

Combustível Reprocessado para Uso em ADS

Trabalho de Doutorado

Graiciany de Paula Barros, Claúbia Pereira, Carlos E. Velasquez, Maria Auxiliadora Fortini Veloso e Antonella Lombardi Costa

Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG

gbarros@ufmg.br



Resumo

O objetivo deste estudo é investigar a evolução do combustível nuclear e dos parâmetros neutrônicos de um *Accelerator-driven subcritical systems* (ADS) utilizado para regeneração de combustível e transmutação de combustível nuclear queimado. O núcleo simulado é um cilindro preenchido com uma rede hexagonal de 156 barras de combustível. O combustível utilizado é uma mistura baseada em plutônio e actínides menores obtidos a partir de combustível queimado, reprocessado por GANEX (*Group Actinide EXtraction*) e diluído com 82% de tório. O código MonteBurns 2.0 (MCNP5/ORIGEN 2.1) foi utilizado para simular os aspectos neutrônicos do combustível. O fator de multiplicação efetivo e a evolução do combustível foram analisados durante dez anos de queima. Os resultados indicam que o uso de combustível reprocessado diluído com tório possibilita a produção de ^{233}U e a redução da quantidade de alguns isótopos de alta radiotoxicidade.

Introdução

Accelerator-driven subcritical systems (ADS) são estudados para a geração de energia, conversão de combustível fértil em fissil e para a transmutação de rejeitos de alta radiotoxicidade. Os ADS são sistemas híbridos subcríticos em que partículas carregadas produzidas por um acelerador são usadas para induzir reações de *spallation* em algum material alvo, resultando na produção de nêutrons que são usados em um núcleo de reator subcrítico para manutenção das fissões em cadeia.

Neste trabalho é avaliada a capacidade de regeneração de combustível e de transmutação de rejeitos de um ADS abastecido com combustível reprocessado diluído com tório. O combustível reprocessado foi obtido a partir do combustível queimado proveniente do reator ANGRA-1 após ≈ 33.000 MWd/T de queima. Este combustível foi reprocessado utilizando o reprocessamento GANEX [1, 2] e diluído com 82% de tório.

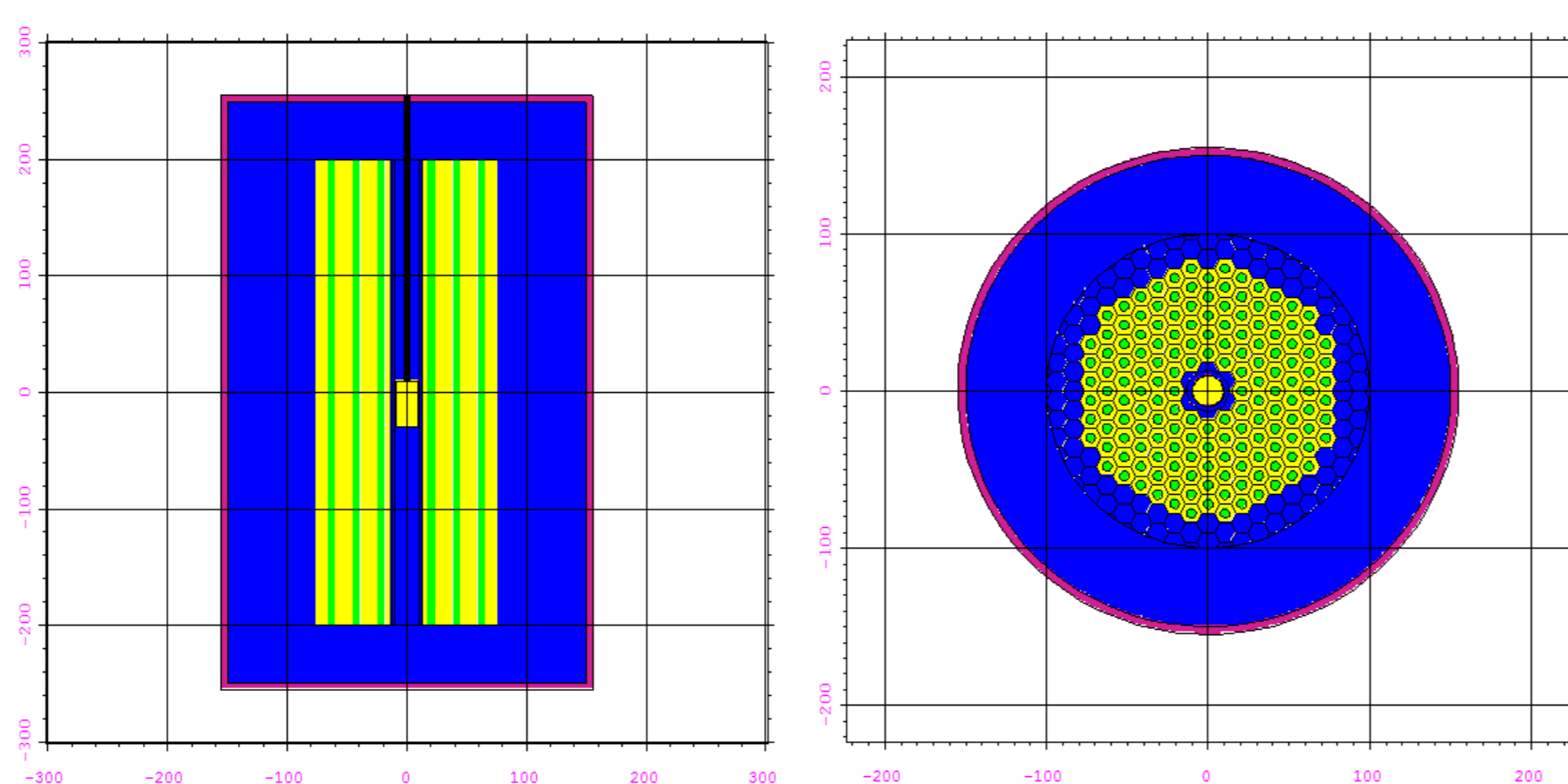
Principais objetivos

1. Avaliar a evolução da criticalidade durante 10 anos de operação a 515MW_t de um ADS abastecido com combustível reprocessado diluído com tório.
2. Analisar a transmutação de isótopos de alta radiotoxicidade contidos no combustível reprocessado.
3. Quantificar a produção de ^{233}U a partir do ^{232}Th .

Materiais e métodos

O código MonteBurns [3] foi utilizado para acoplar os códigos MCNP5 [4] e ORIGEN2.1 [5]. A Fig. 1 ilustra geometria do ADS simulado. A geometria inclui um alvo de *spallation* (cilindro central) de chumbo, um núcleo subcrítico e um refletor. A fonte de *spallation* é representada por uma fonte cilíndrica de nêutrons (no cilindro central) com um espectro característico de reações de *spallation*. O núcleo possui 12 m^3 e é preenchido com uma rede hexagonal de 156 barras de combustível (verde). As barras de combustível possuem raio de 3 cm e 400 cm de comprimento.

Figura 1: Configurações axial e radial do ADS simulado.

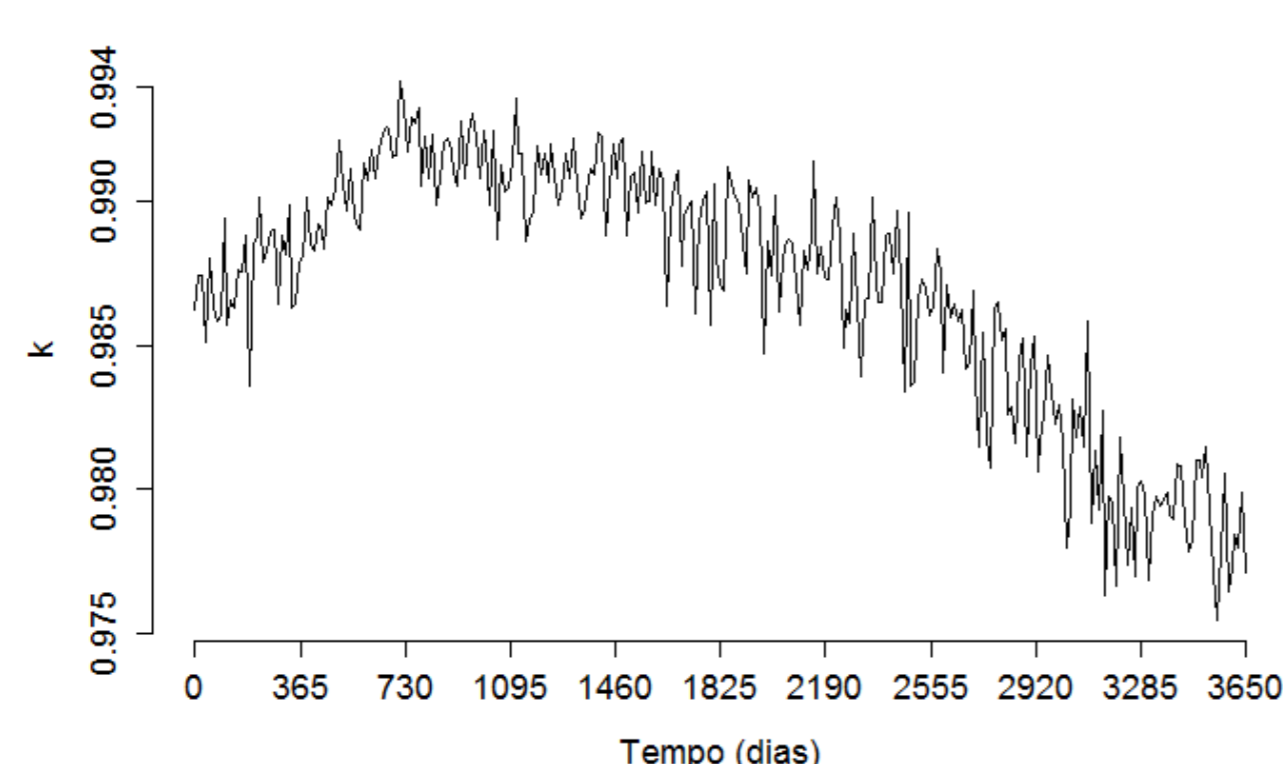


O combustível usado foi obtido a partir de combustível queimado proveniente do reator ANGRA-1, com enriquecimento inicial de 3.1%. Este combustível foi queimado no código ORIGEN 2.1 por três ciclos, com queima de 11.000 MWd/t em cada ciclo. Após 5 anos de resfriamento em piscina, este combustível foi submetido ao reprocessamento GANEX. O combustível reprocessado foi diluído com 82% de tório para reduzir o percentual de isótopos fisséis.

Resultados

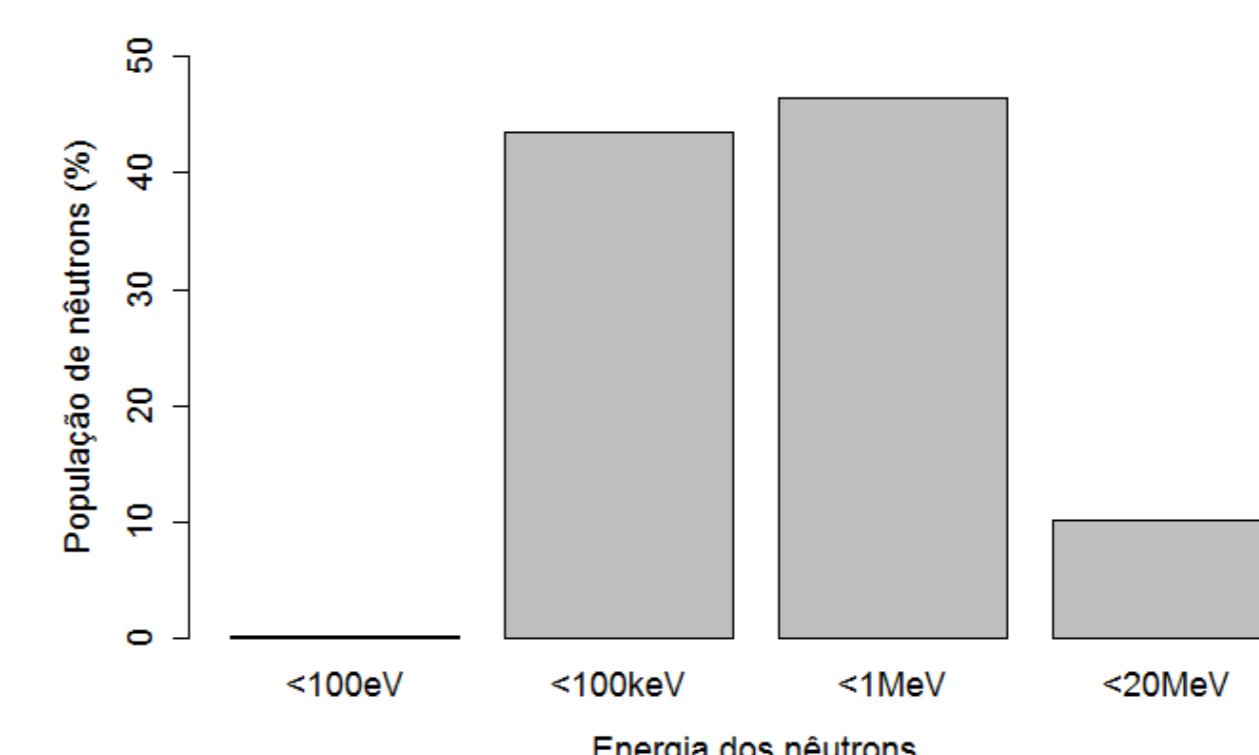
A Fig. 2 mostra a evolução do fator de multiplicação (k) do ADS simulado. O decréscimo no valor de k foi pequeno durante os 10 anos de queima. A adição de tório ao combustível reprocessado levou a produção de ^{233}U , o que fez com que a queda na criticalidade fosse reduzida.

Figura 2: Evolução do fator de multiplicação.



O espectro de energia dos nêutrons no início da queima é mostrado na Fig.3. O espectro endurecido se deve à presença de plutônio no combustível reprocessado e à ausência de material moderador.

Figura 3: Espectro de energia dos nêutrons no início da queima.

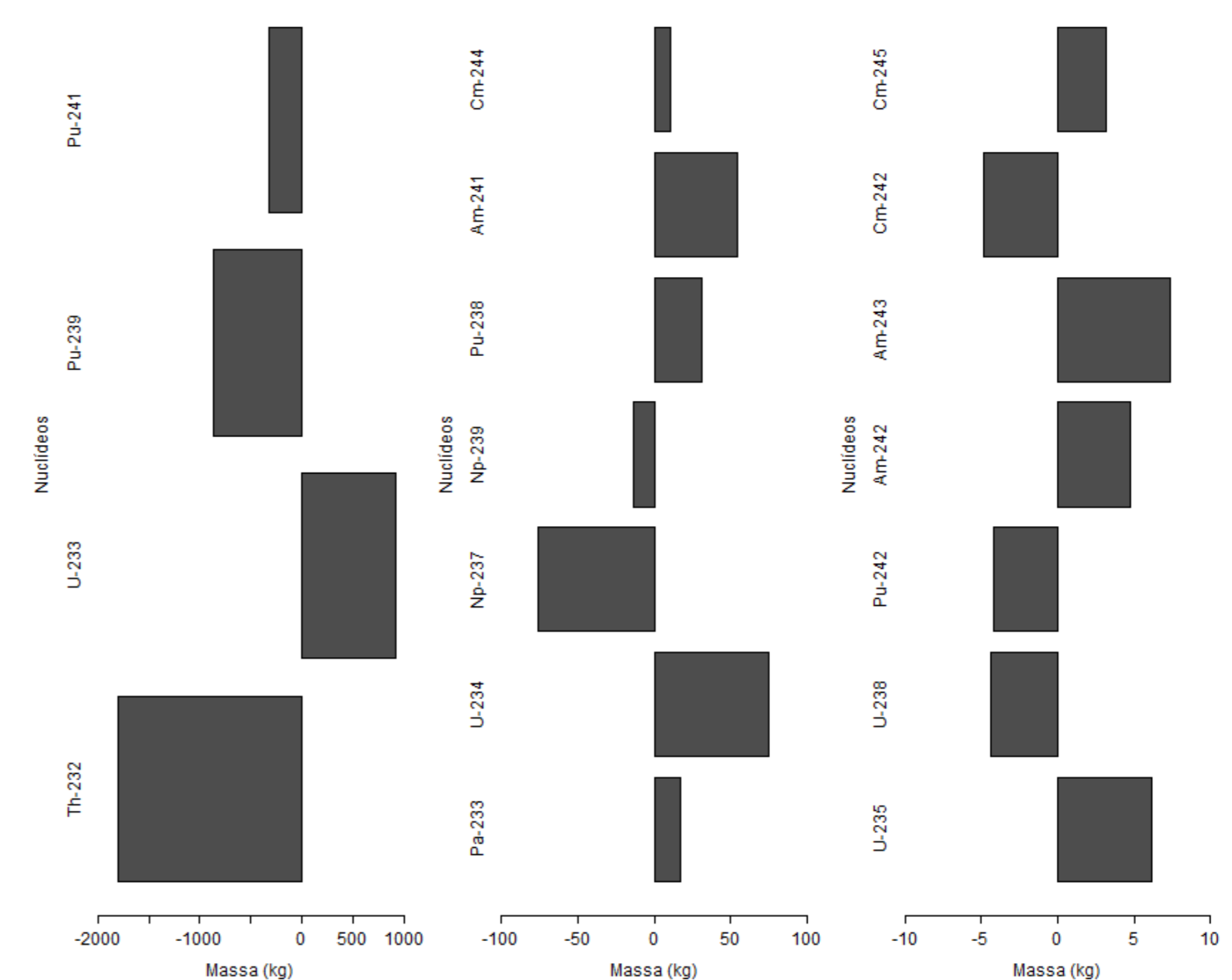


A Fig. 4 apresenta a variação de massa dos principais radionuclídeos do sistema após 10 anos de queima. Houve um consumo de 1800 kg de ^{232}Th . Grande parte dessa massa de ^{232}Th dá origem ao ^{233}U . O ^{233}U é formado quando o ^{232}Th captura um nêutron e em seguida sofre dois decaimentos beta:



O protactínio (^{233}Pa) foi produzido em pequena escala ($\approx 17\text{kg}$) e seu efeito negativo na reatividade foi atenuado pelo uso de nêutrons de alta energia. Foram produzidas $\approx 920\text{kg}$ de ^{233}U , portanto o uso de combustível reprocessado diluído com tório foi eficiente na regeneração de tório. A quantidade de muitos isótopos (^{238}U , ^{237}Np , ^{239}Np , ^{242}Cm , ^{239}Pu , ^{241}Pu e ^{242}Pu) de alta radiotoxicidade foi reduzida.

Figura 4: Transmutação (-) e produção (+) de núclídeos.



Conclusões

- O uso de combustível reprocessado pelo método GANEX e diluído com tório permitiu que o ADS operasse durante 10 anos sem sofrer uma grande queda na criticalidade.
- O uso de combustível reprocessado diluído com tório possibilitou a regeneração de combustível, $\approx 920\text{kg}$ de ^{233}U foram produzidos.
- Houve redução na quantidade de muitos isótopos (^{238}U , ^{237}Np , ^{239}Np , ^{242}Cm , ^{239}Pu , ^{241}Pu e ^{242}Pu) de alta radiotoxicidade.

Referências

- [1] M. Miguiditchian, L. Chareyre, C. Sorel, I. Bisel, Development of the ganex process for the reprocessing of gen iv spent nuclear fuels, in: Atalante, CEA, Montpellier, França, 2008.
- [2] D. Warin, Future nuclear fuel cycles: prospect and challenges for actinide recycling, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 9 (2010) 1–6.
- [3] D. I. Poston, H. R. Trellue, Users Manual, Version 2.0 for MonteBurns, Version 1.0, USA (1999).
- [4] Los Alamos National Laboratory, MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code- Version 4B, Los Alamos, USA (1997).
- [5] O. R. N. Laboratory, ORIGEN2.1; Isotope Generation and Depletion Code, Matrix Exponential Method, cCC-371 (1991).

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo suporte.