

Luiz A. Mai e José R. Maiorino
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CNEN/SP)
CEP 05422-970 São Paulo-SP CX Postal 11049
tel: (011) 816-9000 fax: (011) 212-3546

RESUMO

Este trabalho apresenta um exemplo da possibilidade de utilização do combustível irradiado em Angra-I (PWR), se valendo dos estudos que estão sendo desenvolvidos no IPEN e na Comissão Nacional de Energia Atômica da Argentina. Visa-se utilizar o plutônio produzido em Angra-I diluído em óxido de urânio natural no reator tipo CANDU da Central Nuclear de Embalse na Argentina.

Resultados preliminares mostram que a utilização desse tipo de combustível proporciona uma economia de até 50 % no fornecimento de urânio ("feed") para o sistema binacional Angra-I/Embalse.

Além da economia no suprimento de urânio, outras vantagens são observadas:

- aumento do tempo de residência do combustível em até 3 vezes,
- o custo da energia elétrica gerada não é alterado,
- diminuição de 20 % da atividade do rejeito final e
- diminuição de 20 % da toxicidade do rejeito final.

INTRODUÇÃO

Atualmente se vem pesquisando muito no mundo a respeito da racionalização do uso do combustível nuclear. Essa racionalização diz respeito além da otimização das reservas de urânio, a diminuição dos resíduos radioativos e também a diminuição do custo da energia elétrica gerada.

Recentemente Brasil e Argentina iniciaram estudos neste sentido, de modo a utilizar combustível queimado e descontaminado (com o mínimo possível de produtos de fissão) do reator brasileiro de Angra-I (PWR), diluído em combustível de urânio natural, no

reator argentino de Embalse (CANDU). Nesse processo de descontaminação não são separados os isótopos de urânio dos isótopos de plutônio, formando um combustível conhecido como MOX ("Mixed OXide") com uma porcentagem entre 1,5 a 2,0 % de isótopos fisséis. Essa idéia foi inicialmente proposta pelos canadenses (VEEDER, 1985) e é denominada CICLO TANDEM.

Este trabalho tem como objetivo, além de demonstrar o potencial energético do combustível nuclear irradiado da usina de Angra-I, demonstrar também que a sua utilização é economicamente viável e interessante sob o ponto de vista ambiental.

Parametrizou-se algumas variáveis para determinação do fluxo de massa, que é fundamental para os objetivos do trabalho. Isso foi feito através dos seguintes códigos de computador:

- ORIGEN2.1 (CROFF, 1991) para cálculos de concentrações e toxicidade,
- WIMS-D/4 (ASKEN, 1966) para cálculos celulares e
- PERCICO (PASSADORE, 1992) para cálculos de custos.

FLUXO DE MASSA

Através de procedimentos usuais da área de neutrônica (TUMINI, 1994), parametrizou-se as razões de diluição de urânio natural (\ominus) em combustível descontaminado de Angra-I para 3 tempos de resfriamento diferentes (1, 3 e 5 anos). Essa parametrização permitiu determinar as seguintes razões de diluição ideais, com relação ao consumo de urânio na estratégia binacional, para cada tempo de resfriamento:

- Θ (1 ano) = 0,38
- Θ (3 anos) = 0,36
- Θ (5 anos) = 0,34

Nota-se que o valor correspondente para um resfriamento de 5 anos está de acordo com o relatado na literatura canadense.

Cada uma dessas razões de diluição proporcionam um aumento de até 3 vezes no tempo de residencia do combustível comparativamente ao ciclo normal do reator CANDU. Portanto a razão 0,38, correspondente a 1 ano de resfriamento, pode ser tomada como valor de referência. Dessa forma o fluxo de massa que proporciona o menor consumo de urânio natural é como apresentado na tabela abaixo:

Tab. 1: Fluxo de Massa (ton. HM/a)

COMB. DESC.	U-NAT (ton.UO ₂ /a)	DÉFICIT	TOTAL
14,80	12,16	5,04	32,00

A economia de urânio natural representada através desse procedimento, será de aproximadamente de 50 % comparada com o procedimento atual de operação separada dos reatores.

CUSTO DO CICLO

Através do programa PERCICO foi estimado que o custo do ciclo do reator CANDU com este fluxo de massa está por volta de 7,5 US\$/MWh (utilizando-se dados econômicos argentinos), valor este igual ao custo atual. Com esse resultado pode-se prever que com um incremento do custo do urânio natural no mercado internacional, o ciclo TANDEM entre Angra-I e Embalse será economicamente interessante.

TOXICIDADE

A variação com o tempo da atividade do combustível irradiado e a grandeza "ingestion toxicity" (BENEDICT, 1981) foram estimadas através do Programa ORIGEN2.1. "Ingestion Toxicity" (T) é definida como:

$$T = \sum A_i / (\text{mpc})$$

onde A_i é a atividade do produto de fissão i e (mpc) é a máxima concentração permissível.

Nota-se que para os reatores operando em ciclo TANDEM há uma diminuição em cerca de 20 % tanto na grandeza T como na própria atividade dos rejeitos, comparativamente à operação separada de cada reator.

CONCLUSÕES

Considerando o objetivo principal do estudo que seria a demonstração do potencial energético de combustível irradiado da usina de Angra-I, através da otimização do consumo de urânio, o ciclo TANDEM confirma ser altamente atrativo fornecendo uma economia de cerca de 50 % na estratégia binacional.

O tempo de residencia do combustível no reator CANDU depende muito pouco do tempo de resfriamento do combustível irradiado e a partir de 1 ano as variações são insignificantes. O valor de 38 % pode ser tomado como referência para minimizar o consumo de urânio. Com essa razão de diluição o tempo de residência do combustível no reator CANDU é ampliado em 3 vezes comparativamente ao atual ciclo de urânio natural.

O custo do ciclo do combustível do reator CANDU de Embalse operando em ciclo TANDEM com Angra-I é mantido inalterado em 7,5 US\$/MWh.

Finalmente a atividade e a grandeza "ingestion toxicity" dos rejeitos diminuíram em cerca de 20 % quando comparadas com os ciclos dos reatores tomados separadamente.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq/RHAE pelo apoio financeiro deste projeto.

REFERÊNCIAS

- VEEDER, J. et alii. A catalog of Advanced Fuel Cycles in CANDU reactors; AECL 8641, 1985.
- CROFF, A. G. ORIGEN2.1 Isotope Generation and Depletion Code; CCC-371 RSIC, 1991.
- ASKEN, J. R. et alii. A General Description of Lattice Code WIMS; J. Brit. Energy Soc. (4)564, 1966.
- PASSADORE, D.; BALSEIRO INSTITUTE; Desarrollo de un Código de Cálculo del Costo de Combustible y Evaluación de Ciclos Avanzados

Para Centrais de Potencia Argentinas; Tese de Engenharia, 1992.

TUMINI, L. et alii; CENTRO ATÓMICO DE BARILOCHE E IPEN-CNEN/SP; Implementação de Um Ciclo "TANDEM" Ente os Reatores de Angra-I (Brasil) e Embalse (Argentina); anais do V Congresso Geral de Energia Nuclear, Vol.II; Rio de Janeiro; Set. 1994.

BENEDICT, M et alii; Nuclear Chemical Engineering; McGraw-Hill Book Company, 1981.