

Simulações monte carlo com tório e plutônio reprocessado como combustível para reatores de água pressurizada

André Luiz Pimenta Pinheiro dos Santos e Giovanni Laranjo de Stefani
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

INTRODUÇÃO

Tendo em vista as preocupações causadas pela proliferação de plutônio, tentamos uma alternativa abordagem para queimar resíduos de plutônio produzidos em reatores nucleares usando um combustível feito de plutônio reciclado misturado com tório.

Uma maneira mais comum de queimar plutônio é usar MOX (óxido misto), composto de plutônio e urânio reciclados. Mas desde mais plutônio é gerado durante a queima de urânio, procuramos por mais eficiência resultados usando o tório [1].

OBJETIVO

1. Analisar a queima de plutônio em um reator PWR utilizando tório.
2. Estudar a viabilidade da utilização do tório para queima de plutônio, como uma alternativa ao MOX.
3. Analisar a produção de U-233 (físsil) durante a queima do Th-Pu, sendo este uma alternativa ao U-235 na produção de energia.

METODOLOGIA

Usando um código de Monte Carlo chamado SERPENT, descrevemos resultados obtidos com simulações de um ciclo de 450 dias usando combinações de tório e plutônio e tório, urânio e plutônio. Nestas simulações, procuramos manter um k_{eff} aceitável (quase crítico) e os isótopos produzidos no final do ciclo. o simulações são baseadas no Westinghouse AP1000, que é um dos mais seguros comerciais um PWR da 3ª geração.

A justificativa para escolher o AP1000 é porque os PWRs são de longe os reatores mais utilizados para produção de energia e porque trabalhos anteriores publicado sobre este reator e sua adaptação para o uso do tório como combustível [1 – 2].

RESULTADOS

Foram feitas simulações testes para uma variedade de combinações de tório, plutônio e urânio. Destas apenas dois casos mantiveram uma criticalidade aceitável.

1. Criticalidade: Os dois casos que apresentamos nas figuras (70% Th, 25% U, 5% Pu; e 90% Th, 10% Pu) foram os únicos que mantiveram a criticalidade próxima à 1, portanto foram os únicos utilizados nas demais análises. Ambos tiveram uma curva levemente crescente, sugerindo que seja o caso de um breeder.

2. Com relação a fração efetiva de nêutrons atrasados, era de se esperar valores abaixo do caso padrão (100% urânio), mas pode-se ver que em alguns casos como o 70% Th, 25% U, 5% Pu obteve-se um valor mais próximo do caso padrão, em particular no final do ciclo. O caso 90% Th, 10% Pu, embora tenha obtido um valor interessante para a criticalidade, obteve o segundo pior índice neste caso. Isso indica que um reator de Th-Pu tem é mais complicado de operar.

Tendo determinado os casos 90% Th, 10% Pu e 70% Th, 25%Pu, 5% U como os mais interessantes em relação a criticalidade e a fração efetiva de nêutrons atrasados, vamos analisar a queima e produção de elementos físseis nesses casos.

3. Com relação a queima dos isótopos físséis do plutônio pode-se ver que em ambos os casos temos resultados positivos, ou seja, que deve ser possível reutilizar eliminar uma parte do plutônio reprocessado na geração de energia. No primeiro caso temos maior quantidade de plutônio inicial e também maior queima. Proporcionalmente tivemos uma queima de 19,7% no primeiro caso e 8,6% no segundo.

4. Quanto a geração de U-233 o primeiro caso também possui uma maior produção, porém a porcentagem inicial de tório é bem maior. Nos dos casos, no entanto temos geração do isótopo. Obteve-se uma produção de aproximadamente 3,7 toneladas de U-233 no primeiro caso, e 2,8 no segundo

Para caracterizar se um reator é breeder devemos dividir a quantidade total de isótopos físséis no final do ciclo pelos isótopos físséis no início do ciclo, obtendo assim, uma relação que indica se tivemos mais queima ou geração desses isótopos. Contabilizando o total de U-233, U-235, Pu-239 e Pu-241 no final e início do ciclo conclui-se que em ambos os casos houve maior geração do que queima, sendo uma relação de 1,03755 no primeiro caso e 1,00792 no segundo [3].

CONCLUSÕES

Como um estudo inicial e mais qualitativo, pode-se observar que o combustível de tório e plutônio viável tanto para a geração de energia, como para queima de plutônio e também para a geração de energia.

Fica como sua grande desvantagem a sua baixa fração efetiva de nêutrons atrasados e portanto mais estudos devem ser feitos em relação a segurança da operação de um reator deste tipo.

Em alguns resultados, a criticalidade levemente crescente e o fato de o reator ser breeder possibilita manter-se em operação

por mais de 450 e sugere uma futura investigação nesse sentido.

Como próximo passo podemos refinar os valores testados, pois escolhemos apenas proporções múltiplas de 5, a fim de obter um resultado que fosse qualitativo. Uma análise completa, e não apenas de assembly, e um estudo termo hidráulico ficam como estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]DUDERSTADT, J. H. L., 1976. Nuclear Reactor Analysis. New York: John Wiley & Sons.

[2]MAIORINO, J.R., STEFANI, G. L., MOREIRA, J. M. L., ROSSI, P. C. R. AND SANTOS, T.A., Feasibility to convert an advanced PWR from UO₂ to a mixed U/ThO₂ core – Part I: Parametric studies, 2017, Annals of Nuclear Energy 102, 47-55.

[3]Westinghouse Electric Corporation, "Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 19," 2011.

APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.