UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá
1978



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

"COMPORTAMENTO DO FLUXO TRANSITÓRIO DE NEUTRONS EM UM NÚCLEO DO REATOR ESFÉRICO"

ANTONIO WASHINGTON ALBINO DE SOUZA

T621.039.5.01/08(043)
S731c

00260
260

Tese apresentada a Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, para obtenção do Título de Livre-Docente.

1978

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

1110000260

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o estudo do comportamento transitório do fluxo de neutrons em um reator esférico rápido. A queima de núcleos U^{235} é equacionada e dois casos refletores são estudados e, a solução numérica é comparada com os resultados experimentais conhecidos.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the transient neutron flux in a fast reactor of spherical geometry. The burning of U^{235} nuclei is equated and two kinds of reflector were studied. The numeric solutions are then compared with the results for those reflector.

unesp

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar os seus agradecimentos a todos que colaboraram no presente e modesto trabalho.

LISTA DE SÍMBOLOS

α — Fator de proporcionalidade linear no movimento de tempo

ζ — Densidade do material físsil U^{235}.

v — Velocidade do grupo de neutrons estudados.

D — Coeficiente de difusão.

Bm^2 — Coeficiente de multiplicação efetivo.

L — Comprimento de difusão.

k^{∞} — Fator de multiplicação.

P — Probabilidade de não escape.

γ — Fator de produção média.

N_o — Número de Avogrado.

ϕ — Fluxo de neutrons.

σ_a — Secção de choque de absorção.

σ_f — Secção de choque de fissão.

σ_c — Secção de choque de captura radioativa.

σ_s — Secção de choque de espalhamento.

σ_t — Secção de choque total.

Σ — Secção de choque macroscópica

A — Massa atômica de U^{235}.

r — Raio da esfera do reator.

t — Tempo em segundos

Δr — Tamanho da grade.

Δt – Incremento do tempo.

J – Densidade de corrente de neutrons.

λ_a – Livre percurso médio.

$\Delta\phi$ – Diferença em módulo do máximo e mínimo de ϕ em $(t-\Delta t, t)$.

ÍNDICE

		Página
1 —	INTRODUÇÃO	1
2 —	EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA	4
	2.1 — Introdução e Equações Básicas	4
	2.2 — O Sistema de Equações	5
	2.3 — Condições Iniciais	6
	2.4 — Condições de Contorno	8
3 —	DA CONSTRUÇÃO DO ESQUEMA NUMÉRICO	10
	3.1 — Introdução	10
	3.2 — O Sistema de Equações	10
	3.3 — O Tratamento do Centro do Núcleo	13
	3.4 — Discretização das Condições de Contorno	15
	3.5 — Condições para a Convergência do Método Usado	17
	3.6 — Dimensionamento da Grade para a Estabilidade do Método	18
	3.7 — Dados	19
4 —	ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
5 —	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE — PROGRAMA FORTRAN E VALORES ALIMENTADOS.	A-1

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

A atual preocupação em nível mundial para com o uso parcimonioso das reservas não renováveis de energia, estimulou novos ramos de pesquisa. Entre várias escolhas, uma que provocou interesse de imediato foi a melhor utilização do Urânio em reatores que provocassem a queima quase total deste elemento.

Hoje já existem reatores a neutrons rápidos que aproximam eficientemente este desejo. Entretanto, usinas nucleares utilizando o mesmo princípio não são ainda construídas.

Com o intuito de compreender melhor o desenvolvimento de uma reação em cadeia provocada por um neutron inicial no centro de um reator com massa super crítica, realizamos o presente trabalho na esperança de que este conhecimento poderá orientar ou sugerir idéias para a geometria e controle de reatores e neutrons rápidos através do uso de refletores.

Um sistema de equações foi montado para simulação do fenômeno e seu tratamento numérico analisado. Este trabalho teve seu início e desenvolvimento em colaboração com o Físico Dr. José Pantuso Sudano do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), que foi o principal responsável pela física do problema.

Anteriormente, o método Monte Carlo havia quase que totalmente substituído outros métodos de estudo neste ramo, e nossa tentativa em voltar a utilizar o método de diferenças finitas, deve-se ao desejo de melhor entender o desenvolvimento físico do reator, o que um método aleatório como o método de Monte Carlo não permite.

O sistema de equações a derivadas parciais que será tratado no presente trabalho, representa uma aproximação ou mais explicitamente, através da teoria da difusão, o desenvolvimento transitório do fluxo de neutrons em cada ponto de um reator a neutrons rápidos sem dispor de nenhum moderador presente.

A geometria esférica foi escolhida pelo fato de permi

tir maior eficiência por massa de material físsil [4], como é o objetivo principal dos reatores a neutrons rápidos. O trabalho ainda considera apenas um grupo de neutrons da ordem de 2MeV (dois mega-elétron volts), que estimamos estar a uma velocidade de aproximadamente 10^9 cm/s, por simplificação. Esta simplificação do caso real, onde não existe apenas um grupo de neutrons, se deve ao dispendioso tempo de computação no tratamento numérico do sistema e não em dificuldades teóricas, ou de discretização das equações do sistema, considerando-se o caso multi-grupo, como se pode facilmente ver na referência [4].

Como o fluxo de neutrons é variável com o tempo, foi preciso que considerássemos o equacionamento da queima de combustível físsil interferindo na reação, pois a aproximação que torna o combustível físsil como constante, se válida para reatores a neutrons térmicos, certamente não o é para reatores a neutrons rápidos.

Para condição inicial da distribuição de fluxo no reator foi considerada uma fonte puntiforme central de 1 neutron, como citada na referência [4] que, como sabemos, admite uma distribuição de fluxo singular na origem. A regularização desta fonte é, entretanto, possível [7], e a regularização realizada por nós na simulação do problema para computador, onde singularidades não poderiam ser admitidas, comportou-se satisfatoriamente.

As condições de contorno iniciais foram estabelecidas com a hipótese de um refletor perfeito. Entretanto, o fato de termos problemas transitórios, complica consideravelmente estas condições e, no caso, o sistema de equações que representam as mesmas tornou-se também transitório, e não linear, com consideráveis dificuldades para um tratamento analítico. A solução proposta por nós é equivalente a substituir esta não linearidade por uma discretização das condições de contorno, como poderemos ver no Capítulo III, deste trabalho.

O tratamento numérico aplicado ao problema não pode ser sofisticado. Este fato ficou logo patente, pois apesar de não haver método numérico comprovadamente estável e convergente [2], [3], para o tipo de não linearidade considerada, o método de diferenças finitas de integração passo a passo, com critério de avaliação de incremento no tempo, considerando-se a equação line

arizada, já torna o tempo de computação insuportável. As possíveis melhoras tentadas como o método Implícito e o método "Predictor-Corrector", mostraram-se de impossível implementação prática.

Tendo esta realidade como fator de orientação, um esquema numérico simples foi montado, de forma a permitir o ajuste de parâmetros da grade de integração numérica, por resultados físicos conhecidos. Isto se deve ao fato de que a não linearidade do sistema de equações não permite a determinação precisa de um incremento de tempo que satisfaça para todos os pontos do reator as condições de estabilidade e convergência da equação linearizada.

A programação é feita em linguagem FORTRAN, de fácil assimilação e os resultados podem ser vistos nos capítulos finais do trabalho, bem como o programa que se encontra em Apêndice.

O método numérico é calibrado por resultados provenientes de conhecimentos das propriedades físicas do núcleo do reator, já que a estabilidade do método numérico é garantida, ao passo que sua convergência não pode ser facilmente determinada.

Nos últimos capítulos fazemos, ainda, a análise final dos resultados e mostramos não somente sua coerência, bem como sua compatibilidade com os resultados e princípios do mundo físico.

CAPÍTULO II

EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA

2.1 – INTRODUÇÃO E EQUAÇÃO BÁSICA

Admitiremos neste capítulo um núcleo de reator composto de material físsil, exclusivamente U^{235}, blindado por um refletor perfeito.

Como sabemos da referência [5], se chamarmos ϕ o fluxo de neutrons no sistema C.G.S, teremos baseados na Lei de Fick [4], o equacionamento obtido por Sudano [5], que segue:

$$\frac{1}{vD}\ \frac{\partial\phi}{\partial t} = \nabla^2\phi + Bm^2\phi \qquad (1)$$

onde v é a velocidade com que se propagam os neutrons que compõem o fluxo, D é o coeficiente de difusão e Bm^2 é dado pela relação:

$$Bm^2 = \frac{k^{\infty} - 1}{L^2} \qquad (2)$$

onde L é o comprimento de difusão como definido na referência [4], e k^{∞} é relacionado por:

$$Pk^{\infty} = P\gamma\ \frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_c} \qquad (3)$$

onde o fator $\dfrac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_c}$ tem como σ_f e σ_c as secções de choque

microscópicas efetivas de colisão para fissão e captura radioativa, respectivamente; P é probabilidade de não escape de neutrons pela superfície externa do refletor e, γ é fator de produção média. Obviamente, com a hipótese de termos refletor perfeito, esta probabilidade é 1.

A teoria mostra [4] a validade desta aproximação da equação de Boltzmann, desde que o comprimento em estudo seja bem maior que o livre percurso médio λ_a, o que é verdade para um núcleo de reator de tamanho físico real.

2.2 – O SISTEMA DE EQUAÇÕES

A equação do fluxo de neutrons acima descrita é uma aproximação da equação de Boltzmann para o transporte de neutrons, e usaremos como aproximação para o coeficiente de difusão

$$D = \frac{1}{3\,\Sigma_s} ,$$

onde Σ_s é a seção de choque macroscópica de espelhamento, calculada pela relação:

$$\Sigma_s = \frac{\sigma_s \times \rho \times N_o}{A} , \qquad (4)$$

onde ρ é a densidade do elemento físsil; A a sua massa atômica e N_o o número de Avogrado.

De maneira análoga são calculadas as secções de choque macroscópicas de absorção, total e demais.

Consideremos, agora, que um determinado elemento de volume tenha uma massa determinada pela densidade. Podemos, facil

mente ver a variação desta densidade de núcleos do elemento físsil que deverá ser diretamente proporcional ao fluxo de neutrons, à densidade e à secção de choque microscópica de absorção. Então,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \rho \sigma_a \phi \tag{5}$$

As equações (1) a (5) poderão então ser referidas ao sistema:

$$\begin{cases} \dfrac{1}{vD} \dfrac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + Bm^2 \phi \\ \\ \dfrac{\partial \rho}{\partial t} = - \rho \sigma_a \phi \end{cases} \tag{6}$$

que será o sistema estudado.

Como podemos ver, o sistema é não linear, pois o coeficiente de ∇^2 depende de ρ que por sua vez depende da integral de ϕet, se resolvermos a equação diferencial diretamente nesta variável, o que é possível [11].

Este será o sistema estudado por nós, e o Laplaciano $\nabla^2\phi$ da equação (1) será tomado em coordenadas esféricas.

2.3 – CONDIÇÕES INICIAIS

Admitiremos que uma fonte de um neutron por segundo existe no centro do reator e que antes de qualquer reação de fissão ocorra, o termo fonte na equação (1), bem como a variação no tempo não interfiram no valor de ϕ, de acordo com a referência

[4], teremos:

$$\nabla^2\phi - \frac{\Sigma_a}{D}\phi = 0$$

que em coordenadas esféricas, em um meio simétrico em relação à origem, nos dá:

$$\frac{d\phi^2}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{d\phi}{dr} - \frac{\Sigma_a}{D}\phi = 0 \qquad (7)$$

Esta equação após transformação apropriada nos dá a solução:

$$\phi(r) = \frac{A \times e^{-\sqrt{\frac{\Sigma_a}{D}}\,r} + B \times e^{\sqrt{\frac{\Sigma_a}{D}}\,r}}{r}$$

As constantes A e B devem ser tomadas de forma a satisfazerem a condição de que na origem tenhamos 1 neutron/s. Para isto consideraremos a equação da corrente de neutrons a uma distância r do centro que é dada por:

$$J = -D\frac{d\phi}{dr} \qquad (8)$$

como podemos ver na referência [4].

Da relação acima, temos:

$$1 = \pi r^2 J$$

ou,

$$\phi(r) = \frac{1}{4\pi D} \frac{e^{-\sqrt{\frac{\Sigma_a}{D}}}}{r} \qquad (9)$$

Esta é, então, a condição inicial por nós adotada como válida. O maior problema que esta condição inicial apresenta para o fluxo é a singularidade que possui na origem. Evidentemente, esta singularidade não permitirá o desenvolvimento numérico. Este polo pode ser considerado como uma distribuição semelhante ao caso do potencial newtoniano citado na referência [7]

O fato de na equação termos explicitamente ϕ como termo de fonte nos impele a fazermos uma aproximação para o valor de ϕ na origem.

Como vemos, não é possível remover esta singularidade da fonte sem prejudicarmos o sentido físico do problema. No próximo capítulo discutiremos a fonte puntual em sua simulação numérica.

2.4 — CONDIÇÕES DE CONTORNO

De uma maneira geral, consideraremos numa interfase de dois meios quaisquer, condicionadas à continuidade de corrente de fluxo. Estas condições nos dão as seguintes relações nos bordos:

$$\begin{cases} \phi_1(a,t) - \dfrac{1}{v\Sigma_{1s}} \dfrac{\partial\phi_1(a,t)}{\partial t} = \phi_2(a,t) - \dfrac{1}{v\Sigma_{2s}} \dfrac{\partial\phi_2(a,t)}{\partial t} \\ \dfrac{1}{\Sigma_{1s}} \dfrac{\partial\phi_1(a,t)}{\partial r} = \dfrac{1}{\Sigma_{1s}} \dfrac{\partial\phi_2(a,t)}{\partial r} \end{cases} \qquad (10)$$

O sistema (10) acima que descreve as condições de contorno do reator deve ser adicionado ao sistema (6). Os índices 1 e 2 indicam referências aos meios 1 e 2, de um e outro lado do combustível e do refletor, para os parâmetros Σ_s e ϕ. Este sistema não dispõe de singularidade, pois quando $\Sigma_{1s} = 0$ com a queima total do combustível a equação não é singular.

A obtenção deste sistema se faz de maneira usual como na referência [4], capítulo 5, mas iremos admitir apenas o fluxo dependente do tempo, o que implica na aproximação por Taylor do fluxo nas vizinhanças de zero como:

$$\phi(r,t) = \phi_o + x\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)_o + y\left(\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)_o + z\left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)_o + z\left(\frac{\partial\phi}{\partial t}\right)_o + \ldots\ldots$$

Esta relação nos fornece, usando as memas anotações da referência acima,

$$J_+ = \frac{\phi_o}{4} - \frac{\lambda_a}{6}\frac{\phi}{z} + \frac{1}{4}\frac{1}{v\Sigma_s}\frac{\partial\phi}{\partial t}$$

e

$$J_- = \frac{\phi}{4} + \frac{\lambda_a}{6}\frac{\partial\phi}{\partial z} + \frac{1}{4}\frac{1}{v\Sigma_s}\frac{\partial\phi}{\partial t}$$

Nas equações acima, J_+ e J_- representarão as densidades de corrente de neutrons através de uma superfície ortogonal a z. Usando-se então a relação de continuidade acima referida teremos obtido o sistema de equações em (10), válidas no bordo.

CAPÍTULO III

DA CONSTRUÇÃO DO ESQUEMA NUMÉRICO

3.1 – INTRODUÇÃO

Como tivemos ocasião de dizer anteriormente, o único método aplicável ao sistema com as condições materiais de que dispomos era o método implícito que, conforme AMES [2], (pág. 4a), desde que limitado pela condição de convergência em $\Delta t/2a\Delta x^2$ produz bons resultados. Além do mais, o método explícito nos permitiu um entendimento físico do problema em seu desenvolvimento temporal, imprescindível na solução de um problema de simulação complexo.

Duas simulações foram feitas: a primeira para um refletor perfeito e a segunda, para o vácuo como refletor, ambas com uma massa de material físsil de 10 cm de raio. Como sabemos de experiências anteriores, [12] e [13], estas massas são críticas, sendo que o caso do refletor espesso, quase perfeito, a massa considerada é mesmo supercrítica.

O nosso objetivo é justamente sabermos o desenvolvimento destas massas.

3.2 – O SISTEMA DE EQUAÇÕES

Consideremos uma grade dividida em 101 pontos, a uma distância de 0,1 cm entre sí. Esta grade dispõe-se ao longo do raio da esfera.

Usamos a integração no tempo de um passo adiante [2] e a representação da derivada segunda de ϕ em relação a r com erro de ordem $O(\Delta x^2)$ e a derivada primeira com aproximação central teremos em cada ponto de coordenadas $i\Delta x$, no instante $j\Delta t$

o Laplaciano expresso por:

$$\Delta^2\phi(r.t) = \left\{ \phi^j_{i+1} - 2\phi^j_i + \phi^j_{i-1} + \frac{1}{i}\left[\phi^j_{i+1} - \phi^j_{i+1}\right] \right\} \frac{1}{\Delta x^2}$$

o que nos dá para a equação (1) após a discretização a aproximação:

$$\frac{\phi^{j+1}_i - \phi^j_i}{vD\,\Delta t} = \frac{1}{\Delta x^2}\left[\phi_{i+1} - 2\phi_i + \phi_{i-1} + \frac{\phi_{i+1} - \phi_{i-1}}{i}\right] +$$

$$+ \frac{vk^{\infty} - 1}{L^2}\,\phi_i \qquad (11)$$

o que nos dá, após as substituições e aproximações convenientes,

$$\phi^{j+1}_i = \phi^j_i + \frac{D\Delta t\, v}{\Delta x^2}\left[\phi_{i+1} - 2\phi_i + \phi_{i-1} + \frac{\phi_{i+1}}{i} - \frac{\phi_{i+1}}{i}\right] +$$

$$+ 1{,}6v\,\Sigma_a\,\phi_i\Delta t \qquad (12)$$

O coeficiente do último termo, $1{,}6v\Sigma_a$, é o resultado da substituição dos parâmetros equacionados por valores reais, que se conhecem por indicação de pessoas que trabalharam experimentalmente no assunto.

A equação (5) pode ser integrada com a hipótese de que ϕ é função apenas de r e t. Neste caso,

$$\rho = \rho_o \cdot e^{-\int_o^t \sigma_a \phi dt} \qquad (13)$$

com ρ_o sendo a densidade de núcleos de U^{235} no instante inicial.

A aproximação usada por nós foi a integração, substituindo-se a função $\sigma_a \phi(rit)$ pela constante em t, $\phi(r,t_o)$ em cada ponto.

Teremos, então, a aproximação em cada inremento de tempo de t_o a $t_o + \Delta t$:

$$\rho_{j+1} = \rho_j \, e^{-\sigma_a \phi \Delta t}$$

Com esta aproximação vê-se facilmente que o erro em cada passo pode ser limitado, como:

$$Er_t < \rho \Delta t \left[\max \phi(r.t) - \min \phi(r.t) \right] \sigma_a \leqslant O(\Delta t \, \sigma_a)$$

onde max $\phi(r.t)$ e min $\phi(r.t)$ significam máximo e mínimo de $\phi(r.t)$ em $(t, t + \Delta t)$ com os valores de ϕ e σ_a coerentes com o problema físico.

Ao contrário, se aproximarmos a equação (5) por diferenças finitas, coerentemente com a aproximação (11), o erro é da ordem $O(\Delta t)$ em relação a Δt e não leva em consideração σ_a que é $O(10^{-24})$.

Uma integração linear tornando o erro ainda inferior ao admitido por nós é possível, mas isto implicaria em mais tempo de computação e os resultados obtidos pela forma usada por nós foram satisfatórios.

A Figura 1 mostra o esquema de influência dos valores

anteriores, na formação de ϕ no instante $(j+1)\Delta t$.

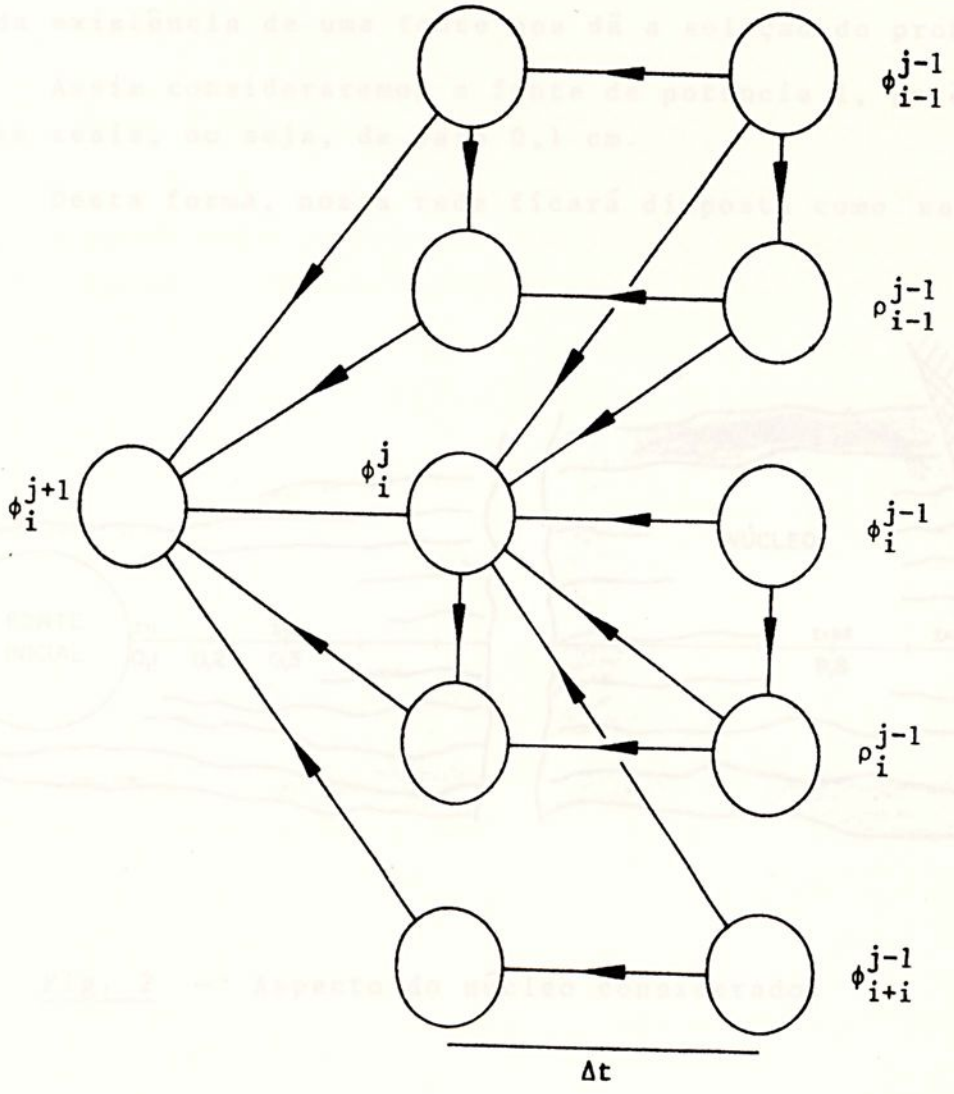


Fig. 1 – Influência dos elementos na grade na integração no tempo.

3.3 – O TRATAMENTO DO CENTRO DO NÚCLEO

Como podemos facilmente ver, a equação (1) bem como sua condição inicial $\phi(r, 0)$ admitem numa singularidade na origem. Como sabemos, sendo a singularidade da equação (1) regular, ela não oferece problemas de maior monta para soluções analíticas, porém a condição inicial singular, não nos permite uma simula

ção razoável em cálculo numérico. Entretanto, se a matemática em seu estágio atual não oferece informações para a solução deste problema, como se pode ver na referência [15], a condição física da existência de uma fonte nos dá a solução do problema.

Assim consideraremos a fonte de potência 1, porém de dimensões reais, ou seja, de raio 0,1 cm.

Desta forma, nossa rede ficará disposta como na Figura 2.

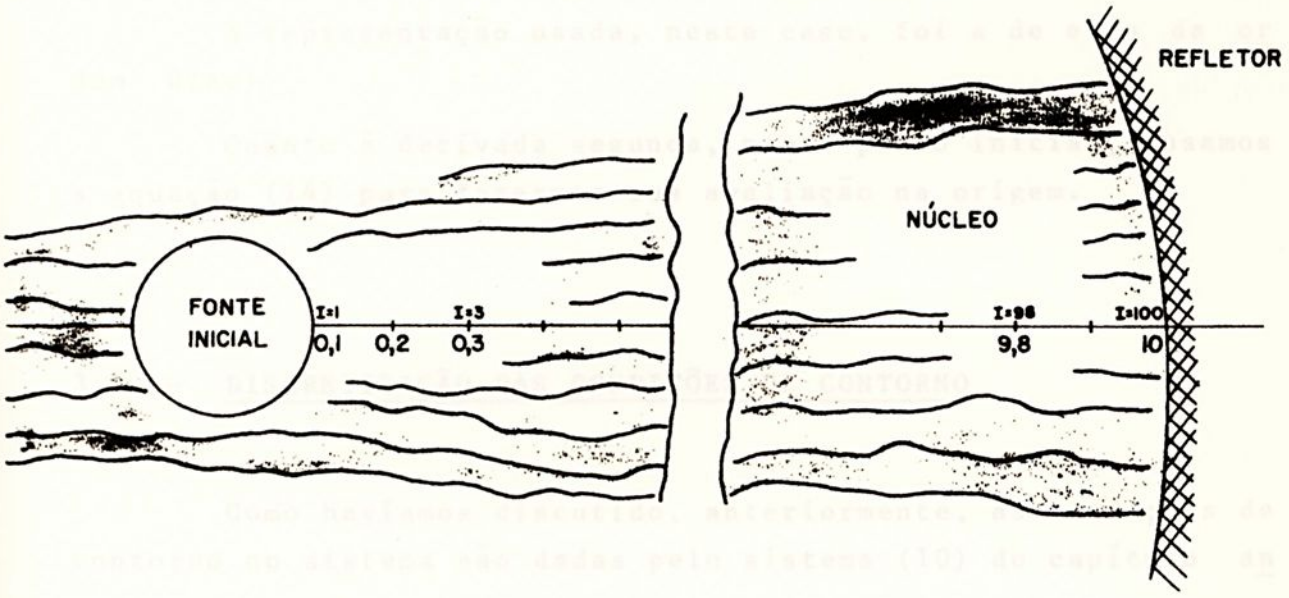


Fig. 2 - Aspecto do núcleo considerado.

Vemos, então, que o centro do reator contém uma fonte que em um determinado instante $t = 0$, nos dá o fluxo que pode ser representado pela equação (9), porém regularizada como:

$$\phi(r.0) = \phi(r,0)\ H(r-0,1) + \phi(r,0)\ H(-r-0,1) + \\ + \phi(0.1,0) + \phi(0.1,0)\ H(0,1-r)\ H(0,1+r) \qquad (14)$$

onde $\phi(r,0)$ satisfaz a equação (9) e $H(r)$ é a função de grau Heaverside [1].

Procedimento semelhante em métodos numéricos foi usado entre outros, por Kasahara [14], com sucesso em projetos numéricos de vulto internacional. Não obstante, sem a justificativa física que estamos dando.

Neste caso, a derivação no primeiro ponto considerado com respeito a r seria dada pela derivada à direita da função no ponto I = 1, visto que a derivada à esquerda é zero e não afeta o núcleo, pois a fonte é homogênea e sua dimensão desprezível em relação à núcleo de combustível físsil.

A representação usada, neste caso, foi a de erro da ordem $O(\Delta r)$.

Quanto à derivada segunda, neste ponto inicial, usamos a equação (14) para fazermos sua avaliação na origem.

3.4 - DISCRETIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Como havíamos discutido, anteriormente, as condições de contorno no sistema são dadas pelo sistema (10) do capítulo anterior.

Dois casos limites serão considerados:

a) Refletor perfeito

Com esta hipótese os termos à direita das equações do sistema (10) se acumulam, dando, consequentemente:

$$\begin{cases} \phi_1(a.t) - \dfrac{1}{v\Sigma_s} \dfrac{\partial\phi(a.t)}{\partial t} = 0 \\ \dfrac{\partial\phi(a.t)}{\partial r} = 0 \end{cases} \qquad (15)$$

Este sistema deve ser interpretado da seguinte maneira:

- A primeira equação pode ser integrada analiticamente, dando em cada instante a condição que deve obedecer o fluxo na interface combustível-refletor.
- A segunda equação, entretanto, se integrada não nos dá as informações que necessitamos. Ao contrário, nos diz em sua forma atual que o esquema de integração numérica deve impor à igualdade do último elemento vizinho ao bordo com o elemento representativo do bordo, assegurando a solução da da equação a menos de um erro da ordem $0(\Delta t)$.

b) Caso refletor vácuo ou cádmio

Neste caso de refletor vácuo ou cádmio, temos:

$$\Sigma_{2s} = 0,$$

ou, o sistema (15) se reduz na superfície do bordo à:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \phi_2}{\partial t} = 0 \\ \\ \dfrac{\partial \phi_2}{\partial r} = 0 \end{cases}$$

o que nos diz que o fluxo do lado externo do combustível não interfere em nada no fluxo anterior do mesmo.

3.5 — CONDIÇÕES PARA A CONVERGÊNCIA DO MÉTODO USADO

Consideremos, inicialmente, a equação (13) com a discretização que lhe foi imposta. Esta equação não tem derivadas espaciais e por isto permitiu uma integração da mesma em relação ao tempo. Claramente, a equação que se refere ao erro relaciona diretamente este com Δt e com:

$$\Delta\phi_i^j = \left[\max \phi(r.t) - \min \phi(r.t) \right]$$

sendo estes extremos considerados na variável t, e no espaço de tempo $(t - \Delta t, t)$.

Se ela depende apenas destes dois parâmetros, é, obviamente, convergente e estável quando $\Delta t \to 0$.

Para estudarmos o caso da convergência da aproximação montada pelo esquema representado pela equação (12), façamos:

$$a_j^i = v\, D(r,t),$$

representando o coeficiente de $\nabla^2\phi$ em cada ponto da grade, e chamaremos z_{ij} a função diferença entre a solução que satisfaz a equação analítica estudada, sistema (6), e sua discretização representada por (12) e (13).

Teremos, utilizando expressões já conhecidas na seção 3.2, a seguinte expressão para o erro:

$$z_i^{j+1} = a_i^j\, z_{i+1}^j \frac{\Delta t}{\Delta x^2} + (i - 2a_i^j \frac{\Delta t}{\Delta x^2})\, z_{ij} +$$

$$+ a_i^j\, z_{i-1}^j \frac{\Delta t}{\Delta x^2} + \frac{a_i^j}{i} \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (z_{i+1}^j - z_{i-1}^j) +$$

$$+ \Delta t \times 1.6 \times \Sigma_{ai}^{j} \; z_i^j +$$

$$+ O(\Delta t \; \Delta x^2 + \Delta t^2 + \Delta t \; \Delta \phi_i^j)$$

Esta expressão pode ser escrita como:

$$z_i^{j+1} = C_1 \; z_{i+1}^j + C_0 \; z_i^j + C_{-1} \; z_{i-1}^j +$$

$$+ O(\Delta t \; \Delta x^2 + \Delta t^2 + \Delta t \; \Delta \phi_i^j) ,$$

e esta expressão linearizada satisfaz as condições do teorema devido a Forsythe and Wasow, enunciado em seu tratado [16], logo, a convergência do método é garantida.

3.6 — DIMENSIONAMENTO DA GRADE PARA A ESTABILIDADE DO MÉTODO

Como se vê facilmente, o sistema é fortemente não linear, ou é não linear nos termos no coeficiente do Laplaciano.

Para este caso não temos amparo na teoria para o estabelecimento da condição de convergência. Entretanto, o método indicado por Eisen [15], oferece bom indício de que a condição:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x^2} \leqslant \frac{1}{2a(r.t)} , \qquad (16)$$

onde a(r.t) significa o coeficiente do termo de ordem mais alta, ou seja, o Laplaciano. Entretanto, como a depende de ϕ no nono caso, pois a equação é não linear, em cada instante $j\Delta t$, novo Δt deve ser calculado. Ainda, a relação acima nos diz co

mo o coeficiente acima varia também com r, o que torna a determinação de Δt mais incerta. Como há um valor máximo e mínimo de Σ_s, devido a variação de ζ com ϕ, estabelecemos uma combinação linear entre ambos, conforme a Figura 3 e a relação:

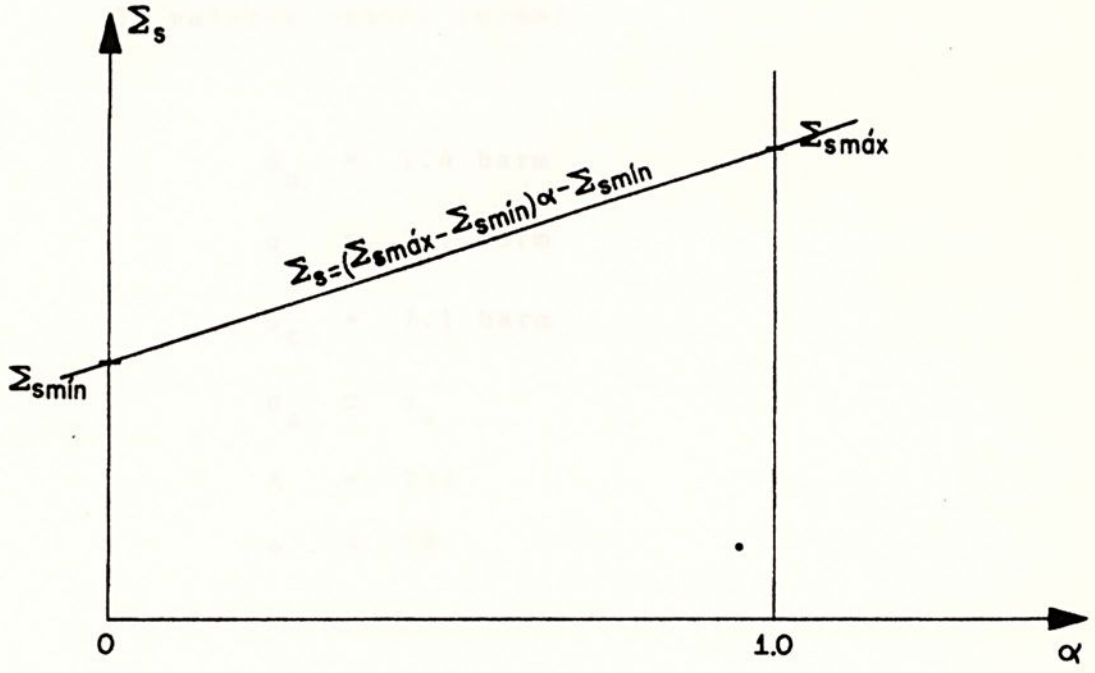


Fig. 3 — Aproximação linear do Σ_s usado.

Os resultados numéricos obtidos com a variação de α mostrou-se estável e útil em todo o intervalo $[-0.1, 1]$, sendo que, os valores mais próximos de 1 convergem mais lentamente, necessitando maior número de iterações e consequentemente, mais horas de máquina. Entretanto, oferecem a vantagem de uma melhor precisão em tempo e um melhor entendimento do resultado.

Os valores próximos de α próximos de 0 funcionam de maneira contrária ao acima exposto, porém para instantes coincidentes, os resultados são compatíveis.

3.7 — DADOS

Os dados usados neste trabalho são baseados na referên

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

90260

cia [9], com médias para grupo de neutrons com velocidade

$$10^9 \text{ cm/s} \simeq 2 \text{ MeV}.$$

Os valores usados foram:

$\sigma_a = 1.4$ barm

$\sigma_s = 5.7$ barm

$\sigma_t = 7.1$ barm

$\sigma_s \simeq \sigma_a$

$A = 235$

$\rho = 18$

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como podemos ver na Tabela I a fonte inicial de potência 1 neutron/s tem a conformação exponencial da solução (9) no sentido r crescente e singularidade no sentido $r \to 0$. Ver Tabela I.

O caso do refletor perfeito vemos que, inicialmente, o fluxo se espalha pelo reator perdendo seu caráter de concentração no centro. Isto pode ser visto nas Tabelas II e III e tem o aspecto da Figura 4.

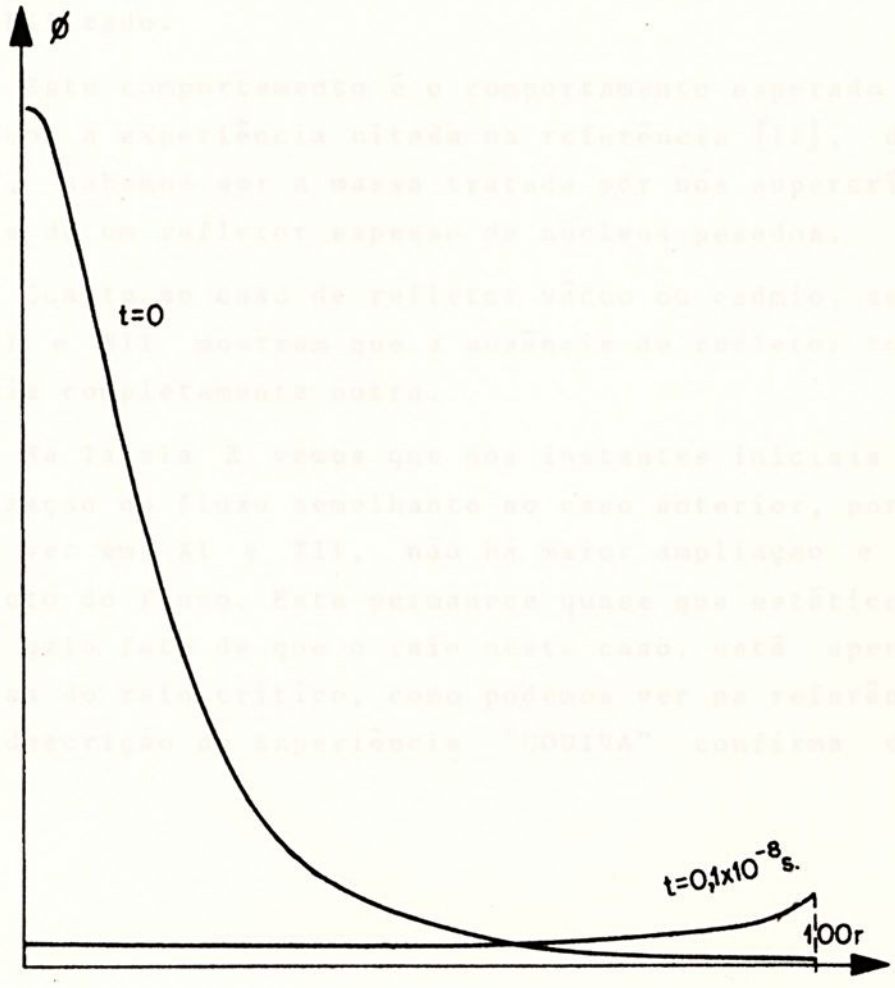


Fig. 4 - Aspecto do Fluxo.

A partir da iteração 5.000 ou $t = 0.2078.10^{-8}$ o fluxo quase se homogeneiza e o efeito do refletor é visível, como na Tabela IV.

Começa então uma reação incontrolável como podemos ver pelas Tabelas V e VI.

Os resultados das Tabelas VI, VII, VIII e IX, mostram o andamento final do caso estudo refletor perfeito.

A Tabela VI marca um tempo da ordem de 10^{-7} s. Não há maneira precisa de estimarmos a validade deste resultado, mas cálculos elementares mostram que se supuzermos o tempo de vida média dos núcleos com captura de 10^{-8} s deveríamos, aproximadamente, ter valores da ordem 10^{6} para o valor de multiplicação do fluxo inicial.

Ainda, as Tabelas VII, VIII e IX mostram que com cerca de 10^{-6} s houve a queima efetiva do combustível tendo o fluxo estabilizado.

Este comportamento é o comportamento esperado pois, de acordo com a experiência citada na referência [12], denominada "TOPSY", sabemos ser a massa tratada por nós supercrítica, em presença de um refletor espesso de núcleos pesados.

Quanto ao caso de refletor vácuo ou cádmio, as Tabelas I, X, XI e XII mostram que a ausência de refletor torna a experiência completamente outra.

Na Tabela X vemos que nos instantes iniciais há uma homogeneização do fluxo semelhante ao caso anterior, porém, como podemos ver em XI e XII, não há maior ampliação e posterior decaimento do fluxo. Este permanece quase que estático. Isto se explica pelo fato de que o raio neste caso, está apenas nas vizinhanças do raio crítico, como podemos ver na referência [9], onde a descrição da Experiência "GODIVA" confirma este fato.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

TEMPO= 0.0 ITERACAO= 0 FLUX= 0.0 DELT=, 0.4140779E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.6467345E 00	2	1	0.3157573E 00	3	1	0.2055510E 00	4	1	0.1505353E 00
5	1	0.1175941E 00	6	1	0.9568894E-01	7	1	0.8008891E-01	8	1	0.6842864E-01
9	1	0.5939407E-01	10	1	0.5219670E-01	11	1	0.4633486E-01	12	1	0.4147410E-01
13	1	0.3738283E-01	14	1	0.3389573E-01	15	1	0.3089150E-01	16	1	0.2827923E-01
17	1	0.2598540E-01	18	1	0.2396790E-01	19	1	0.2217208E-01	20	1	0.2056778E-01
21	1	0.1912789E-01	22	1	0.1782829E-01	23	1	0.1665183E-01	24	1	0.1559246E-01
25	1	0.1460712E-01	26	1	0.1371478E-01	27	1	0.1289602E-01	28	1	0.1214280E-01
29	1	0.1144818E-01	30	1	0.1080614E-01	31	1	0.1021145E-01	32	1	0.9659544E-02
33	1	0.9146400E-02	34	1	0.8668471E-02	35	1	0.8222632E-02	36	1	0.7806096E-02
37	1	0.7416382E-02	38	1	0.7051274E-02	39	1	0.6708790E-02	40	1	0.6387133E-02
41	1	0.6084707E-02	42	1	0.5800053E-02	43	1	0.5531844E-02	44	1	0.5278897E-02
45	1	0.5040117E-02	46	1	0.4814520E-02	47	1	0.4601192E-02	48	1	0.4399307E-02
49	1	0.4208107E-02	50	1	0.4026897E-02	51	1	0.3855034E-02	52	1	0.3691919E-02
53	1	0.3537019E-02	54	1	0.3389820E-02	55	1	0.3249865E-02	56	1	0.3116719E-02
57	1	0.2989978E-02	58	1	0.2869277E-02	59	1	0.2754265E-02	60	1	0.2644625E-02
61	1	0.2540052E-02	62	1	0.2440273E-02	63	1	0.2345021E-02	64	1	0.2254057E-02
65	1	0.2167151E-02	66	1	0.2084087E-02	67	1	0.2004669E-02	68	1	0.1928705E-02
69	1	0.1856022E-02	70	1	0.1786452E-02	71	1	0.1719843E-02	72	1	0.1656044E-02
73	1	0.1594921E-02	74	1	0.1536342E-02	75	1	0.1480183E-02	76	1	0.1426333E-02
77	1	0.1374677E-02	78	1	0.1325118E-02	79	1	0.1277554E-02	80	1	0.1231896E-02
81	1	0.1188054E-02	82	1	0.1145948E-02	83	1	0.1105499E-02	84	1	0.1066631E-02
85	1	0.1029277E-02	86	1	0.9933678E-03	87	1	0.9588413E-03	88	1	0.9256366E-03
89	1	0.8936981E-03	90	1	0.8629700E-03	91	1	0.8334015E-03	92	1	0.8049440E-03
93	1	0.7775489E-03	94	1	0.7511738E-03	95	1	0.7257748E-03	96	1	0.7013127E-03
97	1	0.6777486E-03	98	1	0.6550457E-03	99	1	0.6331694E-03	100	1	0.6120862E-03

TABELA I

EMPO= 0.4154291E-08 ITERACAO= 1000 FLUX= 0.5951352E 00 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	C.9207372E-02	2	1	C.9204045E-02	3	1	0.9196565E-02	4	1	0.9185772E-02
5	1	0.9171851E-02	6	1	0.9154875E-02	7	1	0.9134889E-02	8	1	0.9111930E-02
9	1	0.9086031E-02	10	1	C.9057228E-02	11	1	0.9025555E-02	12	1	0.8991055E-02
13	1	0.8953761E-02	14	1	C.8913718E-02	15	1	0.8870970E-02	16	1	0.8825567E-02
17	1	C.8777559E-02	18	1	C.8726992E-02	19	1	0.8673925E-02	20	1	0.8618411E-02
21	1	0.8560508E-02	22	1	C.8500274E-02	23	1	0.8437775E-02	24	1	0.8373071E-02
25	1	0.8306228E-02	26	1	C.8237310E-02	27	1	0.8166384E-02	28	1	0.8093521E-02
29	1	C.8018788E-02	30	1	C.7942256E-02	31	1	0.7863998E-02	32	1	0.7784087E-02
33	1	0.7702596E-02	34	1	C.7619593E-02	35	1	0.7535156E-02	36	1	0.7449362E-02
37	1	0.7362280E-02	38	1	C.7273987E-02	39	1	0.7184558E-02	40	1	0.7094067E-02
41	1	0.7002588E-02	42	1	C.6910194E-02	43	1	0.6816957E-02	44	1	0.6722953E-02
45	1	0.6628253E-02	46	1	0.6532930E-02	47	1	0.6437052E-02	48	1	0.6340694E-02
49	1	0.6243918E-02	50	1	0.6146800E-02	51	1	0.6049402E-02	52	1	0.5951792E-02
53	1	C.5854037E-02	54	1	C.5756199E-02	55	1	0.5658340E-02	56	1	0.5560525E-02
57	1	0.5462814E-02	58	1	C.5365264E-02	59	1	0.5267933E-02	60	1	0.5170878E-02
61	1	0.5074151E-02	62	1	C.4977811E-02	63	1	0.4881904E-02	64	1	0.4786484E-02
65	1	0.4691601E-02	66	1	C.4597303E-02	67	1	0.4503638E-02	68	1	0.4410647E-02
69	1	0.4318375E-02	70	1	C.4226863E-02	71	1	0.4136156E-02	72	1	0.4046291E-02
73	1	0.3957305E-02	74	1	C.3869236E-02	75	1	0.3782110E-02	76	1	0.3695966E-02
77	1	0.3610838E-02	78	1	C.3526756E-02	79	1	0.3443752E-02	80	1	0.3361857E-02
81	1	0.3281096E-02	82	1	C.3201500E-02	83	1	0.3123095E-02	84	1	0.3045904E-02
85	1	0.2969953E-02	86	1	0.2895265E-02	87	1	0.2821865E-02	88	1	0.2749771E-02
89	1	0.2679009E-02	90	1	C.2609594E-02	91	1	0.2541550E-02	92	1	0.2474894E-02
93	1	0.2409643E-02	94	1	C.2345819E-02	95	1	0.2283437E-02	96	1	0.2222513E-02
97	1	0.2163062E-02	98	1	C.2105100E-02	99	1	0.2048646E-02	100	1	0.1993713E-02

TABELA II

TEMPO= 0.8210966E-08 ITERACAO= 2000 FLUX= 0.8754450E 00 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2119522

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.1089182E-01	2	1	0.1089121E-01	3	1	0.1088844E-01	4	1	0.1088368E-01
5	1	0.1087696E-01	6	1	0.1086830E-01	7	1	0.1085771E-01	8	1	0.1084521E-01
9	1	0.1083081E-01	10	1	0.1081452E-01	11	1	0.1079635E-01	12	1	0.1077633E-01
13	1	0.1075447E-01	14	1	0.1073079E-01	15	1	0.1070530E-01	16	1	0.1067804E-01
17	1	0.1064902E-01	18	1	0.1061827E-01	19	1	0.1058581E-01	20	1	0.1055166E-01
21	1	0.1051587E-01	22	1	0.1047845E-01	23	1	0.1043943E-01	24	1	0.1039885E-01
25	1	0.1035673E-01	26	1	0.1031312E-01	27	1	0.1026804E-01	28	1	0.1022153E-01
29	1	0.1017363E-01	30	1	0.1012438E-01	31	1	0.1007381E-01	32	1	0.1002197E-01
33	1	0.9968884E-02	34	1	0.9914607E-02	35	1	0.9859174E-02	36	1	0.9802636E-02
37	1	0.9745032E-02	38	1	0.9686407E-02	39	1	0.9626806E-02	40	1	0.9566274E-02
41	1	0.9504862E-02	42	1	0.9442613E-02	43	1	0.9379577E-02	44	1	0.9315804E-02
45	1	0.9251341E-02	46	1	0.9186238E-02	47	1	0.9120550E-02	48	1	0.9054326E-02
49	1	0.8987613E-02	50	1	0.8920465E-02	51	1	0.8852933E-02	52	1	0.8785073E-02
53	1	0.8716930E-02	54	1	0.8648563E-02	55	1	0.8580022E-02	56	1	0.8511364E-02
57	1	0.8442637E-02	58	1	0.8373901E-02	59	1	0.8305207E-02	60	1	0.8236606E-02
61	1	0.8168157E-02	62	1	0.8099910E-02	63	1	0.8031920E-02	64	1	0.7964239E-02
65	1	0.7896923E-02	66	1	0.7830024E-02	67	1	0.7763594E-02	68	1	0.7697690E-02
69	1	0.7632364E-02	70	1	0.7567666E-02	71	1	0.7503655E-02	72	1	0.7440377E-02
73	1	0.7377889E-02	74	1	0.7316239E-02	75	1	0.7255480E-02	76	1	0.7195659E-02
77	1	0.7136829E-02	78	1	0.7079042E-02	79	1	0.7022347E-02	80	1	0.6966788E-02
81	1	0.6912418E-02	82	1	0.6859288E-02	83	1	0.6807439E-02	84	1	0.6756920E-02
85	1	0.6707780E-02	86	1	0.6660063E-02	87	1	0.6613813E-02	88	1	0.6569076E-02
89	1	0.6525893E-02	90	1	0.6484307E-02	91	1	0.6444365E-02	92	1	0.6406106E-02
93	1	0.6369572E-02	94	1	0.6334800E-02	95	1	0.6301831E-02	96	1	0.6270703E-02
97	1	0.6241456E-02	98	1	0.6214123E-02	99	1	0.6188739E-02	100	1	0.6165344E-02

TABELA III

TEMPO= 0.2078099E-07 ITERACAO= 5000 FLUX= 0.1513645E 02 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.1305215E 00	2	1	0.1305777E 00	3	1	0.1306612E 00	4	1	0.1307580E 00
5	1	0.1308652E 00	6	1	0.1309819E 00	7	1	0.1311078E 00	8	1	0.1312427E 00
9	1	0.1313865E 00	10	1	0.1315392E 00	11	1	0.1317009E 00	12	1	0.1318715E 00
13	1	0.1320510E 00	14	1	0.1322395E 00	15	1	0.1324370E 00	16	1	0.1326436E 00
17	1	0.1328593E 00	18	1	0.1330842E 00	19	1	0.1333184E 00	20	1	0.1335619E 00
21	1	0.1338148E 00	22	1	0.1340771E 00	23	1	0.1343490E 00	24	1	0.1346304E 00
25	1	0.1349216E 00	26	1	0.1352225E 00	27	1	0.1355333E 00	28	1	0.1358539E 00
29	1	0.1361847E 00	30	1	0.1365255E 00	31	1	0.1368766E 00	32	1	0.1372380E 00
33	1	0.1376098E 00	34	1	0.1379921E 00	35	1	0.1383851E 00	36	1	0.1387888E 00
37	1	0.1392033E 00	38	1	0.1396288E 00	39	1	0.1400654E 00	40	1	0.1405132E 00
41	1	0.1409724E 00	42	1	0.1414430E 00	43	1	0.1419251E 00	44	1	0.1424189E 00
45	1	0.1429246E 00	46	1	0.1434422E 00	47	1	0.1439720E 00	48	1	0.1445140E 00
49	1	0.1450683E 00	50	1	0.1456352E 00	51	1	0.1462147E 00	52	1	0.1468071E 00
53	1	0.1474124E 00	54	1	0.1480309E 00	55	1	0.1486627E 00	56	1	0.1493080E 00
57	1	0.1499668E 00	58	1	0.1506394E 00	59	1	0.1513260E 00	60	1	0.1520267E 00
61	1	0.1527416E 00	62	1	0.1534709E 00	63	1	0.1542149E 00	64	1	0.1549737E 00
65	1	0.1557475E 00	66	1	0.1565365E 00	67	1	0.1573408E 00	68	1	0.1581607E 00
69	1	0.1589963E 00	70	1	0.1598478E 00	71	1	0.1607154E 00	72	1	0.1615993E 00
73	1	0.1624998E 00	74	1	0.1634170E 00	75	1	0.1643510E 00	76	1	0.1653023E 00
77	1	0.1662709E 00	78	1	0.1672570E 00	79	1	0.1682609E 00	80	1	0.1692827E 00
81	1	0.1703228E 00	82	1	0.1713813E 00	83	1	0.1724585E 00	84	1	0.1735545E 00
85	1	0.1746696E 00	86	1	0.1758041E 00	87	1	0.1769581E 00	88	1	0.1781319E 00
89	1	0.1793259E 00	90	1	0.1805401E 00	91	1	0.1817748E 00	92	1	0.1830303E 00
93	1	0.1843069E 00	94	1	0.1856047E 00	95	1	0.1869241E 00	96	1	0.1882653E 00
97	1	0.1896285E 00	98	1	0.1910141E 00	99	1	0.1924223E 00	100	1	0.1938533E 00

TABELA IV

		0.6111529E 05	98	1	0.6158152E 05	99	1	0.6205466E 05	100	1	0.6253480E 05			

TEMPO= 0.7064216E-07 ITERACAO=17000 FLUX= 0.1512218E 08 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.1275161E 06	2	1	0.1275608E 06	3	1	0.1276459E 06	4	1	0.1277489E 06
5	1	0.1278657E 06	6	1	0.1279946E 06	7	1	0.1281351E 06	8	1	0.1282868E 06
9	1	0.1284497E 06	10	1	0.1286236E 06	11	1	0.1288086E 06	12	1	0.1290045E 06
13	1	0.1292115E 06	14	1	0.1294295E 06	15	1	0.1296586E 06	16	1	0.1298987E 06
17	1	0.1301500E 06	18	1	0.1304124E 06	19	1	0.1306861E 06	20	1	0.1309709E 06
21	1	0.1312671E 06	22	1	0.1315746E 06	23	1	0.1318935E 06	24	1	0.1322238E 06
25	1	0.1325657E 06	26	1	0.1329191E 06	27	1	0.1332841E 06	28	1	0.1336608E 06
29	1	0.1340493E 06	30	1	0.1344495E 06	31	1	0.1348616E 06	32	1	0.1352857E 06
33	1	0.1357218E 06	34	1	0.1361700E 06	35	1	0.1366304E 06	36	1	0.1371031E 06
37	1	0.1375881E 06	38	1	0.1380854E 06	39	1	0.1385953E 06	40	1	0.1391178E 06
41	1	0.1396529E 06	42	1	0.1402008E 06	43	1	0.1407616E 06	44	1	0.1413353E 06
45	1	0.1419220E 06	46	1	0.1425218E 06	47	1	0.1431349E 06	48	1	0.1437614E 06
49	1	0.1444013E 06	50	1	0.1450548E 06	51	1	0.1457219E 06	52	1	0.1464028E 06
53	1	0.1470976E 06	54	1	0.1478064E 06	55	1	0.1485294E 06	56	1	0.1492666E 06
57	1	0.1500181E 06	58	1	0.1507842E 06	59	1	0.1515648E 06	60	1	0.1523602E 06
61	1	0.1531705E 06	62	1	0.1539958E 06	63	1	0.1548363E 06	64	1	0.1556920E 06
65	1	0.1565631E 06	66	1	0.1574499E 06	67	1	0.1583524E 06	68	1	0.1592708E 06
69	1	0.1602051E 06	70	1	0.1611557E 06	71	1	0.1621226E 06	72	1	0.1631061E 06
73	1	0.1641063E 06	74	1	0.1651232E 06	75	1	0.1661571E 06	76	1	0.1672083E 06
77	1	0.1682767E 06	78	1	0.1693626E 06	79	1	0.1704663E 06	80	1	0.1715879E 06
81	1	0.1727276E 06	82	1	0.1738856E 06	83	1	0.1750620E 06	84	1	0.1762571E 06
85	1	0.1774710E 06	86	1	0.1787039E 06	87	1	0.1799562E 06	88	1	0.1812279E 06
89	1	0.1825194E 06	90	1	0.1838307E 06	91	1	0.1851621E 06	92	1	0.1865139E 06

TABELA V

TEMPO= 0.1038387E-06 ITERACAO=25000 FLUX= 0.1534444E 12 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	C.1293795E 10	2	1	C.1294249E 10	3	1	0.1295112E 10	4	1	0.1296159E 10
5	1	0.1297344E 10	6	1	0.1298653E 10	7	1	0.1300079E 10	8	1	0.1301620E 10
9	1	0.1303274E 10	10	1	C.1305040E 10	11	1	0.1306918E 10	12	1	0.1308908E 10
13	1	0.1311010E 10	14	1	0.1313224E 10	15	1	0.1315550E 10	16	1	0.1317988E 10
17	1	0.1320540E 10	18	1	0.1323205E 10	19	1	0.1325983E 10	20	1	0.1328876E 10
21	1	C.1331884E 10	22	1	C.1335006E 10	23	1	0.1338245E 10	24	1	0.1341599E 10
25	1	0.1345071E 10	26	1	0.1348659E 10	27	1	0.1352366E 10	28	1	0.1356191E 10
29	1	0.1360135E 10	30	1	0.1364200E 10	31	1	0.1368385E 10	32	1	0.1372691E 10
33	1	0.1377120E 10	34	1	C.1381671E 10	35	1	0.1386346E 10	36	1	0.1391145E 10
37	1	0.1396070E 10	38	1	C.1401120E 10	39	1	0.1406297E 10	40	1	0.1411602E 10
41	1	0.1417035E 10	42	1	0.1422598E 10	43	1	0.1428292E 10	44	1	0.1434117E 10
45	1	C.1440074E 10	46	1	C.1446164E 10	47	1	0.1452389E 10	48	1	0.1458749E 10
49	1	0.1465246E 10	50	1	0.1471880E 10	51	1	0.1478653E 10	52	1	0.1485566E 10
53	1	0.1492620E 10	54	1	0.1499816E 10	55	1	0.1507155E 10	56	1	0.1514638E 10
57	1	0.1522268E 10	58	1	0.1530044E 10	59	1	0.1537969E 10	60	1	0.1546043E 10
61	1	0.1554269E 10	62	1	0.1562647E 10	63	1	0.1571178E 10	64	1	0.1579864E 10
65	1	0.1588707E 10	66	1	0.1597709E 10	67	1	0.1606869E 10	68	1	0.1616191E 10
69	1	0.1625675E 10	70	1	C.1635324E 10	71	1	0.1645138E 10	72	1	0.1655120E 10
73	1	0.1665270E 10	74	1	0.1675591E 10	75	1	0.1686085E 10	76	1	0.1696753E 10
77	1	0.1707598E 10	78	1	0.1718619E 10	79	1	0.1729821E 10	80	1	0.1741204E 10
81	1	C.1752770E 10	82	1	0.1764521E 10	83	1	0.1776460E 10	84	1	0.1788588E 10
85	1	0.1800908E 10	86	1	0.1813420E 10	87	1	0.1826128E 10	88	1	0.1839034E 10
89	1	0.1852139E 10	90	1	0.1865446E 10	91	1	0.1878957E 10	92	1	0.1892674E 10
93	1	C.1906600E 10	94	1	C.1920737E 10	95	1	0.1935087E 10	96	1	0.1949653E 10
97	1	0.1964437E 10	98	1	0.1979442E 10	99	1	0.1994670E 10	100	1	0.2010123E 10

TABELA VI

TEMPO= 0.3006688E-06 ITERACAO=81000 FLUX= 0.2293432E 35 DELT=, 0.3235671E-12SIMIN= 0.0215856

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.2255884E 33	2	1	0.2255918E 33	3	1	0.2256004E 33	4	1	0.2256123E 33
5	1	0.2256273E 33	6	1	0.2256453E 33	7	1	0.2256662E 33	8	1	0.2256900E 33
9	1	0.2257165E 33	10	1	0.2257459E 33	11	1	0.2257780E 33	12	1	0.2258129E 33
13	1	0.2258505E 33	14	1	0.2258908E 33	15	1	0.2259337E 33	16	1	0.2259792E 33
17	1	0.2260275E 33	18	1	0.2260783E 33	19	1	0.2261316E 33	20	1	0.2261874E 33
21	1	0.2262458E 33	22	1	0.2263066E 33	23	1	0.2263700E 33	24	1	0.2264357E 33
25	1	0.2265036E 33	26	1	0.2265740E 33	27	1	0.2266465E 33	28	1	0.2267212E 33
29	1	0.2267981E 33	30	1	0.2268772E 33	31	1	0.2269584E 33	32	1	0.2270416E 33
33	1	0.2271269E 33	34	1	0.2272141E 33	35	1	0.2273032E 33	36	1	0.2273941E 33
37	1	0.2274870E 33	38	1	0.2275815E 33	39	1	0.2276777E 33	40	1	0.2277756E 33
41	1	0.2278751E 33	42	1	0.2279762E 33	43	1	0.2280788E 33	44	1	0.2281829E 33
45	1	0.2282884E 33	46	1	0.2283953E 33	47	1	0.2285035E 33	48	1	0.2286129E 33
49	1	0.2287235E 33	50	1	0.2288353E 33	51	1	0.2289482E 33	52	1	0.2290622E 33
53	1	0.2291772E 33	54	1	0.2292931E 33	55	1	0.2294099E 33	56	1	0.2295275E 33
57	1	0.2296461E 33	58	1	0.2297653E 33	59	1	0.2298853E 33	60	1	0.2300059E 33
61	1	0.2301270E 33	62	1	0.2302488E 33	63	1	0.2303709E 33	64	1	0.2304936E 33
65	1	0.2306167E 33	66	1	0.2307401E 33	67	1	0.2308639E 33	68	1	0.2309881E 33
69	1	0.2311124E 33	70	1	0.2312369E 33	71	1	0.2313616E 33	72	1	0.2314864E 33
73	1	0.2316111E 33	74	1	0.2317360E 33	75	1	0.2318608E 33	76	1	0.2319855E 33
77	1	0.2321102E 33	78	1	0.2322347E 33	79	1	0.2323590E 33	80	1	0.2324831E 33
81	1	0.2326070E 33	82	1	0.2327306E 33	83	1	0.2328540E 33	84	1	0.2329769E 33
85	1	0.2330994E 33	86	1	0.2332215E 33	87	1	0.2333432E 33	88	1	0.2334645E 33
89	1	0.2335852E 33	90	1	0.2337053E 33	91	1	0.2338249E 33	92	1	0.2339440E 33
93	1	0.2340624E 33	94	1	0.2341803E 33	95	1	0.2342975E 33	96	1	0.2344140E 33
97.	1	0.2345299E 33	98	1	0.2346451E 33	99	1	0.2347596E 33	100	1	0.2348735E 33

TEMPO= 0.3011530E-06 ITERACAO=82000 FLUX= 0.2330735E 35 DELT=, 0.2931910E-12SIMIN= 0.0194824

TABELA VII

97	1	0.1943817E 33	98	1	0.1948424E 33	99	1	0.1953011E 33	100	1	0.1793392E 33			

TEMPO= 0.2980364E-06 ITERACAO=75000 FLUX= 0.1751311E 35 DELT=, 0.8087481E-12SIMIN= 0.0539526

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.1619388E 33	2	1	0.1619506E 33	3	1	0.1619795E 33	4	1	0.1620197E 33
5	1	0.1620700E 33	6	1	0.1621300E 33	7	1	0.1621994E 33	8	1	0.1622783E 33
9	1	0.1623665E 33	10	1	0.1624638E 33	11	1	0.1625702E 33	12	1	0.1626856E 33
13	1	0.1628099E 33	14	1	0.1629432E 33	15	1	0.1630853E 33	16	1	0.1632363E 33
17	1	0.1633960E 33	18	1	0.1635644E 33	19	1	0.1637413E 33	20	1	0.1639267E 33
21	1	0.1641205E 33	22	1	0.1643227E 33	23	1	0.1645332E 33	24	1	0.1647519E 33
25	1	0.1649788E 33	26	1	0.1652136E 33	27	1	0.1654563E 33	28	1	0.1657068E 33
29	1	0.1659652E 33	30	1	0.1662311E 33	31	1	0.1665046E 33	32	1	0.1667854E 33
33	1	0.1670735E 33	34	1	0.1673689E 33	35	1	0.1676713E 33	36	1	0.1679806E 33
37	1	0.1682969E 33	38	1	0.1686198E 33	39	1	0.1689493E 33	40	1	0.1692852E 33
41	1	0.1696275E 33	42	1	0.1699759E 33	43	1	0.1703304E 33	44	1	0.1706908E 33
45	1	0.1710570E 33	46	1	0.1714288E 33	47	1	0.1718062E 33	48	1	0.1721890E 33
49	1	0.1725770E 33	50	1	0.1729700E 33	51	1	0.1733680E 33	52	1	0.1737708E 33
53	1	0.1741782E 33	54	1	0.1745899E 33	55	1	0.1750061E 33	56	1	0.1754266E 33
57	1	0.1758510E 33	58	1	0.1762793E 33	59	1	0.1767113E 33	60	1	0.1771469E 33
61	1	0.1775859E 33	62	1	0.1780282E 33	63	1	0.1784737E 33	64	1	0.1789222E 33
65	1	0.1793733E 33	66	1	0.1798270E 33	67	1	0.1802832E 33	68	1	0.1807417E 33
69	1	0.1812025E 33	70	1	0.1816652E 33	71	1	0.1821298E 33	72	1	0.1825962E 33
73	1	0.1830641E 33	74	1	0.1835334E 33	75	1	0.1840039E 33	76	1	0.1844754E 33
77	1	0.1849480E 33	78	1	0.1854213E 33	79	1	0.1858952E 33	80	1	0.1863698E 33
81	1	0.1868447E 33	82	1	0.1873198E 33	83	1	0.1877949E 33	84	1	0.1882700E 33
85	1	0.1887451E 33	86	1	0.1892197E 33	87	1	0.1896937E 33	88	1	0.1901672E 33
89	1	0.1906402E 33	90	1	0.1911122E 33	91	1	0.1915831E 33	92	1	0.1920531E 33
93	1	0.1925217E 33	94	1	0.1929891E 33	95	1	0.1934550E 33	96	1	0.1939192E 33
97	1	0.1943817E 33	98	1	0.1948424E 33	99	1	0.1953011E 33	100	1	0.1957579E 33

TEMPO= 0.2987362E-06 ITERACAO=76000 FLUX= 0.1894386E 35 DELT=, 0.6581189E-12SIMIN=

TABELA VIII

TEMPO= 0.3025271E-06 ITERACAO=89000 FLUX= 0.2464145E 35 DELT=, 0.1719928E-12SIMIN= 0.0114739

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.2456419E 33	2	1	0.2456426E 33	3	1	0.2456444E 33	4	1	0.2456469E 33
5	1	0.2456499E 33	6	1	0.2456534E 33	7	1	0.2456576E 33	8	1	0.2456623E 33
9	1	0.2456676E 33	10	1	0.2456735E 33	11	1	0.2456798E 33	12	1	0.2456868E 33
13	1	0.2456942E 33	14	1	0.2457023E 33	15	1	0.2457108E 33	16	1	0.2457199E 33
17	1	0.2457295E 33	18	1	0.2457397E 33	19	1	0.2457503E 33	20	1	0.2457613E 33
21	1	0.2457729E 33	22	1	0.2457850E 33	23	1	0.2457976E 33	24	1	0.2458107E 33
25	1	0.2458243E 33	26	1	0.2458383E 33	27	1	0.2458528E 33	28	1	0.2458678E 33
29	1	0.2458832E 33	30	1	0.2458991E 33	31	1	0.2459153E 33	32	1	0.2459320E 33
33	1	0.2459491E 33	34	1	0.2459668E 33	35	1	0.2459847E 33	36	1	0.2460032E 33
37	1	0.2460219E 33	38	1	0.2460410E 33	39	1	0.2460607E 33	40	1	0.2460806E 33
41	1	0.2461009E 33	42	1	0.2461216E 33	43	1	0.2461426E 33	44	1	0.2461639E 33
45	1	0.2461855E 33	46	1	0.2462076E 33	47	1	0.2462298E 33	48	1	0.2462523E 33
49	1	0.2462750E 33	50	1	0.2462980E 33	51	1	0.2463214E 33	52	1	0.2463449E 33
53	1	0.2463686E 33	54	1	0.2463926E 33	55	1	0.2464168E 33	56	1	0.2464413E 33
57	1	0.2464659E 33	58	1	0.2464907E 33	59	1	0.2465157E 33	60	1	0.2465409E 33
61	1	0.2465663E 33	62	1	0.2465917E 33	63	1	0.2466174E 33	64	1	0.2466432E 33
65	1	0.2466690E 33	66	1	0.2466950E 33	67	1	0.2467212E 33	68	1	0.2467475E 33
69	1	0.2467739E 33	70	1	0.2468004E 33	71	1	0.2468269E 33	72	1	0.2468537E 33
73	1	0.2468804E 33	74	1	0.2469073E 33	75	1	0.2469341E 33	76	1	0.2469610E 33
77	1	0.2469880E 33	78	1	0.2470151E 33	79	1	0.2470420E 33	80	1	0.2470693E 33
81	1	0.2470964E 33	82	1	0.2471236E 33	83	1	0.2471508E 33	84	1	0.2471781E 33
85	1	0.2472053E 33	86	1	0.2472326E 33	87	1	0.2472597E 33	88	1	0.2472868E 33
89	1	0.2473140E 33	90	1	0.2473411E 33	91	1	0.2473681E 33	92	1	0.2473951E 33
93	1	0.2474221E 33	94	1	0.2474490E 33	95	1	0.2474758E 33	96	1	0.2475026E 33
97	1	0.2475294E 33	98	1	0.2475561E 33	99	1	0.2475826E 33	100	1	0.2476090E 33

TABELA IX

[illegible]		[illegible]		[illegible]		[illegible]		0.6331694E-03	100	1	0.6120862E-03

TEMPO= 0.4154291E-08 ITERACAO= 1000 FLUX= 0.5508790E 00 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.9108927E-02	2	1	0.9106237E-02	3	1	0.9098582E-02	4	1	0.9087320E-02
5	1	0.9072740E-02	6	1	0.9054944E-02	7	1	0.9033997E-02	8	1	0.9009935E-02
9	1	0.8982800E-02	10	1	0.8952621E-02	11	1	0.8919436E-02	12	1	0.8883286E-02
13	1	0.8844204E-02	14	1	0.8802231E-02	15	1	0.8757412E-02	16	1	0.8709792E-02
17	1	0.8659415E-02	18	1	0.8606333E-02	19	1	0.8550595E-02	20	1	0.8492254E-02
21	1	0.8431356E-02	22	1	0.8367967E-02	23	1	0.8302145E-02	24	1	0.8233942E-02
25	1	0.8163426E-02	26	1	0.8090656E-02	27	1	0.8015692E-02	28	1	0.7938605E-02
29	1	0.7859454E-02	30	1	0.7778306E-02	31	1	0.7695228E-02	32	1	0.7610291E-02
33	1	0.7523559E-02	34	1	0.7435098E-02	35	1	0.7344984E-02	36	1	0.7253278E-02
37	1	0.7160056E-02	38	1	0.7065382E-02	39	1	0.6969329E-02	40	1	0.6871965E-02
41	1	0.6773356E-02	42	1	0.6673571E-02	43	1	0.6572679E-02	44	1	0.6470744E-02
45	1	0.6367836E-02	46	1	0.6264020E-02	47	1	0.6159361E-02	48	1	0.6053925E-02
49	1	0.5947769E-02	50	1	0.5840965E-02	51	1	0.5733564E-02	52	1	0.5625635E-02
53	1	0.5517233E-02	54	1	0.5408417E-02	55	1	0.5299244E-02	56	1	0.5189769E-02
57	1	0.5080048E-02	58	1	0.4970130E-02	59	1	0.4860073E-02	60	1	0.4749924E-02
61	1	0.4639730E-02	62	1	0.4529543E-02	63	1	0.4419412E-02	64	1	0.4309375E-02
65	1	0.4199483E-02	66	1	0.4089769E-02	67	1	0.3980286E-02	68	1	0.3871066E-02
69	1	0.3762142E-02	70	1	0.3653554E-02	71	1	0.3545340E-02	72	1	0.3437534E-02
73	1	0.3330172E-02	74	1	0.3223285E-02	75	1	0.3116905E-02	76	1	0.3011061E-02
77	1	0.2905785E-02	78	1	0.2801106E-02	79	1	0.2697048E-02	80	1	0.2593641E-02
81	1	0.2490910E-02	82	1	0.2388879E-02	83	1	0.2287573E-02	84	1	0.2187017E-02
85	1	0.2087231E-02	86	1	0.1988238E-02	87	1	0.1890058E-02	88	1	0.1792715E-02
89	1	0.1696229E-02	90	1	0.1600621E-02	91	1	0.1505908E-02	92	1	0.1412110E-02
93	1	0.1319246E-02	94	1	0.1227334E-02	95	1	0.1136392E-02	96	1	0.1046437E-02
97	1	0.9574876E-03	98	1	0.8695605E-03	99	1	0.7826732E-03	100	1	0.6968428E-03

TEMPO= 0.6310644E-08 ITERACAO= 2000 FLUX= 0.5728856E 00 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

TABELA X

TEMPO= 0.178531CE-06 ITERACAO=43000 FLUX= 0.1052314E 01 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	0.1785564E-01	2	1	0.1785160E-01	3	1	0.1787945E-01	4	1	0.1786131E-01
5	1	0.1783749E-01	6	1	0.1780618E-01	7	1	0.1777344E-01	8	1	0.1773333E-01
9	1	0.1768788E-01	10	1	0.1763713E-01	11	1	0.1758111E-01	12	1	0.1751986E-01
13	1	0.1745340E-01	14	1	0.1738178E-01	15	1	0.1730504E-01	16	1	0.1722322E-01
17	1	0.1713637E-01	18	1	0.1704454E-01	19	1	0.1694776E-01	20	1	0.1684611E-01
21	1	0.1673963E-01	22	1	0.1662837E-01	23	1	0.1651241E-01	24	1	0.1639181E-01
25	1	0.1626661E-01	26	1	0.1613691E-01	27	1	0.1600276E-01	28	1	0.1586423E-01
29	1	0.1572141E-01	30	1	0.1557436E-01	31	1	0.1542317E-01	32	1	0.1526792E-01
33	1	0.1510869E-01	34	1	0.1494556E-01	35	1	0.1477863E-01	36	1	0.1460797E-01
37	1	0.1443368E-01	38	1	0.1425585E-01	39	1	0.1407458E-01	40	1	0.1388997E-01
41	1	0.1370211E-01	42	1	0.1351109E-01	43	1	0.1331703E-01	44	1	0.1312001E-01
45	1	0.1292014E-01	46	1	0.1271754E-01	47	1	0.1251230E-01	48	1	0.1230453E-01
49	1	0.1209434E-01	50	1	0.1188183E-01	51	1	0.1166712E-01	52	1	0.1145033E-01
53	1	0.1123155E-01	54	1	0.1101091E-01	55	1	0.1078852E-01	56	1	0.1056448E-01
57	1	0.1033891E-01	58	1	0.1011194E-01	59	1	0.9883665E-02	60	1	0.9654216E-02
61	1	0.9423703E-02	62	1	0.9192236E-02	63	1	0.8959934E-02	64	1	0.8726917E-02
65	1	0.8493301E-02	66	1	0.8259196E-02	67	1	0.8024719E-02	68	1	0.7789988E-02
69	1	0.7555120E-02	70	1	0.7320229E-02	71	1	0.7085428E-02	72	1	0.6850827E-02
73	1	0.6616544E-02	74	1	0.6382693E-02	75	1	0.6149378E-02	76	1	0.5916715E-02
77	1	0.5684812E-02	78	1	0.5453780E-02	79	1	0.5223729E-02	80	1	0.4994761E-02
81	1	0.4766986E-02	82	1	0.4540510E-02	83	1	0.4315436E-02	84	1	0.4091863E-02
85	1	0.3869894E-02	86	1	0.3649621E-02	87	1	0.3431144E-02	88	1	0.3214560E-02
89	1	0.2999964E-02	90	1	0.2787448E-02	91	1	0.2577106E-02	92	1	0.2369026E-02
93	1	0.2163297E-02	94	1	0.1960007E-02	95	1	0.1759238E-02	96	1	0.1561074E-02
97	1	0.1365597E-02	98	1	0.1172884E-02	99	1	0.9830126E-03	100	1	0.7960559E-03

TABELA XI

TEMPO= 0.2615224E-06 ITERACAO=63000 FLUX= 0.11262C4E 01 DELT=, 0.4158701E-11SIMIN= 0.2774322

I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR	I	J	VALOR
1	1	C.1847CC7E-C1	2	1	C.1846589E-C1	3	1	0.1845334E-01	4	1	0.1843452E-C1
5	1	0.1840987E-C1	6	1	0.1837953E-C1	7	1	0.1834358E-01	8	1	0.1830208E-01
9	1	0.1825C5E-C1	10	1	C.1820253E-C1	11	1	0.1814457E-C1	12	1	C.18C8119E-C1
13	1	C.18C1243E-C1	14	1	C.1793833E-C1	15	1	0.1785894E-C1	16	1	0.1777429E-01
17	1	0.1768444E-01	18	1	0.1758943E-C1	19	1	0.1748931E-C1	20	1	0.1738415E-C1
21	1	0.17274C0E-C1	22	1	C.1715891E-C1	23	1	C.1703856E-C1	24	1	C.169142CE-C1
25	1	C.167847CE-C1	26	1	C.1665C54E-C1	27	1	0.1651178E-01	28	1	0.1636850E-01
29	1	0.1622C77E-C1	30	1	0.16C6869E-01	31	1	0.1591232E-01	32	1	0.1575176E-C1
33	1	0.15587C8E-C1	34	1	C.1541838E-C1	35	1	0.1524575E-C1	36	1	C.15C6528E-01
37	1	0.1488SC5E-C1	38	1	C.147C518E-C1	39	1	0.1451775E-C1	40	1	0.1432686E-01
41	1	0.14132C0E-01	42	1	0.1393510E-C1	43	1	0.1373444E-C1	44	1	0.1353073E-01
45	1	0.13324C9E-C1	46	1	C.1311462E-C1	47	1	0.129C242E-C1	48	1	C.1268762E-C1
49	1	0.1247C33E-C1	50	1	0.1225065E-C1	51	1	0.1202869E-01	52	1	0.118C458E-C1
53	1	0.1157843E-C1	54	1	C.1135C36E-C1	55	1	0.1112048E-C1	56	1	0.1088891E-01
57	1	0.1C65578E-C1	58	1	C.1C42119E-C1	59	1	C.1018528E-C1	60	1	0.9948149E-02
61	1	C.97C9928E-02	62	1	C.9470731E-C2	63	1	0.9230681E-C2	64	1	0.8989897E-02
65	1	0.8748498E-02	66	1	0.85C66C4E-C2	67	1	0.8264337E-C2	68	1	C.8021817E-C2
69	1	C.7779162E-C2	70	1	C.7536493E-C2	71	1	0.7293928E-C2	72	1	C.7051583E-C2
73	1	0.68C9577E-02	74	1	0.6568026E-02	75	1	0.6327044E-C2	76	1	0.6086748E-02
77	1	0.5847253E-C2	78	1	C.56C8667E-02	79	1	0.5371105E-02	80	1	C.5134679E-C2
81	1	C.4899494E-02	82	1	C.4665658E-C2	83	1	0.4433278E-C2	84	1	0.4202463E-02
85	1	0.3973316E-C2	86	1	C.3745935E-C2	87	1	0.3520423E-02	88	1	0.3296879E-C2
89	1	0.3C754CCE-02	90	1	0.2856C85E-C2	91	1	0.2639026E-C2	92	1	C.2424318E-C2
93	1	0.2212C51E-C2	94	1	C.2CC2312E-C2	95	1	0.1795192E-02	96	1	0.1590776E-02
97	1	0.1385147E-02	98	1	C.1190386E-C2	99	1	0.9945717E-03	100	1	0.8017803E-03

TABELA XII

CAPÍTULO V

C O N C L U S Ã O

Os resultados analisados nos capítulos anteriores são, em nossa opinião, bastante encorajadores. Os comportamentos das soluções nos dois casos estudados, mostram que estamos em uma linha de pesquisa matemática aplicada que pode vir a nos fornecer a compreensão total do problema.

Com o comportamento do fluxo de neutrons em um reator conhecido no tempo, outros parâmetros como temperatura e pressão podem ser, facilmente, determinados.

O próximo passo, na presente pesquisa, será a introdução de equações multi-grupo, bem como a introdução de um refletor real.

Esperamos ainda, com este trabalho, ter, segundo Duff [13], conseguido o objetivo da matemática aplicada, que não começa como uma equação e termina com a exibição de uma série, mas se realiza quando esclarece um fenômeno real e necessário.

REFERÊNCIAS

[1] APOSTOL, T. – "Mathematical Analysis" – Addson-Wesley, 1957.

[2] AMES, W. – "Numerical Methods for Partial Differential Equations" – Nelson, 1969.

[3] HALTNER, G. – "Numerical Weather Prediction" – John Willey, 1971.

[4] GLASTONE, S. and Edlund – "The Elements of Nuclear Reactor Theory" – Van Nostrand, 1952.

[5] SUDANO, J.P. – "Contribuição ao Estudo de Refletores de Neutrons Rápidos" – Relatório EAV-CTA – 06/77.

[6] HAROLD E. Therington – "Nuclear Engineering Handbook" – Mc Graw-Hill, 1958.

[7] SCHWARTZ, L. – "Methods Mathématiques pour les Sciences Physiques", Herman, 1965.

[8] GLASTONE, S., SESONKE, A. – "Nuclear Reactor Theory".

[9] NATIONAL NEUTRON CROSS SECTION CENTER – "Neutron Cross Section" – Vol. I, 1973.

[10] IAEA, – "Numerical Reactor Calculations Proceedings" – Viena, 1972.

[11] HUREWICZ, W. – "Lectures on Ordinary Differential Equations" – M. I. Press, 1958.

[12] GENIE ANTOMIQUE – Presse Universitére de France – 1966.

[13] DUFF, G. and NAYLOR, D. – "Differential Equations of Applied Mathematics" – John Willey, 1966.

[14] KASAHARA, A. and WASHINGTON W. – "The NCAR Global General Circulation Model of the Atmosphere" – Mon.Wea.Rev., Vol. 95, nº 7, July 1967.

[15] EISEN, D., – Maths. Comput – 22, pág. 347, 1968.

[16] FORSYTHE, G.E. and WASOW, W.R. – "Finite Difference Methods for Partial Differential Equations" – Willey, New York, 1960.

APÊNDICE

PROGRAMA FORTRAN E VALORES ALIMENTADOS

```
ILER OPTIONS - NAME=  MAIN,OPT=00,LINECNT=60,SIZE=0000K,
              SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
C
C
      DIMENSION A(100),AA(100)
      DIMENSION X1(100),X2(100),X3(100),X4(100)
C     DIMENSION A(150),AA(150)
C     DIMENSION X1(150),X2(150),X3(150),X4(150)
C
C     DOUBLE PRECISION B(80,36),C(60,72),D(40,144),E(20,288),AA(100,36),
C    1BB(80,36),CC(60,72)
C     B,C,D,E,AA,BB,CC,NAO SAO USADOS NO PROGRAMA
C
C     DO 1002 JJJ=1,2
C
      MILOZ=1000
      TEMPO=0.
      INTER=0
C
C     JT=0
C
      WRITE(6,2)
    2 FORMAT(1H1)
      READ(5,500)MD
500   FORMAT(I4)
      WRITE(6,501)MD
501   FORMAT(2X,'MD=',I4)
      READ(5,100)SIGMA,SIGMT,SIGMS,AT,DENS,DELX
 100  FORMAT(6E10.0)
C*****************************************************************************
      XIGMT=SIGMT
      XIGMS=SIGMS
      XIGMA=SIGMA
C*****************************************************************************
      V=1.E+05
      WRITE( 6,15)SIGMA,V,SIGMS,AT,SIGMT,DELX
   15 FORMAT(2X,6HSIGMA=,E14.7,3X,2HV=,E14.7,/,2X,6HSIGMS=,E14.7,3X,3HAT
     1=,E14.7,3X,6HSIGMT=,E14.7,3X,5HDELX=,E14.7,/)
      KEY=0
      SIGMS=(SIGMS*DENS*0.602  )/AT
      SIGMT=(SIGMT*DENS*0.602  )/AT
      SIGMA=(SIGMA*DENS*0.602  )/AT
      WRITE( 6,15)SIGMA,V,SIGMS,AT,SIGMT,DELX
      SIMAX=SIGMS
C
C     SIGMT VALE A SECCAO DE CHOQUE MICROSCOPICO TOTAL INICIAL
C     XIGMT VALE A SECCAO DE CHOQUE MICROSCOPICO TOTAL
C     XIGMT=SIGMT
C     XIGMS=SIGMS
C     XIGMA=SIGMA
C
C  21 F=SIGMT*(1.D0-(2.D0/(3.D0*AT)))*(1.D0-(4.D0*SIGMA)/(5.D0*SIGMT))
C 22  F=1.D /F
C     F=F/3.D0
C     F=1.D0/(3.D0*SIGMT)
C
C     MODIFICACAO FEITA PELO PROF. PANTUSO
      F=1.00/(3.00*SIGMS)
```

```
      XK= SQRT(SIGMA/F)
      DO 1 J=1,MD
      XJ=FLOAT(J)* DELX
      A(J)  = EXP(-XK*)J)/XJ
C
C     A(J)  =A(J)  /(4*PI*F)
C
      A(J)  =A(J)  /(12.566370614  *F)
C*****************************************************************
      AA(J)=DENS
C*****************************************************************
    1 CONTINUE
C  INICIALIZACAO DAS CONDICCES DE CONTORNO
C
      LLTIMC=A(MD)
C     DO 3 J=1,36
C     DO 4 I=1,80
C     K=I+20
C   4 B(I,J)=A(K,J)
C     DO 5 I=1,60
C     K=I+40
C     L=J+36
C     C(I,J)=A(K,J)
C   5 C(I,L)=C(I,J)
C     DO 2 I=1,40
C     K=I+60
C     L=36+J
C     M=72+J
C     N=108+J
C     D(I,J)=A(K,J)
C     D(I,L)=D(I,J)
C     D(I,M)=D(I,J)
C   2 D(I,N)=D(I,J)
C     DO 6 I=1,20
C     L=36+J
C     M=72+J
C     N=108+J
C     LL=144+J
C     MM=180+J
C     NN=216+J
C     KK=252+J
C     E(I,J)=A(K,J)
C     E(I,L)=E(I,J)
C     E(I,M)=E(I,J)
C     E(I,N)=E(I,J)
C     E(I,LL)=E(I,J)
C     E(I,MM)=E(I,J)
C     E(I,NN)=E(I,J)
C   6 E(I,KK)=E(I,J)
C   3 CONTINUE
C     DELT=R**2/2*V*D
C
      DELT=(DELX**2)/(V*F*2.01)
      WRITE( 6,88)F,XK,DELT
   88 FORMAT(2X,2HF=,E14.7,3X,3HXK=,E14.7,3X,5HDELT=,E14.7)
      WRITE( 6,90)
90    FORMAT(1H1)
      LL=1
```

```
75     CONTINUE
       WRITE( 6,1003)TEMPO,INTER,FLUX,DELT,SIMAX
1003   FORMAT(2X,6HTEMPO=,E14.7,4X,9HITERACAO=,I5,4X,5HFLUX=,E14.7,4X,6HD
      1ELT=,E14.7,7HSIMIN= ,F14.7,/)
       WRITE( 6,20)
   20  FORMAT(4(4X,1HI,4X,1HJ,2X,5HVALOR,10X))
       J=1
       K=1
       DO 7 L=4,MD,4
       WRITE( 6,25)(I,J,A(I),I=K,L)
25     FORMAT(2X,4(I3,2X,I3,2X,E14.7,3X))
    7  K=K+4
       IF(KEY-1)65,1002,65
65     J=1
       TEMPO=TEMPO+DELT
       DO 82 I=1,MD
       X1(I)=0
       X2(I)=0
       X3(I)=0
       X4(I)=0
   82  CONTINUE
C*************************************************************************
       SIMAX=SIGMS
       SIMIN=0.0
C*************************************************************************
       FLUX=0.0
       DO 13 I=1,MD
C*************************************************************************
C      *** SIMAX E MINIMO ***
       SIGMA=(XIGMA * AA(I)  )*0.602  /AT
       SIGMS=(XIGMS * AA(I)  )* 0.602  /AT
       SIGMT=(XIGMT*AA(I)  )*0.602  /AT
       YX=SIMIN-SIGMS
       XY=SIMAX-SIGMS
       F=1.00/(3.00*SIGMS)
       IF(XY)24,24,23
23     SIMAX=SIGMS
        GO TO 26
   24  IF(YX)27,27,26
   27  SIMIN=SIGMS
   26  CONTINUE
C*************************************************************************
       YI=I
       IF(I-1)10,9,10
    9  X1(I)=DELT*V
C      X2(I)=(DEL)**(-2))*F*(A(I+1) - A(I))*2.
       X2(I)=(DEL)**(-2))*F*(A(I+1) - A(I))
C
C     *********      COM REFLETOR
C     *********      COM REFLETOR
      ULTIMO=ULTIMO* EXP(V*SIGMS*DELT)
C
       X3(I)=2*(DEL)**(-2))*F*(A(I+1) - A(I)) /YI
       X4(I)=1.6  *SIGMA*A(I)
       XXX=X1(I)*(X2(I)+X3(I)+X4(I))
       A(I)  =A(I)  +XXX
       GO TO 16
10     IF(I-MD)11,12,11
```


cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18 19

```
12      X1(I)=DELT*V
        X2(I)=(DELX**(-2))*F*(APAST-2. * A(I)+ULTIMO)
C
C       X3(I)=2.D4*F*(A(I,J)-A(I-1,J))/YI
C
           X3(I)=0.0
        X4(I)=1.6E0*SIGMA*A(I)
        XXX=X1(I)*(X2(I)+X3(I)+X4(I))
        A(I)  =A(I) +XXX
        GO TO 16
   11   X1(I)=DELT*V
        X2(I)=(DELX**(-2)) *F*(A(I+1)-2.*A(I)+APAST)
        X3(I)=(DELX**(-2))*F*(A(I+1) - APAST)/YI
        X4(I)=1.6  *SIGMA*A(I)
        XXX=X1(I)*(X2(I)+X3(I)+X4(I))
        A(I)  =A(I)  +XXX
   16   XXX=0 .
        APAST=A(I)
C*******************************************************************************
        XYX=-XIGMA* 0.1 E-23
        AA(I)=AA(I)* EXP(XYX    *DELT*A(I))
C*******************************************************************************
        FLUX=FLUX+A(I)
13      CONTINUE
C(((((((((((((((((((((((((
C    ((((((((((((((    .   INSTABILIZACAO DE 0.5
C
C*******************************************************************************
        DELT=(DELX**2)*1.499*SIMAX/V
C*******************************************************************************
        LL=LL+1
        IF(LL-MILDZ)65,184,65
184     IF(MILDZ-10000)182,183,182
182     INTER=MILDZ
C
C       JT=1
C
        MILDZ=MILDZ+1000
        GO TO 75
183     KEY=1
        INTER=MILDZ
        GO TO 75
 1002   CONTINUE
        CALL EXIT
        END
```

```
MD= 100
SIGMA= 0.1400000E 01    V= 0.1000000E 10
SIGMS= 0.5700000E 01    AT= 0.2350000E 03    SIGMT= 0.7099999E 01    DELX= 0.9999996E-01

SIGMA= 0.6814116E-01    V= 0.1000000E 10
SIGMS= 0.2774322E 00    AT= 0.2350000E 03    SIGMT= 0.3455735E 00    DELX= 0.9999996E-01

F= 0.1201494E 01    XK= 0.2381464E 00    DELT= 0.4140779E-11
```