

ENERGIA NUCLEAR SOCIALMENTE ACEITÁVEL COMO SOLUÇÃO POSSÍVEL PARA A DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA

JIMES VASCO MILANEZ¹, RICARDO DIAS ALMEIDA¹,
FAUSTO SILVA DO CARMO¹

¹Curso de Graduação - Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação/UNICAMP

RESUMO: Neste trabalho busca-se verificar o potencial, com ênfase no Brasil, de novas tecnologias de energia nuclear em desenvolvimento quanto ao crescimento estimado da demanda de energia, em comparação à energia nuclear tradicional e outras alternativas de geração, sob critérios como viabilidade técnica e econômica, respeito ao ambiente e sobretudo aceitabilidade pela sociedade. Demonstra-se que a energia nuclear de quarta geração se mostra uma opção a ser considerada no médio e longo prazo para geração de energia significativamente limpa, eficiente e segura, e que deveria, portanto, ser melhor pesquisada, principalmente com foco sobre os *Accelerator Driven Systems*.

PALAVRAS-CHAVE: Energia, usinas nucleares, tório, *Accelerator Driven Systems*.

INTRODUÇÃO

Embora de diversas aplicações na sociedade atual (GONÇALVES & ALMEIDA, 2005), a tecnologia nuclear tem o estigma do perigo e dos resíduos tóxicos. Termos como “catástrofe”, “bomba” e seus exemplos marcantes, Chernobyl e Hiroshima, permeiam a opinião pública, abrindo espaço para avaliações passionais e dificultando uma análise mais abrangente.

Dentre os fins pacíficos da tecnologia, a geração de energia elétrica

certamente é o mais amplo e também o mais controverso. Primeiramente deve-se obter um panorama de fatos e mitos, bem como de suas vantagens e desvantagens reais em relação a alternativas disponíveis. Além disso, diferentemente da percepção comum, mais adequado é classificar em diversos tipos a geração por fissão, bem como considerar ainda a possibilidade do aprimoramento da tecnologia visando eliminar as principais deficiências dos sistemas atuais (GIF, 2002). Neste

trabalho busca-se verificar o potencial, com ênfase no Brasil, de novas tecnologias de energia nuclear em desenvolvimento quanto ao crescimento estimado da demanda de energia, em comparação à energia nuclear tradicional e outras alternativas de geração, sob critérios como viabilidade técnica e econômica, respeito ao ambiente e sobretudo aceitabilidade pela sociedade.

MATERIAL E MÉTODOS

Como base para a comparação entre as tecnologias, procedeu-se a um levantamento da percepção das pessoas quanto à energia nuclear, da disponibilidade e custo aproximado por fonte e das pesquisas em andamento na área nuclear, foco do trabalho.

Para aquisição de dados sobre a opinião da população, foi realizada uma enquete em outubro e novembro de 2005 entre dois grupos: 1) 144 estudantes das áreas de exatas da Universidade Estadual de Campinas e 2) 226 pessoas com perfil de classe média em locais de grande circulação na cidade de Campinas e pela internet. As opiniões obtidas são comparadas às disponíveis na literatura, com fim de analisar condições para a aceitabilidade

social e ambiental da energia nuclear, enquanto a comparação entre dados técnicos fornece uma avaliação sobre viabilidade e perspectivas. Avaliam-se também alternativas para o suprimento de energia no Brasil, com base no crescimento da demanda vinculado a um crescimento econômico sustentado, bem como passos necessários para que o Brasil se capacite quanto às novas tecnologias de reatores e combustível.

Como parte da pesquisa, foi realizada ainda uma visita em 17/10/2005 à usina Angra 2 e seu Laboratório de Monitoração Ambiental, em Angra dos Reis, RJ, para avaliação da realidade da usina. Os autores também compareceram ao evento “Fórum Permanente de Energia e Ambiente: Energia e Qualidade de Vida”, ocorrido em 08/11/2005 na Universidade Estadual de Campinas, que tratou dos impactos das fontes de energia no meio ambiente e na vida das pessoas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas últimas décadas presenciaram um aumento substancial da emissão de gases à atmosfera, levando sociedade e governos a iniciativas como o protocolo de Kyoto.

No entanto, fatores como o crescimento econômico e a demanda crescente por energia dificultam sua implementação.

Quanto à geração de energia, uma das alternativas para atender as metas é a nuclear (MARSHALL, 2005), capaz de gerar as imensas quantidades requeridas de energia praticamente sem emissões, embora sem grande prestígio frente à sociedade em virtude de efeitos colaterais a serem resolvidos. No Brasil, ainda rico em potencial hídrico, a energia nuclear pode ser vista como possibilidade para médio e longo prazo.

O potencial da energia nuclear será tanto maior quanto for capaz de resolver problemas como lixo, riscos, custo e proliferação, para se convencer a opinião pública (CLERY, 2005). Os gráficos seguintes indicam os resultados percentuais da pesquisa de percepção realizada, visando uma idéia da energia nuclear no contexto brasileiro sob a ótica da população (enquete em anexo).

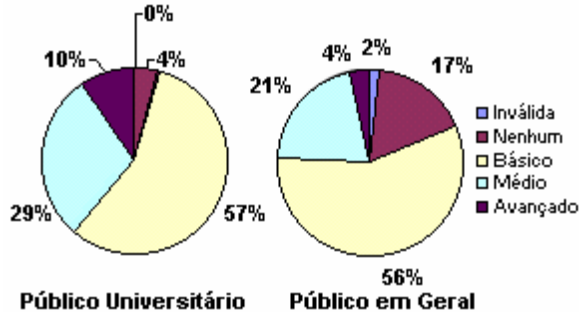


Figura 1. Auto-avaliação sobre conceitos de energia nuclear dos entrevistados

Nota-se uma igualdade na percepção em nível *básico*, enquanto ocorre um deslocamento da percepção de *nenhum* em direção a *médio* e *avançado* no público universitário (Figura 1).

Tal resultado é coerente com as expressões mais citadas, agrupadas ao longo de um espectro de termos relacionados (Figura 2). *Radioatividade*, *bomba* e *perigo* são termos freqüentes em ambos, embora se veja maior representatividade de *lixo tóxico*, *usina nuclear*, *Angra dos Reis* e conceitos técnicos no primeiro grupo.

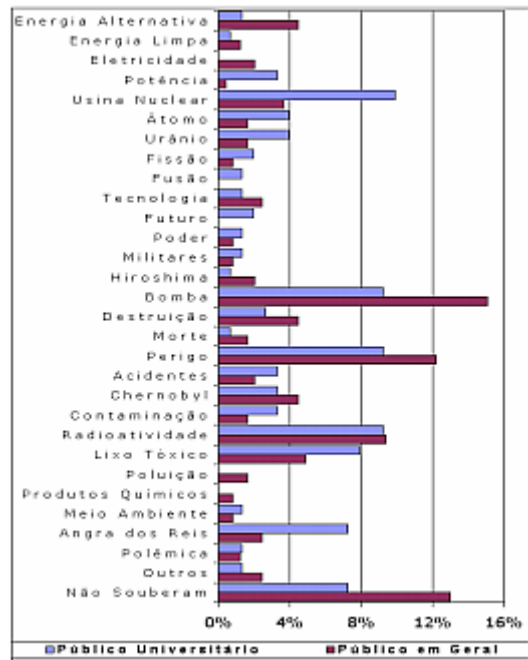


Figura 2. Termos relacionados a energia nuclear.

Avaliando-se a concepção sobre o desempenho da energia nuclear se

percebe que no público geral é significativo o número de pessoas que não souberam responder, embora *riscos* e *resíduos* prevaleçam como desvantagem para ambos os públicos. Como vantagens prevalecem aspectos práticos, embora o quesito *custo* tenha percepção oposta (Figuras 3 e 4).

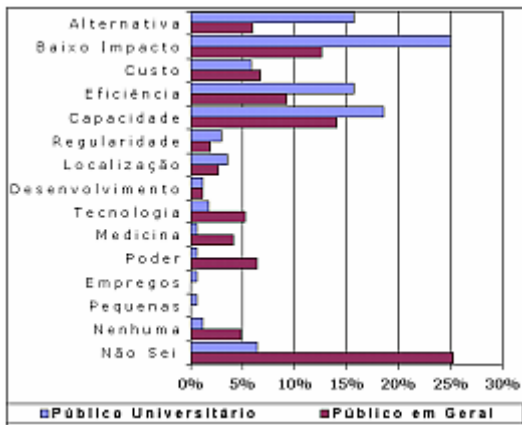


Figura 3. Vantagens citadas para a energia nuclear pelos entrevistados.

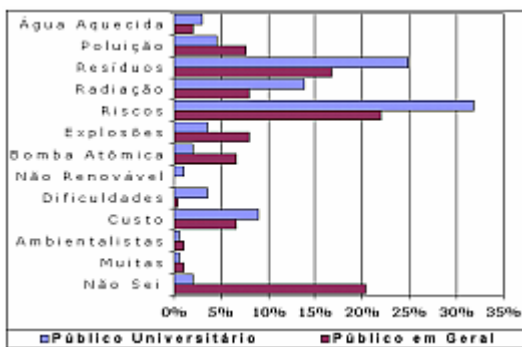


Figura 4. Desvantagens citadas para a energia nuclear pelos entrevistados.

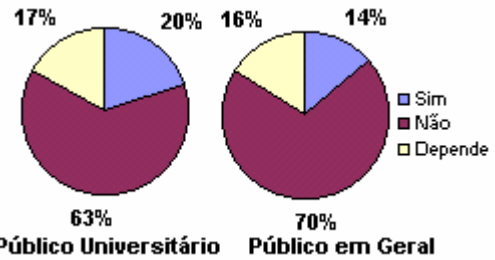


Figura 5. Respostas dos entrevistados sobre a possibilidade de residir perto de usinas nucleares.

Em ambos os públicos avaliados a maioria não aceita morar próximo a uma usina, considerando um temor comum de acidentes, embora haja maior recusa no público em geral (Figura 5). Como *depende* foram citados aspectos como tipo de usina, segurança, país e necessidade.

Entre as gerações preferidas, a hidrelétrica permanece na preferência, o que tem respaldo no potencial hídrico ainda não explorado no país, embora o impacto das mesmas gere controvérsias (Figura 6). Nota-se também inversão dos papéis de nuclear e termelétrica entre os públicos, condizente com os demais resultados. Quanto aos custos, uma quase unanimidade: mais de 80% rejeitaria pagar mais pela geração preferencial, sem distinção da fonte escolhida (Figura 7).

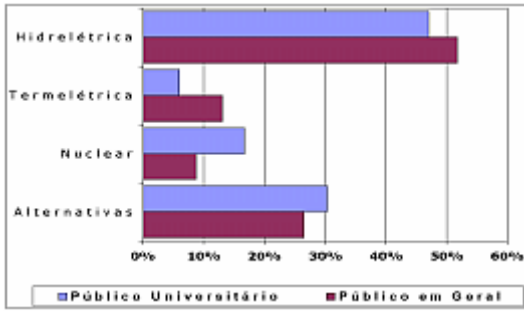


Figura 6. Tipo de geração preferencial no Brasil.

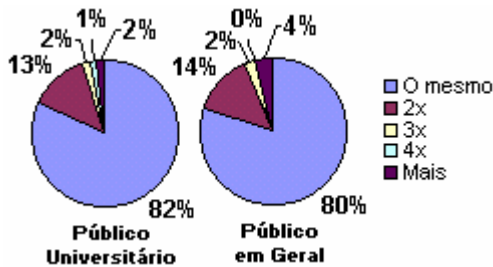


Figura 7. Custo adicional aceitável.

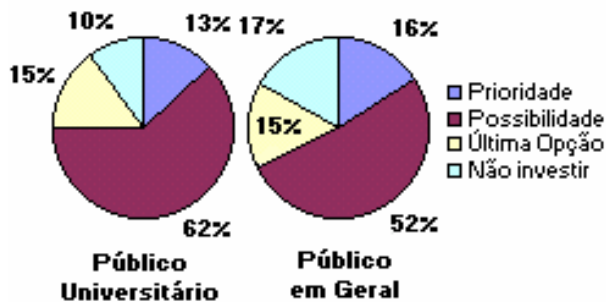


Figura 8. Opinião sobre a política de investimentos a ser desenvolvida pelo Brasil em relação à energia nuclear.

Um resultado muito relevante: embora apontem deficiências na energia nuclear, não há entre as pessoas exatamente preconceito, embora pela mídia se tenha às vezes impressão diferente; mais de 60% são favoráveis a investimento nacional em pesquisa de geração nuclear mais limpa e segura (Figura 8).

Atualidade

Existem 440 reatores nucleares de geração de energia em operação no mundo, respondendo por cerca de 17% do total. No Brasil, tem-se em Angra 3 a principal perspectiva ligada à nova aplicação de geração nuclear no curto prazo, mas uma proposta elaborada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia que propõe o fortalecimento e compra de novos reatores até 2022 se encontra em análise na presidência da República (GONÇALVES & ALMEIDA, 2005), o que não representa necessariamente a melhor alternativa. Quanto a Angra 3, adquirida com Angra 2 e estocada há mais de duas décadas, o aproveitamento de sua geração é prevista para 2009 (MME, 2002; THOMÉ FILHO, 2004).



Figura 9. Usinas de Angra I e II.

Um dos pontos recorrentes é quanto à tecnologia de Angra (Figura 9), julgada como comprada já obsoleta; no entanto, os reatores PWR (*Pressurized Water Reactors*) respondem por cerca de metade dos reatores em uso, enquanto Angra II foi recentemente colocada como 16^a no *ranking* mundial das usinas nucleares com maior volume de geração de energia, segundo a Eletronuclear. Outro ponto é a utilização de sistemas passivos de segurança, que tornam muito reduzidos os riscos de um *meltdown*, embora também haja um plano de emergência para os arredores (Figura 10).

Tais fatos, porém, não eliminam a desconfiança, bem como outros pontos já apresentados quanto à tecnologia, como os resíduos e o custo no limite da competitividade (cerca de R\$78,00 por MWh), citado como um dos principais problemas atualmente no Brasil, com a venda de energia por

leilões (HENNING, 2004; MATHIAS, 2004).

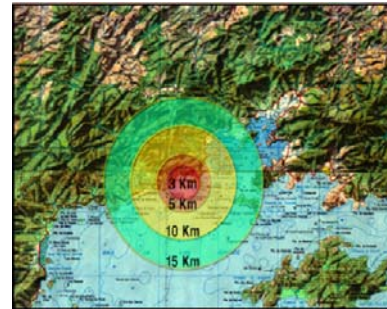


Figura 10. Áreas de emergência

Novas tecnologias

Os resultados da pesquisa efetuada reforçam os pontos indicados em outras fontes (GIF, 2002; IAEA, 2003; CLERY, 2005) como de grande relevância no desenvolvimento da energia nuclear de quarta geração, para que seja uma alternativa viável, embora haja cétricos quanto a seus verdadeiros interesses (HIRSCH *et al*, 2005). A energia nuclear de quarta geração, voltada para as próximas décadas, assume como premissas:

- Utilização eficiente de recursos
- Segurança inerente ao processo e controle passivo
- Melhor gerenciamento do lixo e conversão de resíduos perigosos para outros de menor duração
- Resistência à proliferação
- Competitividade econômica
- Aceitação pública

Entre as alternativas estudadas destacam-se os *Accelerator Driven Systems* (MAIORINO *et al*, 2003) com ciclos fechados de combustível tório (IAEA, 2005), ciclo cuja pesquisa foi abortada por interesses militares em proliferação nuclear na guerra fria. Suas vantagens principais, em atendimento às premissas acima, são:

- Reator subcrítico: não há risco de *meltdown* da usina.
- O tório é mais abundante que urânio e produz mais energia
- Aproveitamento de quase 100% dos recursos e enriquecimento desnecessário (enquanto apenas 0,7% do urânio disponível é do isótopo ^{235}U)
- Menor geração de resíduos, cuja maior meia-vida é também da ordem de 100 vezes mais curta
- Dificuldade de utilização da tecnologia em armamentos
- Possibilidade de transmutação (“queima”) de diversos resíduos e armamentos já existentes

A Índia, que tem a segunda maior reserva de tório, é provavelmente o país mais avançado no combustível, embora utilizando outro tipo de reator, e prevê instalar cerca de 275 GW até a metade do século (BAGLA, 2005). No

Brasil, que também tem amplas reservas de tório, estudos têm sido realizados no IPEN (Instituto de Pesquisa Energética Nuclear) desde 1995, embora um programa de desenvolvimento em tório tenha sido abortado na década de 70. Um outro estudo (PUILL, 1997) expõe a possibilidade de uso de tório em reatores PWR, embora não seja a opção ótima. Quanto aos reatores ADS, uma proposta de *roadmap* nacional é apresentada por MAIORINO *et al* (2003), do próprio IPEN.

CONCLUSÃO

O crescimento da demanda como resultado de universalização do acesso, do crescimento econômico, da modernização e do consumo per capita, vem se mantendo e nada indica uma mudança nessa trajetória por enquanto. Crises de combustíveis, como os altos preços do petróleo, em termos de custos tendem a aumentar a participação do carvão no cenário mundial, dificultando o cumprimento das metas de emissões.

Embora o potencial hídrico do Brasil ainda seja amplo (MME, 2002), seus impactos em geral não são muito considerados, além de ser necessário diversificar a base de geração. Após o “apagão”, assiste-se a uma maior

construção de termelétricas, cuja proliferação também encontra um caminho nos leilões de energia; usinas vantajosas sobre o ponto de vista econômico e de rapidez, mas com custos ambientais. Mesmo a opção do gás natural tem enfrentado problemas com as instabilidades políticas na Bolívia, o que ressalta a importância da independência energética para o crescimento de um país.

Embora todas as fontes tenham algum impacto e não necessariamente sejam aplicáveis em todos os contextos, deve-se buscar continuamente fontes mais limpas. Sendo ainda a energia nuclear mais viável que as fontes alternativas em termos econômicos (MME, 2002; THOMÉ FILHO, 2004), o que se soma à enorme capacidade de geração, não deveria, portanto, ser descartada *a priori*; sobretudo estudos e pesquisas mais amplos deveriam ser realizados, como a real viabilidade da energia gerada por ADS e a busca de maior domínio da própria tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGLA, P. India's Homegrown Thorium Reactor. **Science**, Washington, EUA, v. 309, p. 1174-1175, 19 ago. 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia. Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos. **Sumário Executivo do Plano Decenal de Expansão 2003/2012**. Brasília: dez. 2002. 77 p.

CLERY, D. Nuclear Industry Dares to Dream of a New Dawn. **Science**, Washington, EUA, v. 309, p. 1172-1175, 19 ago. 2005.

GENERATION IV INTERNATIONAL FORUM & U.S. DOE NUCLEAR ENERGY RESEARCH ADVISORY COMMITTEE. **A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems**. [Idaho Falls], dez. 2002. 97 p.

GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. A energia nuclear e seus usos na sociedade. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 37, n. 220, p. 36-44, out. 2005.

HENNING, F. **Keeping Nuclear as a Viable Option for Electric Power Generation in the Brazilian Matrix.** 2004. Trabalho apresentado ao Americas Nuclear Energy Symposium 2004, Miami, EUA, 3-6 out. 2004.

HIRSCH, H. et al. **Nuclear Reactor Hazards: Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century.** Greenpeace International, abr. 2005. 128p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Fuel Cycle and Materials Sections. **Thorium fuel cycle: Potential benefits and challenges.** Viena, mai. 2005. IAEA TECDOC Série n. 1450.

_____. Nuclear Power Technology Development Section. **Potential of thorium based fuel cycles to constrain plutonium and reduce long lived waste toxicity.** Viena, abr. 2003. IAEA TECDOC Série n. 1349.

MAIORINO, J. R.; SANTOS, A.; PEREIRA, S. A. The utilization of accelerators in subcritical systems for energy generation and nuclear waste transmutation - the world status and a

proposal of a national R&D program. **Brazilian Journal of Physics**, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 267-272, jun. 2003.

MARSHALL, E. Is the Friendly Atom Poised for a Comeback? **Science**, Washington, EUA, v. 309, p. 1168-1169, 19 ago. 2005.

MATHIAS S. G. **Participation of the Nuclear Plants in the Nuclear Power Plants in the New Brazilian Electric Energy Market.** 2004. Trabalho apresentado ao Americas Nuclear Energy Symposium 2004, Miami, EUA, 3-6 out. 2004.

PUIILL, A. **Thorium utilization in PWRs: Neutronics studies.** 1997. IAEA TECDOC série n. 1319.

THOMÉ FILHO, Z. D. **Proposal of a Financing Scheme for a Third NPP in Brazil.** 2004. Trabalho apresentado ao Americas Nuclear Energy Symposium 2004, Miami, EUA, 3-6 out. 2004.



APÊNDICE

Enquete utilizada para avaliar a percepção do público.

Pesquisa sobre percepção da sociedade quanto à energia nuclear*

Como você julga seu conhecimento sobre energia nuclear?

Nenhum Básico Médio Avançado

Quando você ouve falar de energia nuclear, qual a primeira palavra / expressão que vem à mente?

Liste aspectos positivos e negativos da energia nuclear na sua opinião:

VANTAGENS: _____

DESVANTAGENS: _____

Você moraria em um raio de 15Km de distância de uma usina nuclear?

Sim Não Depende: _____

Na sua opinião, qual deve ser a fonte de energia preferencial utilizada para suprir a demanda crescente de energia no Brasil?

Hidrelétrica Termelétrica Nuclear Alternativas: _____

Quanto a mais você estaria disposto a pagar pela energia proposta acima?
(em relação ao valor da sua conta de energia atual, para um mesmo consumo)

O mesmo 2x 3x 4x Mais

O Brasil deveria investir no desenvolvimento de energia nuclear mais limpa e segura para futuro uso em sua matriz energética? Como...

Prioridade Possibilidade Última opção Não deve investir

Obrigado pela colaboração!

***Energia nuclear socialmente aceitável como solução possível para a demanda energética brasileira**

James Vasco Milanez, Ricardo Dias Almeida e Fausto Silva do Carmo
Unicamp, BE310B – Ciências do Ambiente. 2º semestre de 2005.