

CONTROLE DE CRITICALIDADE POR VARIAÇÃO DO VOLUME DE CONTROLE EM UM MODELO ESTOCÁSTICO DE SIMULAÇÃO NEUTRÔNICA COM DEPENDÊNCIA CONTÍNUA DE ENERGIA

Herberth Birck Fröhlich, hbfmec@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

Bardo Ernst Bodmann, bejbodmann@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

Dayana Queiroz de Camargo, dayanadecamargo@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

RESUMO: Uma simulação neutrônica com dependência contínua de energia foi implementada em um programa em C++ através do método de Monte Carlo com a utilização de volumes de controle. Valores de volume total, subvolumes e quantia de nêutrons iniciais gerados foram os parâmetros alterados para análise da criticalidade dessa simulação.

PALAVRAS-CHAVE: simulação neutrônica Monte Carlo, criticalidade, dependência contínua de energia

ABSTRACT: A neutronics simulation with continuous energy dependence was implemented in a C++ program using a Monte Carlo method with control volumes. Values of these control volumes, sub-volumes and initial neutron quantity generated were the parameters that were changed for the criticality analysis of this simulation.

KEYWORDS: Monte Carlo neutronics simulation, criticality, continuous energy dependence

INTRODUÇÃO

Para o controle de reatores nucleares diversos aspectos devem ser levados em consideração. O trabalho presente visa estudar a dependência de alguns parâmetros através de simulação tipo Monte Carlo, ou seja, utilizando um modelo estocástico. A dependência de energia contínua dos parâmetros físicos do modelo (seção de choque, entre outras), representa o maior progresso em relação às demais abordagens que podem ser encontradas na literatura, que tipicamente utilizam grupos de energia. Para esta finalidade desenvolveu-se um programa, chamado Continuous (C++), que possui implementado o método de Monte Carlo, que toma suas instruções de uma equação de transporte íntegro-diferencial em uma análise iterativa baseada em valores aleatórios distribuídos de acordo com as densidades de probabilidade específicas. Este método foi escolhido pela facilidade de implementar geometrias complexas e com distribuição de materiais não homogêneos onde a problemática de simular $10^{14}/\text{cm}^3$ foi contornada introduzindo volumes de controle variáveis. Os dados referentes à seções de choque provem de funções externas e parametrizadas. A trajetória do nêutron é construída por meio de numeros aleatorios que obedecem distribuições específicas. Para fins de uma simulação satisfatória, o meio é dividido em vários subvolumes menores, onde dois desses subvolumes desempenham o papel de volumes de controle. Essa implementação de volumes de controle no meio utiliza um número fixo de nêutrons, que pode ser significativamente diminuído sem acarretar perdas na qualidade da simulação. Isto é viabilizado utilizando condições de contorno pseudo-periódicas (combustível-moderador, combustível-combustível, moderador-moderador, moderador-combustível, combustível-fuga, moderador-fuga). Para validar a consistência do código, foram

realizados simulações de diferentes configurações do volume total e da quantia de subvolumes. Essas simulações demonstraram a influência desses volumes na criticalidade e adicionalmente a influência da dependência contínua de energia.

METODOLOGIA

O método Monte Carlo é um método de amostragem estatística para simular o processo de transporte de partículas, neste caso nêutrons. As experiências a que uma partícula é submetida desde seu surgimento até ser absorvida ou escapar é chamada de história a idéia essencial deste método é acompanhar várias histórias utilizando números aleatórios para determinar que tipo de interação pode ocorrer. Essas interações podem ser de espalhamento elástico ou inelástico, reações de captura ou de fissão, além da fuga. Todas essas interações podem ocorrer no volume de controle (dois subvolumes do volume total, que é um cubo), constituído metade de moderador (água) e metade de combustível (dióxido de urânio) e respeitam relações de probabilidade. Os nêutrons são gerados obedecendo uma distribuição de probabilidade, a equação $N(E)=1765(E)^{1/2}\exp(-0,775E)$, sendo N a quantidade de nêutrons em função do valor da energia em MeV. As seções de choque foram parametrizadas para serem utilizadas de forma contínua, um exemplo da similaridade da parametrização está na Fig. (1), para seção de choque de fissão do U-235. Após as interações o nêutron muda de energia, e obedecem a equação $E_{i+1}=E_i[(A^2+1+2A\cos\theta)/(A+1)^2]$, onde A é a massa atômica do meio e E_i a energia do passo anterior. Desse modo apenas seu último estado é necessário para determinar a sua tendência a seguir. Este trabalho analisou apenas os nêutrons na faixa transiente, isto é, desconsiderando a contribuição térmica na energia.

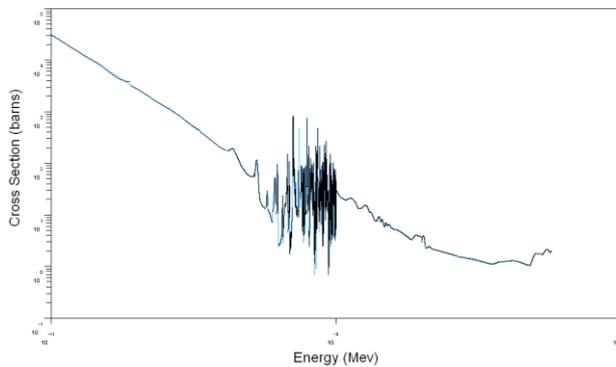


Figura 1. Parametrização da seção de choque do U-235
No programa Continuous todo nêutron nasce no volume de controle do combustível. A distância percorrida até ocorrer a primeira interação recebe o nome de passo. Caso essa interação aconteça fora da fronteira a história do nêutron termina e outro nêutron é gerado e seguido. Este processo é repetido até todas as histórias dos nêutrons terem sido acompanhadas.

Como a alteração do volume total e da quantidade de subvolumes é possível, a criticidade pode ser estudada. Criticidade é a propriedade de um reator nuclear de manter auto-suficiente suas reações através dos processos de fissão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pôde-se observar na Fig. (2) uma atenuação da queda da densidade de nêutrons conforme o número de subvolumes foi aumentado, porém sempre se mantendo abaixo da densidade inicial, indicando assim que a criticidade não depende apenas da quantidade de subvolumes. O volume total foi mantido.

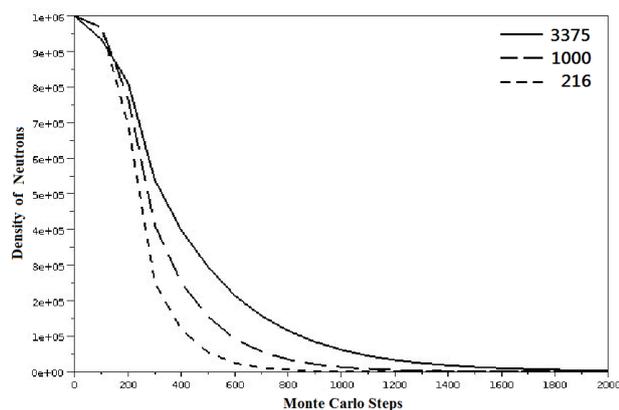


Figura 2. Densidade de nêutrons com variação da quantidade de subvolumes

Quando o tamanho do volume total foi alterado, houve um crescimento da população de nêutrons a partir de uma aresta de 30cm, Fig. (3), mantendo subvolumes constantes.

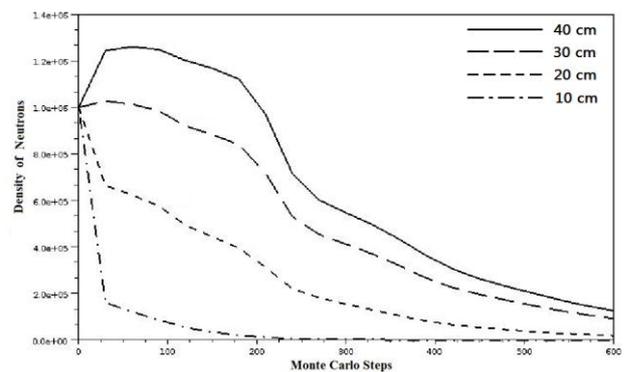


Figura 3. Densidade de nêutrons com variação da aresta do volume total

Para uma aresta de 80cm, com 10^6 subvolumes e 10^4 nêutrons simulados, observou-se picos e vales e uma atenuação mais branda conforme os passos eram incrementados, visto na curva 1 da Fig. (4). Para uma geometria de aresta 80cm, 10^4 nêutrons simulados porém com 10^3 subvolumes, a curva 2 da Fig. (4) mostra um grande aumento da densidade de nêutrons, mas uma queda bem mais abrupta que a curva 1 conforme aumentam os números de passos Monte Carlo.

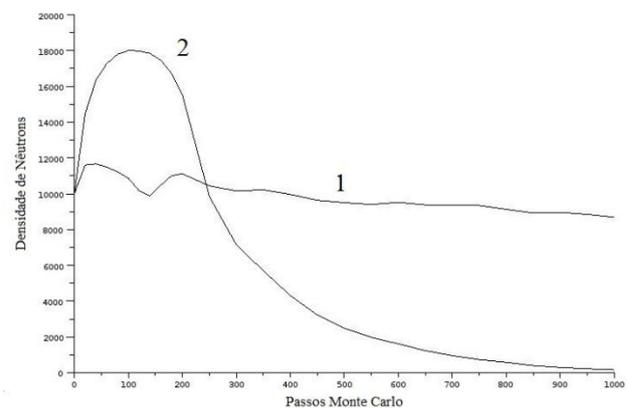


Figura 4. Curvas de densidade de nêutrons por número de passos Monte Carlo para duas geometrias distintas de volume de controle

CONCLUSÃO

O programa mostrou consistência nos resultados, demonstrando bem a resposta no regime transiente, e em pouco tempo de processamento (característica da dependência contínua de energia).

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.