba três momentos ou estágios: (a) a estimativa do mercado futuro; (b) a escolha das novas obras a serem iniciadas, tendo em vista os aproveitamentos hidráulicos e outras fontes disponíveis e as necessidades do mercado; (c) a obtenção de cobertura financeira.

Presentemente, ao que parece, vêm surgindo delicados problemas em cada um dos três estágios, colocando em xeque a maneira de proceder tradicionalmente estabelecida no setor. Vejamos por que, passando por alto inúmeros aspectos e fixando-nos apenas em umas poucas questões de particular interesse para o debate atual. Fixemo-nos, de início, sobre a estimativa de mercado.

Admite-se, genericamente, que, dada a *escassa* margem de substituição de energia elétrica por outras formas de energia (e vice-

versa), é válido considerar como bastante estável a relação entre o crescimento do PIB e o mercado de energia elétrica. Assim, se o PIB continuasse a crescer a 10% ao ano, era de se esperar que o consumo de energia elétrica se expandisse a 12% anuais.

Como todos sabem, a estimativa contida no II PND para o crescimento da economia no período 1975-79 — ou seja, 10% ao ano — carecia de fundamento. A economia não cresceu e *não poderia* ter crescido a esse ritmo. Basta lembrar que isto dependeria de um crescimento de 20% anuais das exportações, hipótese que equivale a ignorar, literalmente, as condições críticas em que se encontra o mercado mundial desde 1973:

Não obstante fundada em uma hipótese equivocada, a projeção da demanda adotada à época do II PND tem se revelado, a curto prazo, correta: surpreendentemente, o mercado vem crescendo aos 12%, 13% previstos. Como é isto possível? Segundo um estudo recente da ELETROBRÁS, o fato se explica pela mudança em curso na estrutura industrial do país. Com efeito, certos setores altamente absorvedores de energia elétrica como, por exemplo, aço, alumínio e fertilizantes vêm crescendo aceleradamente. A mudança verificada na relação entre o crescimento da demanda de energia elétrica e o crescimento do PIB surge, pois, atrelada à nova onda de substituição de importações. Ao que parece, a mudança não havia sido levada em conta nos cálculos efetuados por ocasião do II PND. No caso, porém, por uma feliz coincidência, como o II PND estava errado, a previsão de demanda vem se revelando acertada. O fenômeno será, possivelmente, de curta duração, digamos, os últimos três anos e mais três para diante. Neste caso, se o ritmo de crescimento na economia retornar à tendência histórica (cerca de 6% ao ano), como as projeções de demanda de energia elétrica a longo prazo foram inspiradas no II PND, tenderá a ocorrer substancial folga na oferta de eletricidade, digamos, de 1983 em diante (ocasião para a entrada de Itaipu e outras obras de menor parte). E a referida folga, uma vez surgida, não tenderia a ser passageira, bastando para isto que ao final da próxima década comece a chegar ao centro-sul a energia elétrica gerada nos aproveitamentos mais econômicos da margem direita do Amazonas.

Esta última observação nos remete ao segundo estágio do processo de programação do crescimento do setor elétrico. Trata-se, como vimos, da eleição das obras a serem iniciadas. O inventário de aproveitamentos de que se dispõe, elaborado no início dos anos sessenta, está hoje *duplamente posto em questão*. Primeiramente, porque nele não foram considerados os possíveis aproveitamentos em que o Kw

instalado custasse mais de \$500, o que se explicava, à época, pelo reduzido custo da termoelétrica a óleo. Além disto, porque tampouco foram considerados os aproveitamentos situados na bacia amazônica, o que também se explica pelos preços do petróleo vigentes no início dos anos sessenta e, ao que consta, pela permanência de certos problemas de natureza técnica na transmissão a grandes distâncias.

Presentemente, no entanto, a transmissão a 1500-2500 km é uma possibilidade tecnicamente dominada e, ao que tudo indica, econômica. Fica assim não apenas ampliado, mas também revolucionado, o quadro de rotas expansivas a serem estudadas pelo setor daqui para o fim do século. A importância desta mudança de cenário é decisiva. Tudo se passa como se o setor e a própria economia adquirissem, subitamente, novos graus de liberdade na definição da sua futura estruturação econômica. Diante deste quadro, e em uma perspectiva *estritamente econômica*, fica difícil entender o programa nuclear brasileiro. Não parece fundada a previsão de uma carência de 10.000 Mw no ano de 1990 constante do depoimento do presidente da NUCLEBRÁS perante o Senado Federal. Tampouco se percebe por que o país estaria “colocado diante da indiscutível e urgente necessidade econômica de definir sua política nuclear”. E, se não há tal urgência, parece ainda discutível o abandono da meta de criação de uma tecnologia nuclear brasileira e, mais ainda, o comprometimento de enormes fundos — que ultrapassam \$10 bilhões — com uma determinada opção técnica quando, segundo os entendidos, encontramos-nos na ante-véspera de grandes mudanças que definirão as características da segunda geração de reatores comerciais.

A captação de recursos financeiros surge, como vimos, como um terceiro estágio na programação do crescimento do setor elétrico. Aqui também vêm surgindo novos e delicados problemas. É bastante lembrar que a presente capacidade instalada foi construída a um custo médio da ordem de \$600 enquanto, para os novos empreendimentos, estima-se que o custo médio será mais de duas vezes superior àquele valor. Face a esta progressão dos custos, a tarifa vem sofrendo, a partir de 1970, sensível declínio relativo. Por outro lado, mudaram substancialmente as condições de captação de recursos no exterior, tanto por efeito das mudanças ocorridas no mercado internacional de capitais, quanto pela necessidade de evitar compromissos que venham sobrecarregar o balanço de pagamentos.

Este último aspecto, em particular, vem acrescentar novas responsabilidades ao setor. De fato, à medida em que não apenas expande e diversifica como também *transfere* para o plano interno suas

encomendas de equipamentos, o setor vem somar ao título de grande contratador de obras civis a qualidade de grande — um dos maiores — clientes do parque produtor de equipamentos do país. Nestas condições, torna-se difícil ignorar a enorme força *indutora* em que se constitui a sua política de compras, potencialmente utilizável, entre outros fins, na orientação do parque produtor de equipamentos e no fomento à absorção e criação de novas técnicas no país.

Ao percorrer, ainda que sumariamente, os três estágios da programação do crescimento vimos despontar uma série de problemas e possibilidades. Não tenho dúvidas de que, na forma em que vem operando o setor, muitas das questões aqui assinaladas *não podem* porém ser devidamente enfrentadas. Os possíveis desacertos não têm mesmo, em regra, explicação ao nível do setor. No caso da previsão anteriormente referida do crescimento do mercado de energia elétrica, o acerto decorre do surto expansivo que vêm atravessando determinadas indústrias altamente absorvedoras de energia elétrica. No caso da represa de Tucuruí, o setor foi levado a comportar-se como se tivessem fundamento econômico, a curto prazo, certos projetos (Albrás, Itaquí, Carajás) definidos na euforia dos anos 71-3 e que a crise internacional colocaria ingavelmente em xeque. Por que motivo esta problemática — existente, admita-se ou não — vem aflorando nos últimos anos? A meu juízo, as razões devem ser buscadas em três planos:

1) Os países capitalistas ingressaram, nos anos 70, em uma nova fase. Observe-se o crescimento estável do após-guerra e compare-se com as incertezas do momento presente. Mas o problema longe está de ser uma mera questão de taxas de crescimento. A chamada crise dos anos 70 traz em si mudanças profundas e duradouras que começam apenas a delinear-se. Exemplifiquemos, orientados pelos nossos interesses nesta palestra: — o moderno instrumental de política econômica, que tão bem parecia operar ao longo dos anos 50 e primeiros anos da década de 60, não permite enfrentar problemas como a “estagflação” e a carência de investimentos nos chamados serviços básicos; — os preços *relativos* mudaram e vêm mudando intensamente, não raro de forma desconcertante (por exemplo, parece lícito prever saturação de mercado e preços deprimidos para os produtos petroquímicos na próxima década); — encontramos-nos, em vários setores, em uma verdadeira encruzilhada tecnológica. Qual será o papel do carvão nos próximos decênios? Qual será o destino do automóvel? A automação será acelerada ou refreada pela chamada crise energética? Tudo isto faz com que as decisões de

longo prazo se tornem extremamente difíceis. O problema é de tal ordem que se observa hoje nos países industrializados uma grande relutância em investir: as empresas hesitam em comprometer-se com um futuro que não conseguem minimamente visualizar. Não é preciso dizer que alguns destes problemas são comuns à economia brasileira. Caberia mesmo assinalar que, até certo ponto, se estas dificuldades *não* afetassem o processo de decisões neste país isto refletiria antes ligeireza que determinação.

2) O país está atravessando uma fase de sua expansão em que devem ser tomadas decisões de alcance excepcionalmente longo. É como se os prazos estivessem sendo esticados. Não me refiro à duração das obras e sim às conseqüências futuras das opções atuais. O setor elétrico é aqui, tão-somente, um caso limite. Em vários planos estão sendo tomadas decisões cujo horizonte de conseqüências excede, digamos, três décadas. É como se estivessem sendo estabelecidos os parâmetros da estrutura produtiva do fim do século.

3) Justamente nesta fase, parece mais pobre do que nunca o aparelho de planejamento do país. E não há que reduzir sua involução ao exemplo gritante do II PND. A questão engloba outras dimensões. Há que ter em conta, por exemplo, que as experiências de planejamento no Brasil foram desenvolvidas, simultaneamente, aos níveis estadual (C.P.E. da Bahia, Plano de Ação do Estado de São Paulo, etc.), regional (notoriamente SUDENE) e nacional. O esvaziamento das instâncias regionais e estaduais como núcleos de poder e o reforço espetacular das empresas públicas e da mais alta instância do poder federal instaura um quadro radicalmente novo. Como articular — de fato e não apenas no papel, continuamente e não apenas em grandes gestos — as decisões tomadas a nível das empresas (não raro ferozmente competitivas entre si), é algo ignorado e, a bem dizer, nem sequer admitido como problema.

O que acabamos de dizer parece sugerir que a complexidade e o grau de integração recentemente adquiridos pela economia brasileira impõem que a melhor condução da parte — no caso, o setor elétrico — exige, por sua vez, a melhor condução do todo. As práticas do setor podem e devem ser melhoradas. Mas isto não é o bastante: haveria que compatibilizar o seu comportamento com a evolução de outros setores e subordinar o conjunto à obtenção de objetivos definidos a nível nacional. Isto, em uma fase difícil em que à turbulência oriunda do mercado mundial se somam as dificuldades inerentes à definição de novos parâmetros para a economia, tem, a meu juízo, como condição mínima, o mais livre e desinibido debate e confrontação de

posições. Afinal, as repercussões de algumas das grandes decisões que vêm sendo tomadas incidem não apenas sobre todos os brasileiros como, em particular, sobre uma ou duas gerações futuras.

## 2. PARTICIPAÇÃO DO CARVÃO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA — ESTUDO PARA PLANEJAMENTO

*Affonso da Silva Telles (CNPq)*

### I. INTRODUÇÃO

O carvão mineral já ocupou posição dominante no mercado energético mundial. Sua produção, entretanto, tem se mantido estacionária, enquanto que a de petróleo cresceu abruptamente para ocupar a posição de combustível principal nas nações industrializadas. Com a expectativa de máximo de produção de petróleo dentro dos próximos 25 anos, o carvão pode ser chamado a novamente sustentar a produção industrial e o desenvolvimento econômico em todo o mundo.

As reservas mundiais são abundantes, atingindo 1.300 bilhões de reservas medidas, suficientes para cerca de 500 à atual taxa de consumo. As estimativas disponíveis sobre reservas não descobertas as situam na ordem de 11.000 bilhões, energeticamente equivalente a 24 vezes o petróleo recuperável.

Os principais produtores mundiais estão apresentados no quadro 1, onde constata-se que Estados Unidos, União Soviética e China são responsáveis por quase 60% da produção mundial. A Índia é o único país de baixa renda com significativo consumo de carvão, que em 1976 atingiu a 100 milhões de toneladas.

O carvão é em grande parte consumido internamente; apenas 9% do total é internacionalmente comercializado, e este montante destina-se quase que exclusivamente à siderurgia.

Os mercados do carvão, nos países não comunistas, são apresentados no quadro 2, onde se constata que 50% são destinados à geração térmica de eletricidade. Tal quantidade corresponde a uma capacidade instalada de cerca de 260.000 Mw, que com fator de carga de 0,7 geram  $1,6 \times 10^6$  G Wh por ano.

Existe pouca dúvida quanto à expansão do mercado para o carvão e sua participação crescente como fonte primária de energia. Sua conversão em combustíveis líquidos ou gasosos é uma alternativa atraente à importação de petróleo, principalmente para fazer frente à demanda do setor industrial. O beneficiamento do carvão para tais finalidades gerará grande quantidade de carvão-vapor que fatalmente será destinado à geração termelétrica.

## II. CARVÃO NO BRASIL

O carvão brasileiro oferece oportunidades para investimentos dirigidos a aliviar o *deficit* energético brasileiro que têm sido muito pouco exploradas. Faz parte do folclore afirmar-se que nossas reservas são diminutas e que o carvão é de baixa qualidade e de alto teor de enxofre. Estas afirmações são apenas parcialmente verdadeiras e refletem, também em parte, o pequeno esforço despendido no desenvolvimento de tecnologias bem adaptadas a suas características. Assim, podemos dizer que o principal defeito dos nossos carvões reside no fato de não poder ser eficientemente beneficiado pelas técnicas tradicionais desenvolvidas para carvões europeus e americanos.

O carvão é comercialmente explorado nos três estados do Sul do País, nos seguintes locais:

- Bacia do Rio do Peixe — Paraná
- Bacia de Santa Catarina — Sul do Estado
- Bacia do Leão-Butiá — Rio Grande do Sul (Norte)
- Bacia de Charqueadas — Rio Grande do Sul (Norte)
- Bacia de Candiota — Rio Grande do Sul (Sul)

Houve, nos últimos anos, grande trabalho de sondagens, realizado pela CPRM, por solicitação do DNPM, através do qual as reservas deste mineral foram substancialmente aumentadas, especialmente no Rio Grande do Sul. No quadro 3, apresentamos as reservas medidas, indicadas e inferidas para os três estados. As sondagens prosseguem, talvez em menor ritmo, mas existem fortes indicações de reservas consideravelmente superiores aos valores constantes desta tabela. Mesmo considerando uma reserva total de apenas  $20 \times 10^9$  toneladas, e uma taxa de aumento de consumo de 15% ao ano, até o final do século, e um consumo estável em cerca de  $250 \times 10^6$  ton/ano, a exaustão das reservas só se verificaria na sétima década do próximo século.

Este nível de consumo é cerca de 40 vezes superior ao consumo atual de carvão e 2,5 vezes superior ao nosso consumo energético total.

Como todo recurso finito, o carvão não pode representar uma fonte energética perene mas pode dar uma contribuição muito eficaz em nossa busca de independência energética. Apesar desta perspectiva, o consumo brasileiro de carvão é, ainda, muito pequeno, como demonstra o quadro 4, que apresenta a série histórica de produção desde 1966.

A produção brasileira deverá aumentar significativamente nos próximos anos, em função do plano siderúrgico traçado pela SIDERBRÁS dos planos de gaseificação de carvão da PETROBRÁS, dos esforços da CAEEB na comercialização de carvão-vapor a preços subsidiados.

O quadro 5 mostra o efeito do plano siderúrgico sobre a produção em Santa Catarina, tomando-se como base uma participação de 20% de carvão nacional, com 15% de cinza. Note-se que a única destinação prevista para o carvão-vapor, estabelecida nesta tabela, é o consumo da usina Jorge Lacerda, da ordem de 232 Mw, prevendo-se a instalação de mais de 250 Mw em 1978. Ainda assim, os estoques de carvão-vapor crescerão desmesuradamente, atingindo 46 milhões de toneladas em 1985. Tal estoque, além de representar grave deseconomia, constitui-se também em fator lesivo ao ambiente.

O Rio Grande do Sul produz carvão de três minas: Candiota, Charqueadas e Leão. A produção de Candiota é unicamente dedicada à geração termelétrica. Esta é a única jazida brasileira de porte onde a mineração se faz a céu aberto. O vulto das reservas locais, a condição de mineração, aliados ao fato de ser a região de baixíssima densidade demográfica e atividade econômica trazem condições muito propícias ao estabelecimento de parque gerador termelétrico de importância.

### III. CARACTERÍSTICAS DOS CARVÕES BRASILEIROS

Algumas características físico-químicas de carvões brasileiros são apresentadas no quadro 7. Os carvões do Rio Grande do Sul, *in natura*, apresentam teores de cinzas entre 45 e 60% e, o que é mais grave, parte significativa desta cinza acha-se finamente dispersa e incorporada à massa carbonosa. A quantidade de enxofre não é exageradamente grande e em boa proporção é proveniente de nódulos de pirita, sendo, por conseqüência, grandemente reduzido durante o bene-

ficiamento. Reside, portanto, no desenvolvimento de uma tecnologia de beneficiamento uma grande oportunidade comercial e, ao mesmo tempo, a esperança para intensificação do emprego de carvão nacional em todos os setores do mercado.

O beneficiamento gravimétrico, tradicional ou em hidroclones, é baseado na diferença de densidades entre as cinzas e a massa carbonosa. Houvesse durante a moagem do carvão uma completa liberação da cinza, o beneficiamento gravimétrico seria ideal e obter-se-ia um fluído de carvão puro. Nos carvões europeus e americanos, grande parte do material estéril é liberado com facilidade, o que torna este processo gravimétrico particularmente bem adaptado. Nos carvões brasileiros, sul-africanos e da Índia, do tipo “gondwana”, a grande dispersão de suas cinzas impede uma separação pronta e produz-se, regra geral, grande quantidade de rejeito.

O aperfeiçoamento das técnicas de flotação em espuma, flotação aglomerante e outras técnicas especialmente desenvolvidas face às características próprias destes carvões é, portanto, urgente. O quadro 5 mostra o vulto do desperdício de carvão coqueificável que é transformado em carvão-vapor. A conservação das reservas de Santa Catarina é, por si, justificativa suficiente para um grande esforço de pesquisa tecnológica no beneficiamento de carvão.

Algumas iniciativas recentes nesta direção têm-se mostrado promissoras; em particular, o carvão do Paraná, Bacia do Rio Peixe, mostrou-se com características apropriadas ao beneficiamento por flotação, sendo possível por este processo a redução dos teores de cinzas e enxofre, de modo considerável. Por combinação de método gravimétrico com a flotação obtém-se, com recuperação superior a 60%, carvão com 13 a 15% de cinza e até 3,5% de enxofre. Existem indicações de que as reservas desta bacia são bem maiores que as indicadas até o momento. A concretizar-se esta expectativa, apresentar-se-á uma grande oportunidade para o estabelecimento de termelétricas a carvão em São Paulo e no Paraná.

#### IV. TRANSPORTE

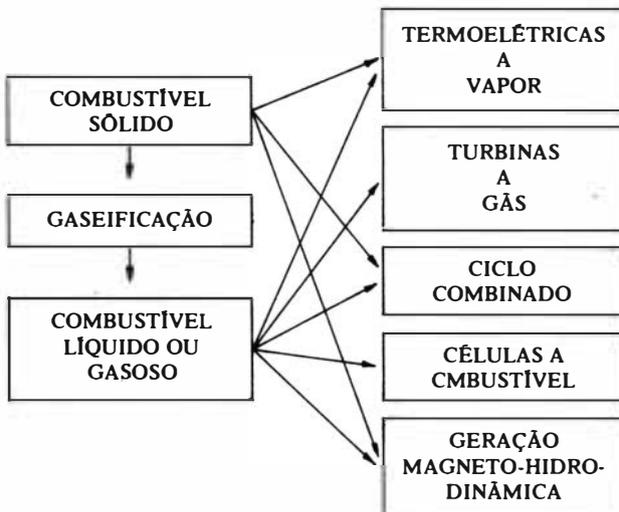
As opções de transporte de carvão são: rodoviário, ferroviário, hidroviário e por dutos. Algumas comparações quanto a custos e eficiência energética são apresentados aqui, baseadas em dados americanos convertidos à taxa de Cr\$ 15,00 por dólar.

MÉTODO DE TRANSPORTE	CONSUMO ENERGÉTICO Gcal/1000Gcal/100Km	CUSTO Cr\$/ton/100 km
Ferroviário	3,5	13,0
Hidroviário	1,7	3,0
Rodoviário	6,5	45,0
Dutos	1,6	6,0

O transporte hidroviário em barcaças e direto é, o que não deveria ser surpresa, o de menor custo; seguindo-se o transporte em carbidutos. Neste tipo de transporte o carvão deve ser moído a uma granulometria adequada, misturado com água e bombeado a grandes distâncias. Existe, em operação nos EUA, um carbiduto de cerca de 450 km no Arizona alimentando de carvão uma usina termelétrica. Planeja-se ainda a construção de novo carbiduto para transporte de Wyoming a Arkansas, com mais de 1.500 km de extensão.

## V. SISTEMAS DE GERAÇÃO ELÉTRICA

A geração termoelétrica pode ser realizada por diversos caminhos, apresentados no diagrama abaixo. Alguns destes são convencionais, enquanto que outros dependem, ainda, de longos processos de desenvolvimento de tecnologia.



A termoelectricidade pode ser produzida, economicamente, tanto para fornecimento de base como para o atendimento de demanda de pico. As usinas de base, como regra geral mundial, são de grande capacidade, relativamente eficientes e operam continuamente à capacidade plena ou muito perto desta. Fatores de carga característicos destas centrais são da ordem de 80%. As usinas de ponta são em geral menores, menos eficientes e usualmente são operadas para fornecer energia de pico por curtos períodos diários. Fatores de carga anuais variam de 20% a 60% para estas usinas.

Todos estes processos de geração termelétrica são bem conhecidos dos técnicos brasileiros dispensando, assim, maiores comentários descritivos.

Há apenas a considerar a combustão em leito fluidizado, tecnologia relativamente nova, sendo desenvolvida a grande velocidade por diversos fabricantes. Não há, ainda, disponibilidade comercial destes equipamentos embora exista grande esperança de reais vantagens dos mesmos como substitutos das caldeiras convencionais. Entre essas vantagens:

- Possibilita o emprego de carvão de altos teores de cinzas
- Aumento de eficiência
- Queima sob pressão
- Redução de emissão de poluentes
- Redução da superfície de troca de calor.

Na câmara de combustão o ar é injetado por baixo do leito de material granular de cinza ou  $\text{Ca CO}_3$  para manter o leito em estado fluidizado, e queimar o carvão injetado. A superfície de troca de calor acha-se em contato com este leito, o que permite alto fluxo térmico. O calcário adicionado retém grande parte de  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  provenientes da queima do enxofre contido no carvão reduzindo assim a emissão deste poluente. A emissão de sólidos particulados é, também, baixa.

## VI. INVESTIMENTOS E CUSTOS DE GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

Tomaremos para base de cálculo, bastante aproximado, uma usina termoeétrica a carvão, com equipamento tradicional, de 320 Mw. Para tal usina estimamos um investimento na ordem de Cr\$ 10.000,00/Kw (US\$ 700.00/Kw).

É evidente que tal investimento depende de inúmeros fatores como a configuração da usina, características do carvão, disponibilidade de água, controle de poluição atmosférica, etc., que não são aqui consideradas. O investimento acima representa um valor aproximado, mas realista.

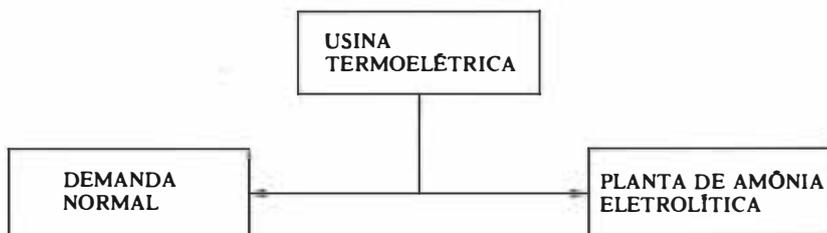
Para estimativa dos custos fixos e operacionais tomamos também números bastante aproximados mas que servirão para ilustrar alguns pontos que serão levantados a seguir.

O quadro 8 mostra os investimentos e custos de uma usina termoeétrica em função do fator anual de carga. Torna-se, então, aparente que o custo do Kwh gerado depende fortemente do fator carga e que para valores próximos da unidade o custo é, provavelmente, inferior ao custo da energia elétrica gerada hidraulicamente. Por outro lado, a termoelectricidade é, certamente, antieconômica para baixos valores do fator de carga.

No quadro 9 apresentamos os fatores de carga históricos e previstos, para os três subsistemas do sistema elétrico brasileiro. Este quadro demonstra que a termoelectricidade é gerada no Brasil para energia de ponta, com fator de carga em torno de 25%, ou para economia de água nos anos secos. Tal política parece basear-se no argumento, verdadeiro mas simplista, de que água é mais barata que carvão.

Na realidade, um melhor aproveitamento da capacidade instalada, ou por instalar-se, de geração termoeétrica merece estudos mais profundos.

Consideremos uma usina termoeétrica operando para atender uma demanda normal com fator de carga  $K_0$ , ao mesmo tempo que a uma planta de amônia eletrolítica capaz de absorver todo excedente de forma que a usina opera com fator de carga unitário. O custo anual de produção por Kw será de Cr\$ 2.978,00 que deverá ser repartido entre os dois compradores, com preços  $C_0$  e  $C_1$ .



$$\begin{aligned}
 & \text{Fator de Carga } K_0 & K_1 = (1 - K_0) \\
 & \text{Preço/Kwh } C_0 & C_1 \\
 \text{Balanço econômico da usina (por Kw instalado)} & & \\
 & 8760 K_0 C_0 + 8760(1 - K_0) C_1 = 2100 + 876 \\
 C_1 = \frac{0,34}{1 - K_0} - \frac{K_0}{1 - K_0} C_0 & & 
 \end{aligned}$$

Suponhamos que o fator de carga da demanda normal é 0,5, o que corresponde, conforme a tabela do quadro 8, a um custo de Cr\$ 0,60/Kwh.

Este custo estabelece o limite mínimo que pode ser cobrado pela energia entregue à usina de amônia em Cr\$ 0,08/Kwh.

Valores mais elevados podem ser cobrados, em benefício da demanda normal, conforme a tabela:

$C_1$ Cr\$/Kwh	$C_0$ Cr\$/Kwh
0,08	0,60
0,13	0,55
0,18	0,50
0,23	0,45
0,28	0,40

Há que considerar que, em novas instalações, as duas usinas podem ser integradas em uma única planta, minimizando o custo de transmissão, o emprego de transformadores e mesmo, em alguns pontos, poderá optar-se por acoplamento mecânico entre turbina e compressores. Finalmente, há ainda a possibilidade de aproveitamento de valores de escape como fonte de calor de processo.

A conjugação de usinas termelétricas com co-geração de eletricidade-vapor-hidrogênio não se exaure na planta de amônia eletrolítica. Situações mais complexas podem ser aproveitadas, com vistas à economia de capital e de energia.

Um exemplo de sistema bem mais complexo é apresentado no quadro II, com usina de açúcar e destilaria anexa. A usina termelétrica forneceria eletricidade para o sistema e para demanda externa, eletricidade fora de pico para produção de hidrogênio e, ainda, vapor de processo para todo complexo sucro-químico. Este, por sua vez, produziria extensa lista de insumos químicos, açúcar e álcool anidro.

Os aspectos levantados nesta seção são de importância maior do que pode parecer à primeira vista. Os esquemas de co-geração de eletricidade e vapor não estão sendo apresentados como uma tentativa artificial de reduzir o preço de energia termelétrica.

Dois pontos básicos são ressaltados: a) aumento do fator de carga do sistema elétrico brasileiro com utilização de energia fora dos picos da demanda normal, por sua vantagem óbvia de maior aproveitamento da capacidade instalada e do capital investido; b) aproveitamento mais eficiente da energia química dos combustíveis.

O calor industrial de processo, a média e baixa temperaturas, constitui-se em parcela significativa do total da demanda energética da indústria. Energia química de combustíveis (óleo, carvão ou bagaço) convertida em energia térmica com a exclusiva finalidade de fornecimento de calor de processo representa um grande desperdício, que sempre que possível deve ser evitado. A co-geração, como exemplificada no quadro 1, é das mais atraentes formas de reduzir esta ineficiência.

#### QUADRO 1

##### PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARVÃO

(10<sup>6</sup> ton/ano, carvão de 7,2 Gcal/ton)

	1960	1974
EUA	380	550
Reino unido	195	110
Alemanha Ocidental	180	140
França	65	25
Japão	60	25
África do Sul	50	75
Austrália	30	75
Índia	65	85
URSS	390	480
China	425	450
Polônia	110	175
TOTAL	1950	2190

QUADRO 2

PRINCIPAIS MERCADOS PARA CARVÃO — 1975

(Países não comunistas)  
(10<sup>6</sup> ton. equiv. de carvão)

	CARVÃO	ENERGIA TOTAL	CARVÃO TOTAL %
Geração de eletricidade	570	1725	33
Indústria	395	1505	26
Doméstico	91	1338	7
Geração de gás	61	76	80
Transp. ferroviário	23	76	30

QUADRO 3

RESERVAS BRASILEIRAS DE CARVÃO. (2)

(10<sup>6</sup> ton)

ESTADO	CAMADA LOCAL	MEDIDA/INDICADA		INFERIDA	TOTAL
Santa Catarina	Barro Branco	238	374	149	761
	Irapuã	—	—	10	10
	Bonito	31	117	254	402
	TOTAL	269	491	413	1173
Rio G. do Sul	Candiota	175	65	8160	8400
	Leão	34	6	600	640
	Charqueadas	580	333	63	976
	Iruí	70	36	224	330
	Gravataí		12		15
	Hulha negra		10		100
	São Sepe		4		7
TOTAL		1325		10.468	
Paraná	R. Peixe		25		35
	Tibagi		6		6
	TOTAL		31		41
					11.682

QUADRO 4

**PRODUÇÃO DE CARVÃO NO BRASIL — 1975**  
(1000 ton)

ANOS	PRODUÇÃO BRUTA (1000 ton)
1966	3.666
1967	4.339
1968	4.828
1969	5.127
1970	5.172
1971	5.667
1972	5.876
1973	5.574
1974	5.498
1975	6.394

QUADRO 5  
**CARVÃO DE SANTA CATARINA E O PLANO SIDERÚRGICO**

Unidade: 10<sup>3</sup>t

ANOS	CARVÃO METALÚRGICO	CARVÃO PRÉ-LAVADO	CARVÃO-VAPOR				ROM	RESERVAS (1)
			PRODUÇÃO	CONSUMO	SALDO DO ANO	SALDO ACUMULADO		
1975	774,4	2.581	1.677,8	458 (2)	1.219	3.111 (4)	7.592	767.819
1976	987,2	3.290	2.138,8	458	1.680	4.791	9.678	764.529
1977	1.169,4	3.898	2.533,7	458	2.075	6.866	11.464	760.631
1978	1.507,6	5.025	3.266,4	951 (3)	2.315	9.181	14.780	755.606
1979	2.202,2	7.340	4.771,3	951	3.820	13.001	21.590	748.266
1980	2.430,0	8.100	5.265,0	951	4.314	17.315	23.823	740.166
1981	2.641,8	8.806	5.723,9	951	4.772	22.087	25.900	731.360
1982	2.871,0	9.570	6.220,5	951	5.269	27.356	28.147	721.790
1983	3.119,6	10.398	6.759,0	951	5.808	33.164	30.584	711.392
1984	3.388,4	11.294	7.341,4	951	6.390	39.554	33.219	700.098
1985	3.675,4	12.251	7.963,3	951	7.012	46.566	36.033	687.847

OBS.: (1) Camadas Barro Branco e Irapuá, total 770,4 x 10<sup>6</sup> t

Barro Branco — 760,4 x 10<sup>6</sup> t

Irapuá — 10,0 x 10<sup>6</sup> t

(2) Revista do CNP, nº 38/74, consumo pela Usina Jorge Lacerda

(3) Início de mais 250 Mw de potência da Usina, totalizando 482 Mw

(4) Estoque da Eletrosul: 1.892.000 t em fev. 74 (Revista **Carvão de Pedra**, nº 38/74) e empresas siderúrgicas.

Na hipótese de uma extração anual de ROM de 38 x 10<sup>6</sup> t, a partir de 86, as reservas estarão exauridas, aproximadamente, no ano 2.039.

**QUADRO 6**  
**PRODUÇÃO DE CARVÃO**

MINA	CAPACIDADE DE MINERAÇÃO (1000 t/ano)	PRODUÇÃO (1000 t/ano)	DESTINAÇÃO
Candiota	1800	413	Termoelétrica de 126 Mw Aços Finos Piratini Termoelétrica-Termochar 72 Mw Etoque estratégico do CNP
Charqueadas	1260	375	
Leão	240	50	

QUADRO 7

**ANÁLISE DOS PRINCIPAIS CARVÕES BRASILEIROS**  
(% em base seca)

	LEÃO	CANDIOTA	CHARQUEADAS (I <sub>2</sub> B)	I <sub>1</sub> F)	S.C. Pré- Lavado
Unidade Higroscópica	1,1	2,9	6,9	1,8	1,0
Cinzas	45,8	52,8	44,9	58,6	30,5
Matéria volátil	24,6	20,6	25,5	19,4	26,6
Carbônio fixo	29,6	26,6	29,6	22,0	42,9
Poder calorífico (kcal/kg)	3774	3136	4088	2780	5707
Carbônio	38,6	28,1	40,7	24,7	56,1
Hidrogênio	2,44	1,5	2,2	1,4	3,76
Nitrogênio	0,87	0,7	1,2	0,5	1,40
Enxofre total	1,6	4,40	1,32	0,54	2,60
Enxofre pirítico	1,182	2,42	0,90	0,343	1,74
Enxofre sulfático	0,040	1,94	0,38	0,004	0,15
Enxofre orgânico	0,348	0,04	0,04	0,193	0,67
Índice de inchamento	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	1
Cinzas — SiO <sub>2</sub>	56,8	63,72	65,42	61,1	50,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,74	5,19	3,08	4,1	7,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,7	20,13	18,89	25,3	26,45
CaO	2,79	3,92	3,84	2,67	4,36
MgO	3,30	2,17	2,40	3,31	2,26
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,77	2,62	0,64	1,15
K <sub>2</sub> O	1,23	1,74	2,50	1,70	2,50
TiO <sub>2</sub>	2,49	0	0	traços	0,30
MnO <sub>2</sub>	0,58	0,14	0,30	0,49	1,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,07	0,07	0,064	0,10
Perda ao Fogo	1,84	2,19	1,58	1,45	2,60
Fusibilidade —(°c)					
Ponto de amolecimento	1360	1250	1240	1350	1340
Ponto semi-esfera	1500	1440	1480	1575	1500
Ponto de liquidez	1550	1480	1500	1600	1540

QUADRO 8

INVESTIMENTO E CUSTOS DE GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

USINA DE 320 MW

Investimento total = Cr\$ 10.000,00/kw (US\$ 700,00/kw)  
 Cr\$  $3,2 \times 10^9$

Custos fixos	Cr\$/kw/ano
de capital (15%)	1.500
manutenção e mão-de-obra (3%)	300
taxas (3%)	300
	2.100

Custo variável 8760 ( $2,5 \times 10^{-3}$ )k X

Produção de eletricidade/kw instalado 8760 k

Custo de energia elétrica (Cr\$/kwh)

$$C = \frac{0,25}{k} + 2,5 \times 10^{-3} X$$

Para carvão X = Cr\$ 40,00/Gcal

$$C = \frac{0,25}{k} + 0,10$$

FATOR DE CARGA	Cr\$/kwh	Mills/kwh
1,00	0,35	23,3
0,50	0,60	40,0
0,25	1,10	73,3

QUADRO 9

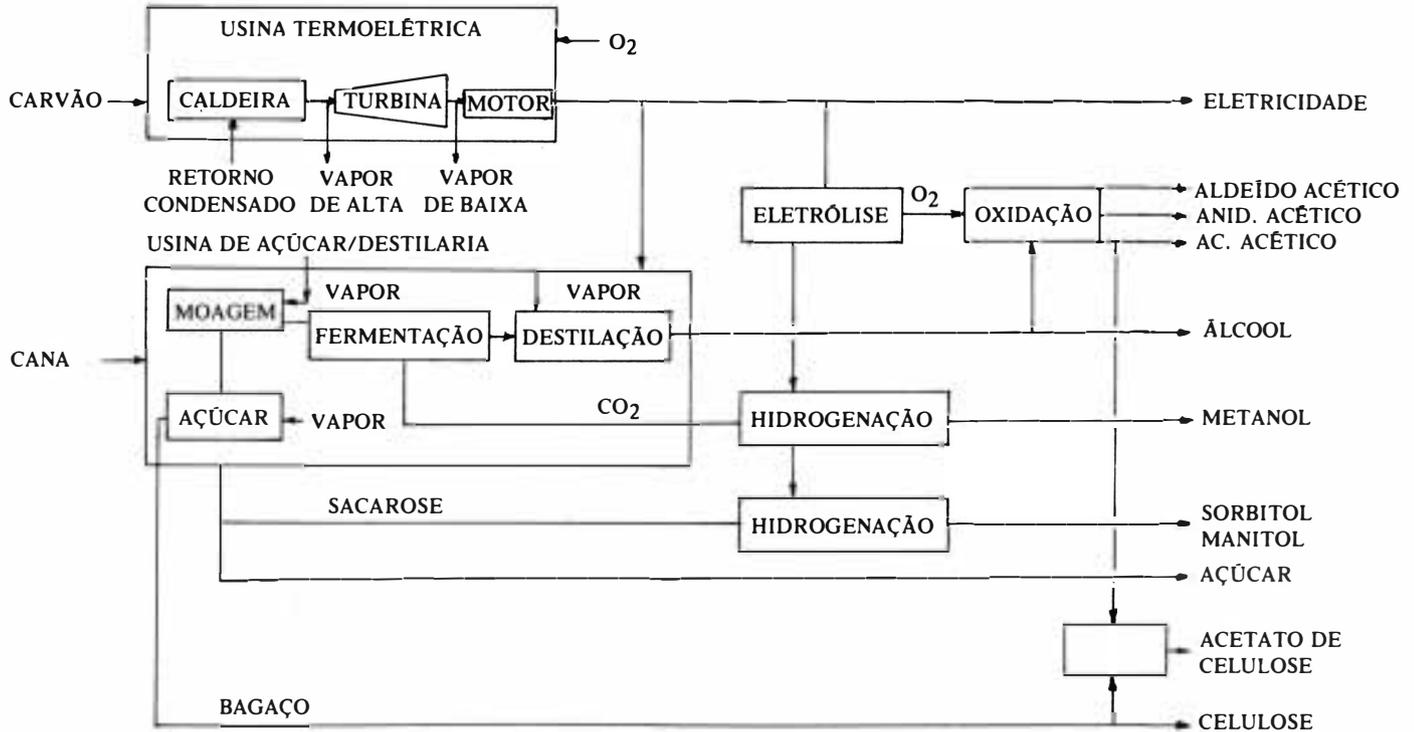
## FATORES DE CARGA DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

ANO	HIDROELÉTRICA			TERMOELÉTRICA			NUCLEAR		
	CAPACIDADE INSTALADA MW	PRODUÇÃO GWh	FATOR DE CARGA %	CAPACIDADE INSTALADA MW	PRODUÇÃO GWh	FATOR DE CARGA %	CAPACIDADE INSTALADA MW	PRODUÇÃO GWh	FATOR DE CARGA %
1966	5.524	27.905	58	2.042	4.748	27			
1967	5.787	29.189	58	2.255	5.049	26			
1968	6.183	30.550	56	2.372	7.631	37			
1969	7.857	32.692	47	2.405	8.956	43			
1970	8.828	39.863	52	2.405	5.597	27			
1971	10.244	43.274	48	2.426	7.714	36			
1972	10.756	51.443	55	2.450	5.592	26			
1973	12.500	58.809	54	2.936	6.409	25			
1974	13.757	65.555	54	3.162	6.911	25			
1975	16.178	73.836	52	3.385	6.457	22			
1976	18.411	81.468	51	3.385	6.915	23			
1977	19.631	90.346	53	4.093	8.061	22	—	—	—
1978	21.550	100.345	53	4.413	9.777	25	626	642	12
1979	24.114	109.528	52	4.690	11.240	27	626	3.841	70
1980	28.385	123.376	50	4.844	12.262	29	626	3.841	70
1981	31.746	142.231	51	4.877	11.117	26	626	3.841	70
1982	34.943	160.913	53	4.877	11.015	26	626	3.841	70
1983	38.037	175.528	53	4.877	10.322	24	1.871	8.317	51
1984	41.625	190.960	52	4.877	8.809	21	3.116	12.129	44
1985	44.775	201.994	51	4.877	9.756	23	4.361	19.121	50
1986	48.235	211.059	50	4.877	11.769	28	4.361	26.761	70

FONTE BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (1977 — M.M.E.)

QUADRO 10

CO-GERAÇÃO ELETRICIDADE – VAPOR – HIDROGÊNIO



### 3. PANORAMA E PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR

Luiz Pinguelli Rosa (COPPE e I. de Física — UFRJ)

#### I — Introdução

O objetivo desta palestra é duplo: primeiramente ela pretende dar uma visão atual da energia nuclear para geração de energia elétrica no mundo. Em segundo lugar, serão abordados aspectos específicos concernentes à segurança dos reatores e aos riscos da indústria nuclear para a população, particularizando-se para o caso brasileiro.

Esclareço que não me considero um especialista profissional em assuntos de natureza tão geral e abrangente como esses, já que trabalho em uma área específica da Física — ainda que básica para a compreensão e para o desenvolvimento dos aspectos fundamentais da tecnologia nuclear. Entretanto, tendo participado de dois grupos de trabalho sobre energia nuclear, na Sociedade Brasileira de Física, e tendo sido por um ano consultor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, para assuntos de engenharia nuclear, tive a oportunidade de ter uma visão global desse setor.

Procurarei aqui transmitir meu ponto de vista, partindo do princípio de que um assunto como a energia nuclear envolve um balanço tão delicado de riscos e benefícios que torna imprescindível uma avaliação política que transcende os aspectos puramente técnicos e científicos.

Para o Brasil a energia nuclear pode vir a ser necessária no futuro e não se pode ignorá-la simplesmente. Por outro lado não se deve omitir os riscos de seu uso nem descuidar das medidas rigorosas de segurança tendo em vista o perigo da radioatividade para a vida humana.

## II — Aspectos técnicos da indústria nuclear

### a. Centrais nucleares térmicas

A possibilidade de aplicação tecnológica da energia liberada na fissão e na fusão dos núcleos atômicos foi saudada, há algumas décadas, como a solução ideal para o problema do crescimento exponencial da demanda de energia nos países industrializados. Desenvolvida sob o estigma das aplicações militares, a energia nuclear passou a ser cogitada essencialmente para a geração de energia elétrica. Enquanto a aplicação da fusão permanece ainda restrita a estudos de laboratórios, com prognósticos de resultados práticos para o próximo século, os reatores a fissão sofreram notável desenvolvimento.

Os reatores em operação comercial para produção de potência elétrica são reatores térmicos, que necessitam de um material moderador além do combustível nuclear. Duas combinações principais de combustível/moderador encontram-se especialmente disponíveis: urânio enriquecido/água comum e urânio natural/água pesada. Os reatores do primeiro tipo foram desenvolvidos nos Estados Unidos para propulsão de submarinos, por alcançarem maior potência específica, por unidade de volume, permitindo tamanhos muito compactos. Entretanto, exigem tecnologia mais sofisticada, especialmente por demandarem o enriquecimento do urânio, operação complexa e cara e que despende muita energia.

Os reatores de água comum e urânio fracamente enriquecido (3% de U-235), nas duas versões — água pressurizada e água em ebulição —, tendem a ocupar a maior parte do mercado mundial de centrais nucleares (75% em 1977), inclusive o Brasil. Apresentam como vantagem o menor investimento de capital e a maior experiência operacional, da qual decorre maior confiabilidade para o usuário. Como desvantagem, além da dependência do enriquecimento do urânio (que é controlado por poucos países, entre os quais o Brasil aspira ser incluído), esses reatores desperdiçam o escasso urânio 235. Após ter sido utilizado, o combustível queimado contém ainda 1% de U-235, percentagem bem superior à do urânio natural. Esse material pode ser recuperado, juntamente com o plutônio, através do reprocessamento. Entretanto, essa operação envolve problemas cruciais de segurança, que a tornam delicada e politicamente sensível. Outro problema dos reatores a água comum (LWR) reside no baixo fator de carga que têm demonstrado — entre 55% e 60% —, sendo melhor para os PWR do que para os BWR<sup>1</sup>.

Os reatores a urânio natural (0,7% de U-235) e água pesada foram desenvolvidos principalmente no Canadá e na Suécia. Por outro lado, a linha canadense (CANDU) foi adotada pela Índia e Argentina. Essa opção favorece a autonomia tecnológica dos países em desenvolvimento, pois não só a tecnologia do reator é mais simples como a produção de água pesada é muito menos complexa do que o enriquecimento de urânio. Além disso, os reatores CANDU são intrinsecamente mais seguros do que os LWR. Esses reatores exigem recarga continuada de combustível, feita com o reator em operação por máquinas complexas, enquanto os LWR renovam 1/3 do seu combustível de uma só vez por ano. O fator de carga dos reatores CANDU tem sido bom, não obstante alguns problemas técnicos no seu funcionamento, ao que se indica já superados. Finalmente, esses reatores permitem, em princípio, a utilização do tório como elemento fértil adicionado ao urânio mediamente enriquecido (20%). Esse seria o ciclo do tório 232-urânio 233, que tem sido proposto como uma alternativa para evitar ou postergar o emprego do ciclo do plutônio<sup>2</sup>.

Um problema comum a esses reatores — LWR e CANDU — reside na baixa temperatura de saída do refrigerante (cerca de 300°C), ditada por motivos técnicos decorrentes de sua constituição. Isso implica em baixo rendimento na conversão de calor em trabalho, dada a pequena diferença relativa entre as temperaturas da fonte quente e da fonte fria. Para contornar esse problema foram projetados os reatores a alta temperatura, refrigerados a gás. Nos Estados Unidos, esses reatores estavam sendo desenvolvidos pela General Atomic, que desistiu do projeto. Este, contudo, continua sendo objeto de interesse em outros países.

### *b. Reatores rápidos*

A presente geração de reatores térmicos deverá ser sucedida pelos reatores rápidos, que não utilizam moderador. Uma concepção desse tipo de reator, refrigerado a metal líquido e que permite alta taxa de transformação de material fértil em físsil (reatores regeneradores), está em fase de protótipo na França (reator Phenix). Nos Estados Unidos, a administração Carter resolveu adiar o desenvolvimento desses reatores pois os mesmos deveriam utilizar o plutônio reprocessado do combustível usado nos reatores térmicos. Essa utilização tem sido considerada muito perigosa, uma vez que se trata de material passível

de desvio para fabricação de artefatos nucleares. No entanto, Alemanha e França continuam seus esforços no sentido de construir os reatores rápidos regeneradores para o que fundaram, em julho desse ano, uma empresa chamada SERENA (Société Européenne pour la Promotion des Systèmes de Réacteurs Rapides à Sodium). Essa empresa possui 65% de participação francesa e 35% alemã. É estimado um mercado de 15 unidades para os dois países até o ano 2000<sup>3</sup>. Existem alguns problemas tecnológicos a serem superados, particularmente no que tange ao comportamento estrutural de materiais submetidos a alta intensidade de radiação e à segurança de funcionamento desses reatores rápidos, os quais podem inclusive sofrer uma explosão nuclear, contrariamente aos reatores térmicos. Há um grande projeto francês de um reator rápido, Super Phenix, que tem motivado fortes objeções por parte do público.

### *c. Enriquecimento do urânio*

O ciclo do combustível nuclear inicia-se com a prospecção do urânio, seguindo-se sua mineração e concentração. Para os reatores LWR deve-se fazer o enriquecimento do urânio para aumentar a percentagem do isótopo físsil (U-235), de 0,7% no urânio natural para cerca de 3%. As usinas de separação isotópica constituem um elo crítico do ciclo do combustível: elas tanto podem criar um estrangulamento (se não acompanharem o ritmo de desenvolvimento da energia nuclear) ou vir a se constituir em pesados investimentos inúteis (se ocorrer uma contenção nos programas nucleares)<sup>4</sup>.

O processo tradicional de enriquecimento do urânio é a difusão gasosa. Existem até agora sete usinas em operação: três nos Estados Unidos, uma na União Soviética, uma na Inglaterra, uma na França e uma na China. Apenas os Estados Unidos e a União Soviética produzem o urânio enriquecido em escala comercial. Dois consórcios europeus preparam-se para entrar em operação brevemente: a URENCO (Inglaterra, Alemanha e Holanda), usando o processo de ultracentrifugação, e a EURODIF (França, Itália e outros países), usando a difusão.

O processo de ultracentrifugação parece ser mais econômico e, ademais, poupa energia. Um outro processo desenvolvido na Alemanha é o aerodinâmico, do qual uma versão já apresentou algum êxito na África do Sul. Outra versão desse processo — o jato centrífugo — foi

comprado pelo Brasil. Seu problema é o alto consumo de energia elétrica, além de não ter sido ainda comprovado em escala industrial.

O uso do **laser** para separação isotópica revela-se promissor mas está em fase de laboratório. A França anunciou recentemente o êxito de um outro método de base química para enriquecimento.

### III — Aspectos econômicos

A indústria nuclear constitui um novo e importante setor da economia mundial. Essa indústria mobiliza atividades produtivas no campo da indústria eletromecânica, para fabricação do reator e de seus implementos convencionais que permitem o aproveitamento do calor gerado pela fissão para acionar as turbinas geradoras. De outra parte, é também mobilizada a indústria química e metalúrgica, no chamado ciclo do combustível nuclear, que se estende desde a mineração até o reprocessamento, passando pelo complexo enriquecimento isotópico.

Uma atividade econômica de tal porte e altamente concentradora de capitais não poderia deixar de ser controlada pelas grandes empresas multinacionais. Em 1970, o mercado norte-americano de reatores nucleares dividia-se entre a General Electric (41,4%), a Westinghouse (35,7%), a Babcock & Wilcox (13,8%) e a Combustion Engineering (9,1%)<sup>5</sup>. Essas empresas norte-americanas se associaram a diversas outras de várias nacionalidades, como a Creusot-Loire (francesa), a Siemens (alemã) e a Ansaldo (italiana). O processo de associação varia desde o aspecto puramente financeiro ou apenas técnico até o controle absoluto técnico-financeiro.

Os custos da energia nuclear têm subido continuamente. Em 1969, a inversão de capital para centrais de 1000 Mwe era calculado em \$124/Kwe. Para centrais menores, de 600 Mwe, esse valor era de \$146/Kwe, sempre sem incluir a primeira carga de combustível<sup>6</sup>. Em 1971, essa inversão para centrais de 1000 Mwe era de \$279/Kwe, passando para \$400 em 1974, sendo estimada em \$800 para as instalações iniciadas em 1976<sup>7</sup>.

A evolução dos custos das centrais nucleares tem contrariado as expectativas de que deveriam baixar devido ao aumento da escala e aos melhoramentos tecnológicos. Embora o primeiro fator atue como se esperava, o progresso técnico não foi suficiente para compensar outros fatores que aumentam os custos. Entre estes encontram-se as medidas destinadas a aumentar a segurança dos reatores e a proteção

contra a radiotividade, exigidas pelos governos dos países industrializados, pressionados pela opinião pública.

A economia dos reatores nucleares expandiu-se estimulada pelo baixo custo do urânio e do seu enriquecimento. Presentemente, o combustível contribui em apenas 5% a 10% do custo da eletricidade gerada pela central nuclear; não obstante, seu preço tem crescido exponencialmente nos últimos anos. O preço do óxido de urânio, p. ex., passou de \$15/kg (1969) para \$17.60/kg (1974) e \$66.00/kg após aumentos subseqüentes<sup>7</sup>.

O enriquecimento do urânio, até agora controlado comercialmente pelos Estados Unidos (com a entrada recente da União Soviética), era mantido a preço subsidiado artificialmente baixo, por se tratar de subproduto de instalações militares e com o objetivo de desestimular a construção de usinas de enriquecimento fora dos Estados Unidos. Estimulava-se, assim, a compra dos reatores LWR, a urânio enriquecido.

Em 1962, a Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos abaixou o preço do enriquecimento, de \$37.00/kg SWU para \$30.00/kg SWU, chegando a \$26.00/kg SWU em 1967. Entretanto, após a crise do petróleo, esse preço passou a \$42.10-\$47.80/kg SWU em 1974. Desde 1975, esse preço sobe 2% a cada seis meses; a previsão para 1980 é de \$97.00/kg SWU. Os custos de fabricação do elemento combustível, que representam 34% do custo do ciclo do combustível, também têm se elevado<sup>7</sup>.

Os fatores de carga têm sido muito baixos, por volta de 55% nos reatores LWR, sendo bem melhor para os reatores canadenses. Em parte esse baixo fator de carga deve-se ao rigor das normas de segurança que demandam longas paradas dos reatores uma vez constatadas anomalias mínimas de funcionamento.

A crise do petróleo, em 1973, estimulou o aumento da previsão de centrais nucleares nos países industrializados. Entretanto, o aumento dos custos das centrais e do urânio e a pressão da opinião pública fizeram com que tais previsões se reduzissem substancialmente nos últimos dois anos, a ponto de tornar crítico o futuro da indústria nuclear em alguns países desenvolvidos.

Dado o longo período de construção de uma central nuclear, essas reduções só serão refletidas na capacidade nuclear instalada daqui a 8 ou 10 anos, permanecendo até lá em expansão a geração termo-nuclear de eletricidade nesses países, em razão dos reatores em construção ou já encomendados.

Ante as dificuldades do mercado de reatores dos países industrializados, onde a opinião pública se voltou contra uma expansão demasiadamente ambiciosa da energia nuclear, os fabricantes se voltaram para os países em desenvolvimento nos quais ainda não havia tão fortes pressões de opinião pública. Em 1975, a Westinghouse e a General Electric apresentavam uma participação no mercado mundial tão elevada quanto todos os demais fabricantes reunidos. As encomendas de construção de reatores nos Estados Unidos apresentaram um pico em 1973, para em seguida caírem. As companhias eram capazes de produzir por ano quatro vezes mais vasos de pressão de reatores e turbinas do que os Estados Unidos necessitavam em 1977. A Alemanha surgia então como o mais forte e agressivo competidor dos norte-americanos no mercado nuclear<sup>8</sup>.

Segundo declaração textual de um funcionário da KWU, esta empresa tinha capacidade de construir 6 reatores por ano e se daria por satisfeita se pudesse construir 3 na Alemanha. Havia, entretanto, dificuldade de competir com os norte-americanos fora da Alemanha<sup>9</sup>.

No período de 1973 a 1976, as exportações de reatores norte-americanos foram surpreendentemente ampliadas. Cada reator de 1000 Mwe exportado produzia um lucro de \$40 milhões (1974), que pode chegar a \$168 milhões quando o país importador não dispõe de tecnologia nuclear. Os lucros acumulados da exportação de equipamentos nucleares atingirão mais de \$15 bilhões em 1985. A exportação de tecnologia nuclear representará entre 2,4% e 2,7% das exportações norte-americanas em 1985, prevendo-se que serão de 3,2% a 4% em 2000<sup>7</sup>.

#### **IV — Panorama internacional**

O Atomic Industrial Forum de 1976 listou 46 países que utilizam (ou planejam utilizar) reatores nucleares para gerar eletricidade. Apenas seis desses países apresentam uma grande percentagem de participação nuclear na sua capacidade geradora: Suíça (18%), Alemanha Ocidental (15%), Suécia (13%), Inglaterra, França e Bélgica (10% cada) — veja tabela 1<sup>10</sup>.

Os programas nucleares receberam ímpeto com a crise do petróleo de 1973, especialmente nos países desprovidos de combustíveis fósseis (como a França e o Japão).

O crescimento do emprego da energia nuclear levantou dúvidas quanto ao suprimento do urânio para os reatores, agravado

TABELA I

## NÚMERO DE REATORES EM 1976 (10)

	EUA	Fora dos EUA
Em operação	64	112
Em construção	72	117
Ordenados	84	60
Planejados	8	180

com o problema do enriquecimento necessário para a maioria desses reatores. As reservas de urânio não são bem conhecidas e dependem do preço que se queira pagar para extraí-lo de minérios mais pobres. De qualquer modo, mesmo com as previsões mais otimistas, o aumento exponencial da potência nuclear instalada terminaria por abreviar o esgotamento do urânio no mundo, daí o interesse nos reatores regeneradores que produzem o elemento físsil.

Entretanto, o aumento do custo de reatores, aliado às regulamentações mais severas para a segurança contra a radioatividade e à oposição do público, terminaram por reduzir drasticamente os programas nucleares. Estão de fato paralisados os programas nucleares na Inglaterra e na Suécia; na Alemanha, tais programas estão em vias de paralisação. Nos Estados Unidos, as novas encomendas desceram a um nível mínimo, embora a capacidade nuclear instalada continue crescendo acentuadamente em razão dos reatores em construção e encomendados anteriormente.

O Japão e a França, contudo, continuam dando ênfase ao programa nuclear. Não obstante, a previsão da capacidade nuclear instalada no Japão, nos próximos 10-20 anos, reduziu-se bastante em relação ao planejado há dois ou três anos. Situação análoga ocorre na França, embora a redução seja menos acentuada.

Dessa forma, o suprimento de urânio pode tornar-se suficiente para os programas nucleares reavaliados. Segundo o relatório Mitre, há urânio bastante até o ano 2000 por \$40/libra e para todo o próximo século por \$70/libra<sup>11</sup>.

Portanto, tendo-se aumentado em poucos anos o preço do urânio (de \$8/libra para \$40), as reservas economicamente viáveis também aumentaram. Por essa razão, o mesmo relatório<sup>11</sup> recomenda o abandono ou adiamento do reprocessamento de combustível queimado e da construção dos reatores rápidos regeneradores para evitar a manipulação do plutônio, que pode ser facilmente utilizado como explosivo nuclear.

TABELA II

**NÚMERO DE REATORES — POTÊNCIA INSTALADA (GW)  
PAÍSES MEMBROS DA AIEA**

ANO	1977	1980	1984
ARGENTINA	1-319	2-919	2-919
ÁUSTRIA	—	1-692	1-692
BÉLGICA	4-1676	6-3475	9-6493
BULGÁRIA	2-837	4-1701	4-1701
BRASIL	—	1-626	3-3116
CANADÁ	9-4000	13-6793	19-10261
SUÍÇA	3-1006	5-2868	9-6833
TCHECOSLOVÁQUIA	1-110	5-1711	9-3391
ALEM. ORIENTAL	5-1695	9-3327	13-4959
ALEM. OCIDENTAL	15-8133	20-12997	39-35116
ESPAÑHA	5-2806	10-7287	18-15091
FINLÂNDIA	1-420	4-2160	4-2160
FRANÇA	13-5428	25-16428	38-29418
REINO UNIDO	34-6996	40-10710	40-10710
HUNGRIA	—	1-408	3-1224
FILIPINAS	—	—	1-600
ÍNDIA	4-810	6-1250	8-1690
IRÃ	—	1-1200	4-4200
ITÁLIA	4-1382	4-1382	9-5278
JAPÃO	16-8681	24-15010	33-21368
CORÉIA	1-564	1-564	3-1798
MÉXICO	—	—	2-1308
HOLANDA	2-499	2-499	2-499
PAQUISTÃO	1-126	1-126	2-726
RUMÊNIA	—	—	1-440
SUÉCIA	7-4676	10-7386	12-9506
URSS	32-11536	41-17816	45-21816
EUA	68-49439	95-77105	164-151744
IUGOSLÁVIA	—	1-632	2-1432
ÁFRICA DO SUL	—	—	2-1850
TOTAL	228-111140	332-195017	501-356337

Uma alternativa que vem sendo defendida pelos norte-americanos consiste na construção de centros internacionais de reprocessamento e produção de combustível nuclear de difícil uso como explosivo<sup>12</sup>. A posição norte-americana reflete a preocupação desse país em evitar que um crescente número de países venha a possuir a bomba atômica. Com esse objetivo o governo norte-americano advoga o abandono do uso de plutônio, nos reatores regeneradores, com o que

**TABELA III**  
**PREVISÃO DA POTÊNCIA NUCLEAR INSTALADA**  
**EVOLUÇÃO NOS ÚLTIMOS ANOS**

(GIGA WATT)

País e ano para que foi feita a previsão	Existência em 1977 (16)	Ano em que foi feita a previsão				
		1973 (13)	1974 (13)	1975 (13)	1976 (13)	1977 (16)
EUA	49,4					
1980						77
1984						151,7
1985				240	166	
ALEMANHA	8,1					
1980						12,9
1981		25,6				
1983						18,1 (17)
1984						35
1985		50				
FRANÇA	5,4					
1980						16,4
1981			22,6			
1985						29,4
JAPÃO	8,6					
1980		32				15
1985		60				21,3

discorda principalmente a França. Os Estados Unidos desaprovam também a exportação de instalações de enriquecimento e de reprocessamento de combustível nuclear e se opõem ao acordo nuclear Brasil-Alemanha.

A eficácia dessa posição norte-americana, com vistas à diminuição do perigo de uso militar da tecnologia nuclear, é discutível: países que já dispõem da bomba atômica obtiveram-na sem a utilização de reatores de potência; fizeram-na simplesmente construindo reatores especiais e mais baratos.

## V — Expansão dos reatores LWR e a crise da indústria nuclear

### a. Estados Unidos

Uma expansão acentuada da indústria de reatores nucleares ocorreu em 1967 nos Estados Unidos estimulada pelo crescimento da demanda de eletricidade e pelo baixo preço dos reatores LWR, oferecidos inicialmente pela General Electric e pela Westinghouse. Além disso, a disponibilidade do urânio enriquecido a baixo preço, produzido praticamente como subproduto de instalações para fins militares, tornava atraente a geração termonuclear de energia elétrica, não só nos Estados Unidos como também em outros países. Essa expansão foi seguida de uma redução das previsões de construção de reatores no início dos anos setenta<sup>13</sup>, seguida de uma queda ainda mais acentuada a partir de 1974/75. Essa evolução é mostrada na tabela IV, que apresenta as previsões do número adicional de **megawatts** de origem nuclear, feitas a cada ano, entre 1966 e 1975, para 1975, 1980 e 1985.

TABELA IV

#### PREVISÃO DE POTÊNCIA NUCLEAR ADICIONAL NOS EUA (em GIGA WATT) (13)

ANO PARA QUE FOI PREVISTA	ANO EM QUE FOI PREVISTA									
	1975	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966
1975	10,0	12,3	11,1	14,2	10,9	12,6	11,0	14,0	12,0	8,3
1980	14,6	12,0	19,0	16,6	21,1	18,9	20,0	23,0	22,0	15,0
1985	16,3	24,0	25,0	25,5	25,4	28,3	30,0	30,0	30,0	30,0

Tomando por base a linha que dá as previsões para 1980, vê-se que houve um máximo em 1968, um novo pico em 1973 (ano da crise do petróleo), diminuindo outra vez em 1974. Esse pico de 1973, motivado pela crise do petróleo, não é revelado naturalmente nas previsões para anos anteriores a 1980, uma vez que não haveria tempo para que uma central nuclear projetada em 1973 ficasse pronta antes de 1980. Entretanto, o pico não aparece também nas previsões para 1985, que caíram continuamente desde 1969. A fig. 1 mostra a queda da projeção de energia nuclear feita nos anos de 1970 e 1975 para o período 1975/85.

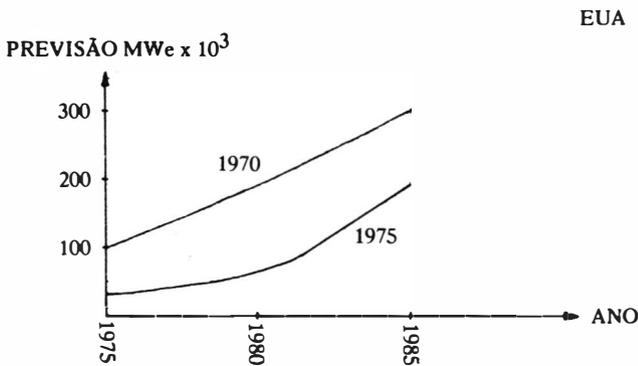
O declínio das encomendas de centrais nucleares nos Estados Unidos atinge níveis críticos. Como resultado de cancelamentos e adiamentos, em outubro de 1975, o número de reatores encomendados ou planejados caiu de 150, comparado com os dois anos anteriores<sup>13</sup>. Essa redução foi agravada pelo aumento do custo das centrais. Entre outros motivos, esses custos cresceram devido à demora no licenciamento e

construção, bem como a modificações de projetos causadas pelas exigências de segurança e regulamentações de proteção do meio ambiente, decorrentes da oposição do público em geral<sup>14</sup>.

Enquanto o número de reatores em operação nos anos de 1974, 1975 e 1976 aumentou de 55 para 57 e 65 respectivamente, o número de reatores encomendados diminuiu de 30 para 4 e 3, nesses mesmos anos<sup>15</sup>.

Os 57 reatores que operavam em 1975 produziam 7% da energia elétrica norte-americana. Em 1972, as projeções da USAEC eram da ordem de 1.200.000 Mwe/nuclear para o ano 2000, representando 33% da energia total. Em 1976, a ERDA anunciou uma redução desse potencial para 20%<sup>7</sup>. O presidente Ford, em 1975, anunciara 240.000 Mwe/nuclear para 1985. Em 1976, a ERDA reduzia a previsão para 1985 a 166.000 Mwe<sup>13</sup>. Segundo a AIEA, os Estados Unidos terão em 1984 151.744 Mwe/nuclear<sup>16</sup>.

FIGURA 1  
QUEDA NA PREVISÃO DE REATORES



#### b. Alemanha

Os reatores comerciais alemães são do tipo LWR, desenvolvidos a partir de projetos licenciados pela Westinghouse e General Electric. Em 1973 havia apenas 2.170 Mw de centrais nucleares, planejando-se atingir 50.000 Mw em 1985 e 25.632 Mw em 1981<sup>13</sup>. Os projetos atuais envolvem a construção de grandes reatores de 1200 Mwe, do tipo Bóbilis, construídos pela Kraftwerk Union e semelhantes aos PWR que serão trazidos para o Brasil pelo acordo nuclear.

Entretanto, as objeções públicas e exigências de segurança adicionais para os reatores levaram a indústria nuclear alemã a enfrentar uma situação bastante séria<sup>17</sup>. Em memorando para o governo de

Bonn, a KWU exprime a preocupação de que, sob as atuais condições, nenhum novo projeto poderá ser iniciado no país antes de 1981 ou 1983. A KWU estima agora uma necessidade de 35.000 a 38.000 Mwe/nuclear em 1985, enquanto os reatores já encomendados permitirão atingir apenas 18.100 Mwe/nuclear, em 1983. Como resultado, a KWU alega que ocorrerá o desemprego de 260.000 indivíduos altamente qualificados<sup>17</sup>.

Agravando esse quadro, é possível que seja obtida pelo parlamento uma moratória do programa nuclear alemão<sup>18</sup>.

### *c. França*

Após desenvolver um enorme esforço para ter uma tecnologia nuclear própria sob o governo de Gaulle, a mais drástica decisão do presidente Pompidou consistiu em abandonar os reatores de urânio natural-gás-grafita franceses. A França passou a adotar os reatores LWR norte-americanos, sendo os reatores PWR construídos pela Framatone e os BRW pela Alstom, sob licença da Westinghouse e da GE, respectivamente. Em março de 1974 foi anunciado que 40 reatores estariam encomendados em 1980.

Oficialmente previa-se então 32 reatores em serviço em 1981, totalizando 22.690 Mwe<sup>13</sup>; contudo, previsões recentes dão 25 reatores com 16.428 Mwe para 1980<sup>16</sup>. A necessidade dessa capacidade nuclear a ser instalada tem sido questionada, levando-se em consideração a possibilidade de redução da expansão de energia e o uso racional de outras fontes (carvão, usinas hidroelétricas e petróleo)<sup>19</sup>. Segundo estudos críticos<sup>20</sup>, seria incorreto basear praticamente todo o crescimento energético no uso da energia nuclear, chegando a 1985 com 70% de eletricidade de origem nuclear<sup>13</sup>. Apesar das críticas e da oposição do público, o programa nuclear francês permanece bastante intenso, inclusive na área de reatores rápidos da próxima geração.

### *d. Japão*

A dependência da importação do petróleo levou o Japão a conceder ênfase especial à expansão da energia nuclear. Em 1966, previa-se já 30-40.000 Mwe/nucleares para 1985, sendo esse número aumentado para 60.000 Mwe em 1971, quando havia dois pequenos reatores LWR em operação. Para isso seriam necessários 60-70 rea-

tores<sup>13</sup>. As estimativas mais recentes dão 21.368 Mwe/nuclear para 1984, com 33 reatores<sup>16</sup>.

Um problema grave para o Japão gira em torno da questão da localização dos reatores, uma vez que o país é montanhoso de origem vulcânica, encontrando-se pois sujeito a abalos sísmicos. A pequena parte habitável é densamente povoada e de agricultura intensiva. Há forte oposição pública aos riscos da radioatividade, sendo considerável a influência da lembrança das bombas de Hiroxima e Nagasaki.

Iniciado nos anos sessenta, o programa nuclear japonês baseia-se em reatores LWR, construídos por três grupos industriais — Mitsubishi, Hitashi e Toshiba — sob licença da Westinghouse e da GE. As estimativas feitas em 1972, de 32.000 Mwe/nuclear para 1980 — 18% da potência elétrica do Japão<sup>13</sup> —, foram reduzidas à metade, 15.010 Mwe<sup>16</sup>.

Em 1974, o Japão possuía sete reatores em funcionamento com uma capacidade total de 3.070 Mwe e 16 reatores em construção. As centrais nucleares japonesas, construídas sob licença norte-americana, tiveram graves problemas com o combustível, fissuras de canalizações, rupturas de tubos dos trocadores de calor, contando ainda com dificuldades de manutenção e reparação por falta de equipes especializadas em número suficiente. Os fatores de carga das centrais, que deviam ser da ordem de 70%, eram em 1975: 0%, 0%, 4%, 18%, 20%, 61%, 67% e 80% para os oito reatores existentes. Em setembro de 1975, cinco reatores estavam parados<sup>21</sup>.

## **VI — A sobrevivência das outras linhas de reatores e o êxito técnico do CANDU**

### *a. Inglaterra*

A Inglaterra possui uma posição extremamente favorecida do ponto de vista energético, contando com o petróleo do Mar do Norte, com carvão e tendo uma capacidade de geração elétrica instalada mais do que suficiente para atender sua demanda interna.

Nos anos sessenta foram construídos reatores refrigerados a gás (AGR) e reatores a água pesada (SGHWR), estando há algum tempo suspensas novas encomendas para construção de reatores.

Verifica-se uma polêmica sobre a conveniência de importação de tecnologia de reatores PWR, ocorrendo fortíssima objeção,

principalmente por razões de segurança. Os reatores ingleses são considerados intrinsecamente mais seguros que os LWR norte-americanos<sup>13</sup>. Estudos recentes favorecem a adoção dos PWR<sup>22</sup>. Não obstante, a posição de que os riscos de ruptura do vaso de pressão desses reatores são inaceitáveis — defendida pelo metalurgista A. Cottrell (assessor científico do governo) — exerce grande influência no tocante às decisões a serem tomadas<sup>7</sup>.

Um grande projeto na área de reprocessamento, com o objetivo de ampliar a usina de Windscale para reprocessar óxido de urânio oriundo de outros países, tem enfrentado forte oposição pública<sup>23</sup>.

#### *b. Canadá*

O Canadá desenvolveu e utiliza a única linha de reatores comercialmente alternativa aos LWR norte-americanos, a linha CANDU, isto é, o urânio natural e água pesada. Embora tenham sido deixados em modesto lugar (4% da potência nuclear instalada) pela agressividade comercial dos LWR, os reatores CANDU têm apresentado desempenho muito bom.

As quatro unidades de 500 Mwe, de Pickering, têm apresentado alto fator de carga, alcançando três desses reatores um fator de carga médio igual a 93% em 1976. O quarto chegou a apenas 68%, devido à necessidade de substituição de tubos de pressão, paralisando-o por dois meses. Os reatores canadenses instalados e programados até 1988 mostram ser relativamente modesto o programa em sua fase atual, embora se façam projeções de 83.000 Mwe para o ano 2000<sup>24</sup>.

Estudos estão sendo realizados com vistas à utilização de ciclos avançados de combustível nos reatores CANDU. Pretende-se demonstrar, por volta dos anos noventa, a viabilidade de se usar o tório como elemento fértil a ser convertido em urânio 233, usando-se o urânio enriquecido ou plutônio para dar partida no ciclo. Assim, os reatores CANDU, convertidos em regeneradores, estariam em competição com os reatores rápidos regeneradores ainda em desenvolvimento.

O Canadá cogita ainda de utilizar sua grande disponibilidade de energia elétrica instalada, construindo uma usina de enriquecimento de urânio.

### *c. Índia*

A Índia adotou a linha de reatores canadenses por julgá-la a única que permitiria a transferência de tecnologia no nível desejado por aquele país, além de assegurar a independência no suprimento do combustível. O reator CANDU não necessita de grande vaso de pressão usando, ao invés dele, muitos tubos pequenos de pressão, dentro dos quais fica o combustível encamisado e corre o refrigerante (água pesada). Esses tubos ficam mergulhados em um grande vaso cheio de água pesada, que funciona como moderadora. Além de dar maior segurança — pois ainda não há o perigo da ruptura catastrófica do vaso, liberando enorme quantidade de material radioativo, acumulado no núcleo —, os tubos de pressão são de tecnologia mais simples e podem ser fabricados por indústrias menores. Ao contrário da calderaria pesada dos vasos de pressão — dominada por poucos fabricantes no mundo e extremamente sensível à economia de escala —, os tubos de pressão podem ser fabricados economicamente em um país que não possua um programa nuclear de larga escala<sup>25</sup>.

Outro fator favorável a um desenvolvimento nuclear em escala modesta é a ausência do enriquecimento no ciclo do combustível. Surge, entretanto, o problema da produção de água pesada, que deve ser feita em grande quantidade para suprir o refrigerante/moderador para o reator. Embora a água pesada não seja queimada como ocorre com o combustível, há perda durante o funcionamento, necessitando sua reposição. A tecnologia de produção de água pesada, além de mais simples do que a de enriquecimento, está completamente aberta.

A Índia começou em 1956, construindo um grande reator de pesquisa, e em 1964 decidiu-se pela construção da central de RAPP, com dois reatores CANDU de 200 Mwe cada um. A primeira unidade entrou em operação em 1972. A Índia rapidamente nacionalizou o projeto e a construção do reator RAPP II, sendo possível atualmente a construção, no próprio país, de 80% do reator CANDU, sem ajuda ou consultoria estrangeira. Com seus próprios cientistas, a Índia desenvolveu sua tecnologia nuclear. Em Trombay, 10.400 pessoas trabalham nos laboratórios; destas, 2.400 são cientistas<sup>26</sup>.

A bomba nuclear indiana, que explodiu em 1974, se de um lado demonstrou o grau de autonomia tecnológica alcançada, por outro criou problemas para a continuidade da cooperação canadense e alertou o mundo para a possibilidade de que novos países venham a ter artefatos nucleares.

#### *d. Argentina*

Em 1965, o governo argentino determinou que fossem realizados estudos de viabilidade de uma central nuclear próxima a Buenos Aires. De início, foi reconhecido que a compra de um reator nuclear não se reduz a uma simples operação comercial, especialmente quando se trata do primeiro, o que poderá determinar uma linha a ser seguida pelo país a longo prazo<sup>27</sup>. As conclusões desses estudos incluíram pontos tais como: a central deveria ser competitiva com outras termoeletricas, prover uma importante fonte de contratos para a indústria argentina, utilizar os recursos naturais em urânio do país e beneficiar o desenvolvimento científico e tecnológico nacional.

A discussão que se seguiu girou em torno da escolha do combustível. De um lado, encontram-se os defensores da linha do urânio natural, que enfatizavam que a mesma permitia maior autonomia ao país; do outro, encontram-se aqueles que consideravam essa linha ultrapassada, pois a grande maioria dos países tendia para os LWR americanos. Decidiu-se deixar em aberto o problema, aceitando-se propostas de ambos os tipos de combustível. Essas propostas foram apresentadas em julho de 1967. Foi resolvida a construção de um reator de água pesada sob pressão e urânio natural, apresentada pela Siemens. A central de Atucha, de 320 Mwe, foi construída com 40% de participação da indústria argentina e tem apresentado ótimo desempenho em fator de carga.

Em 1974, foi estabelecido um plano para o período até 1985, prevendo-se 4 reatores do tipo CANDU de 600 Mwe cada um, além da central do Rio III, do mesmo tipo, já em construção àquela época. Assim seriam totalizadas 3.320 Mwe geradas por cinco centrais nucleares em 1985. Esse plano previa ainda a produção de 650 toneladas de urânio natural para esse mesmo ano, além da produção da água pesada para os reatores. Assinale-se que em 1973 já fora anunciada a instalação de uma usina de separação de água pesada, de 600 toneladas anuais.

Problemas internos, que levaram a um êxodo de cientistas e técnicos argentinos da mais alta qualificação (muitos dos quais para o Brasil), têm obstaculizado o programa nuclear argentino.

## VII — Efeitos no meio ambiente e segurança dos reatores nucleares\*

### *a. Efeitos da radiação no meio ambiente*

No plano internacional, especialmente nos países desenvolvidos, tem-se verificado uma séria polêmica acerca dos riscos de acidentes em reatores nucleares de contaminação radioativa do meio ambiente com os efeitos conseqüentes para as populações. Apesar da operação normal, sem acidentes, dos reatores, a geração termonuclear de eletricidade implica em uma certa descarga de elementos radioativos para o meio ambiente. A parcela dessa descarga que é originada diretamente da central nuclear durante seu funcionamento deve ser mantida abaixo de limites bastante baixos e rígidos, de tal forma que seus efeitos sejam considerados desprezíveis segundo os conhecimentos científicos sobre os efeitos biológicos da radiação. A outra parte dessa descarga radioativa inevitável vem do ciclo do elemento combustível. Já na mineração do urânio, uma apreciável quantidade de rádio é liberada no meio ambiente. O problema, contudo, que tem despertado maior atenção e que permanece virtualmente sem solução definitiva reside em torno da questão dos rejeitos radioativos, originados do combustível queimado.

Durante o funcionamento do reator, o urânio existente no seu interior transforma-se em uma variedade enorme de elementos radioativos. Além disso, átomos dos materiais estruturais e também do próprio refrigerante tornam-se radioativos ao absorverem os nêutrons produzidos na fissão do combustível.

Quando um reator a água leve de 1.000 Mwe é colocado em operação pela primeira vez, seu combustível possui uma radioatividade natural de 150 curies em um PWR. Operando a plena potência, a radioatividade alcança  $1,7 \times 10^{10}$  curies após um ano, quando 1/3 do combustível é trocado. Aproximadamente 98% da radioatividade é confinada dentro das barras de combustível. Após retiradas, essas barras devem permanecer um período mínimo de 180 dias dentro de uma piscina localizada junto ao reator, sendo refrigeradas para então serem transportadas.

Após esse período, o combustível queimado pode ser enviado à usina de reprocessamento, onde é separado o resíduo de U-235 utilizável (cerca de 10 gramas por quilograma) e o plutônio produzido;

\* Esta seção foi abreviada na apresentação feita no Simpósio.

o que resta, após o reprocessamento, constitui o lixo radioativo que deve ser armazenado **ad infinitum** em local seguro e inacessível. Esse armazenamento constitui um sério problema pois não foi ainda encontrada uma solução que garanta o isolamento perfeito e eterno desse material com o meio ambiente. Nos Estados Unidos, cogita-se utilizar minas de sal profundas, por serem isentas de umidade, evitando-se o transporte de material eventualmente vazado em águas subterrâneas.

Os radionucleídeos, produzidos no combustível durante o funcionamento do reator, incluem alguns elementos de meias-vidas muito longas, cujos efeitos nocivos aos seres vivos se estendem por gerações (Tabela V).

**TABELA V**

**MEIAS-VIDAS DE ALGUNS ISÓTOPOS EM ANOS**

Césio 137	—	30
Estrôncio 90	—	28
Plutônio 238	—	86
Plutônio 240	—	6.500
Plutônio 239	—	24.000
Plutônio 242	—	279.000

Esses elementos emitem partículas alfa (núcleos de hélio 4), beta (elétrons ou pósitrons) e raios gama (ondas eletromagnéticas de altíssima frequência). Essa radiação emitida pode destruir as células dos organismos ou induzir câncer ou defeitos genéticos, ao alterar as características das células quando as doses recebidas são excessivamente altas. Baixas doses, da ordem de grandeza da radioatividade normalmente existente no meio ambiente, devida aos raios cósmicos e aos elementos radioativos presentes na natureza, não provocam danos maiores. O césio 137, por exemplo, é passível de ser inalado, irradiando internamente o corpo humano com raios gama penetrantes. Tanto ele como o estrôncio 90 podem atingir o homem via solo-capim-vaca-leite-homem. O plutônio pode ser retido no pulmão por longos períodos, emitindo partículas alfa que produzem destruição dos tecidos, intensa e muito localizada.

Esse assunto tem sido exaustivamente discutido em nível internacional, daí resultando recomendações muito severas no tocante ao controle e prevenção da contaminação radioativa causada pela utilização da energia nuclear.

### *b. Segurança dos reatores e riscos de acidentes*

A polêmica sobre a segurança dos reatores nucleares atingiu um nível tão intenso nos países industrializados que, devido às pressões de parte da comunidade científica e da população, os licenciamentos de centrais nucleares têm sofrido atrasos; além disso, precauções mais severas têm sido exigidas para os projetos dos reatores.

Os reatores térmicos não podem em hipótese alguma explodir como uma bomba atômica. O perigo real desses reatores reside em uma explosão térmica convencional que faça expelir para o meio ambiente a enorme quantidade de material radioativo acumulado no seu interior. Nos reatores PWR, adotados no Brasil, esse material está contido em um vaso metálico sob uma pressão 150 vezes maior do que a pressão atmosférica no meio exterior. Esse vaso de pressão, construído sob especificações severas e com cerca de 20cm de espessura, é envolvido por uma blindagem e contido em um enorme prédio de contenção. Tubulações ligam esse vaso aos pressurizadores e trocadores de calor onde a água, aquecida a cerca de 300°C pela fissão nuclear, vai gerar o vapor, em um circuito secundário, que aciona as turbinas geradoras. O problema mais sério consiste em um acidente de perda de refrigerante, devido à ruptura de uma dessas tubulações, interrompendo a retirada do calor do caroço do reator. Esse caroço pode então fundir-se e fazer explodir o vaso de pressão.

Para evitar tais acidentes, dois sistemas principais de segurança são usados: um que apaga o reator pela inserção de barras de cádmio e água boraca no seu caroço (SCRAM); outro, que provê a refrigeração de emergência do núcleo (ECCS).

O sistema SCRAM tem funcionado de maneira muito satisfatória; havendo qualquer anomalia no funcionamento do reator, automaticamente caem as barras de segurança e a forte absorção de nêutrons nas mesmas faz cessar a reação da fissão em cadeia. Em média, esse sistema interrompe 10 vezes por ano o funcionamento de um reator de potência em virtude de anomalias eventuais.

Entretanto, mesmo após ter sido desligado o reator, cessando as fissões, continua a haver geração de calor no seu interior, pela desintegração radioativa dos produtos de fissão lá existentes. Imediatamente após o desligamento, isso representa 7% da taxa de calor gerado em operação, governada pelas meias-vidas dos produtos de fissão mais ativos. Essa taxa cai a 2% após 10 minutos, 1% após duas horas e meia, 0,5% após um dia. Esse calor é suficiente para fundir o caroço do reator caso este não continue a ser refrigerado. Logo, caso

ocorra um acidente de perda de refrigerante, torna-se imprescindível que funcione o sistema de refrigeração de emergência (ECCS).

O ponto crucial reside no fato de que o ECCS jamais foi chamado a funcionar em um reator de potência, pois jamais ocorreu um acidente desse tipo. Esse fato, se de um lado atesta o ótimo desempenho dos reatores, de outro torna inconclusiva a efetividade do ECCS em um caso real.

Um estudo encomendado pela antiga Atomic Energy Commission (dos Estados Unidos) e realizado no Massachusetts Institute of Technology (MIT) sob supervisão do prof. N. Rasmusen<sup>28</sup> concluiu ser muito pequena a probabilidade de acidentes em reatores. A conclusão é de que a probabilidade de morte, devido a 100 reatores nos Estados Unidos, é muitíssimo menor do que aquela devida a acidentes (atropelamentos, etc.) ou fenômenos naturais (inundações, etc.). Para chegar a esse resultado, Rasmusen e sua equipe utilizaram a técnica de árvore de eventos e de falhas, desenvolvida pela NASA, procurando identificar todas as possíveis seqüências de eventos que conduzam à ocorrência de acidentes.

Para se calcular a probabilidade do acidente ocorrer, torna-se essencial avaliar a probabilidade de ocorrência de cada evento ou falha. Nesse ponto reside um aspecto do relatório Rasmusen que tem sido questionado, especialmente pelo grupo de trabalho da American Physical Society<sup>29</sup>. A experiência com reatores nucleares é muito pequena para serem conclusivos os dados de natureza estatística sobre o funcionamento de reatores, tornando vulnerável o cálculo probabilístico efetuado.

Outra questão apontada pelo grupo da APS é que o funcionamento da refrigeração de emergência (ECCS) afigura-se imprevisível sob condições reais, uma vez que seu projeto e a análise de seu desempenho são baseados em modelo reduzido e com parâmetros empíricos ajustados.

### *c. Conseqüências de acidentes em reatores*

O problema dos riscos de acidentes em reatores foi também tratado no relatório MITRE/Fundação Ford<sup>11</sup>. Tomando por base o WASH 1400 e introduzindo as condições mais desfavoráveis possíveis, as conseqüências de um acidente extremamente sério em um reator (com fusão do caroço e rompimento do prédio de contenção) são apresentadas no relatório MITRE.

TABELA VI

**CONSEQÜÊNCIA DO MAIS GRAVE ACIDENTE EM UM REATOR PWR (28)**

PRAZO	CONSEQÜÊNCIA
Semanas	3.300 mortes 45.000 doentes, a maioria com câncer
Trinta anos	+ 45.000 casos de câncer fatais 240.000 nódulos na tiróide, em geral não fatais
Cento e cinquenta anos	30.000 defeitos genéticos

Essas conseqüências foram obtidas pelo relatório MITRE, no caso mais pessimista, aplicado a uma população de 10 milhões de habitantes, residindo a uma distância de até 500 milhas do acidente, atingida pela nuvem radioativa emanada.

É importante observar que a probabilidade de um tal acidente ocorrer é muitíssimo pequena  $5 \times 10^{-9}$  por reator-ano, isto é, 5 em 1 bilhão por ano, segundo o relatório Rasmusen. Esse número é criticado no relatório MITRE, que estabelece um limite superior de  $5 \times 10^{-5}$ , isto é, 5 em 100.000 por reator-ano. Tomando para o ano 2000 a existência no mundo de 5000 reatores-ano de operação acumulada — equivalente à média de 250 reatores funcionando há 20 anos —, a probabilidade de ocorrer o acidente atingirá a  $5 \times 10^{-5} \times 5000 = 25 \times 10^{-2}$ , isto é, 25%. Esse número já não é desprezível: uma chance em quatro. Segundo o relatório MITRE, existe uma chance significativa de que um tal evento possa ocorrer durante este século. Embora não se possa esperar que esse cálculo pessimista forneça a probabilidade correta, de qualquer modo estabelece um limite superior para seu valor.

O relatório MITRE faz também uma comparação dos riscos da energia nuclear com o do uso das termoelétricas a carvão (que é a opção competitiva em face à nuclear para os norte-americanos). Os resultados não são favoráveis à utilização do carvão. Em operação normal, a termonuclear é muito menos poluente do que o uso do carvão. Um problema grave na queima deste último reside na concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, concentração que já atinge um limite elevado, alterando o equilíbrio entre a energia solar absorvida e emitida pela terra, a ponto de influir na temperatura média do planeta. Em conseqüência, podem ocorrer alterações do clima global da terra e certamente já se verificam alterações de microclimas em regiões específicas.

É oportuno observar que a queima de carvão no hemisfério sul quase não contribui para essa situação e não é esse um problema brasileiro de fato. Mesmo ampliando largamente a utilização de carvão (que é abundante no sul do país) para gerar eletricidade no Brasil, seu efeito global é desprezível se comparado com a enorme poluição oriunda da queima do carvão no hemisfério norte. Há que se considerar os efeitos de partículas de substâncias poluentes e de compostos de enxofre lançados na atmosfera e que causam doenças do aparelho respiratório. O uso de filtros e uma rigorosa legislação podem reduzir bastante tais problemas.

Também no caso da poluição nuclear é possível que, em princípio, medidas rigorosas e uma fiscalização adequada mantenham-na em níveis socialmente aceitáveis para um país carente de energia para fins socialmente úteis. É essa a questão em debate nos países da Europa Ocidental, no Japão e nos Estados Unidos.

No caso brasileiro, a energia hidroelétrica se apresenta como a opção mais óbvia e muito menos poluente do que as termoeletricas. É entretanto oportuno observar que até mesmo as grandes barragens podem trazer efeitos ambientais e sociais negativos que não devem ser esquecidos. As inundações que acarretam, p. ex., provocam deslocamentos de populações e inutilização de terras e, se o volume de água for muito grande e a profundidade for excessiva, pode ocorrer indução de abalos sísmicos<sup>30</sup>.

## VIII — A situação brasileira

### *a. O programa nuclear brasileiro*

Por se tratar de objeto específico de outros trabalhos apresentados neste Simpósio, será fornecido aqui apenas um quadro esquemático da situação da energia nuclear no Brasil.

O programa nuclear brasileiro prevê a construção de oito reatores PWR de 1.300 Mwe em um prazo de quinze anos, nos termos do acordo celebrado em 1975 com a Alemanha Ocidental. Para a execução desse programa foi criada a NUCLEBRÁS, empresa que deverá manter sob controle do Estado as atividades industriais do campo nuclear, incluindo, de forma integrada, empresas de engenharia, de fabricação de equipamentos pesados e de combustível.

O acordo prevê as seguintes atividades, a serem desenvolvidas por subsidiárias da NUCLEBRÁS, associadas a empresas alemãs:

- a) exploração e mineração de urânio no território brasileiro, sendo 20% do minério destinados à Alemanha;
- b) enriquecimento do urânio, usando o processo de jato centrífugo em desenvolvimento na Alemanha;
- c) fabricação do elemento combustível;
- d) reprocessamento do combustível usado;
- e) construção de reatores com progressiva nacionalização dos mesmos.

As atividades do item (a) tiveram algum êxito, tendo sido mais do que dobradas as reservas conhecidas de urânio no país. Ainda assim, o total de 26.000 toneladas é baixo tendo-se em conta as necessidades do próprio programa nuclear, que dependerá de importação de combustível caso não se descubram novas reservas.

O item (b) está sendo implementado na Alemanha, dependendo ainda de comprovação técnica em escala industrial do processo, que consome muita energia elétrica. Há forte oposição norte-americana contra a efetivação dos itens (b) e (d), por permitirem a produção de matéria-prima (urânio altamente enriquecido e plutônio) para a bomba atômica. Até agora não foi concretizado o item (d). Quanto ao (c), até o momento foi contratada a construção de dois reatores (Angra II e III) dos oito previstos. Verifica-se intensa atividade no campo de organização das empresas subsidiárias da NUCLEBRÁS e de formação de recursos humanos.

Os reatores que serão trazidos para o Brasil, através do acordo com a Alemanha, são do tipo Biblis — os maiores do mundo —, desenvolvidos pela KWU a partir da patente concedida pela Westinghouse.

A opção pela linha de reatores a urânio enriquecido no Brasil data de 1968, quando foi decidida a compra do reator Angra I, de 627 Mwe e de fabricação Westinghouse (atualmente em final de construção). Essa opção enfrentou decidida oposição de importantes técnicos e cientistas — especialmente por parte dos físicos —, que defendiam a linha a urânio natural por permitir maior autonomia ao país<sup>31</sup>. Em particular, havia o Grupo do Tório, no Instituto de Pesquisas Radioativas em Belo Horizonte, que desenvolvia um projeto de reator brasileiro que viria a usar tório como o elemento fértil<sup>32</sup>. Após a crise do petróleo, a suspensão da garantia de fornecimento de urânio enriquecido por parte dos Estados Unidos revelou a vulnerabilidade da linha adotada. A hipótese de se desenvolver um programa nuclear próprio, de longo prazo, foi afastada pela necessidade de queimar etapas face a alegada urgência da energia nuclear para a região centro-sul<sup>33</sup>.

A solução encontrada foi transferir para o país todo o ciclo do combustível, inclusive o enriquecimento do urânio, o que seria compatível com um programa de construção de vários reatores. Esse programa foi justificado tendo em vista alguns pontos que são postos em dúvida nesse Simpósio<sup>34</sup>:

- a) o crescimento da demanda de energia elétrica, nos próximos 20-30 anos a uma taxa igual à dos últimos três anos;
- b) o esgotamento do potencial hidroelétrico da região centro-sul, por volta de 1990;
- c) a dificuldade técnica e alto custo da transmissão da energia hidroelétrica da Amazônia, onde ela é potencialmente abundante, até os centros consumidores;
- d) a ausência de combustíveis fósseis no país — petróleo e carvão — em quantidades adequadas à geração termoelétrica.

Aos argumentos concretos de ordem econômica podem ser acrescentados outros, especulativos, de ordem geopolítica. Após a explosão da bomba atômica indiana, em 1974, todos os países de dimensões territoriais análogas às do Brasil ou possuem a bomba (Estados Unidos, União Soviética, China e Índia) ou a tecnologia para fazê-la (Canadá). Além disso, a Argentina optou por uma linha tecnológica que a tornou mais autônoma e independente no campo nuclear do que o Brasil, possuindo inclusive uma substancial quantidade de plutônio “sujo”, isto é, misturado a outros elementos no combustível queimado armazenado. Há a questão do prestígio de poder nacional oriundo da existência no país de instalações nucleares, por mais remotamente que essas o habilitem a dispor dos meios para produzir explosivos nucleares e por mais distantes que estejam as intenções de produzi-los.

Deve-se observar, entretanto, que a não-assinatura do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares não exime o Brasil das normas de salvaguarda da Agência Internacional de Energia Atômica, no que tange às instalações transferidas pelo acordo nuclear; e que, ademais, o governo alemão bem como o brasileiro assumiram compromissos formais nesse sentido.

O acordo Nuclear tem sido criticado, especialmente em uma série de publicações da SBF<sup>35</sup>, no que tange à viabilidade da absorção da tecnologia transferida, a ponto de conceder ao país autonomia para

conceber e executar seus próprios planos nucleares para o futuro. Segundo essas críticas, há o risco de se estar introduzindo uma tecnologia fora do controle nacional, uma vez que os projetos dos reatores já vêm prontos e sua sofisticação dificulta a participação da indústria nacional. Além disso, arrisca o país a ficar dependente do combustível nuclear importado, caso falhe ou retarde muito a entrada em operação do processo de enriquecimento, ainda em fase de desenvolvimento na Alemanha, ou caso não se descubra muito mais urânio no Brasil.

Uma comissão especial da SBF concluiu que, para dominar a tecnologia nuclear, dever-se-ia iniciar imediatamente no país o projeto e a construção de um reator nacional. Esse poderia ser um pequeno reator de potência de 30 a 40 Mw, a urânio natural.

Na hipótese de não se confirmarem como verdadeiras as quatro premissas acima enumeradas, há tempo para se desenvolver tecnologia nuclear internamente para o caso de a mesma vir a ser imprescindível ao país daqui a 20 ou 30 anos. É claro que seria desejável contar com a colaboração internacional para esse desenvolvimento mas o preço a pagar em dólares poderia ser reduzido, os recursos internos seriam melhor utilizados e novas opções tecnológicas poderiam vir a surgir, de forma mais adequada para o país. Mesmo nessa alternativa a Alemanha poderia ser um parceiro adequado, como foi para a Argentina construir o reator de Atucha, ao invés de vender bilhões de dólares de uma tecnologia de utilidade duvidosa para a geração de energia elétrica em nosso país, com um custo de investimento de \$1500 por kw, preço que é quase o dobro do valor internacionalmente aceito para as centrais nucleares.

#### *b. A segurança das instalações nucleares no Brasil*

Esse assunto foi objeto de estudo recente por um grupo de trabalho da SBF<sup>36</sup>, cujo relatório final inclui recomendações concretas, entre as quais encontram-se:

- a) a reestruturação da Comissão Nacional de Energia Nuclear, tornando-a órgão independente do Ministério de Minas e Energia e permitindo-lhe melhores condições e maior autoridade na fiscalização das instalações nucleares das empresas ligadas a esse ministério;
- b) a abertura do procedimento para licenciamento de instalações nucleares ao público, de modo que qualquer socie-

- dade civil possa apresentar legalmente objeções, como ocorre na Alemanha Ocidental; ao lado disso, a criação de um Conselho formado por cientistas e técnicos independentes para avaliar a procedência das objeções;
- c) a promoção de estudos acerca dos problemas de segurança de reatores nucleares e da poluição radioativa do ciclo do combustível;
  - d) a promoção do desenvolvimento de fontes alternativas de energia mais seguras e menos poluentes.

Essas recomendações foram encaminhadas aos órgãos responsáveis pela política nuclear, aguardando-se até agora resposta objetiva. A ausência dessa resposta motivou a criação de uma comissão interdisciplinar conjunta da SBPC/SBF para dar continuidade ao estudo do problema, incluindo seus aspectos jurídicos e sociais.

A posição que transparece no relatório da SBF é de que o problema dos riscos da indústria nuclear está longe de se reduzir aos aspectos puramente técnico-científicos. Há uma grande dose de julgamento político entre os riscos inevitáveis e os benefícios desejados, cabendo à sociedade decidir acerca dos mesmos.

Fechar totalmente ao país a opção nuclear para o futuro é uma grande responsabilidade histórica, que pode resultar em um erro tão grande quanto se lançar cegamente ao uso da energia nuclear em larga escala no presente. Entretanto, mistificar a energia nuclear e omitir os sérios perigos trazidos pelo uso é uma atitude irresponsável.

Por trás da polêmica nuclear que se desenvolve no mundo há o fato de que um acidente nuclear grave é extremamente improvável; mas, se isso vier a ocorrer, poderá acarretar dezenas de milhares de mortes, câncer e defeitos genéticos. É fundamental compreender que para manter tão baixa essa probabilidade de ocorrer o acidente nuclear são necessários cuidados especiais, normas rigorosas, fiscalização eficiente e descomprometida. Nos países desenvolvidos, essas normas têm se tornado cada vez mais rígidas graças às exigências de uma opinião pública ativa alertada por cientistas independentes e conscientes de sua responsabilidade social.

No Brasil, o nível precário da educação da população agrava a periculosidade da poluição radioativa, imperceptível aos sentidos do homem e detectável apenas através de instrumentos sofisticados. Nesse caso, cresce em importância o papel do cientista e do técnico em educar e alertar a população e em propor e cobrar as medidas adequadas por parte do governo.

## REFERÊNCIAS:

- (1) *Nucl. Energy Digest* 1/2, 1977, 11.
- (2) E. Teller, *Science and Public Policy*, jun. 1977, 234.
- (3) *Nucl. New*, ago. 77, 93.
- (4) C. Lebrun e M. Mezin, *Recherche* 71, out. 76, 823.
- (5) M. Damian, Notas de Aula, Univ. Grenoble, 1976.
- (6) J. Schallosser e E. Echoder, IAEA, 1970.
- (7) J.M. Haucuz, *Interciência*, set/out. 77, 264.
- (8) N. Gall, *Foreign Policy* 23, 155 (1976).
- (9) N. Gall. *op. cit.*, 177; *Visão*, 7 jul. 75, 16.
- (10) C. Walske, *International Security*, vol. 1, nº 3, 1977, 94.
- (11) *Nuclear Power — Issues and Choices — Report Ford Foundation/MITRE Corporation*. 1977.
- (12) H. Feiveson et al., *Bul. At. Sc.*, dez. 76, 10.
- (13) J. Surrey e C. Huggett, *Energy Policy*, dez. 76, 292.
- (14) *Business Week*, 17 nov., 1975, 99.
- (15) ERDA, citado no *Time*, 21 mar. 77, 41.
- (16) AIEA, *Power Reactor in Member States*, abril, 1977.
- (17) S. Rippon, *Nuc. News*, abril 77, 85.
- (18) *Nucl. News*, out. 77, 68.
- (19) B. Laponche; *Bul. At. Sc.*, dez. 76, 45.
- (20) *Rapport "Alternatives au Nucléaire"*, \*Grenoble, 1975.
- (21) M. Grenon, *Revue de l'Energie*, 1976.
- (22) S. Rippon, *Nucl. News*, set. 77, 68.
- (23) *Nuc. News*, ago. 77, 100.
- (24) *Energy International*, maio 77, 20.
- (25) R. Guard, *Energy Intern.*, maio 77, 17.
- (26) R. Gillete, *Science*, jun. 74.
- (27) J.A. Sabato, *World Development*, vol. 1 nº 8, ago. 73, 23.
- (28) WASH 1400 — *Reactor Safety Study* (Relatório Rasmussen), 1975.
- (29) Relatório da American Physical Society, *Rev. Modern Physics*, vol. 47 sup., 75.
- (30) A. K. Biswas, *Water Power and Dam Const.*, maio 76, 40.
- (31) Destacaram-se na defesa de uma solução nacionalista para a energia nuclear os físicos M. Schemberg, M. Damy, F. Magalhães Gomes, J. Leite Lopes, R. Salmeron, J. Goldemberg.
- (32) Parte das conclusões desse grupo estão no livro *Introdução à Geração Núcleo-Elétrica*, J. Mello, C. Urbom, G. Lages, S. Brito, UFMG, 1968.
- (33) *Livro Branco — O Programa Nuclear Brasileiro*, Brasília, 1977.
- (34) O item (a) é discutido no trabalho de Antônio de Castro; os itens (b) e (c) no de Frederico M. Gomes; o item (d) no de A. Silva Telles.
- (35) Moção sobre o Acordo Nuclear, IX Reunião Anual da SBF. *Boletim SBF* nº 3, 75; Relatório da Comissão Especial da SBF, *Bol. SBF* nº 5, 1975; Boletim Especial sobre Energia, *Bol. SBF* nº 4, 1977.
- (36) Relatório do Grupo de Trabalho sobre Poluição Nuclear, *Bol. Especial SBF*, 1977.

## APÊNDICE A

### Debates em torno das exposições dos professores Antônio Barros de Castro, Affonso da Silva Telles e Luiz Pinguelli Rosa.

**Arnaldo Teles Ribeiro (ELETROBRÁS):** Gostaria de fazer um comentário, especialmente sobre a parte de comparação entre CANDUs e PWRs. O reator da Inglaterra, a que o Pinguelli se referia, é o AGR, que constitui um avanço no reator a gás. Os ingleses dispõem também de um reator que é na realidade uma variação do CANDU. A tecnologia é inteiramente inglesa, o que gera uma resistência por parte dos ingleses em reconhecer que o PWR seja mais econômico. Contudo, os estudos mostram que o PWR é realmente mais econômico e não está sendo adotado em razão dessa resistência industrial inglesa.

Com relação ao fator de capacidade mais baixo dos reatores a água, podemos dizer o seguinte: a afirmação de que o valor médio é abaixo de 60% é verdadeira. Isso, contudo, deve-se a dois fatores: o primeiro, que esse valor é para LWR, envolvendo PWR e BWR, juntos. O BWR realmente tem tido um desempenho bem inferior ao dos PWRs. O outro fator é a imaturidade média das usinas existentes no momento. Estudos estatísticos mostram que a esperança de desempenho aumenta com a maturidade, isto é, em torno de 55% no primeiro ano, aumentando até 70% em usinas maduras. Então, como a vida média de uma usina

pode ser até de 30 anos, esses quatro anos iniciais apresentam uma importância bastante relativa.

No tocante à afirmação de que o carvão hoje em dia é mais econômico do que a energia nuclear, gostaria de mencionar que considero esse argumento completamente discutível, uma vez que há estudos provando o contrário. Isso depende muito da localização da mina, também. Se dispusermos de uma usina de carvão situada junto à mina, esta será certamente mais econômica do que a nuclear; mas se, ao contrário, tivermos que transportar a longas distâncias, esse fator favorável desaparece.

**Luiz Pinguelli Rosa (COPPE-UFRJ):** Gostaria de observar que os reatores canadenses também padecem do mesmo problema, isto é, de estarem nos primeiros anos de sua vida. A comparação foi feita, portanto, entre duas tecnologias, ambas razoavelmente novas (sendo, aliás, a dos PWRs um pouco mais antiga). Dessa forma, a comparação permanece válida. Se fizermos uma comparação de fator de carga, tomando apenas o subconjunto dos PWRs entre todos os LWRs, ela também não é favorável a estes, quando postos em confronto com os reatores de água pesada do tipo CANDU, que estão

na faixa de 80 a 90%.

Em segundo lugar, concordo que os estudos econômicos estão realmente favorecendo, segundo as publicações que lemos, a entrada dos PWRs na Inglaterra. Afirmei anteriormente que uma das principais objeções alegadas diz respeito à segurança do reator, pois os ingleses consideram que o vaso de pressão é muito perigoso de se romper quando se trata dos PWRs. Um importante metalurgista, Cottrell, deu essa opinião, que está pesando muito na balança em razão de seu cargo de assessoria junto ao governo britânico. É claro que há um certo nacionalismo por parte dos ingleses defendendo seu reator, seu mercado de trabalho, etc. A opção economicamente melhor pode não estar de acordo com outros fatores que venham a influir nas decisões. Por exemplo, no Brasil: se tomarmos o critério econômico, a energia nuclear é um disparate. Não podemos nos basear, contudo, apenas no critério econômico: há outros critérios, políticos, que acredito devam ser discutidos. Naturalmente são esses outros critérios que os ingleses levam em conta, além do econômico, ao defenderem seu mercado para sua tecnologia.

**Antônio Barros de Castro (FINEP):** No que toca à observação do preço relativo da energia a partir de carvão, ou da energia núcleo-elétrica, o que pretendia afirmar aqui e reitero é que houve, nos últimos anos, uma mudança considerável da curva de custo comparado de ambos. Se há 10 anos atrás era patente que o **kilowatt** nuclear seria mais barato que o carvão, nos últimos anos, quer pela surpreendente evolução do preço do urânio, quer pelo aumento extraordinário do custo das instalações nucleares (e não apenas por problemas de segurança), a termoelétrica a carvão voltou a ser competitiva com a núcleo-elétrica. Reconheço, no entanto, que há hoje uma proximidade de custos que permite que, dependendo de determinados fatores (p.

ex., o transporte), uma fique mais barata que a outra e vice-versa. Isto, porém, não coloca em questão o básico que queria assinalar: a evolução imprevista, surpreendente e desanimadora dos custos nas usinas nucleares.

**Nelson Maculan (COPPE):** Tenho aqui uma pergunta para o Castro. Gostaria que o conferencista, caso seja possível, fizesse uma comparação dos investimentos que estão sendo realizados no plano nuclear brasileiro, em relação à nossa dívida externa, em relação à pesquisa tecnológica que poderia ser realizada no país.

**Antônio Barros de Castro:** Não tenho condições de improvisar aqui uma resposta adequada a essa questão. Gostaria, no entanto, de chamar a atenção para o fato de que o setor elétrico deve ser pensado como um "setor inversor", um setor em que a acumulação pesa mais que a produção. Lembremos que, no momento atual, estão sendo instalados 30 mil **megawatts**, enquanto 20 mil aproximadamente se encontram em operação. Nestas condições, é fácil ver que o setor poderia vir a ser um poderoso instrumento da política econômica. Um estudo feito na UNICAMP, por exemplo, busca ressaltar o efeito estimulante — anticíclico — que teve o setor elétrico na retomada de 1967-68. Mais que isto, porém, o setor poderia ter um papel ativo na implementação de política de desenvolvimento tecnológico, de desconcentração espacial e até mesmo de emprego. Para isto, no entanto, seria necessário que a programação do setor fosse concebida em um âmbito maior e que seus técnicos tivessem acesso a decisões tomadas fora do setor mas que estejam referidas a sua esfera de influência. Tudo isto supõe naturalmente uma maior articulação dos "fazedores de política", bem como maior flexibilidade e abrangência no aparelho de planificação. Observe-se, no entanto, que utilize ou não o

seu potencial indutor para a consecução de fins extra-setoriais, de qualquer maneira o setor elétrico, responsável por cerca de 9% da formação bruta de capital, afeta poderosamente a evolução do conjunto da economia.

**José Alberto:** Embora haja uma certa correlação entre o crescimento do PIB e da demanda de energia elétrica, não estaria esta última defasada no ciclo de economia brasileira?

**Antônio Barros de Castro:** A demanda de energia elétrica vem caminhando à frente do produto: será que também sente, antecipadamente, as suas variações cíclicas? A questão é, sem dúvida, relevante mas não me ocorre uma resposta precisa. Um conjunto de setores particularmente sensíveis ao ciclo (a metalurgia, por exemplo) consome eletricidade em grande escala. É bem possível, pois, que a demanda de eletricidade reflita este fenômeno. Duvido, contudo, que essa influência seja significativa ao nível da demanda total de energia. A propósito, gostaria de acrescentar que seria extremamente interessante indagar-se sobre o fenômeno genérico da hiper-sensibilidade (ou, contrariamente, da insensibilidade) cíclica dos setores integrantes da economia brasileira. Se, de fato, pudessemos detectar, com relativa clareza, que setores antecipam as flutuações, passaríamos a dispor de "indicadores dianteiros" da crise e da retomada, o que poderia prestar grandes serviços genericamente à tomada de decisões econômicas.

**Pergunta ao prof. Pinguelli:** Considerando que está se discutindo a energia no mundo, não seria necessário mostrar também a situação nos países que não são capitalistas, ou seja, como é que os países socialistas — a União Soviética, principalmente — estão resolvendo o problema da produção de energia? Qual a política nuclear desses países?

**Luiz Pinguelli Rosa:** Não disponho, de fato, das informações completas pois não me preocupei muito com isso. Restringi-me, aqui, ao mundo ocidental, ao mundo capitalista, porque temos critérios de comparação mais fáceis e, além disso, as revistas que costumam ter em mãos apresentam dados mais abundantes, dados que permitem discussões mais ricas. De fato não me preocupei, nessa apresentação, em estudar como está sendo desenvolvida a política nuclear da União Soviética e da China, de forma suficientemente detalhada para poder responder à sua pergunta.

**Pergunta ao prof. Pinguelli:** Gostaria de perguntar ao Pinguelli como está sendo encaminhada a proposta que foi aprovada pela SBF, no último congresso da SBPC, sobre a criação de um organismo que centralize a proteção da sociedade contra os perigos nucleares? Como é que a população pode beneficiar-se desse processo de proteção? Quais os meios de divulgação que ela pode obter?

**Luiz Pinguelli Rosa:** A Sociedade Brasileira de Física encaminhou aos órgãos do governo um relatório que continha recomendações muito específicas, entre as quais a criação de mecanismos, que em primeiro lugar permitissem uma fiscalização independente da indústria nuclear e, em segundo, permitissem ao público que suas objeções pudessem ser livremente levantadas. Não temos resposta até agora e não sabemos sequer se o relatório está sendo considerado. Apenas devo dizer que uma nova comissão, formada agora pela SBPC, se incumbe de continuar esse estudo e fazer novas reivindicações junto aos organismos competentes.

**Múcio Nóbrega (FURNAS):** Com relação à participação do público, devo informar que o nosso relatório de análise e segurança da Usina de Angra é um documento entregue à Comissão de Energia Nu-

clear e tem caráter público. Quanto à questão do custo de energia elétrica e da participação no programa nuclear brasileiro, gostaria de afirmar o seguinte. O nosso sistema atual é um sistema eminentemente hidráulico e como tal está sujeito às crises decorrentes das secas. Então, para um sistema hidráulico, é de norma que se tenha uma participação térmica que nesses períodos de seca possa garantir o suprimento de energia ao público.

Essa participação térmica, de um modo geral, segue uma certa proporção em relação ao total do sistema hidráulico. Atualmente contamos com três unidades térmicas somente com essa finalidade. E, à medida que o nosso sistema for crescendo, torna-se necessário aumentar essa participação. Então, resta saber quais são as possibilidades em termos de energia térmica. A energia térmica a óleo tornou-se de tal maneira cara que levou-se essa opção para o campo nuclear e para o campo do carvão.

O Brasil, infelizmente, não é um bom produtor de carvão. Então, foi decidido — em um grupo de trabalho realizado em 1969 — que o nosso programa teria que ser um programa que viesse futuramente a complementar o programa hidráulico. Como isso exige um tempo de maturação de 15 anos, prevendo-se de 1990 para a frente uma grande necessidade de energia nuclear, faz-se bastante oportuno a implantação desse programa nuclear brasileiro.

Em termos de custo, realmente, a energia nuclear é mais cara que a hidráulica. Mas se dentro de uma região, suponhamos a sudeste, todos os recursos hidráulicos houvessem sido esgotados, então torna-se necessário que haja cada vez mais complementação nuclear. Se houver outras fontes mais seguras, utilizaremos essas fontes. Mas, no momento, parece-me que a única fonte disponível é a nuclear.

**Luiz Pingueli Rosa:** Reconheço, natural-

mente, que o esforço desenvolvido por FURNAS para garantia da qualidade e segurança dos reatores de Angra foi sério. Esse esforço está demonstrado nos anais de um simpósio realizado aqui no Rio de Janeiro, sob os auspícios da Comissão Nacional de Energia Nuclear, onde o processamento para licenciamento de Angra I foi descrito.

De fato, colhemos nessa ocasião alguns subsídios para os nossos estudos no grupo de trabalho da SBF. Entretanto, não é essa abertura a *posteriori* que reivindicamos e sim a discussão prévia, existente em outros países, a respeito da propriedade de se construir ou não usinas em determinados locais; uma discussão que permita que as objeções possam ser levantadas pelo público, devidamente assessorado pelas comunidades de cientistas, e que podem resultar na necessidade de novas medidas, como, p. ex., que não se construam reatores de um determinado tipo por razões de segurança.

É claro que em diversos países do mundo esse mecanismo de abertura ao público do licenciamento varia. Nos Estados Unidos, p. ex., é essencialmente jurídico o mecanismo de apresentação das objeções. Na Alemanha, o mecanismo é administrativo e existe um conselho de assessoria ao governo, formado por pessoas independentes, ao qual o público apresenta essas objeções antes de ser iniciada a construção de uma determinada usina. Colocaria então uma questão, não duvidando absolutamente das boas intenções de ninguém: onde vão ser colocados, no Brasil, os rejeitos radioativos de média e baixa atividade? Qual o local? Isso será discutido? É uma pergunta que tem que ser respondida publicamente.

**Afonso S. Telles (CNPq):** Queria apenas fazer um pequeno comentário. O Brasil era pequeno produtor de carvão e, portanto, escolheu a opção nuclear. Acho que era menor produtor, ainda, de urânio. O carvão está aí: 20 milhões de toneladas-ano. Creio que podemos ter

uma participação do carvão de até 20% na energia primária, 50% do carvão sendo destinados à energia elétrica.

**Antônio Barros de Castro:** Pelo que entendi foram levantados dois argumentos. O primeiro, de que um sistema qualquer de fornecimento de energia, mesmo que fundado no hidráulico, por problemas de hidrologia, deve ter uma parcela coberta por fonte térmica. A esse propósito, diria o seguinte: como lembrou Affonso da Silva Telles, em se tratando de complementação térmica haveria que considerar com mais cuidado a hipótese do carvão. Por outro lado, o argumento da complementação, ao que me parece, não foi usado como um argumento forte na justificativa do programa nuclear.

Na argumentação em defesa da política nuclear no Brasil há vários argumentos como, p. ex., escassez prevista de energia no sudeste. Este ponto é enfatizado sem que se tenha em conta as possibilidades de transmissão a longa distância. Agora, no entanto, parece que tende a mudar a argumentação, admitindo-se, inclusive, que a energia hidroelétrica seria mais barata. Acrescenta-se, no entanto, que a energia nuclear, se bem que mais cara, teria determinadas propriedades, entre elas fornecer a complementação térmica. É interessante observar que um dos argumentos mais poderosos em favor da energia nuclear era a de que ela seria substancialmente mais barata; inclusive, eram especificados os motivos de seu suposto baixo custo. Por exemplo, as usinas hidroelétricas iam se tornando cada vez mais distantes e este e outros fatores encareceriam o **killowatt** hidroelétrico, abrindo campo para o nuclear. Ao contrário do que foi aqui dito, esse era um forte argumento. Pode ser que o pensamento oficial esteja evoluindo, no sentido de admitir que realmente as hidroelétricas são mais baratas. De qualquer forma, no que se refere à complementação técnica, volto ao início: haveria que se considerar a

fundo a hipótese de carvão, sublinhada com ênfase e propriedade pelo prof. Telles.

Devo esclarecer, por fim, que me baseio em opiniões e estudos de especialistas. Neste terreno, sou apenas um leitor interessado. Não estou fazendo qualquer afirmação derivada de cálculos próprios mas tenho procurado ler o que os estudiosos de diferentes correntes de opinião têm escrito a respeito.

**Frederico Verman** (República Federal Alemã): Uma pergunta quanto ao preço do **killowatt** instalado na energia elétrica: quais são as suas bases? As condições do contrato Brasil-Alemanha não referenciam o preço. Segunda pergunta: quais os dados sobre o preço da energia hidroelétrica da região amazônica?

**Luiz Pinguelli Rosa:** Parece-me que o preço da energia nuclear, que foi tomado como base de cálculo para entrada de geração nuclear no sistema elétrico brasileiro, foi tomado a um valor de referência da ordem de \$400. Era esse realmente o preço da época. A elevação de preço da energia nuclear é muito recente e agora esse valor aumentou muito. Quanto aos dados da Amazônia, não sei responder com precisão; creio, contudo, ser possível, em princípio, construir uma usina hidroelétrica na Amazônia e transmitir energia ao sul do Brasil.

Aqui vai uma referência: no último boletim da Sociedade Brasileira de Física existe um trabalho, apresentado na reunião anual de São Paulo, que dá como viável essa utilização. O preço, mesmo incluindo a transmissão, é compensador e a transmissão é tecnologicamente possível, ainda segundo esse trabalho.

Devo alertar que não é privativo da energia nuclear o problema de impacto no meio ambiente. O relatório da Fundação Ford, que citei anteriormente, chama a atenção para os efeitos do CO<sub>2</sub>, devido à queima de combustível, sobre o clima geral da terra. A concentração de CO<sub>2</sub>

na atmosfera da terra já está a ponto de alterar o equilíbrio existente entre a radiação solar incidente e a radiação que é devolvida pela terra. Verifica-se uma tendência à elevação da temperatura global da terra, embora outras razões estejam fazendo com que esse efeito esteja sendo compensado. Além disso, o microclima de certas regiões está totalmente alterado pela presença de CO<sub>2</sub>. Então, o efeito ecológico das indústrias e da produção de energia em larga escala é muito sério. Como no Brasil praticamente não utilizamos carvão para gerar energia elétrica, creio que estaríamos muito longe ainda do nível de preocupação norte-americana.

**Ennio Candotti:** Tenho uma pergunta para o Castro. Há um problema muito importante nos aspectos da demanda de energia: o sistema produtivo, hoje, utiliza, desperdiça energia em grande quantidade. Isto é, toda a produção de bens é uma produção que utiliza energia relativamente barata. Além disso, programase pouco a maximização da utilização de energia. A minha pergunta seria a seguinte: uma redução na oferta de energia influiria neste tipo de utilização desperdiçada de energia? Ou isso exigiria uma reestruturação do próprio sistema de produção de bens? De que maneira influi a restrição na oferta de energia? Certamente haveria uma pequena influência no fator do desperdício: em termos gerais isso é possível?

**Antônio Barros de Castro:** Infelizmente não posso fornecer uma resposta em termos gerais. Tomemos, no entanto, um caso específico, isto é, o do aproveitamento de energia pelo automóvel. Em média, extrai-se apenas 30% do óleo que um poço contém. Em seguida, gasta-se energia para transportá-lo, processá-lo, etc. Finalmente, esse óleo chega ao automóvel. O rendimento de uma máquina desse tipo permite aproveitar entre 1/4 e 1/3 da energia gerada. O que foi apro-

veitado irá mover um veículo que pesa mais de mil quilos mas cuja carga útil é, suponhamos, de 100 quilos. Em suma, para transportar 100 kg faz-se um trabalho efetivo *n* vezes maior. Este é um caso calamitoso em termos de desperdício. O que disso pode ser evitado? O aproveitamento dos poços pode ser bastante melhorado com bombeamento, injeção de água, gases, etc., processos cujo desenvolvimento foi entorpecido, possivelmente pelo barateamento progressivo do óleo, de 1952 até 1970. Já em outras fases parece muito mais difícil melhorar o aproveitamento. Por exemplo: no tocante ao motor a explosão, o único grande avanço cogitado, o motor Wenkel, foi, ao que parece, abandonado em razão de graves problemas técnicos. No que se refere ao peso do automóvel, parecem relativamente fáceis as melhorias e já na série 78 crescerá, nos Estados Unidos, em 15% a quantidade média do alumínio utilizado por veículo. Estuda-se também a possibilidade de utilizar chapas perfuradas.

Nada disso talvez acarrete possibilidades dramáticas de economia de energia. São apenas ramos menores da florada de novas técnicas que deverão nascer em resposta à crise energética. Aliás, quando falei que os investimentos estão sendo inibidos, pela encruzilhada tecnológica em que nos encontramos, não estava me referindo a investimentos deste tipo, tendentes à melhor utilização de materiais e equipamentos conhecidos e dominados. Os investimentos que não têm sido feitos — e isso dificulta a retomada da economia mundial — são os de grande fôlego e que incorporam efetivas mutações tecnológicas e tenham conseqüências de longo prazo. Nestes casos, o investidor sabe que vai se comprometer com uma determinada estrutura técnica e terá de enfrentar, no futuro, técnicas de outras gerações. Ao investir hoje, congela capital em uma solução técnica que irá enfrentar capitais que incorporam técnicas geradas, digamos, nos próximos 10 anos.

**Múcio Nóbrega:** Se entendi bem a pergunta, a mesma diz respeito à redução da demanda de energia elétrica. Esse é um dos problemas capitais da ELETROBRÁS. Em termos de redução de energia elétrica, é preciso considerar que a demanda tende a aumentar por duas razões. Primeiro, trata-se do crescimento normal; em segundo lugar, temos o crescimento devido à industrialização do país. Então, as duas coisas são difíceis de serem contidas pela recessão de energia elétrica. Muito pelo contrário: pode-se medir o desenvolvimento do país pela energia consumida, de modo que temos interesse em fornecer energia farta para que haja progresso no Brasil. A única restrição possível para a energia seria através do racionamento, uma das coisas que fazemos tudo para evitar.

**Antônio Barros de Castro:** Quando me referi à expansão, estava me referindo a taxas de expansão do setor produtor de energia elétrica. Portanto, quando falei de diminuição, seria diminuição da taxa de expansão. Jamais cogitei de estagnação ou mesmo retração de mercado. Repito: talvez a taxa de 12% não seja projetável daqui para diante. Pode ser que uma taxa de 10% seja mais razoável. Ora, isto tem sérias implicações, na medida em que instalar alguns milhões de **kilowatts** além do necessário significa congelar vultosos recursos em uma fase bastante difícil em que está havendo racionamento de investimento em várias áreas. Como é de todos sabido, vários projetos estão sendo desacelerados ou abandonados por falta de recursos.

Em suma: é evidente que o senhor tem razão quando afirma que a demanda está em expansão e continuará em firme expansão. E a ELETROBRÁS tem uma responsabilidade central no atendimento a essa demanda. Todo problema consiste em saber se ela não vai se exceder na montagem de capacidade, guiando-se por um ritmo insustentável de crescimento do mercado. Trata-se de uma per-

gunta complexa, há de convir.

**Múcio Nóbrega:** O que geralmente engana muito é o seguinte: quando se instala uma usina com 100% de capacidade, normalmente o que se utiliza, em termos de seca, é da ordem de 45/50% da sua potencialidade nominal. Em uma época de seca, quando surgem os problemas críticos, é preciso que se venda energia só até aquela potência. Logo, há sempre um excesso durante o tempo chuvoso, que dá a impressão de estar superabundante.

**Vitor (Univ. Federal Fluminense):** Uma pergunta para o prof. Pinguelli: o JORNAL DO BRASIL noticiou que, segundo um funcionário norte-americano, os problemas nucleares se resumiam em acidentes e incidentes; entre estes últimos, incluía uma liberação prematura de informações. Qualquer divulgação de informações extra-oficiais é considerada incidente, ou seja, qualquer informação no sentido de esclarecer a população seria inconveniente. Nesse sentido, pergunto: por que não há uma grande campanha, uma grande divulgação de notícias aqui no nosso país para alertar a população sobre os perigos que podem causar os acidentes nucleares — exceção feita a escassos relatórios da SBF ou reuniões de âmbito reduzido, como esta. E outra pergunta: qual o fundamento na notícia, veiculada pela imprensa, de que a usina de Angra estaria situada em terreno não propício, em virtude de deslizamento de terras?

**Luiz Pinguelli Rosa:** Bem, o primeiro ponto diz mais respeito a instalações militares. Certamente o controle de informações sobre instalações militares para uma potência militar como os Estados Unidos envolve toda uma problemática que não existe no caso das usinas comerciais: estas, nos Estados Unidos, estão sob fiscalização pública, de fato. Quanto a não haver uma discussão mais

ampla no Brasil, tenho a impressão que é um pouco culpa de todos nós, que talvez não estejamos atentos ainda para o problema. Trata-se, em verdade, de um problema novo para o Brasil. De fato, um único reator localizado em Angra não era uma coisa tão séria quanto um programa nuclear completo que vai construir muitos reatores, inclusive fazer o reprocessamento (que apresenta muitos riscos). Então, devemos começar a encarar um problema de ordem de magnitude maior. Agora é o caso das universidades, grupos de estudo, sociedades científicas tratarem de acompanhar com intensidade o que está sendo feito de molde a apresentar sugestões e críticas.

Quanto a essa história, que a imprensa divulgou, a mesma é um bom exemplo do problema criado pela ausência de mecanismos legais que obriguem o governo a levar em conta as objeções públicas. É conhecido o fato de que há uma falha geológica que vem ao longo do litoral do Estado do Rio de Janeiro, passando perto da usina de Angra dos Reis.

O que significa isso? É uma falha inativa, que não significa um perigo imediato. Se ela pode voltar a ser ativa ou não é um problema para especialistas, para os geólogos e cabe a estes responder. Agora, o que cabe aos órgãos do governo responder é a pergunta que foi colocada não pela Sociedade Brasileira de Física mas por um órgão da Imprensa. **O Esta-**

**do de São Paulo** publicou uma extensa reportagem sobre possíveis conseqüências da falha. Se pegarmos os textos de engenharia nuclear, verificaremos que princípios de segurança estabelecem que cabe a quem constrói uma usina nuclear demonstrar que a mesma apresenta segurança. Portanto, esse princípio, aplicado ao caso presente, exige uma resposta. Esse é o ponto fundamental: oficialmente, tem de ser explicado claramente se não há qualquer problema ou, então, que tipo de problema pode haver. A posição em que me coloco é de crítica à falta de mecanismos abertos que permitam que as objeções sejam levadas a sério e obriguem as autoridades a demonstrar se as mesmas são graves ou não.

**Múcio Nóbrega:** Apenas um esclarecimento com relação a essa falha. O nosso relatório de análise de segurança descreve com detalhes todos os estudos para a parte geológica do terreno. Foi contratada, para isto, uma firma idônea, americana, especializada em geologia. O relatório dessa firma acha-se anexo ao nosso relatório. Se não me falha a memória, parece-me que uma falha com mais de 30 mil anos de existência é considerada uma falha inativa e sem nenhuma possibilidade de voltar a ser ativada. Então, é como se fosse um terreno que historicamente se tornou uma falha mas que não mais o é.

# ENERGIA TECNOLOGIA E DESENVOLVI MENTO

*Energia, Tecnologia e Desenvolvimento* leva ao leitor brasileiro, interessado no conhecimento aprofundado dos aspectos fundamentais da questão energética em nosso país neste último quarto de século, as exposições e os debates realizados durante o Simpósio promovido pela Sociedade Brasileira de Física — com o apoio da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência — e levado a cabo em fins de 1977, no Rio de Janeiro.

O livro expõe, através dos diferentes conferencistas e das amplas discussões havidas no Simpósio, as diversas alternativas à questão com que se defronta o Brasil neste final dos anos setenta: existe realmente o problema de se fazer face a uma crescente demanda de energia? Em caso positivo, como fazê-lo? Nesse sentido, além da discussão pormenorizada do Acordo Nuclear assinado com a Alemanha Ocidental, economistas, físicos, políticos e empresários oferecem visões alternativas para o problema. Destas, destacam-se sobremaneira a viabilidade da oferta de recursos hidrelétricos (em termos atuais e de expansão futura) e as possibilidades efetivas de contribuição do carvão nesse quadro que se abre perante a sociedade brasileira.

Esta última, aliás, acha-se presente — e não apenas como pano de fundo — nas discussões concernentes à questão energética. Pois, afinal de contas, o “modelo” brasileiro é posto em questão, trazendo à tona uma constatação relevante: *a questão energética é, fundamentalmente, uma questão política* e somente poderá ser apreendida e debatida em sua escala verdadeira com a participação de todos os segmentos da população brasileira.

Com este lançamento, a VOZES oferece uma nova contribuição ao amplo debate que se avoluma em nosso país, atualmente, em torno das questões básicas da economia e sociedade brasileiras, hoje.

JOSÉ FERNANDES DIAS



ATENDEMOS PELO REEMBOLSO.