

## **Energia Nuclear:Passado e Futuro**

Alfredo Marques

*Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. R. Xavier Sigaud 150, 22290-180, Rio de Janeiro,RJ*

15 de dezembro de 2003

### **Resumo**

O anúncio ministerial de aproveitar a técnica de enriquecimento de Urânio por ultracentrifugação para enriquecer o Urânio das reservas minerais brasileiras e entrar no mercado de fornecedores de combustível nuclear, é comentado à luz de problemas do desenvolvimento da energia nuclear no país e no mundo. Mostra-se que a discussão sobre a energia nuclear sempre se deu em ambiente polarizado desfavoravelmente a uma avaliação serena. A presente crise mundial do petróleo, por sua dimensão e alcance, é suposta capaz de produzir um clima novo, onde a adoção da energia nuclear na matriz energética possa ser avaliada longe dos fantasmas que a assombraram no passado.

### **Introdução.**

A imprensa noticiou com moderado entusiasmo a posição do Ministro de Ciência e Tecnologia, Sr. Roberto Amaral, de aproveitar o know-how disponível no Brasil para o enriquecimento de Urânio por ultracentrifugação, para tratar o combustível de reatores nucleares. Esses conhecimentos foram criados dentro do projeto da marinha brasileira de propulsão nuclear para submarinos, auspiciado pela CNEN. A medida, posta em prática, dispensaria o necessário enriquecimento do combustível no exterior e adicionaria um elo importante de autonomia na área nuclear. Sendo o Brasil um dos poucos detentores de jazidas de minério de Urânio do planeta, poderia tornar-se um exportador de combustível enriquecido para os reatores das centrais elétricas nucleares em todo o mundo, em lugar de exportar minério e deixar para outros os lucros com a operação de enriquecimento. Além disso aquela medida traria necessariamente conseqüências para a demanda de pessoal qualificado em física de reatores, física de radiações, radioquímica, metalurgia, transporte e administração de material radioativo, abrindo uma janela auspiciosa para nossos centros de formação de recursos humanos. Qualquer programa deste porte que se abra tem conseqüências sobre um largo espectro de atividades acadêmicas e industriais, como o foi, numa escala maior, o projeto Manhattan.

A desconfiada receptividade da mídia diante daquela proposta tem possivelmente origem, em parte, num episódio histórico do desenvolvimento científico brasileiro envolvendo enriquecimento de Urânio por ultracentrifugação e, em parte, em aspectos que acompanharam o desenvolvimento da utilização da energia nuclear no mundo, onde qualquer pretensão ao domínio de ciclos completos do processo da produção de combustível nuclear por países emergentes é vista sob suspeita: em mais de cinquenta anos pouco mudou.

### **Ultracentrifugas.**

Logo após o fim da 2<sup>a</sup> Guerra os EUA adotaram uma política de evitar que outros países desenvolvessem artefatos nucleares bélicos. Muito embora o governo americano

tenha sido advertido por um grupo de cientistas<sup>1</sup> de que a explosão de uma bomba atômica como desfecho da 2ª Guerra desencadearia uma corrida nuclear incontrolável, os EUA buscaram sustar essa corrida, após as explosões de Hiroxima e Nagasaki, adotando uma política extremamente restritiva que colocava sob severa vigilância tudo que se relacionasse direta ou indiretamente com a energia nuclear. Assim as empresas americanas, fabricantes de reatores nucleares, de fontes radioativas ou qualquer outro material dito *sensível*, tinham de obter licença da Comissão de Energia Atômica americana para efetuar qualquer negócio. Outra medida foi a de importar todo minério de Urânio que estivesse disponível no mundo. No caso do Brasil, dono de importantes jazidas, instalou-se a prática de trocar excedentes de trigo americano por minério nuclear. O Almirante Álvaro Alberto, fundador e então Presidente do CNPq (e vice do CBPF) revelou-se um ferrenho opositor dessa prática, mais ao gosto de nossas autoridades diplomáticas, e pretendeu desenvolver uma política, que chamou de *compensações específicas*, segundo a qual as cessões de material de interesse nuclear pelo Brasil seriam compensadas pela liberação de equipamentos ou de tecnologia sensível pelos EUA. Muito pouco foi conseguido (dois pequenos reatores de pesquisa foram o saldo mais destacado das barganhas). Álvaro Alberto procurou, então, um consórcio europeu para a compra de ultracentrífugas de modo a ganhar a autonomia para a conversão de nossos minérios em combustível nuclear que o Ministro Roberto Amaral agora busca resgatar. Prontas para o embarque e pagas, os EUA invocaram o tratado de paz com a Alemanha para embargar a entrega das ultracentrífugas, já que o consórcio incluía aquele país como um de seus membros e este, enquanto nação derrotada na guerra, não poderia transferir tecnologias *sensíveis* sem autorização das nações vencedoras. As ultracentrífugas não desembarcaram. Álvaro Alberto ainda procurou se aproximar de fornecedores franceses de tecnologia nuclear, sem sucesso. Sua posição se tornara insustentável com a morte do Presidente Vargas e com um memorando secreto das autoridades diplomáticas americanas - que o Deputado Renato Archer (mais tarde Ministro de Ciência e Tecnologia) denunciou da tribuna da Câmara de Deputados meses depois<sup>2</sup> - dando-o como personalidade hostil. Este episódio envolvendo as ultracentrífugas, agora disponíveis com know-how brasileiro, possivelmente dá conta de parte do recato com que a mídia recebeu o anúncio ministerial.

Como previra o Relatório Franck, a despeito das severas medidas adotadas os EUA não puderam evitar que outras nações conseguissem a arma nuclear: quatro anos depois das explosões de Hiroxima e Nagasaki a URSS explodiu um artefato do mesmo porte e, em 1953 uma bomba - H, superando o modelo americano testado em 1952, que usava hidrogênio líquido, de difícil transporte e manipulação. Seguiu-se a França e um pouco mais tarde a China. O clube nuclear parecia estar completo; as Nações Unidas outorgaram poder de veto aos seus membros nas deliberações do Conselho de Segurança.

Ao longo dos anos '50 e início dos anos '60 a atmosfera do planeta sofreu o impacto de vários megatons dos testes necessários para desenvolver os protótipos e aperfeiçoar modelos de bombas com potência e concepções em evolução. A situação se tornou insustentável pela acumulação de radionuclídeos com vida longa, capazes de cair com as

---

<sup>1</sup> Relatório Frank. Carta enviada ao governo americano por um grupo encabeçado por James Frank do qual faziam parte outros eminentes cientistas com participação destacada no Projeto Manhattan: D. Hughes, L. Szillard, E. Rabinovitch, T. Hogness, G.T. Seaborg, C.J.Nickson

<sup>2</sup> Olympio Guilherme: O Brasil na Era Atômica, Ed. Vitória 1957.

chuvas em qualquer parte do planeta. Além disso o risco de aumentar a taxa de formação de  $^{14}\text{C}$  atmosférico para além dos limites de seu ciclo natural, pela irradiação com fortes doses de nêutrons, e posterior volatilização, dos moderadores de grafite das bombas de fissão, tampouco era desprezível; entre outros problemas, o método de datação arqueológica, baseado no ciclo natural daquele radioisótopo, estava ameaçado de não mais poder ser empregado. Finalmente os testes nucleares a céu aberto foram proscritos, sendo substituídos por testes subterrâneos .

Importa lembrar que nesse momento o CBPF deu uma contribuição importante. O grupo do prof. L. Márquez detectou a presença de  $^{137}\text{Cs}$  na água das chuvas do Rio de Janeiro. Além de confirmar a presença de produtos de fissão na atmosfera, aquele trabalho quebrou um tabu da época, de que as trocas entre as atmosferas dos dois hemisférios eram desprezíveis porque as correntes aéreas se fechavam separadamente em cada um deles e, em altitudes elevadas, uma armadilha a temperatura muito baixa nas vizinhanças do equador impediria a troca.

Após alguns anos de explosões subterrâneas, esgotado o arsenal de opções – bomba “limpa”, bomba de nêutrons e outros "mimos" - decidiram aqueles senhores abolir todos os testes, mas exigir do restante do planeta a assinatura de um Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares pelo qual as demais nações se comprometeriam a não procurar aqueles desenvolvimentos. Alguns não assinaram, como Índia e Paquistão, e se transformaram em membros retardatários do clube da bomba. Para muitos também Israel e a África do Sul se fizeram membros. A maioria assinou. O Brasil assinou.

Entendo que o aumento do número de países com capacidade de produção (e de “entrega”) de armas nucleares não contribui absolutamente para a segurança do planeta. Tampouco acho aceitável que o seletivo clube dos detentores de poder de veto nas nações Unidas fique restrito aos possuidores da bomba – H. Isso, aliado à assinatura do Tratado de Não Proliferação pelos outros países, divide o planeta em nações de primeira e nações de segunda categoria. Há, entretanto, uma consequência da assinatura do tratado de não proliferação pelas nações latino-americanas que parece muito positiva: a manutenção de um continente não nuclearizado, onde as divergências entre os países jamais envolverão o nível pesado de gastos e riscos como ocorre hoje entre Índia e Paquistão. Fora disso, entretanto, vai ficando cada vez mais claro para todos os países que as Nações Unidas precisam mudar suas regras, particularmente as do Conselho de Segurança, já tidas como anacrônicas e inoperantes diante dos fatos. Ou encarar um inevitável processo de dissolução.

Naquele inesquecível mês de agosto de 1945 o mundo arregalava os olhos, estupefacto, para as fotos das explosões atômicas em Hiroxima, no dia 6, e em Nagasaki, no dia 9. A primeira dessas bombas era de Urânio altamente enriquecido no isótopo  $^{235}\text{U}$ , único membro do Urânio natural a sofrer fissões induzidas. A perda de nêutrons durante o processo de moderação exige uma massa crítica de Urânio altamente enriquecido para que o engenho funcione. O processo de enriquecimento começou com uma instalação de enriquecimento por difusão gasosa e terminou no CALUTRON da Universidade da Califórnia, com separação eletromagnética<sup>3</sup>. Além de caríssimo o processo de enriquecimento, dentro das incertezas da época, colocava dúvidas para a própria viabilidade

---

<sup>3</sup> Critical Assembly, Lillian Hodeson, Paul W. Henriksen, Roger A. Meade, Catherine Westfall, Cambridge University Press, 2nd. edition, 1995. O nome CALUTRON é um anagrama construído com CALifornia University cycloTRON, alusão às peças polares que foram cedidas pela Universidade da Califórnia que então construía um ciclotron.

da bomba: até minutos antes do seu teste, conhecido como Trinity, em 15 de março daquele ano, muitos dos participantes do projeto temiam um fiasco. Já o dispositivo a Plutônio não envolvia riscos, dado o elevado aproveitamento de nêutrons rápidos produzindo fissões. O Plutônio é um produto natural da combustão do Urânio em reatores: acumula-se progressivamente e pode ser separado das cinzas por métodos radioquímicos. Por isso todo combustível nuclear está sujeito a salvaguardas da Agência Internacional de Energia Atômica: o combustível utilizado, depois de resfriado no seu conteúdo radioativo, fica sob a custódia da Agência que fiscaliza a retirada de material para reprocessamento, vedando qualquer retirada de Plutônio. É o modo de garantir que mesmo os países que assinaram o Tratado de Não Proliferação não venham a ser tentados a extrair o Pu das cinzas do combustível utilizado. Mas o que pode acontecer com qualquer país como o Brasil que disponha de reservas de minério e da tecnologia para o enriquecimento de Urânio? Simplesmente enriquecer em  $^{235}\text{U}$  o Urânio natural extraído de suas minas, usá-lo na confecção de barras combustíveis, instalá-las num reator que ninguém precisa saber onde se encontra e recolher o Plutônio produzido no devido tempo. E iniciar uma próspera indústria de armamento nuclear. As ultracentrífugas seriam suficientes para o enriquecimento, já que para o funcionamento de um reator a taxa de enriquecimento é muito menor que para um artefato nuclear. Esse procedimento seria claramente uma violação ao Tratado de Não Proliferação, mas este é o argumento simplório daqueles que acham que um reator nuclear com aquela finalidade pode ser camuflado ou escondido dos olhos de qualquer fiscalização. Já houve quem imaginasse que um tal reator poderia ser escondido dentro da floresta amazônica, à sombra das frondosas copas das maçarandubas e andirobas centenárias, ignorando que se trata de uma máquina que exige um vastíssimo fluxo de entrada e saída de materiais, de pessoas e sobretudo tem um tamanho tal que não escaparia aos olhos eletrônicos dos satélites de espionagem, capazes de distinguir uma caixa de fósforos num depósito de lixo. Mas muitas pessoas pensam que essa ocultação é possível. Em última análise o que conseguem é revestir de suspeição as iniciativas como as do Ministro Roberto Amaral, alcançando, não o repúdio à miragem da produção de Pu para bombas, mas bloqueando a independência industrial que resultaria, os empregos e atividades em tecnologia de ponta que surgiriam. Afinal ninguém quer perder um fornecedor de matéria prima e comprador da mesma matéria beneficiada.

Esta é a outra face da tímida recepção da mídia à proposta do Ministro de Ciência e Tecnologia.

O que representaria maior autonomia nuclear em termos de futuro? Para tentar uma resposta é bom voltar os olhos para a presente situação do uso de combustíveis fósseis, os geradores de energia por excelência no mundo de hoje.

### **A Crise do Petróleo.**

Começamos lembrando que as Nações Unidas auspiciaram a realização em 1955 de uma Conferência para as Aplicações Pacíficas da Energia Atômica dentro da qual foi feita uma análise do esgotamento das reservas de combustíveis fósseis não renováveis. A conclusão a partir dos dados da época é que as reservas fósseis de hidrocarbonetos estariam esgotadas decorrida a primeira metade do século XXI. Diante desse quadro de esgotamento a prazo fixo destacava-se a importância que a geração nuclear de energia assumiria progressivamente. A Tabela I mostra os dados de 1995.

Tabela I<sup>§</sup>  
**Reservas de Combustível Fóssil em 1955**  
 Dados em EJ (1 ExaJoule = 10<sup>18</sup> Joules)

Combustível	Taxa de Produção (ano <sup>-1</sup> )	Reservas	R/P(Anos)
Petróleo	137	5900	43
Gás	80	5350	67
Carvão	94	22750	242
Total	<b>311</b>	<b>34000</b>	<b>110</b>

§- Dados da British Petroleum extraídos do artigo de S. Hatcher no Symposium on Globalization of Nuclear Activities, June 15-18, 1997, Rio de Janeiro.

Esses dados, ainda que eloqüentes quanto às possibilidades de continuar usando hidrocarbonetos fósseis na produção de energia, conformam-se bastante bem com as previsões da Conferência de Genebra de 1955. A situação, entretanto, é um pouco mais dramática do que acena o simples esgotamento das reservas a prazo fixo. Para esclarece-lo fazemos a hipótese de que o bombeamento de petróleo ou gás, seja em reservas convencionais seja na plataforma submarina obedeça a uma equação logística, isto é, a velocidade de extração é proporcional tanto à reserva existente quanto ao que ainda falta extrair para se atingir o limite geológico. Isto dá para a taxa de extração uma curva de tipo logístico, com perfil de sino, que primeiramente cresce até atingir um máximo e em seguida decresce até o esgotamento final no seu limite último. Todo o problema é saber se haverá ou não o máximo nos dados da observação, isto é, se o comportamento dos dados da produção de petróleo refletem as características da curva logística. A Fig. 1 dá uma resposta a essa questão.

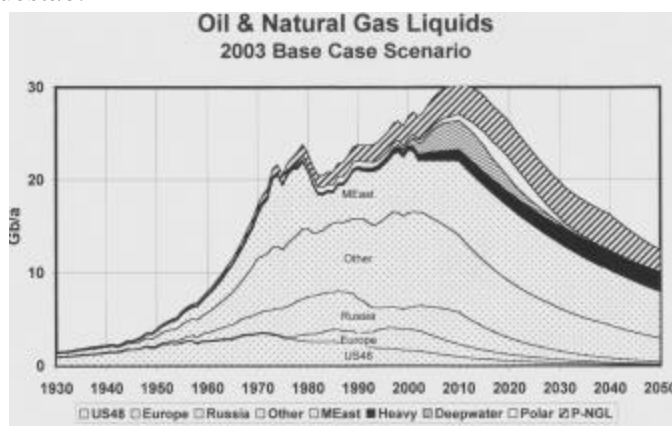


Fig.1 Cenário projetado para 2003 da taxa de produção de petróleo (em Giga- barrís/ano; 1 Gb =10<sup>9</sup> barris) e líquidos do gás natural. De Colin Campbell, [www.asponews.org/](http://www.asponews.org/). Contém dados sobre todas as fontes de produção de petróleo e gás, inclusive as reservas a grandes profundidades, xisto, etc.

A Tabela II apresenta dados por país. Os dados primários foram usados até 1997; daí em diante são projeções. A Fig.1 inclui dados mais recentes, inclusive a descoberta das reservas de gás na Rússia, que levaram o pico para além de 2010. Os procedimentos não são exatamente os mesmos na Tabela II e na Fig.1; entretanto

qualquer discrepância entre os dois casos ou reflete situações conhecidas, como a citada acima, ou estará abaixo dos limites que importam para esta discussão.

Tabela II  
Produção de Hidrocarbonetos por País e Outros Dados<sup>§</sup>

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nation	Peak Year	Oil Prod Peak	Oil Prod 1997	Oil Prod 2040	Cumulative 1997	Cumulative 2040	EUR	2040 vs Pk Yr	Remain Gb	RR,N/ RR,42N	
1 Canada	2008	1.07	0.93	0.41	23.6	60.4	64.2	-62%	40.6	3.5%	
2 Mexico	2001	1.32	1.24	0.11	26.4	56.1	56.6	-92%	30.2	2.6%	
3 USA	1970	4.12	3.01	0.42	200.4	267.0	271.2	-90%	70.8	6.1%	
4 Argentina	2001	0.33	0.31	0.05	7.0	14.6	14.8	-85%	7.8	0.7%	
5 Brazil	2007	0.39	0.31	0.14	4.6	17.0	18.2	-64%	13.6	1.2%	
6 Colombia	2009	0.29	0.24	0.11	4.4	14.6	15.5	-62%	11.1	1.0%	
7 Ecuador	2002	0.15	0.14	0.05	2.5	6.7	6.9	-67%	4.4	0.4%	
8 Peru	1982	0.07	0.04	0.02	2.1	3.4	3.5	-71%	1.4	0.1%	
9 Trinidad	1977	0.08	0.05	0.02	3.0	4.5	4.5	-75%	1.5	0.1%	
10 Venezuela*	2005	1.47	1.23	0.79	50.6	106.3	115.1	-46%	64.5	5.6%	
11 Denmark	2002	0.10	0.08	0.02	0.7	3.1	3.2	-80%	2.5	0.2%	
12 Italy	2003	0.05	0.04	0.01	0.7	1.9	2.0	-80%	1.3	0.1%	
13 Norway	2000	1.27	1.23	0.18	10.4	41.2	42.4	-86%	32.0	2.8%	
14 Romania	1976	0.11	0.05	0.01	5.1	6.3	6.3	-91%	1.2	0.1%	
15 UK	1995	1.01	0.98	0.23	15.1	42.8	44.2	-77%	28.4	2.4%	
16 FSU	1987	4.62	2.70	1.40	133.4	248.1	264.6	-70%	131.2	11.3%	
17 Iran*	1974	2.21	1.36	0.85	47.8	116.9	129.6	-62%	81.8	7.1%	
18 Iraq*	2010	1.95	0.44	1.08	23.9	95.5	109.0	-45%	85.1	7.3%	
19 Kuwait*	2018	1.71	0.76	0.95	29.9	91.9	103.5	-44%	73.6	6.3%	
20 Oman	2002	0.36	0.33	0.07	5.2	14.5	14.7	-81%	9.5	0.8%	
21 Qatar*	2009	0.38	0.25	0.07	5.7	17.1	17.4	-82%	11.7	1.0%	
22 Saudi Arabia*	2011	3.92	3.42	2.04	83.8	232.0	273.2	-48%	189.4	16.3%	
23 Syria	1995	0.22	0.21	0.04	2.7	8.2	8.2	-82%	5.5	0.5%	
24 UAE*	2017	1.77	0.99	0.62	18.8	82.2	85.4	-65%	66.6	5.7%	
25 Yemen	2004	0.17	0.14	0.05	0.9	6.0	6.1	-71%	5.2	0.4%	
26 Algeria*	2002	0.58	0.53	0.10	14.0	28.1	28.5	-83%	14.5	1.3%	
27 Angola	2003	0.30	0.27	0.05	3.0	10.5	10.6	-83%	7.6	0.7%	
28 Cameroon	1985	0.07	0.05	0.01	0.9	2.0	2.0	-86%	1.1	0.1%	
29 Congo	2003	0.11	0.09	0.01	1.0	3.6	3.6	-91%	2.6	0.2%	
30 Egypt	1993	0.35	0.32	0.06	7.5	15.4	15.5	-83%	8.0	0.7%	
31 Gabon	2000	0.14	0.14	0.03	2.3	5.5	5.6	-79%	3.3	0.3%	
32 Libya*	1970	1.21	0.54	0.27	20.3	46.6	48.2	-78%	27.9	2.4%	
33 Nigeria*	2004	0.96	0.83	0.30	18.4	47.0	48.8	-69%	30.4	2.6%	
34 Tunisia	2008	0.04	0.03	0.02	1.1	2.7	2.7	-50%	1.6	0.1%	
35 Australia	2002	0.28	0.25	0.06	5.0	12.2	12.4	-79%	7.4	0.6%	
36 Brunei	1979	0.09	0.06	0.02	3.0	4.6	4.6	-78%	1.6	0.1%	
37 China	2002	1.23	1.17	0.46	22.5	62.5	66.1	-63%	43.6	3.8%	
38 India	2003	0.31	0.29	0.08	4.9	13.3	13.6	-74%	8.7	0.8%	
39 Indonesia*	1977	0.62	0.57	0.18	18.0	38.1	38.1	-71%	20.0	1.7%	
40 Malaysia	2001	0.27	0.27	0.06	3.8	10.9	11.0	-78%	7.2	0.6%	
41 P N Guinea	1993	0.05	0.03	0.01	0.2	1.0	1.0	-80%	0.8	0.1%	
42 Vietnam	2005	0.09	0.07	0.02	0.3	2.7	2.7	-78%	2.4	0.2%	
42 Nations	2006	31.00	26.00	11.50	836.0	1865.0	1996.0	-63%	1160.0	100.0%	
WORLD	2006	31.60	26.50	11.70	853.0	1902.0	2036.0	-63%	1183.0	100.0%	

§ - De R.C. Duncan e W. Youngquist, <http://www.dyeoff.com/page133.htm> Apresentado no Petroleum Technology Council Workshop: *Opec Oil Pricing and Independent Oil Producers*, University of Southern California, LA, Cal, October 22,1998. FSU antiga União Soviética.

Algumas dificuldades envolvendo a simulação de resultados nos dois casos são, de um lado, as incertezas quanto aos limites geológicos regionais e, de outro, o dado prático de que as companhias petroleiras dificilmente anunciam todo o

tamanho de uma reserva de uma só vez: assim evitam pagar taxas sobre toda a reserva além de garantirem um anúncio progressivo de “novas reservas” que ajuda a manter elevados os preços das ações e estimula novos investimentos. Assim as curvas da Fig.1 apenas lembram a curva logística, exibindo tendências semelhantes, mas divergem obviamente daquele comportamento ideal. A Tabela II não dá resultados ano a ano mas a curva logística também comparece na formulação das simulações.

Os dados sobre o ano de pico, país por país, aparecem na Tabela II; a coluna C dá o ano do pico observado, se antes de 1997, ou simulado, para os demais. O pico de produção para o mundo é obtido em 2006, média dos valores dos anos de pico para os países que não o cruzaram até 1997. É portanto uma média sobre os valores simulados, daí a discrepância com o valor do pico da Fig.1.

Poucos duvidam que os dados da Fig. 1 e da Tabela II retratem eloqüentemente o fantasma da ultrapassagem do pico de produção em termos mundiais e nacionais nos anos que se avizinham. Importa ainda notar que os efeitos sobre a economia mundial induzidos pelos EUA<sup>4</sup>, dado o tamanho de sua economia, ultrapassam as fronteiras daquele país, refletindo-se em todo o planeta.

O mundo terá de se preparar para acomodar necessidades populacionais crescentes com produção de energia fóssil decrescente.

Há três correntes interpretativas desses resultados: a) aquela cujos seguidores acham que, ultrapassado o pico de produção, novas tecnologias e maiores investimentos levarão à descoberta de novas reservas, empurrando a crise para adiante. Essa é a posição da maioria dos grandes executivos das petroleiras, bancos investidores e uma parte dos grandes consumidores de energia como grandes empresas de transporte, fabricantes de automóveis, etc.; b) o grupo que acredita nas alternativas não convencionais para a produção de energia, achando que, com suficiente investimento e pesquisa, substitutos do petróleo serão encontrados; c) a corrente dos que acreditam que o pico da produção de energia por combustíveis fósseis é muito sério e capaz de se transformar num item da maior relevância para a continuação da vida civilizada porque não haverá substitutos adequados em tempo previsível.

Em resumo, ninguém leva muito a sério a posição a) que virtualmente ignora o pico de produção e, se levada ao extremo, qualquer limite último a essa produção. A maioria dos estudiosos tampouco acredita na posição b), descartando completamente as formas alternativas conhecidas para a geração de energia como substitutos mesmo potenciais do petróleo. Apenas, dado que metade do consumo de petróleo se faz no transporte, alguns admitem que o hidrogênio possa ser o combustível alternativo para essa aplicação. Entretanto mesmo esses lembram que o primeiro motor a combustão interna, criado em 1805, queimava hidrogênio e logo foi abandonado por dificuldades de manipulação desse gás além de questões de custos e eficiência; alguns concedem que a combinação com a energia nuclear poderia ser útil para obter hidrogênio a partir da eletrólise da água quando o combustível fóssil, do qual é usualmente retirado a baixo preço, não estiver mais disponível. Mesmo os representantes da indústria automobilística se mostram

---

<sup>4</sup> Os EUA cruzaram o pico de produção de petróleo em 1970 a despeito das novas reservas descobertas no Alaska em 1967

descrentes quanto à utilização de células a hidrogênio para os carros no futuro. Ressalve-se o uso do bio-diesel na Alemanha e do etanol no Brasil; o aumento de escala dessa aplicação pode, entretanto, não ser viável diante da extensão da área plantada, das demandas de pesticidas, fertilizantes e água para as plantações que também entrarão em escassez junto com o petróleo. Finalmente os adeptos da posição c) vêm no pico da produção do petróleo o horizonte de uma crise de inéditas proporções. A crise já começou, com movimentos geopolíticos preventivos: o mapa do chamado terrorismo internacional acompanha de perto o mapa das reservas de petróleo e gás. Alguns até mesmo atribuem problemas atuais das sociedades, como a estagnação das economias, mesmo as mais industrializadas, o crescimento do desemprego, a crise das aposentadorias, a volatilização dos superávits orçamentários, o desaparecimento da classe média, como prenúncios da formidável crise que se aproxima.

O combustível fóssil é, de fato, de difícil substituição. Ainda que se superem os problemas econômicos referentes ao uso de formas alternativas de energia, com o emprego de tecnologias mais caras ou menos eficientes, alguns problemas de substituição não parecem ter solução à vista: o problema dos fertilizantes e pesticidas que terão de ser buscados na biomassa ou no reprocessamento de rejeitos. Sem falar no problema da água que requer energia elétrica barata para extração de aquíferos, para reprocessamento e para irrigação. Todos arrastando grandes problemas.

### **Energia Nuclear.**

A energia nuclear apareceu aos olhos do cidadão do mundo sob o estigma dos sofrimentos impostos às populações de Nagasaki e Hiroxima. Os efeitos presumíveis das radiações nucleares sobre as pessoas e sobre o ambiente foram então discutidos *ad nauseam* pela imprensa, deixando um resultado final muito próximo do pânico. O Tribunal Bertrand Russel, organizado por aquele pensador e matemático, se encarregou de levar a condenação daquelas explosões aos corações de todos os cidadãos do mundo amantes da paz. A condenação veemente daqueles atos a partir de sua discussão objetiva teve também o efeito de recolocar o pânico das pessoas num plano mais consciente, mas tampouco atingiu essa meta. A Conferência de Genebra, organizada pelas Nações Unidas em 1955, divulgando as aplicações pacíficas da energia nuclear, teve o propósito de desfazer os aspectos negativos que ainda dominavam a opinião pública. Entretanto os testes nucleares atmosféricos contribuíram na direção oposta: um elemento de profunda desconfiança surgiu na opinião pública que não conseguia conciliar a contradição entre a proclamação dos governos quando trombeteavam as maravilhas contidas na energia nuclear para fins pacíficos e ao mesmo tempo tomavam a iniciativa de desenvolver bombas com explosões a céu aberto, levantando sonoros protestos de pessoas e organizações em todo o mundo. Nessa fase as vozes que se levantaram contra aquele uso da atmosfera, foram levadas a dramatizar os efeitos das radiações sobre a vida no planeta de modo a ampliar a mobilização dos povos contra os testes, mas acabou também contribuindo involuntariamente para o medo indiscriminado às radiações nucleares. Terminados os avanços propiciados pelos testes subterrâneos, os titulares do clube da bomba – EUA, URSS, GRÃ BRETANHA, FRANÇA e CHINA – lançaram a idéia do Tratado de Não Proliferação das Armas Nucleares



para fechar definitivamente a questão do armamento nuclear; jogaram então toda a força de sua máquina de propaganda em cima do pânico latente nas populações, revivendo os fantasmas do passado, para colocar a opinião pública a favor de seu objetivo. Essa fase fez a cabeça de muitas pessoas sinceramente devotadas à preservação do ambiente e ao desenvolvimento sustentável, parte das quais radicalizou posição, pedindo a proscrição da geração nuclear de energia.

A Energia Nuclear nunca teve uma oportunidade razoável, em ambiente despolarizado, onde suas virtudes e fraquezas pudessem ser discutidas com serenidade. Acredito que o alarma provocado pela síndrome do fim da energia fóssil, farta e barata, e suas colossais implicações a prazo longo criarão o clima necessário para essa avaliação.

Enquanto houver disponibilidade de gás, sobretudo nas regiões em que puder chegar através de um gasoduto, os custos da energia nuclear a deixarão de fora da matriz energética, a não ser para operações de complementaridade. À medida que o gás, cuja procura vem aumentando verticalmente, tenha seus preços elevados, a geração nuclear de energia se tornará mais e mais competitiva. E o Brasil, como detentor de apreciáveis reservas de Urânio, poderá ser um importante exportador de combustível, caso a medida anunciada pelo Ministro se materialize.

A crise acompanhando a ultrapassagem do pico de produção dos combustíveis fósseis sob a lógica do conflito entre produção decrescente de petróleo e gás e necessidades humanas crescentes, atingirá todas as manifestações da vida; pela diversidade e dimensão dos problemas pode-se mesmo dizer que o mundo esteja agora vivendo o prólogo do rompimento com o paradigma da civilização do pós- 2ª guerra. É de se esperar que a Ciência e a Tecnologia, livres das pressões de mercado que as afetam hoje, venham a desempenhar papel de maior importância na solução dos novos problemas.