

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE TRANSPORTE LINEAR, MONOENERGÉTICA
EM MULTI-REGIÕES COM ESPALHAMENTO ANISOTRÓPICO
ATRAVÉS DO MÉTODO F_N**

Elizabeth May Braga Dulley Pontedeiro

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de "Mestre - Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear".

Orientador: Dr. José Rubens Malorino

São Paulo

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE TRANSPORTE LINEAR, MONOENERGÉTICA
EM MULTI-REGIÕES COM ESPALHAMENTO ANISOTRÓPICO
ATRAVÉS DO MÉTODO F_N

Elizabeth May Braga Dulley Pontedeiro

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para a obtenção do grau de "Mestre - Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear".



Orientador: Dr. José Rubens Maiorino

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
I. P. E. N.
SÃO PAULO

1982

A meus pais,
Paul W. Dulley e
Eunice B. Dulley
e a meu marido
Auro

AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares pelo apoio material e financeiro.

- Ao PRONUCLEAR pelo apoio financeiro prestado.

- Ao Instituto da Radioproteção e Dosimetria, na pessoa do Dr. Carlos Eduardo Veloso de Almeida, que possibilitou o término deste trabalho.

- Ao Dr. José Rubens Maiorino, pela amizade, incentivo e valiosa orientação demonstrada na execução deste trabalho.

- Ao colega Mitsuo Yamaguchi pela grande ajuda na parte computacional.

- Ao Centro de Processamento de Dados do IPEN na pessoa do Sr. Gelson Toshio Otami pelas sugestões dadas.

- Aos colegas Arlindo Gilson Mendonça e José Luiz Batista pelo apoio e incentivo.

- Ao grupo de apoio computacional da CNEN pelo auxílio computacional prestado.

- A Sra. Eliane Sarmiento de Melo pelo trabalho de datilografia.

- Aos colegas do Centro de Engenharia Nuclear pelo apoio, críticas e discussões.

Solução de Equação de Transporte Linear, Monoenergética em Multi-regiões com Espalhamento Anisotrópico através do Método F_N .

ELIZABETH MAY BRAGA DULLEY PONTEDEIRO

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a resolução da equação de transporte linear, em geometria plana, monoenergética, com espalhamento anisotrópico, em multi-regiões, através do método F_N . Com esse intuito, um conjunto de equações é derivado e um programa de computador, feito em linguagem FORTRAN IV, é confeccionado a fim de se obter resultados numéricos.

O programa de computação (Módulo FNAM-1) possibilita um número máximo de 20 regiões, com ordem máxima de aproximação igual a 10. A ordem limite de espalhamento em cada região é $L=30$, e as condições de contorno permitidas são (em ambas as faces) : superfície livre, incidência cosenoidal, incidência isotrópica, refletividade especular e difusa e incidência monodirecional, sendo que esta última somente para face esquerda.

Os dados de entrada necessários são : ordem da aproximação F_N , número médio de partículas secundárias em cada região, fontes externas, grau de anisotropia em cada região, a espessura ótica da região, tipo de condição de contorno nas faces externas e os coeficientes da função transferência em cada região.

O módulo possibilita cálculos como albedo, fator de transmissão, fluxo e corrente total, fluxo angular nas

interfaces e fator de desvantagem térmica (no caso de cálculos celulares), sendo que neste trabalho apresenta-se resultados numéricos para estas grandezas, usando-se o módulo , para vários problemas padrões.

Solution of the Linear Transport Equation, Monoenergetic, in Multiregions with Anisotropic Scattering by the Method F_N .

ELIZABETH MAY BRAGA DULLEY PONTEDEIRO

ABSTRACT

This work has as a goal the resolution of the linear transport equation, in slab geometry, monoenergetic, with anisotropic scattering, in multiregions, by the method F_N . For this purpose, a group of equations is derived and a computer program is made, in the FORTRAN-IV language, in order to get numerical results.

The computer program (FNAM-1 Module) makes possible a limit number of 20 regions, with the maximal approximation order equal to 10. The limit order of scattering in each region is $L = 30$, and the permitted boundary conditions are (in both sides): free surface, cosine incidence, isotropic incidence, specular reflectivity and diffuse and monodirectional incidence, being this last one just to the left side.

The input data must be: F_N approximation order, average number of secondary particles in each region, external sources, level of anisotropy in each region, optical thickness of the region, type of boundary condition at the boundaries and coefficients of the transfer function in each region.

The program makes possible to calculate albedo, transmission factor, total flux and current, angular flux at the boundaries and the disadvantage factor (in the case of cellular calculus). Numerical results to these factors are shown, using the FNAM-1 Module, for several standard problems in this work.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II	
REVISÃO DE LITERATURA.....	10
CAPÍTULO III	
OBJETIVOS E DIVISÃO DO TRABALHO.....	16
CAPÍTULO IV	
FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E DESENVOLVIMENTO ANALÍTICO.....	18
4.1 - Formulação do Problema.....	18
4.2 - Análise e Desenvolvimento.....	23
CAPÍTULO V	
RESULTADOS NUMÉRICOS	
5.1 - Problemas Padrão.....	43
5.2 - Análise de Resultados.....	62
CAPÍTULO VI	
CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	64
BIBLIOGRAFIA	65
APÊNDICE A	
A.1 - Equação de Boltzmann.....	73
A.2 - Autovalores.....	80

A.3 - Modificação na computação dos polinômios $g_\ell(v)$ e das funções $A_\alpha^{(i)}(v)$, $B_\alpha^{(i)}(v)$ para grandes valores de v e dos coeficientes contínuos $A(\pm \xi)$ 87

A.4 - Desenvolvimento analítico das funções de interesse no método F_N 90

APÊNDICE B

B.1 - Diagrama de bloco e dados de entrada do FNAME-1..... 97

Manual de instruções para usuário. 100

B.2 - Listagem do programa e cartões de controle..... 105

B.3 - Problemas Amostra e resultados obtidos..... 146

ÍNDICE DE FIGURAS E GRÁFICOS

	Pág.
Figura 1.....	19
Figura 2.....	34
Figura 3.....	44
Figura 4.....	45
Figura 5.....	45
Figura 6.....	47
Figura 7.....	49
Figura 8.....	51
Figura 9.....	53
Figura 10.....	56
Figura 11.....	56
Figura 12.....	58
Figura 13.....	61
Figura 14.....	146
Figura 15.....	146
GRÁFICO I.....	55
GRÁFICO II.....	55
GRÁFICO III.....	59
GRÁFICO IV.....	60

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Teoria de Transporte é a descrição matemática da migração de partículas, ou radiação, através de meios materiais. Uma vez que não se pode especificar a posição e velocidade de cada partícula individualmente, devido ao número colossal destas, a equação de transporte baseia-se no comportamento médio de uma população de partículas.

Os processos de transporte podem envolver diferentes tipos de partículas, tais como, neutrons, moléculas de gás, ions, eletrons, ftons ou ondas. Assim as principais aplicações diretas da teoria de transporte são no estudo e projeto de reatores nucleares, projetos de blindagens para reatores, na astrofísica (difusão da luz em atmosferas estelares e penetração da luz em atmosferas planetárias), dinâmica dos gases rarefeitos (propagação do som e difusão de moléculas nos gases) e física do plasma (teoria cinética do plasma).

Historicamente a equação de transporte foi introduzida por Boltzmann em 1872, sendo em sua forma mais geral, uma equação íntegro-diferencial não linear. Contudo, para descrever o transporte de partículas não carregadas (como ftons e neutrons), é possível utilizar-se a equação de Boltzmann linearizada, a qual é adequada a esse tipo de problema (vide Apêndice A-1).

Na primeira parte deste século investigações de transferência da radiação através de atmosferas estelares levou a estudos elementares da Equação de Transporte. Entretanto, nenhum progresso matemático realmente importante foi feito até a solução do chamado "problema de Milne" por

Wiener e Hopf em 1931 /73/. Com a descoberta do neutron, o interesse na teoria de transporte foi estimulado devido a necessidade do desenvolvimento dos reatores nucleares e da grande urgência de obter-se resultados numéricos da equação de Boltzmann. Tal necessidade resultou em vários métodos de solução "aproximada" da Equação de Transporte / 3 /.

Uma vez que o comportamento de um reator nuclear é governado pela distribuição no espaço, energia, direção e tempo dos neutrons no sistema, o problema central da teoria do reator é predizer essa distribuição.

Teoricamente o problema da teoria do reator poderia ser solucionado inserindo-se na equação de transporte um conjunto completo de seções de choque apropriadas, as quais representassem as probabilidades de interação do neutron com o sistema, e usar-se um método de solução para obtenção de resultados numéricos. Porém, na prática isto prova não ser possível, uma vez que a variação das seções de choque do neutron com a energia é extremamente complexa, o que dificulta o tratamento matemático para a solução da Equação de Transporte /13/.

Desta forma, alguns dos primeiros trabalhos em Teoria de Transporte foram concebidos com a distribuição de partículas somente no espaço e ângulo, removendo-se a dependência energética por integração. Por essa razão, foi denominada teoria a uma velocidade. Essa aproximação, apesar de não ser muito precisa, tem sua importância baseada no fato que é um método conveniente para resolver problemas auxiliares / 9 /.

Para aplicação em projetos de reatores, desenvolveu-se inicialmente uma versão simplificada da Teoria de Transporte, conhecida como Teoria de Difusão /38/. Nesta aproximação considera-se os neutrons como um "fluido", descrevendo-se apenas a distribuição espacial dos mesmos, e impondo-se uma direção preferencial para as partículas atra

vés da Lei de Fick. A teoria de difusão oferece bons resultados para grandes distâncias, falhando para cálculos de pequenos sistemas ou perto de fontes e fronteiras.

Contudo, para aplicação em cálculo do transporte de radiação em blindagem (deep penetration problems) necessita-se métodos mais precisos, baseados em considerações mais exatas acerca da migração de neutrons. Assim, usa-se a Equação de Boltzmann para esses cálculos, uma vez que necessita-se conhecer a distribuição de partículas na superfície da blindagem. Desta forma, na medida em que a teoria de difusão assume espalhamento isotrópico e não leva em consideração a componente angular do campo de radiação então não é conveniente na solução de problemas de transporte aplicados a blindagem, onde é necessário levar-se em conta a componente espalhada, a qual é altamente anisotrópica em problemas de penetração profunda.

No que concerne à obtenção de soluções da Equação de Transporte, vários métodos foram desenvolvidos. No tratamento da dependência energética, pode-se tratar a energia como uma variável contínua, o que dificulta a obtenção de soluções rigorosas, uma vez que os parâmetros nucleares possuem complicada dependência energética. Um procedimento comum, nesse caso, é expandir-se os termos dependentes da energia em polinômios, tendo o mesmo intervalo de variação que a energia, isto é, de zero a infinito, e que sejam ortogonais, como por exemplo os polinômios de Hermite ou Laguerre / 1 , 21 /.

Outro método utilizado é o de "multigrupos", no qual o intervalo de energia de interesse dos neutrons é dividido em um número finito de sub-intervalos (grupos). Assume-se então que as seções de choque em cada grupo são constantes, isto é, possuem um valor médio sobre o intervalo de energia.

Para tratamento da dependência angular do fluxo,

expande-se este em um conjunto completo de funções elementares, tais como uma série de polinômios. Em geral usa-se harmônicos esféricos, mas no caso particular de geometria plana ou esférica tal expansão pode ser reduzida a polinômios de Legendre. Dentre os métodos matemáticos que utilizam esse tipo de aproximação pode-se citar o "método P_N " /44/, o qual utiliza uma expansão finita de polinômios de Legendre truncada na ordem $(N+1)$. Neste método, a equação integro-diferencial é transformada, devido à aproximação acima descrita, em um conjunto de $(N+1)$ equações diferenciais acopladas para os coeficientes da expansão polinomial, as quais são solucionadas por técnicas convenientes.

O método P_N apresenta bons resultados numéricos quando aplicados a problemas simples, em geometria plana e esférica. Em geral, contudo, apenas as aproximações de ordem ímpar são consideradas, por apresentarem melhores resultados. Dentre os códigos que utilizam essa técnica, pode-se citar o módulo MPN-1 /74/, que soluciona a Equação de Transporte em geometria plana, com multi-regiões e ordem de espalhamento anisotrópico geral.

Para obter-se soluções numéricas da equação de Boltzmann pode-se usar o método de ordenadas discretas ou S_N / 7/, o qual tem sido utilizado com frequência nos códigos empregados em cálculos de reatores. A base essencial do método é que a distribuição angular é calculada em um número de direções discretas, ao invés de usar harmônicos esféricos. Na solução de problemas práticos pela técnica de ordenadas discretas, uma variável discreta da energia é introduzida através da aproximação de multigrupo, e uma malha de espaços discretos é usado para as coordenadas espaciais. Desta forma, todas as variáveis independentes da Equação de Transporte são tratadas como discretas.

O método S_N apresenta algumas vantagens, na medida em que pode ser utilizado para geometria esférica, plana ou cilíndrica, e dependendo da sofisticação desejada, os

cálculos S_N são fáceis de preparar. Os cálculos unidimensionais são mais rápidos (em tempo de computador) que o método de Monte Carlo. Entretanto, a convergência do procedimento iterativo não é sempre uniforme e bem definida, necessitando que se determine, após cada iteração, o máximo erro no fluxo escalar. Além disso, aberrações no fluxo são frequentemente observadas em duas dimensões, devido a fontes localizadas e à propagação de neutrons em direções discretas (ray effect) /21/ .

Dentre os códigos computacionais que fazem uso da técnica de ordenadas discretas e que utilizam método de multigrupos, pode-se citar o código ANISN /22/ e o DTF-IV /48/, os quais podem ser usados diretamente para o transporte de neutrons e gamas em geometria cilíndrica, esférica ou plana unidimensional, com ordem de espalhamento anisotrópico geral, oferecendo uma grande variedade de opções de condição de contorno e opções de fonte. A duas dimensões tem-se os códigos DOT e TWOTRAN /49/, com características similares aos citados acima.

Outro método numérico de solução da Equação de Transporte que recentemente tem sido bastante usado, é o método de elementos finitos. Este método permite reduzir o número de pontos de malha e representar qualquer geometria complexa em detalhe, sem usar um número excessivo de nós na malha.

A essência do procedimento, em elementos finitos, é dividir a região sob consideração em um número finito de regiões, geometricamente simples, denominados "elementos finitos". Adota-se, então, a técnica de Ritz-Galerkin /51/, com o funcional expandido em termos de funções bases, as quais são polinômios contínuos por partes (definidos para cada malha).

Inicialmente chamado TRIPLET, o TRIDENT /21/ foi o primeiro código a empregar o método de elementos finitos.

Ele combina técnica de ordenadas discretas para o ângulo θ , com o esquema de elementos finitos para a variável espacial.

Na solução do processo de transporte pode-se também aplicar o método de Monte Carlo, que é a simulação de um problema físico ou matemático, através da técnica de amostragem estatística. Em resumo, este consiste na amostragem aleatória de eventos distribuídos de acordo com uma distribuição de probabilidades, a qual usualmente representa uma situação física, e através de técnicas estatísticas convenientes estima-se as respostas requeridas.

Em cálculos de transporte de neutrons, a aplicabilidade da técnica de Monte Carlo /71/ vem do fato que a seção de choque macroscópica pode ser interpretada como uma probabilidade de interação por unidade de distância percorrida pelo neutron. Assim, nesse método um conjunto de histórias de neutrons é gerado, seguindo-se cada partícula individualmente ao longo de sucessivas colisões. A técnica de Monte Carlo tem demonstrado ser poderosa principalmente em geometrias complexas.

O método acima descrito apresenta incertezas, as quais são devido à limitação que existe no número de histórias examinadas, decorrentes das limitações na capacidade dos computadores digitais /21/. Em códigos que solucionam a Equação de Transporte através de Monte Carlo, pode-se citar o MORSE, que é extremamente geral e flexível, capaz de descrever transporte de neutron e radiação gama ou neutron-gama acoplados, em geometrias arbitrárias. Este código utiliza, ainda, técnica de multigrupo, e tem grande aplicação no cálculo de ambiente de radiação na contenção de reatores nucleares /40/.

Também há os códigos, TART, baseado no formato de multi-grupo, embora um tratamento contínuo da energia, para emissão de neutrons secundários, é incluído e o KENO-IV que é próprio para cálculo de criticalidade, também baseado na

técnica de multigrupo.

O método dos momentos foi formulado por Spencer e Fano e foi a primeira técnica a ser aplicada com sucesso para o transporte de raios gama, com aplicação em blindagem. O uso do método, na solução da Equação de Transporte, é limitado quanto à configuração de fontes e à geometria da blindagem, sendo o método dos momentos usualmente aplicado em meios homogêneos infinitos com fontes planas, pontuais ou lineares /73/.

A técnica acima citada permite o cálculo dos fatores de crescimento, que então podem ser usados para corrigir a componente penetrante do fluxo. RENUPAK é um dos códigos computacionais que usa o método dos momentos para solucionar a equação de Boltzmann em meio infinito homogêneo, baseado na técnica de multi-grupo, com fontes pontuais de fissão e em geometria esférica /21/.

A vantagem obtida pela solução aproximada da Equação de Transporte em problemas complexos, é diminuída pela precisão numérica conseguida. Além disso, é de importância obter-se soluções rigorosas da equação de Boltzmann, mesmo que restritas a problemas simples, na medida em que os resultados obtidos por soluções matematicamente exatas permitem uma comparação entre os vários métodos aproximados, através de problemas padrão.

Soluções rigorosas da Equação de Transporte podem ser obtidas através do método de Transformada de Fourier /3/, ou pelo método de Case /45/. A idéia básica deste último método é construir um conjunto completo de auto-funções ou seja, a solução homogênea é expressa como uma combinação linear de modos normais, e uma solução particular apropriada é proposta para o termo não homogêneo de interesse. Os coeficientes da expansão são determinados de forma que a solução completa satisfaça as condições de contorno para o problema, usando-se as propriedades de ortogonalidade destas auto-

funções.

O método de Case (ou de auto-funções singulares) é também denominado método "exato", pois fornece soluções analíticas do problema, servindo como teste de aproximações da Teoria de Transporte. Além disso, o método fornece informações sobre fenômenos que ocorrem na fronteira do reator, como a determinação precisa da "distância extrapolada".

Um outro método de solução de problemas de transporte, conhecido como "invariant imbedding", foi introduzido por Ambarzumian e Chandrasekhars/73/, com o intuito de resolver problemas sobre a reflexão difusa da luz em atmosfera estelar. Esse método é radicalmente novo na formulação de problemas de transporte, uma vez que não utiliza a equação de Boltzmann. Em essência, consiste na formulação de equações integrais para as funções que descrevem a reflexão e a transmissão da radiação com base nos princípios da invariância. Este foi generalizado para neutrons, devido ao trabalho de Bellman e Kalaba / 4/. Um dos códigos que utiliza essa técnica é o SLDN, específico para cálculo de blindagem, utilizando método de multigrupos para uma dimensão. O método também é aplicável a outras radiações, como neutron e gamma, sendo utilizado na engenharia nuclear na solução de problemas ligados a projetos de blindagem de reatores /21/.

Recentemente, Siewert e colaboradores desenvolveram um novo método aproximado, denominado método F_N (F de fácil) /41/. O método usa parcialmente a técnica de Case para derivar um conjunto de equações singulares para as distribuições angulares nos contornos, e então essas distribuições são aproximadas por um polinômio de ordem N para derivar-se um conjunto de equações algébricas lineares para os coeficientes da expansão polinomial.

O método acima descrito é de valor na resolução de problemas de transporte de radiação, apresentando a vantagem da análise matemática ser simples, apresentando resul

tados numéricos tão precisos quanto as técnicas que fornecem "soluções exatas". Contudo, como o F_N faz uso da técnica de Case para solucionar a Equação de Transporte, a sua aplicação torna-se restrita a problemas com geometria plana ou a geometrias que possam ser reduzidas a geometria plana.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo uma revisão dos principais trabalhos em Teoria de Transporte é apresentado de maneira sucinta, dando-se ênfase maior aos trabalhos que utilizaram o método F_N .

Os primeiros trabalhos referentes à Teoria de Transporte foram iniciados na primeira parte deste século, visando as aplicações no transporte da radiação luminosa em atmosfera planetárias e estelares (transferência radiativa). Dentre vários outros trabalhos, citam-se os de Milne /47/, Ambarzumian /2/, Schwarzschild /58/, e o clássico trabalho de Eddington /20/. Uma excelente revisão dos problemas clássicos, em transferência radiativa, e os métodos de solução destes, pode ser encontrada no livro de Chandrasekhars /12/.

Com a construção dos primeiros reatores nucleares, resultados numéricos através da solução da equação de Boltzman se fizeram necessários, dando origem aos métodos aproximados. Dentre estes, o primeiro a ser usado foi a Teoria de Difusão, onde uma descrição geral e aplicações em física de reatores pode ser encontrada, entre outros, nos livros de Lamarsh /38/, e Duderstadt /16/.

Outros métodos usados em Teoria de Transporte foram desenvolvidos, tais como método P_N /44/ devido a Mark, método DP_N /76/ devido a Ivon, e o S_N /7/ ou ordenadas discretas, devido a Carlson. Um resumo destas e outras técnicas aproximadas de solução da equação de Boltzmann podem ser encontradas nos livros de Bell e Glasstone /3/, Davison /13/ e Duderstadt e Martin /17/. Além destes textos básicos, uma exposição dos primeiros métodos usados em Teoria de Transpor-

te com aplicação na difusão de neutrons, pode ser encontrada na monografia de Case, Hoffmann e Placzek/10/.

Soluções analíticas da equação de transporte foram obtidas por Case /9/ em 1960. O método proposto consiste em se construir um conjunto completo de auto-funções ortogonais, sendo a solução do problema expressa por uma combinação linear destas auto-funções com coeficientes arbitrários, que podem ser determinados a partir de condições de contorno e de propriedades de ortogonalidade das auto-funções. Uma excelente revisão da técnica de Case pode ser encontrada nos livros de McCormick e Kúscer /45/, e de Case e Zweifel /11/.

A partir do trabalho de Case, centenas de publicações foram feitas usando este método, visando a aplicação e a generalização em diferentes geometrias, em problemas dependentes do tempo e aplicação em multigrupo. Entre os vários trabalhos citam-se, em um grupo de energia, os de Zelazny /77/, Pahor /53/, Kúscer e Zweifel/36/, Shure e Natelson /59/, McCormick e Kúscer /45/; em outras geometrias diferentes da plana, citam-se os trabalhos de Mitsis/48/ e Erdmann e Siewert /23/, em problemas dependentes do tempo de Kúscer e Zweifel /36/, e em multigrupos os de Metcalf e Zweifel /46/ Reith e Siewert /56/, Siewert e Ishiguro/66/, Ishiguro /32/, Ishiguro e Maiorino /35/ e Yoshimura e Katsuragi /75/.

Um método aproximado da equação de transporte, que possui semelhança com o método F_N , é o denominado C_N , introduzido por Benoist e Kavenoky /5/, os quais aplicaram este método em geometria plana e uma velocidade.

Em 1977, Ishiguro /33/, Ishiguro e Garcia /34/ resolveram o problema de multi-regiões para um e dois grupos de energia, em geometria plana, usando um novo método (método da regularização das equações integrais singulares) apresentando resultados para um e dois grupos de energia.

O método F_N foi introduzido por duas publicações simultâneas, onde Siewert e Benoist /62/ apresentaram a teoria do método e em seguida Grandjean e Siewert /30/ aplicaram a técnica F_N para resolver problemas básicos, como o problema clássico do albedo e o problema da fonte constante, bem como o cálculo do albedo para uma placa finita. Nesse mesmo ano, Siewert /61/ publicou um trabalho onde problemas em transferência radiativa, com geometria plana e espalhamento anisotrópico são solucionados através dessa técnica, porém sem publicar resultados numéricos.

Após essas publicações, várias outras as seguiram, onde o método F_N foi utilizado para solucionar diversos problemas em Teoria de Transporte.

Soluções da equação de Boltzmann com espalhamento anisotrópico, usando o F_N , foram apresentadas por Siewert, Ishiguro, Grandjean e Devaux /14/, onde grandezas como albedo e fator de transmissão foram calculados para multi-regiões com geometria plana. Pela primeira vez Maiorino e Siewert /67/ usaram a nova técnica a fim de estabelecer a intensidade média de corrente, e fluxo no interior de uma esfera finita com uma fonte puntual de radiação localizada no centro da esfera. Nesse mesmo ano, Siewert, Yuan e Devaux /15/ apresentaram o formalismo necessário para solucionar, através do método F_N , problemas em transferência radiativa sem simetria azimutal, em geometria plana. Nessa publicação, considerou-se apenas uma região, com incidência monodirecional e resultados da distribuição angular nas interfaces foram tabulados.

A seguir, Neshat e Maiorino /50/ utilizaram a nova técnica a fim de solucionar o problema de criticidade para um reator de placas planas com um refletor finito. Resultados numéricos para espessura crítica e espessura do refletor são mostradas, para diferentes ordens de aproximação e diferentes valores do número médio de neutrons secundários por colisão. A seguir Maiorino e Siewert/41/

apresentaram resultados para o problema crítico num reator a tres regiões e para o fator de utilização térmica também.

O método foi também aplicado a fim de se computar o fluxo de calor líquido radiativo, relevante em transferência de calor por radiação, em meios espalhadores anisotrópico, em geometria plana e com reflexão especular e difusa nos contornos, publicação feita por Siewert, Maiorino e Ozisik /70/.

Maiorino e Siewert /43/ estabeleceram em seguida, resultados numéricos básicos para estudos do transporte de luz polarizada em atmosferas finitas através da técnica F_N . Fernandes e Ishiguro /24/ utilizaram o método para solucionar um problema em geometria plana, com tres regiões para um e dois grupos de energia, embora os resultados para dois grupos não tenham sido considerados satisfatórios.

Em 1980, Dunn e Maiorino /18/ investigaram certas características da formulação inversa da equação de Boltzmann com espalhamento anisotrópico, em transferência radiativa. Especificamente, soluções aproximadas para o problema direto foram construídas pelos métodos F_N e Monte Carlo, sendo empregado diversos esquemas numéricos a fim de demonstrar-se características computacionais para o cálculo do problema inverso. Neste trabalho concluiu-se que o albedo para espalhamento simples pode ser calculado com precisão, mas para leis de espalhamento de alta ordem torna-se mais difícil de se obter bons resultados.

Nesse mesmo ano, Siewert e Maiorino fizeram duas publicações, onde a técnica F_N é usada para solucionar, de maneira concisa, o problema completo concernente à difusão de luz polarizada em uma atmosfera planetária com espalhamento tipo Rayleigh e isotrópico /68/, assim como a solução para um problema de uma atmosfera finita com reflexão de Lambert nos contornos /69/, onde valores do coefici

ente de reflexão são calculados bem como albedo para espalhamento simples (problema inverso).

Cálculos para problema em multi-regiões, na teoria de difusão de neutrons, foram feitos por Garcia e Siewert /28/, onde resultados do fluxo para um problema padrão de quatro regiões são apresentados, e comparados com o método "exato".

No campo da dinâmica dos gases rarefeitos, Siewert, Garcia e Grandjean /65/ usaram o método F_N para estabelecer uma solução concisa e precisa para o escoamento de um gás rarefeito entre dois planos paralelos. O modelo usado foi o de Bhatnagar, Gross e Krook (BGK), para descrever o fenômeno físico, e resultados numéricos da taxa de fluxo foram apresentados para uma extensa faixa do número de Knudsen.

Solução e resultados numéricos foram estabelecidos por Siewert e Garcia /64/ para o albedo e distribuição de radiação de fuga relevante para um meio espaço semi-infinito com um albedo para simples espalhamento variando exponencialmente. Nessa publicação, a aproximação F_N inicialmente introduzida foi modificada, a fim de se obter melhores resultados. Desta maneira, fazendo uso da nova aproximação, um trabalho foi publicado por Siewert, Garcia e Pomraning /26/ aplicando o método em teoria cinética do plasma. Assim sendo, o modelo linear da equação de Boltzmann adequada ao transporte de átomos neutros de hidrogênio em um plasma foi solucionada. As condições de contorno consideradas foram de reflexão nos contornos, com o termo de incidência considerado conhecido. Apresentou-se resultados numéricos para problema do meio espaço e placa finita.

Finalmente Siewert e Benoist /63/ mostraram que o método F_N pode ser aplicado a problemas de multigrupo, onde a teoria desenvolvida para moderação de neutrons, ou transporte de radiação gama, reduzindo-se o problema acima

a uma sequência de problemas a uma velocidade. Desta maneira, torna-se evidente a vantagem do F_N em relação a técnicas de resolução da equação de transporte estritamente numéricas, pois o método citado não necessita incremento de tempo de computador para solucionar problemas de multigrupo.

Complementando essa publicação, Garcia e Siewert /27/ apresentaram resultados numéricos para fluxo angular transmitido e refletido para uma placa plana, demonstrando a precisão do método e o baixo custo computacional requerido. Também um estudo dos aspectos computacionais foi realizado, assim como uma apreciação acerca de auto-valores degenerados. Os resultados numéricos apresentados referem-se ao problema do albedo para o transporte de raios gama em 16 e 19 grupos, os quais são comparados com os resultados apresentados pelo código DTF 69 /57/.

Salienta-se que apesar de ter-se apresentado todos os trabalhos referentes ao método F_N , que foram publicados até o momento em que esta dissertação estava sendo escrita, não se pretende que nesta revisão bibliográfica se encontre todos os trabalhos referentes a teoria de transporte, mesmo porque existem na literatura excelentes revisões bibliográficas deste campo, como por exemplo, o recente livro de Duderstadt e Martin /17/ e o livro de McCormick e Küscer /45/.

CAPÍTULO III

OBJETIVOS E DIVISÃO DO TRABALHO

A meta deste trabalho é desenvolver o módulo FNAM-1 (Método F_N , anisotrópico, multi-região, 1 velocidade), que é um programa de computação feito em linguagem FORTRAN, que utiliza o método F_N para a solução da Equação de Transporte linear e monoenergética, em multi-regiões e meios espalhadores anisotrópicos.

O módulo possibilita escolha de ordem de aproximação e número arbitrário de regiões, limitado apenas por questões de memória de computador. Além disso, o espalhamento anisotrópico em cada região é tratado por uma expansão em Polinômios de Legendre de ordem L.

Apesar de limitado em geometria plana e um grupo de energia (no caso de neutrons) ou, em uma frequência (no caso de ftons), o programa permite cálculos preliminares em projetos de blindagens, especialmente no cálculo de albedo e fator de transmissão, assim como enquadra-se dentro de uma filosofia de "Problemas Padrões", permitindo comparar resultados com ANISN /22/, MPN-1 /74/, soluções exatas (quando houver).

O desenvolvimento analítico do método empregado é apresentado no Capítulo IV, onde se discute a solução geral da Equação de Transporte linear e monoenergética usando-se o método F_N , bem como as condições de contorno permitidas. Os resultados numéricos são apresentados no Capítulo V, onde diferentes problemas são propostos.

Conclusões, sugestões e discussões são apresentadas no Capítulo VI sendo que o Apêndice A contém desenvolvimento da Equação de Boltzmann, discussão acerca da obtenção

de auto-valores e equações algébricas utilizadas. O Apêndice B contém o procedimento computacional utilizado, um manual de instruções para utilização do módulo, problemas padrões, bem como listagens dos mesmos.

CAPÍTULO IV

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E DESENVOLVIMENTO ANALÍTICO

4.1 - Formulação do Problema

Neste capítulo desenvolveu-se a análise que é usada, através do método F_N para solucionar a Equação de Transporte em 1 velocidade (ou frequência), com geometria plana, espalhamento anisotrópico de ordem L , em multi-regiões.

A equação descrevendo o transporte de partículas em cada região pode ser escrita como, (vide Apêndice A-1) :

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} I_i(x, \mu) + I_i(x, \mu) = \frac{W_i}{2} \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_{i,\ell} P_\ell(\mu) .$$

$$\int_{-1}^1 P_\ell(\mu') I_i(x, \mu') d\mu' + \frac{S_i}{4\pi} , \quad (4.1)$$

onde i refere-se à região de interesse, x_i é a variável óptica, μ é o cosseno diretor de propagação da radiação medido a partir do eixo x , $I_i(x, \mu)$ é o fluxo angular, W_i é o número de partículas secundárias por colisão na região i , as constantes $f_{i,\ell}$ são os coeficientes da expansão da função transferência em polinômios de Legendre, S_i é a intensidade da fonte externa em cada região, a geometria do problema como mostrado na Figura 1, e L_i representa o grau de anisotropia.

com :

$$\tau_i = \sum_{j=1}^i x_j$$

$$I_i(\tau_i, \mu) = I_{i+1}(\tau_i, \mu) ; \quad \mu \in (-1, 1) \quad \text{e} \quad \mu \neq 0 , \quad (4.1.a.)$$

e as condições de contorno aqui consideradas :

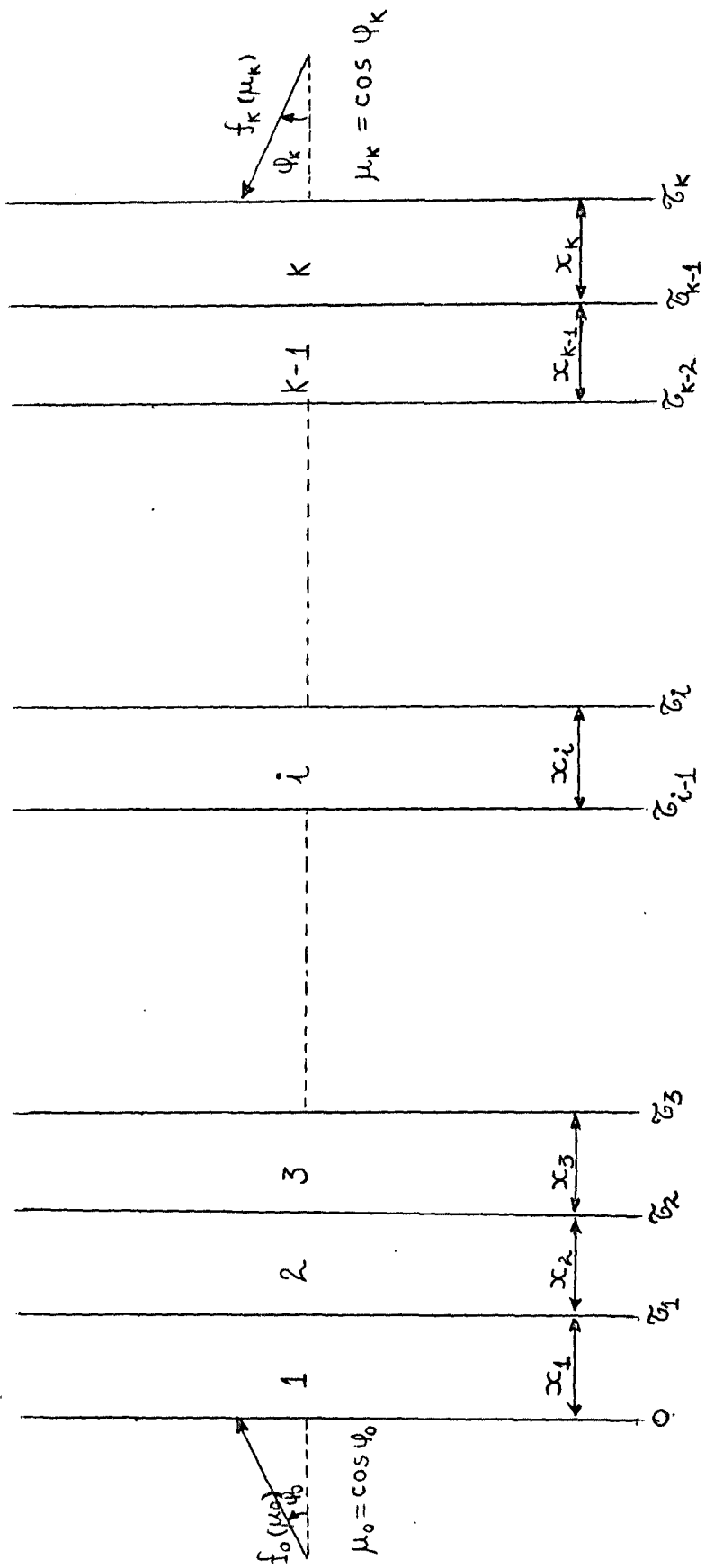


Figura 1 : Geometria do problema considerado.

$$I(0, \mu) = f_0(\mu_0) + \frac{\lambda_1}{2\pi} I(0, -\mu) + \frac{\lambda_2}{2\pi} \int_0^1 I(0, -\mu') \mu' d\mu', \quad \mu > 0, \quad (4.1.b.)$$

$$I(\tau_k, -\mu) = f_k(\mu_k) + \frac{\lambda_1'}{2\pi} I(\tau_k, \mu) + \frac{\lambda_2'}{2\pi} \int_0^1 I(\tau_k, \mu') \mu' d\mu', \quad \mu > 0, \quad (4.1.c.)$$

onde λ_1 e λ_1' representam os coeficientes de refletividade difusa e λ_2 e λ_2' de refletividade especular /70/. As funções $f_0(\mu_0)$ e $f_k(\mu_k)$ são dadas de acordo com as incidências de radiação nos contornos, sendo que aqui se permite as seguintes opções :

i) Incidência Monodirecional :

$$f_0(\mu_0) = \frac{\alpha_1}{2\pi\mu_0} \delta(\mu - \mu_0), \quad \alpha_1 = 1, \quad (4.2.a.)$$

ii) Superfície livre :

$$f_0(\mu_0) = 0, \quad (4.3.a.)$$

e/ou

$$f_k(\mu_k) = 0, \quad (4.3.b.)$$

iii) Incidência Isotrópica :

$$f_0(\mu_0) = 1, \quad (4.4.a.)$$

e/ou

$$f_k(\mu_k) = 1 \quad , \quad (4.4.b.)$$

e

iv) Incidência Cossenoidal

$$f_0(\mu_0) = \sum_{\beta=0}^{N1} d_{\beta} \mu^{\beta} \quad , \quad (4.5.a.)$$

e/ou

$$f_k(\mu_k) = \sum_{j=0}^{N2} c_j \mu^j \quad . \quad (4.5.b.)$$

O problema como formulado acima permite sua aplicação no transporte de neutrons, ou de ftons (luz, raios gama, etc), apenas com a diferença que no caso de neutrons W_i é a razão da seção de choque de espalhamento para a seção de choque total, enquanto que para ftons W_i é a razão entre os coeficientes de espalhamento e total. Além disso, os coeficientes $f_{i,l}$ retratam a lei de espalhamento que a radiação sofre ao interagir com o meio, e portanto para cada tipo de radiação estes devem ser encontrados de acordo com os mecanismos físicos de interação com a matéria. Assim para neutrons, o espalhamento deve ser elástico, e inelástico, e para ftons (no caso de luz) pode ser o espalhamento Rayleigh ou do tipo MIE, e para gamas o espalhamento Compton.

Obviamente, por hipótese, pode-se assumir que os mecanismos de espalhamento de radiação sejam isotrópicos no sistema laboratório, ou seja, $L_i = 0$, $f_{i,0} = 1$. Entretanto, tal suposição nem sempre pode ser aceita, principalmente no

transporte de ftons e desta forma considerar-se-á, para o problema proposto, qualquer grau de anisotropia.

A geometria do problema (multi-região) e as condições de contorno utilizadas, permitem que esta formulação seja aplicada a uma grande variedade de situação físicas, mesmo tendo-se em conta que aqui não se considera a dependência energética do campo de radiação*. Assim, por exemplo, no caso de neutrons, problemas do tipo de interesse em blindagem (multi-regiões, fonte fixa e penetração profunda) podem ser simuladas pelo modelo acima, assim como problemas celulares, necessárias ao cálculo do fator de desvantagens, de utilidade na homogenização de seções de choque para cálculos de física de reatores, podem ser solucionados. Para tanto, basta considerar, por exemplo, duas regiões onde uma é combustível e outra o moderador, onde este último possui uma fonte constante (que representa os neutrons produzidos no combustível como rápidos mas que são moderados e portanto tornam-se térmicos no moderador) e condições de contorno de reflexão total nos contornos, ou seja, sendo $f_0(\mu) = f_k(\mu) = 0$, $\lambda_2 = \lambda_2' = 0$ e $\lambda_1 = \lambda_1' = 1$. Finalmente, problemas do transporte de luz na atmosfera podem ser consideradas, tais como o problema planetário, no qual se tem radiação incidindo no topo da atmosfera, e esta sendo refletida difusamente pelo chamado coeficiente de D'Alembert no solo, pode ser simulado considerando-se $f_0(\mu)$ especificado, λ_1 e λ_2 sendo zero, $f_k(\mu) = 0$, $\lambda_1' = 0$ e $\lambda_2' =$ coeficiente de D'Alembert.

*É interessante salientar que em muitos problemas de interesse prático esta dependência não é necessária. Desta maneira, esta equação poderia representar, por exemplo, o transporte de neutrons rápidos, ou no caso de radiação luminosa é conhecido que as interações não produzem alterações significativas. Além disso, é importante lembrar que qualquer problema de multigrupo (deprezando-se espalhamento para cima, como ocorre com raios gama) pode ser encarado como uma série de problemas em um grupo.

Várias são as aplicações de transferência de calor por radiação em meios participantes, nos quais condução e convecção são desprezíveis. Por exemplo, em transferência de calor através de materiais porosos tais como fibras ou pós, tendo aplicação tanto em baixa quanto em alta temperatura, radiação é a forma dominante de transferência de energia.

Em aplicação de foguetes, quando propulsores sólidos aluminizados são queimados, o gás de escape contém um número significativo de micro-partículas as quais espalham radiação. Assim sendo, transferência de calor no fluxo de um gás altamente turbulento a altas temperaturas contendo partículas espalhadas é caracterizado como um problema de radiação em um meio espalhador, emissor e absorvedor.

4.2 - Análise e Desenvolvimento

A solução geral da eq. 4.1 pode ser escrita em termos das conhecidas auto-funções de Case /45/ e uma solução particular $I_{pi}(x, \mu)$ na forma ,

$$\begin{aligned}
 I_i(x, \mu) = & \sum_{\beta=0}^{\kappa_i-1} \left[A(v_{i,\beta}) \phi_i(v_{i,\beta}, \mu) e^{-x/v_{i,\beta}} + \right. \\
 & \left. + A(-v_{i,\beta}) \phi_i(-v_{i,\beta}, \mu) e^{x/v_{i,\beta}} \right] + \int_{-1}^1 A_i(v) \phi_i(v, \mu) e^{-x/v} dv + \\
 & + I_{pi}(x, \mu) \quad , \quad (4.6.)
 \end{aligned}$$

onde $I_{pi}(x, \mu) = \frac{S_i}{4\pi(1 - W_i)}$, para $x \in [\tau_{i-1}, \tau_i]$, $i = 1, 2, 3, \dots, k$.

e as auto-funções sendo dadas por /14/ :

$$\phi_i(v, \mu) = \frac{1}{2} W_i \nu g_i(v, \mu) \text{Pv} \left(\frac{1}{v-\mu} \right) + \lambda_i(v) \delta(v-\mu) , \quad (4.7.)$$

com

$$g_i(v, \mu) = \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_{i,\ell} g_{i,\ell}(v) P_\ell(\mu) , \quad (4.8.)$$

$$\lambda_i(v) = 1 + \nu \text{Pv} \int_{-1}^1 \psi_i(x) \frac{dx}{x-\nu} , \quad (4.9.)$$

$$\psi_i(x) = \frac{1}{2} W_i g_i(x, x) , \quad (4.10.)$$

onde Pv indica que a integral sobre a função, deve ser realizado no sentido do valor principal de Cauchy /60/, os polinômios $g_{i,\ell}(v)$ podendo ser gerados da seguinte maneira (vide apêndice A.4.).

$$\nu h_{i,\ell} g_{i,\ell}(v) = (\ell+1) g_{i,\ell+1}(v) + \ell g_{i,\ell-1}(v) , \quad (4.11.)$$

com

$$g_{i,0}(v) = 1 \quad \text{e} \quad g_{i,1}(v) = \nu(1-W_i) , \quad (4.12.a,b.)$$

e

$$h_{i,\ell} = (2\ell+1) (1 - W_i f_{i,\ell}) . \quad (4.13.)$$

As auto funções são dadas por :

$$\phi_i(v_{i,\beta}, \mu) = \frac{1}{2} W_i v_{i,\beta} g_i(v_{i,\beta}, \mu) \left(\frac{1}{v_{i,\beta}^{-\mu}} \right), \quad (4.14.)$$

onde $v_{i,\beta}$ são os zeros da função dispersão /60/ (Vide Apêndice A.2), $v \in (0,1)$ e $A(\pm v_{i,\beta})$ e $A(v)$ são constantes as quais devem ser determinadas a partir das condições de contorno.

É conhecido que as auto-funções de Case são ortogonais /45/ para $\xi = v_i$, ou $\xi \in (-1,1)$, ou seja :

$$\int_{-1}^1 \mu \phi(\xi, \mu) \phi(\xi', \mu) d\mu = 0 \quad ; \quad \xi \neq \xi', \quad (4.15.)$$

$$= N(\xi); \quad \xi = \xi^i, \quad (4.16.)$$

onde ξ e $\xi' \in (-1,1)$ ou igual aos auto-valores discretos, e os fatores de normalização $N(\xi)$, dados por :

$$N(\pm v_i) = \frac{\pm 1}{2} W_i v_i^2 g(v_i, v_i) \Lambda'(v_i) \quad (4.17.)$$

e

$$N(\pm \xi) = \pm \xi \left[\lambda^2(\xi) + \frac{1}{4} \pi^2 W^2 \xi^2 g^2(\xi, \xi) \right], \quad \xi \in (-1,1), \quad (4.18.)$$

onde $\Lambda'(\xi)$ é a derivada da função dispersão /60/, (Vide Apêndice A.2) e $\lambda(\xi)$ dado por :

$$\lambda(\xi) = 1 + \xi \text{ Pv} \int_{-1}^1 \psi(x) \frac{dx}{x-\xi} \quad (4.19.)$$

e pode ser calculada por :

$$\lambda(\xi) = 1 + \frac{w\xi}{2} \sum_{\ell=1}^L (2\ell+1) f_{\ell} g_{\ell}(\xi) \Gamma_{\ell}(\xi) + \xi \psi(\xi) \log \frac{1-\xi}{1+\xi} , \quad (4.20.)$$

onde os polinômios Γ_{ℓ} são discutidos no Apêndice A.4 .

Desta forma, se a eq. (4.6.) for escrita para valores de x nos contornos e nas interfaces, multiplicada por $\mu \phi(-\xi, \mu)$ ou $\mu \phi(\xi, \mu)$ e integrada em $\mu \in (-1, 1)$, pode-se desenvolver um sistema de equações integrais singulares acopladas para as distribuições angulares nas interfaces :

$$\begin{aligned} & \int_0^1 \mu \left[\phi_1(-\xi, \mu) I_1(0, \mu) - \phi_1(\xi, \mu) I_1(0, -\mu) \right] d\mu + \\ & + e^{-\Delta_1/\xi} \int_0^1 \xi \left[\phi_1(\xi, \mu) I_1(\tau_1, -\mu) - \phi_1(-\xi, \mu) I_1(\tau_1, \mu) \right] d\mu = \\ & = \int_{-1}^1 \mu \phi_1(-\xi, \mu) \left[I_{P1}(0, \mu) e^{-\Delta_1/\xi} - I_{P1}(\tau_1, \mu) \right] d\mu , \quad \xi \in P_1 , \end{aligned} \quad (4.21.)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^1 \mu \left[\phi_1(-\xi, \mu) I_1(\tau_1, -\mu) - \phi_1(\xi, \mu) I_1(\tau_1, \mu) \right] d\mu + \\ & + e^{-\Delta_1/\xi} \int_0^1 \mu \left[\phi_1(\xi, \mu) I_1(0, \mu) - \phi_1(-\xi, \mu) I_1(0, -\mu) \right] d\mu = \\ & = \int_{-1}^1 \mu \phi_1(\xi, \mu) \left[e^{-\Delta_1/\xi} I_{P1}(0, \mu) - I_{P1}(\tau_1, \mu) \right] d\mu , \quad \xi \in P_1 , \end{aligned} \quad (4.22.)$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^1 \mu \left[\phi_i(-\xi, \mu) I_i(\tau_{i-1}, \mu) - \phi_i(\xi, \mu) I_i(\tau_{i-1}, -\mu) \right] d\mu - \\
& - e^{-\Delta_i/\xi} \int_0^1 \mu \left[\phi_i(-\xi, \mu) I_i(\tau_i, \mu) - \phi_i(\xi, \mu) I_i(\tau_i, -\mu) \right] d\mu = \\
& -1 \int_0^1 \mu \phi_i(-\xi, \mu) \left[I_{P_i}(\tau_{i-1}, \mu) - e^{-\Delta_i/\xi} I_{P_i}(\tau_i, -\mu) \right] d\mu, \quad \xi \in P_i, \\
\end{aligned} \tag{4.23.}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^1 \mu \left[\phi_i(-\xi, \mu) I_i(\tau_i, -\mu) - \phi_i(\xi, \mu) I_i(\tau_i, \mu) \right] d\mu + \\
& + e^{-\Delta_i/\xi} \int_0^1 \mu \left[\phi_i(\xi, \mu) I_i(\tau_{i-1}, \mu) - \phi_i(-\xi, \mu) I_i(\tau_{i-1}, -\mu) \right] d\mu = \\
& = \int_{-1}^1 \mu \phi_i(\xi, \mu) \left[e^{-\Delta_i/\xi} I_{P_i}(\tau_{i-1}, \mu) - I_{P_i}(\tau_i, \mu) \right] d\mu, \quad \xi \in P_i, \\
\end{aligned} \tag{4.24.}$$

e

$$\begin{aligned}
& \int_0^1 \mu \left[\phi_k(\xi, \mu) I_k(\tau_{k-1}, -\mu) - \phi_k(-\xi, \mu) I_k(\tau_{k-1}, \mu) \right] d\mu + \\
& + e^{-\Delta_k/\xi} \int_0^1 \mu \left[\phi_k(-\xi, \mu) I_k(\tau_k, \mu) - \phi_k(\xi, \mu) I_k(\tau_k, -\mu) \right] d\mu =
\end{aligned}$$

$$= \int_{-1}^1 \mu \phi_k(-\xi, \mu) [I_{Pk}(\tau_k, \mu) e^{-\Delta_k/\xi} - I_{Pk}(\tau_{k-1}, \mu)] d\mu, \quad \xi \in P_k, \quad (4.25.)$$

$$\begin{aligned} & \int_{-1}^1 \mu [\phi_k(-\xi, \mu) I_k(\tau_k, -\mu) - \phi_k(\xi, \mu) I_k(\tau_k, \mu)] d\mu + \\ & + e^{-\Delta_k/\xi} \int_{-1}^1 \mu [\phi_k(\xi, \mu) I_k(\tau_{k-1}, \mu) - \phi_k(-\xi, \mu) I_k(\tau_{k-1}, -\mu)] d\mu = \\ & = \int_{-1}^1 \mu \phi_k(\xi, \mu) [e^{-\Delta_k/\xi} I_{Pk}(\tau_{k-1}, \mu) - I_{Pk}(\tau_k, \mu)] d\mu. \quad (4.26) \end{aligned}$$

onde $P_i = \{v_i, \beta U(0,1)\}$, e

$$\Delta_i = \tau_i - \tau_{i-1}, \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Introduzindo as aproximações F_N , para as distribuições nas interfaces, ou seja,

$$I_i(\tau_i, -\mu) = \sum_{\alpha=0}^N a_{i,\alpha} \mu^\alpha, \quad \mu > 0, \quad (4.27.)$$

$$i = 0, 1, \dots, k-1,$$

e

$$I_i(\tau_i, \mu) = \frac{\alpha_1}{2\pi\mu_0} \delta(\mu - \mu_0) e^{-\tau_i/\mu_0} + \sum_{\alpha=0}^N b_{i,\alpha} \mu^\alpha, \quad \mu > 0,$$

$$(4.28.)$$

$$i = 1, 2, \dots, k,$$

onde o termo exponencial é a função usada para representar a componente penetrante quando houver incidência monodirecional na face esquerda da placa, obtem-se o seguinte conjunto de equações algébricas acopladas para os coeficientes da aproximação polinomial ;

$$\begin{aligned} & \sum_{\alpha=0}^N \{ a_{0,\alpha} \left[\frac{\lambda_1}{2\pi} A_{\alpha}^{(1)}(\xi) + \frac{\lambda_2}{2\pi(\alpha+2)} A_{\alpha}^{(1)}(\xi) - B_{\alpha}^{(1)}(\xi) \right] + \\ & + e^{-\Delta_1/\xi} \left[a_{1,\alpha} B_{\alpha}^{(1)}(\xi) - b_{1,\alpha} A_{\alpha}^{(1)}(\xi) \right] \} = - \frac{S_1}{2\pi W_1} (1 - e^{-\Delta_1/\xi}) + \\ & + \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_1} \vartheta_1(-\xi, \mu_0) e^{-\Delta_1(1/\xi + 1/\mu_0)} - \frac{2}{W_1 \xi} R_0(\xi) , \end{aligned} \quad (4.29.)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\alpha=0}^N \{ e^{-\Delta_1/\xi} a_{0,\alpha} \left[\frac{\lambda_1}{2\pi} B_{\alpha}^{(1)}(\xi) + \frac{\lambda_2}{2\pi(\alpha+2)} B_{\alpha}^{(1)}(\xi) - A_{\alpha}^{(1)}(\xi) \right] + \\ & + a_{1,\alpha} A_{\alpha}^{(1)}(\xi) - b_{1,\alpha} B_{\alpha}^{(1)}(\xi) \} = - \frac{S_1}{2\pi W_1} (1 - e^{-\Delta_1/\xi}) - \\ & - \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_1} (e^{-\Delta_1/\xi} - e^{-\Delta_1/\mu_0}) \vartheta_1(-\xi, \mu_0) \end{aligned} \quad (4.30.)$$

$$\sum_{\alpha=0}^N \{ b_{i-1,\alpha} A_{\alpha}^{(i)}(\xi) - a_{i-1,\alpha} B_{\alpha}^{(i)}(\xi) + e^{-\Delta_i/\xi} \cdot$$

$$\cdot \left[a_{i,\alpha} B_{\alpha}^{(i)}(\xi) - b_{i,\alpha} A_{\alpha}^{(i)}(\xi) \right] = - \frac{S_i}{2\pi W_i} \left[1 - e^{-\Delta_i/\xi} \right] -$$

$$- \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_1} \phi_i(-\xi, \mu_0) \left[e^{-\tau_{i-1}/\mu_0} - e^{-\Delta_i/\xi - \tau_i/\mu_0} \right], \quad (4.31.)$$

$$\sum_{\alpha=0}^N \left[\{ a_{i,\alpha} A_{\alpha}^{(i)}(\xi) - b_{i,\alpha} B_{\alpha}^{(i)}(\xi) \} + e^{-\Delta_i/\xi} \{ b_{i-1,\alpha} B_{\alpha}^{(i)}(\xi) - \right.$$

$$\left. - a_{i-1,\alpha} A_{\alpha}^{(i)}(\xi) \} \right] = - \frac{S_i}{2\pi W_i} (1 - e^{-\Delta_i/\xi}) -$$

$$- \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_i} \phi_i(\xi, \mu_0) \left[e^{-\Delta_i/\xi - \tau_{i-1}/\mu_0} - e^{-\tau_i/\mu_0} \right], \quad (4.32.)$$

e

$$\sum_{\alpha=0}^N \{ b_{k,\alpha} [B_{\alpha}^{(k)}(\xi) - \frac{\lambda_1}{2\pi} A_{\alpha}^{(k)}(\xi) - \frac{\lambda_2}{2\pi(\alpha+2)} A_0^{(k)}(\xi)] +$$

$$+ e^{-\Delta_k/\xi} [a_{k-1,\alpha} A_{\alpha}^{(k)}(\xi) - b_{k-1,\alpha} B_{\alpha}^{(k)}(\xi)] \} =$$

$$= \frac{S_k}{2\pi W_k} (1 - e^{-\Delta_k/\xi}) - \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_k} \phi_k(\xi, \mu_0) \left[e^{-\Delta_k/\xi - \tau_{k-1}/\mu_0} - e^{-\tau_k/\mu_0} \right]$$

$$+ \frac{\lambda_2}{2\pi} \frac{\alpha_1}{2\pi} A_0^{(k)}(\xi) + \frac{2}{\xi W_k} S_k(\xi), \quad (4.33.)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{\alpha=0}^N \{ a_{k-1,\alpha} B_{\alpha}^{(k)}(\xi) - b_{k-1,\alpha} A_{\alpha}^{(k)}(\xi) + e^{-\Delta_k/\xi} b_{k,\alpha} [A_{\alpha}^{(k)}(\xi) - \\
& - \frac{\lambda_1'}{2\pi} B_{\alpha}^{(k)}(\xi) - \frac{\lambda_2'}{2\pi(\alpha+2)} B_{\alpha}^{(k)}(\xi)] \} = \frac{S_k}{2\pi W_k} (1 - e^{-\Delta_k/\xi}) + \\
& + \frac{\alpha_1}{\pi \xi W_k} \phi_k(-\xi, \mu_0) [e^{-\tau_{k-1}/\mu_0} - e^{-\tau_k/\mu_0 - \Delta_k/\xi}] + \\
& + \frac{\lambda_2'}{2\pi} \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\Delta_k/\xi} B_0^{(k)}(\xi) + \frac{2}{\xi W_k} R_k(\xi) , \tag{4.34.}
\end{aligned}$$

onde as funções $B_{\alpha}(\xi)$ e $A_{\alpha}(\xi)$ podem ser calculadas por uma relação de recorrência /14/ dada por :

$$A_{\alpha+1}^{(i)}(\xi) = -\xi A_{\alpha}^{(i)}(\xi) + \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_{i,\ell} (-1)^{\ell} g_{i,\ell}(\xi) \Delta_{\alpha,\ell} , \tag{4.35.}$$

$$\text{com } \Delta_{\alpha,\ell} = \int_0^1 \mu^{\alpha+1} P_{\ell}(\mu) d\mu \quad e \tag{4.36.}$$

$$\begin{aligned}
A_0^{(i)}(\xi) &= 1 - \frac{2}{W_i} \xi \psi_i(\xi) \log(1+1/\xi) + \\
& + \sum_{\ell=0}^N (2\ell+1) f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \Pi_{\ell}(\xi) , \quad i = 1, 2, \dots, k , \\
\end{aligned} \tag{4.37.}$$

$$B_{\alpha+1}^{(i)}(\xi) = \xi B_{\alpha}^{(i)}(\xi) - \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \Delta_{\alpha,\ell}, \quad (4.38)$$

com

$$B_0^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i} - 2 + A_0^{(i)}(\xi), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (4.39)$$

Além do mais, os polinômios Π_{ℓ} podem ser gerados ($\ell > 0$) de :

$$(2\ell+1) \xi \Pi_{\ell}(\xi) = (-1)^{\ell} (2\ell+1) \Delta_{0,\ell} + (\ell+1) \Pi_{\ell+1}(\xi) + \ell \Pi_{\ell-1}(\xi), \quad (4.40)$$

com

$$\Pi_0(\xi) = 1, \quad \Pi_1(\xi) = \xi - \frac{1}{2} \quad \text{e} \quad \Pi_2 = \frac{3}{2} \xi(\xi - 1/2), \quad (4.41.a,b,c)$$

e ainda ;

$$R_0(\xi) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{2\pi} \vartheta_1(-\xi, \mu_0), \quad \alpha_1 = 1 \end{array} \right. \quad (4.42)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{w_1 \xi}{2} \sum_{\beta=0}^{L_1} d_{\beta} A_{\beta}^{(1)}(\xi), \quad \alpha_1 = 0 \end{array} \right\} \quad (4.43)$$

ou

$$\left. \begin{array}{l} I_0 \frac{w_1 \xi}{2} A_0^{(1)}(\xi), \quad \alpha_1 = 0 \end{array} \right\} \quad (4.44)$$

$$S_0(\xi) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{2\pi} \vartheta_1(\xi, \mu_0) e^{-\Delta_1/\xi}, \quad \alpha_1 = 1 \end{array} \right. \quad (4.45)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{w_1 \xi}{2} e^{-\Delta_1/\xi} \sum_{\beta=0}^{L_1} d_{\beta} B_{\beta}^{(1)}(\xi), \quad \alpha_1 = 0 \end{array} \right\} \quad (4.46)$$

$$\left. \begin{array}{l} I_0 \frac{w_1 \xi}{2} e^{-\Delta_1/\xi} B_0^{(1)}(\xi), \quad \alpha_1 = 0 \end{array} \right\} \quad (4.47)$$

$$R_k(\xi) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{w_k \xi}{2} e^{-\Delta_k/\xi} \sum_{j=0}^{L_2} c_j B_j^{(k)}(\xi) \\ e \\ I_k \frac{w_k \xi}{2} e^{-\Delta_k/\xi} B_0^{(k)}(\xi) \end{array} \right. \quad (4.48)$$

e

$$S_k(\xi) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{w_k \xi}{2} \sum_{j=0}^{L_2} c_j A_j^{(j)}(\xi) \\ e \\ I_k \frac{w_k \xi}{2} A_0^{(k)}(\xi) \end{array} \right. \quad (4.50)$$

Assim sendo, pode-se gerar $2(N+1)k$ equações algébricas lineares, onde N é a ordem da aproximação e k indica o número de regiões, utilizando $2(N+1)k$ valores de $\xi \in P_i$ nas equações (4.29 a 4.34). O sistema de equações algébricas lineares pode então ser solucionado por técnicas numéricas convenientes, e as constantes $a_{i,\alpha}$ e $b_{i,\alpha}$ serem obtidas. A matriz coeficiente que se obtém para esse sistema de equações não é densa, constituindo-se de blocos não nulos, como pode-se observar para o caso em que tem-se 3 regiões e ordem de aproximação 2 (vide figura 2).

É evidente, pelas equações (4.27) e (4.28) que o método F_N fornece, em primeiro lugar, as distribuições angulares nas interfaces, para qualquer valor do cosseno diretor μ .

Para estabelecer a solução para as distribuições angulares em qualquer ponto x , pode-se usar as propriedades de ortogonalidade das funções $\phi_i(\xi, \mu)$ a fim de determinar-se os coeficientes requeridos na equação (4.6). Desta forma,

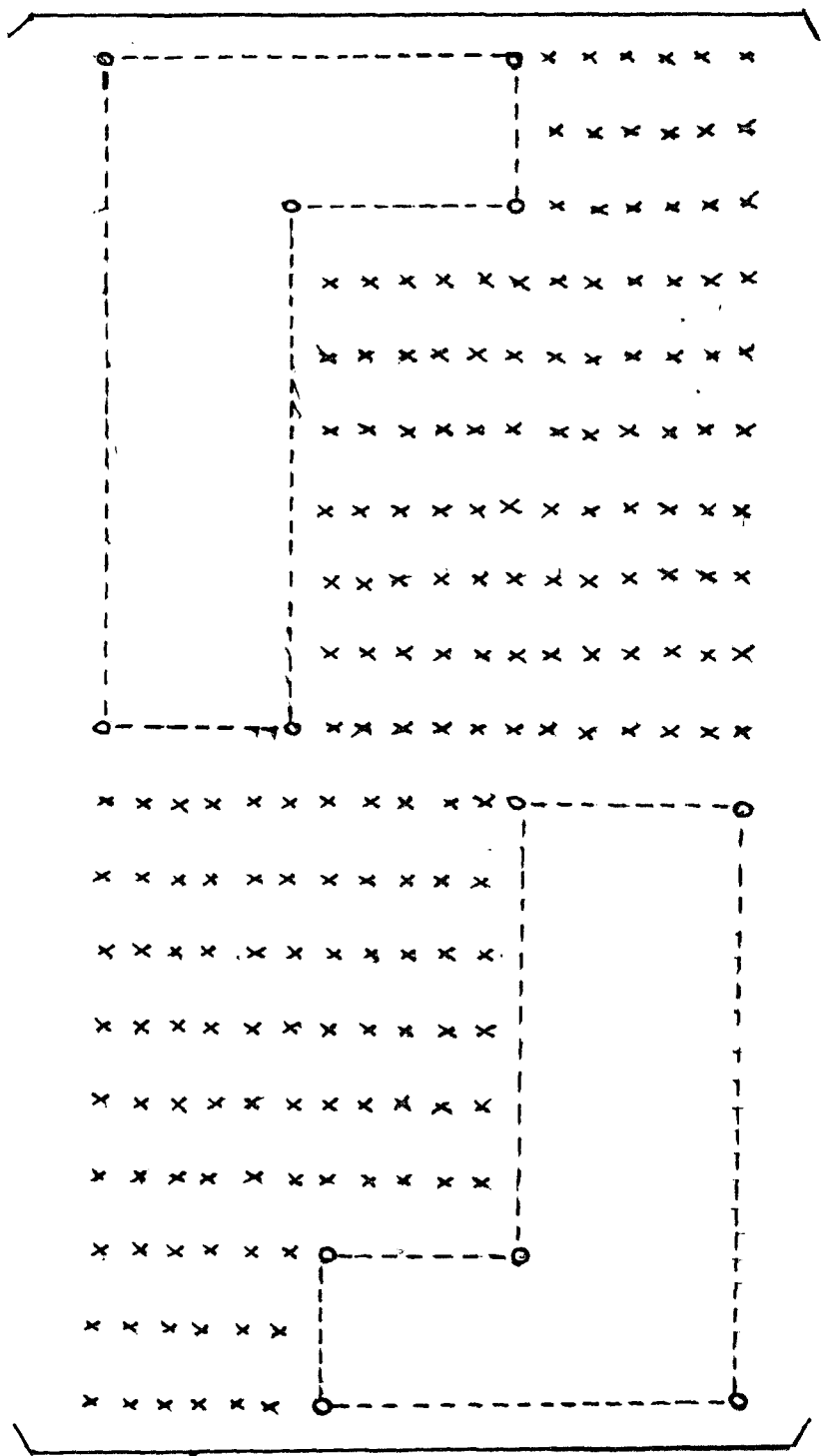


Figura 2 : Matriz coeficiente para $K = 3$ e $L = 2$.

para uma região genérica \underline{i} , tem-se :

$$\int_{-1}^1 I(\tau_{i-1}, \mu) \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu - \int_{-1}^1 I_{P_i} \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu =$$

$$= A_i(\xi) N_i(\xi) e^{-\tau_{i-1}/\xi} \quad (4.52)$$

e

$$\int_{-1}^1 I(\tau_i, \mu) \vartheta_i(-\xi, \mu) \mu d\mu - \int_{-1}^1 I_{P_i} \vartheta_i(-\xi, \mu) \mu d\mu =$$

$$= A_i(-\xi) N_i(-\xi) e^{\tau_i/\xi} \quad (4.53)$$

Introduzindo as aproximações F_N nas eq. (4.52) e (4.53), obtem-se as seguintes expressões para os coeficientes da expansão.

$$A_1(\xi) = \frac{1}{N_1(\xi)} \left\{ R_0(\xi) + \frac{w_1 \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N a_{0,\alpha} \left[\frac{\lambda_1}{2\pi} B_\alpha^{(1)}(\xi) + \right. \right.$$

$$\left. + \frac{\lambda_2}{2\pi(\alpha+2)} B_0^{(1)}(\xi) \right] - \frac{\xi S_1}{4\pi} - \frac{w_1 \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N a_{0,\alpha} A_\alpha^{(1)}(\xi) \right\},$$

$$\xi \in P_1 \quad (4.54)$$

onde

$$R_0(\xi) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{w_1 \xi}{2} \sum_{\beta=0}^{N_1} d_\beta B_\beta^{(1)}(\xi), \end{array} \right. \quad (4.55)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{I_0}{4\pi} \frac{w_1 \xi}{2} B_0^{(1)}(\xi), \end{array} \right. \quad (4.56)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{2\pi} \vartheta_1(\xi, \mu_0) \end{array} \right. , \quad \alpha_1 = 1 \quad (4.57)$$

e

$$A_1(-\xi) = \frac{e^{-\tau_1/\xi}}{N_1(-\xi)} \left[\frac{w_1 \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N (b_{1,\alpha} A_\alpha^{(1)}(\xi) - a_{1,\alpha} B_\alpha^{(1)}(\xi)) \right. \\ \left. + \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau_1/\mu_0} \vartheta_1(-\xi, \mu_0) + \frac{\xi S_1}{4\pi} \right] , \quad \xi \in P_1 , \quad (4.58)$$

$$A_i(\xi) = \frac{e^{\tau_{i-1}/\xi}}{N_i(\xi)} \left\{ \frac{w_i \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N [b_{i-1,\alpha} B_\alpha^{(i)}(\xi) - a_{i-1,\alpha} A_\alpha^{(i)}(\xi)] \right. \\ \left. - \frac{\xi S_i}{4\pi} + \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau_{i-1}/\mu_0} \vartheta_i(\xi, \mu_0) \right\} , \quad \xi \in P_i , \quad (4.59)$$

$$A_i(-\xi) = \frac{e^{-\tau_i/\xi}}{N_i(-\xi)} \left[\frac{w_i \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N (b_{i,\alpha} A_\alpha^{(i)}(\xi) - a_{i,\alpha} B_\alpha^{(i)}(\xi)) \right. \\ \left. + \frac{\xi S_i}{4\pi} + \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau_i/\mu_0} \vartheta_i(-\xi, \mu_0) \right] , \quad \xi \in P_i , \quad (4.60)$$

$$A_k(\xi) = \frac{e^{\tau_{k-1}/\xi}}{N_k(\xi)} \left\{ \frac{w_k \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N (b_{k-1,\alpha} B_\alpha^{(k)}(\xi) - a_{k-1,\alpha} A_\alpha^{(k)}(\xi)) \right. \\ \left. - \frac{\xi S_k}{4\pi} + \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau_{k-1}/\mu_0} \vartheta_k(\xi, \mu_0) \right\} , \quad \xi \in P_k , \quad (4.61)$$

e

$$\begin{aligned}
A_k(-\xi) = & \frac{e^{-\tau k/\xi}}{N_k(\xi)} \left[\frac{\xi S_k}{4\pi} + \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau k/\mu_0} \theta_k(-\xi, \mu_0) + \right. \\
& + \frac{w_k \xi}{2} \sum_{\alpha=0}^N b_{k,\alpha} (A_\alpha^{(k)}(\xi) - \frac{\lambda_1}{2\pi} B_\alpha^{(k)}(\xi) - \frac{\lambda_2}{2\pi(\alpha+2)} B_0^{(k)}(\xi)) - \\
& \left. - \frac{\lambda_2}{2\pi} \frac{\alpha_1}{2\pi} e^{-\tau k/\mu_0} \frac{w_k \xi}{2} B_0^{(k)}(\xi) - T_0(\xi) \right], \xi \in P_k, \quad (4.62)
\end{aligned}$$

onde

$$T_0(\xi) = \begin{cases} \frac{w_k \xi}{2} \sum_{j=0}^{N_2} C_j B_j^{(k)}(\xi), & (4.63) \\ \frac{I_k}{4\pi} \frac{w_k \xi}{2} B_0^{(k)}(\xi), & (4.64) \end{cases}$$

Onde : $N_i(\pm v_{i,\beta})$ e $N_i(\pm v)$ como definidos nas eqs. (4.17) e (4.18), respectivamente.

Determinados os coeficientes $A(\pm v_{i,\beta})$ e $A(\pm v)$, pode-se reconstruir o fluxo angular. Embora a equação para se obter os coeficientes discretos seja sempre regular, não acontece o mesmo com os coeficientes contínuos. Apesar das mesmas operações serem aplicadas aos dois casos, o cálculo de $A(\pm v)$ implica na resolução de integrais singulares, cujas singularidades são removidas por técnicas convenientes. (Ver de Apêndice A.3).

Para determinar-se uma expressão analítica para o fluxo escalar, basta integrar a equação (4.6) de $\mu=-1$ a $\mu=1$, obtendo-se :

$$\begin{aligned}
I_i(x) = & \sum_{\beta=0}^{\kappa-1} \left[A(v_{i,\beta}) e^{-x/v_{i,\beta}} \int_{-1}^1 \vartheta_i(v_{i,\beta}, \mu) d\mu + \right. \\
& \left. + A(-v_{i,\beta}) e^{x/v_{i,\beta}} \int_{-1}^1 \vartheta_i(-v_{i,\beta}, \mu) d\mu \right] + \int_0^1 A_i(\xi) e^{-x/\xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) d\mu d\xi \\
& + \int_0^1 A(-\xi) e^{x/\xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(-\xi, \mu) d\mu d\xi + \frac{S_i}{4\pi(1-w_i)} \int_{-1}^1 d\mu, \quad (4.65)
\end{aligned}$$

sendo $\int_{-1}^1 \vartheta(\xi, \mu) d\mu = 1$, reduz-se a expressão final a :

$$\begin{aligned}
I_i(x) = & \sum_{\beta=0}^{\kappa-1} \left[A(v_{i,\beta}) e^{-x/v_{i,\beta}} + A(-v_{i,\beta}) e^{x/v_{i,\beta}} \right] + \\
& + \int_0^1 A(\xi) e^{-x/\xi} d\xi + \int_0^1 A(-\xi) e^{x/\xi} d\xi + \frac{S_i}{2\pi(1-w_i)},
\end{aligned}$$

onde $\xi \in (0, 1)$, (4.66)

Para o cálculo de corrente total, integra-se de $\mu=-1$ a $\mu=1$ em $\mu d\mu$ a eq. (4.6) e obtem-se

$$\begin{aligned}
J_i(x) = & \sum_{\beta=0}^{\kappa-1} \left[A(v_{i,\beta}) e^{-x/v_{i,\beta}} \int_{-1}^1 \vartheta_i(v_{i,\beta}, \mu) \mu d\mu + \right. \\
& \left. + A(-v_{i,\beta}) e^{x/v_{i,\beta}} \int_{-1}^1 \vartheta_i(-v_{i,\beta}, \mu) \mu d\mu \right] + \int_0^1 A(\xi) e^{-x/\xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu \\
& + \int_0^1 A(-\xi) e^{x/\xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(-\xi, \mu) \mu d\mu + \frac{S_i}{4\pi(1-w_i)} \int_{-1}^1 \mu d\mu, \quad (4.67)
\end{aligned}$$

onde

$$\int_{-1}^1 \vartheta_i(-\xi, \mu) \mu d\mu = -\xi(1-w_i) \quad , \quad (4.68)$$

$$\int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu = \xi(1-w_i) \quad , \quad (4.69)$$

obtem-se

$$J_i(x) = \sum_{\beta=0}^{\kappa-1} \left[A(v_{i,\beta}) e^{-x/v_{i,\beta}} v_{i,\beta} (1-w_i) + \right. \\ \left. + A(-v_{i,\beta}) e^{x/v_{i,\beta}} v_{i,\beta} (1-w_i) \right] + \int_0^1 A(\xi) e^{-x/\xi} \xi(1-w_i) d\xi \\ + \int_0^1 A(-\xi) e^{x/\xi} \xi(1-w_i) d\xi \quad , \quad (4.70)$$

Para computar o fator de desvantagem térmica, requerido no cálculo de utilização térmica em células de reatores, pode-se também aplicar o método F_N , sendo esse fator definido em geometria plana como :

$$\zeta = \frac{\tau_1}{\Delta} \frac{\int_0^{\tau_2} dx \int_{-1}^1 \psi_2(x, \mu) d\mu}{\int_0^{\tau_1} dx \int_{-1}^1 \psi_1(x, \mu) d\mu} \quad , \quad (4.71)$$

onde o índice 1 refere-se ao combustível e o índice 2 ao moderador, da célula do reator, e " τ_1 " e " τ_2 " suas espessuras óticas, com $\Delta = \tau_2 - \tau_1$.

O equacionamento básico para a célula é dada por:

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \psi_1(x, \mu) + \psi_1(x, \mu) = \frac{w_1}{2} \sum_{\ell=0}^{L_1} (2\ell+1) f_{1,\ell} P_{\ell}(\mu) \int_{-1}^1 P_{\ell}(\mu') \psi_1(x, \mu') d\mu' \quad (4.72)$$

$$* \psi_1(x, \mu') d\mu' \quad , \quad 0 \leq x \leq \tau_1 \quad ,$$

e

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \psi_2(x, \mu) + \psi_2(x, \mu) = \frac{w_2}{2} \sum_{\ell=0}^{L_2} (2\ell+1) f_{2,\ell} P_{\ell}(\mu) \int_{-1}^1 P_{\ell}(\mu') \psi_2(x, \mu') d\mu' \quad (4.73)$$

$$+ \frac{S_2}{4\pi(1-w_2)} \quad , \quad \tau_1 \leq x \leq \tau_2 \quad ,$$

com as seguintes condições de contorno :

$$\psi_1(0, \mu) = \psi_1(0, -\mu) \quad , \quad \mu > 0 \quad , \quad (4.74)$$

$$\psi_2(\tau_2, \mu) = \psi_2(\tau_2, -\mu) \quad , \quad \mu > 0 \quad , \quad (4.75)$$

$$\psi_1(\tau_1, \mu) = \psi_2(\tau_1, \mu) \quad , \quad \mu > 0 \quad (4.76)$$

$$\psi_1(\tau_1, -\mu) = \psi_2(\tau_1, -\mu) \quad , \quad \mu > 0 \quad , \quad (4.77)$$

$$\int_{-1}^1 \mu \psi_1(0, \mu) d\mu = 0 \quad (4.78)$$

e

$$\int_{-1}^1 \mu \psi_1(\tau_2, \mu) d\mu = 0 \quad (4.79)$$

E com

$$\psi_2^*(x, \mu) = \psi_2(x, \mu) - \frac{S_2}{4\pi(1-w_2)} \quad (4.80)$$

Assim, integrando-se as equações (4.72) e (4.73) de $\mu = -1$ a $\mu = 1$;

$$\frac{d}{dx} \int_{-1}^1 \mu \psi_1(x, \mu) d\mu + (1-w_1) \int_{-1}^1 \psi_1(x, \mu) d\mu = 0 \quad (4.81)$$

e

$$\frac{d}{dx} \int_{-1}^1 \mu \psi_2(x, \mu) d\mu + (1-w_2) \int_{-1}^1 \psi_2(x, \mu) d\mu = \frac{2S_2}{4\pi(1-w_2)} \quad (4.82)$$

Desta forma, integrando-se a equação (4.81) de 0 até τ_1 e a equação (4.82) de τ_1 a τ_2 , além de aplicar as condições de contorno, obtem-se :

$$(1-w_1) \int_0^{\tau_1} dx \int_{-1}^1 \psi_1(x, \mu) d\mu = - \int_{-1}^1 \psi(\tau_1, \mu) \mu d\mu, \quad (4.83)$$

e

$$(1-w_2) \int_{\tau_1}^{\tau_2} dx \int_{-1}^1 \psi_2(x, \mu) d\mu = \frac{S_2}{2\pi(1-w_2)} (\tau_2 - \tau_1) \int_{-1}^1 \psi_1(\tau_1, \mu) \mu d\mu \quad (4.84)$$

Introduzindo as aproximações F_N , obtém-se a seguinte expressão para o fator de desvantagem térmica :

$$\zeta = \tau_1 \frac{(1-w_1)}{(1-w_2)} \left[-\frac{1}{\Delta} + \frac{S_2}{2\pi} \left(\sum_{\alpha=0}^N \frac{a_{1,\alpha} - b_{1,\alpha}}{\alpha+2} \right) - 1 \right] \quad (4.85),$$

onde $\frac{S_2}{4\pi}$ representa uma fonte constante e isotrópica resultante dos neutrons que são moderados na região do moderador.

CAPÍTULO V

RESULTADOS NUMÉRICOS

Com o propósito de demonstrar a confiabilidade do Módulo FNAM-1, uma série de problemas foram solucionados e seus resultados comparados com aqueles disponíveis na literatura ou obtidos através dos códigos disponíveis no IPEN.

Uma vez que os coeficientes F_N , são, obrigatoriamente, um dos valores iniciais a serem computados, grandes tais como albedo e fator de transmissão foram os primeiros resultados a serem tratados. Posteriormente, com o cálculo dos coeficientes $A(\pm v_i)$ e $A(\pm v)$, obteve-se valores para fluxo total, corrente total e fator de desvantagem térmica (no caso de células). Assim, uma série de resultados são apresentados a seguir, a fim de demonstrar a precisão e aplicabilidade do Método F_N , através do Módulo FNAM-1.

5.1 - Problemas Padrão

De acordo com uma das idéias básicas que norteou este trabalho, no qual se pretendeu confeccionar um programa que possibilitasse cálculos preliminares em blindagem de reatores, o primeiro teste realizado com o Módulo foi um "Problema de Penetração Profunda", cujos resultados foram comparados com os obtidos pelo Método de Monte Carlo e o código ANISN /55/.

Este problema (Problema 1) consiste de uma placa plana, com espessura de vinte livres caminhos médios, uma fonte plana e monoenergética incidindo na face esquerda, superfície livre à direita, com espalhamento isotrópico e seção de choque de espalhamento igual a de absorção. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.1 e a geometria do problema na figura 3.

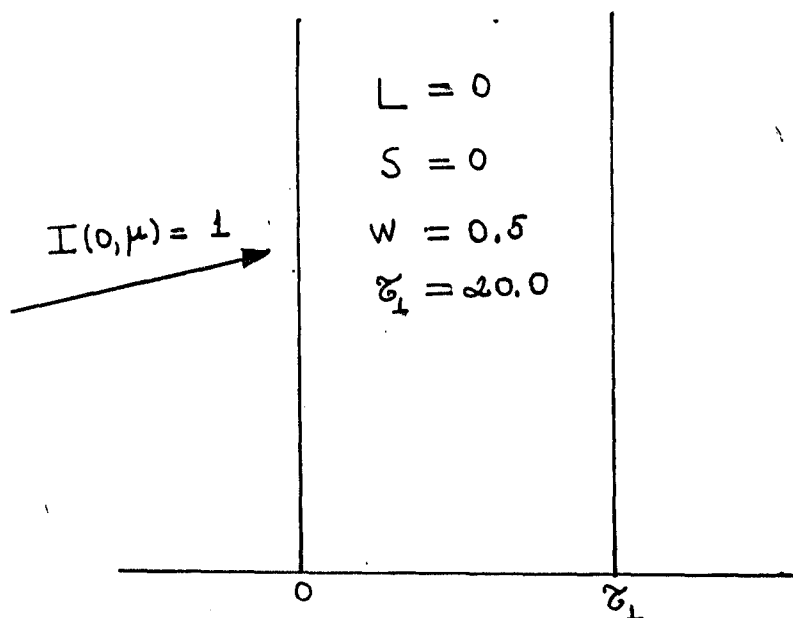


Figura 3 : Geometria do Problema 1.

TABELA 5.1 : Resultados do problema de "penetração profunda".

Método	ALBEDO	F. Transmissão
F_4	0.1465	2.672×10^{-9}
ANISN	0.1470	2.630×10^{-9}
Monte Carlo	-	$2.618 \times 10^{-9} \pm 1\%$
Exato	0.1465	-

Os dois problemas seguintes foram feitos visando testar os resultados com uma publicação em transferência radiativa, que fez uso do Método F_N , sendo de grande importância para este trabalho, uma vez que serviu, em parte, de modelo para seu equacionamento /14/. O primeiro deles (Proble-

ma 2), trata-se de uma placa plana com incidência isotrópica na face esquerda (vide figura 4) e o segundo caso (Problema 3), refere-se a um problema com 6 regiões e incidência cos senoidal na face esquerda (vide Figura 5). Nos dois casos , a face direita apresenta superfície livre ; na tabela 5.2 encontra-se a lei de espalhamento utilizada em ambos os ca sos , e nas tabelas 5.3 e 5.4 , os valores do Albedo e Fa tor de Transmissão para os problemas 2 e 3 , respectivamen te.

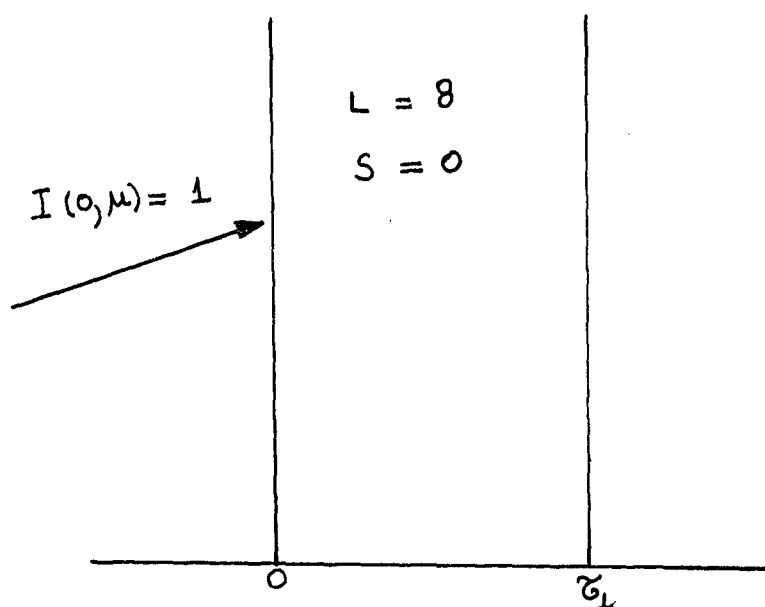


Figura 4 : Geometria do Problema 2.

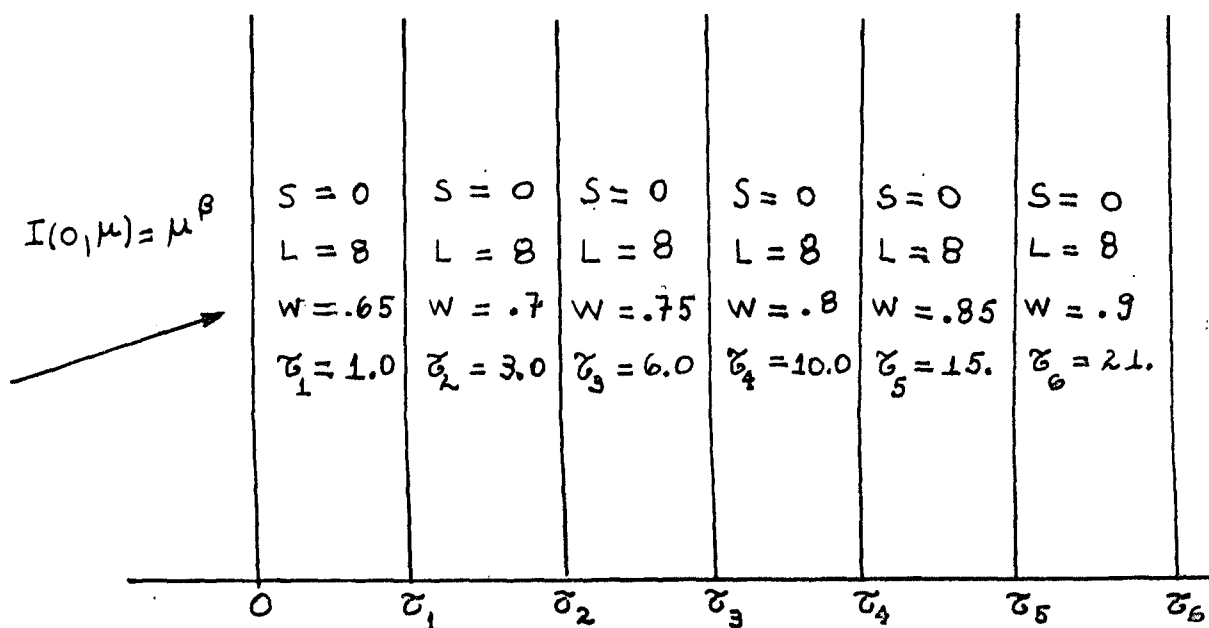


Figura 5 : Geometria do Problema 3.

TABELA 5.2 : Lei de Espalhamento para os problemas 2 e 3.

ℓ	$(2\ell+1)f_{\ell}$
0	1.0
1	2.00016
2	1.56339
3	0.67407
4	0.22215
5	0.04725
6	0.00671
7	0.00068
8	0.0

TABELA 5.3 : Resultados do Problema 2.

W	τ_1	Albedo		F. de Transmissão	
		F_4	Exato	F_4	Exato
0.9	1.	0.17193	0.17192	0.65426	0.65427
0.9	10.	0.29071	0.29070	0.03294	0.03294
0.99	1.	0.22653	0.22662	0.75377	0.75368
0.99	10.	0.622106	0.62206	0.21078	0.21078
0.999	1	0.23301	0.23310	0.76491	0.76490
0.999	10.	0.70695	0.70694	0.27344	0.27344
0.9999	1.	0.23375	0.23376	0.76604	0.76604
0.9999	10.	0.71691	0.71691	0.28109	0.28109

TABELA 5.4 : Resultados do Problema de 6 Regiões

β	L	ALBEDO			FATOR DE TRANSMISSÃO		
		F_4	Exato	ANISN	F_4	Exato	ANISN
1	0	0.2148	0.2148	0.2148	0.7181(-6)	0.7180(-6)	0.7098(-6)
2	0	0.2079	0.2079	0.2079	0.7905(-6)	0.7906(-6)	0.7815(-6)
1	8	0.08058	0.08058	0.08059	0.8543(-4)	0.8543(-4)	0.8512(-4)
3	8	0.07051	0.07052	0.07051	0.9307(-4)	0.9707(-4)	0.9274(-4)

Os resultados apresentados a seguir referem-se ao caso de uma placa com incidência monodirecional /42/, sendo apresentados os resultados obtidos com o Módulo FNAM-1, MPN-1 e Exato. O Problema 4 é relevante no sentido em que utiliza uma lei de espalhamento alta, usando para obter os coeficientes dessa lei a função dada pela equação A.51. A geometria é apresentada na Figura 6 e os resultados na Tabela 5.5.

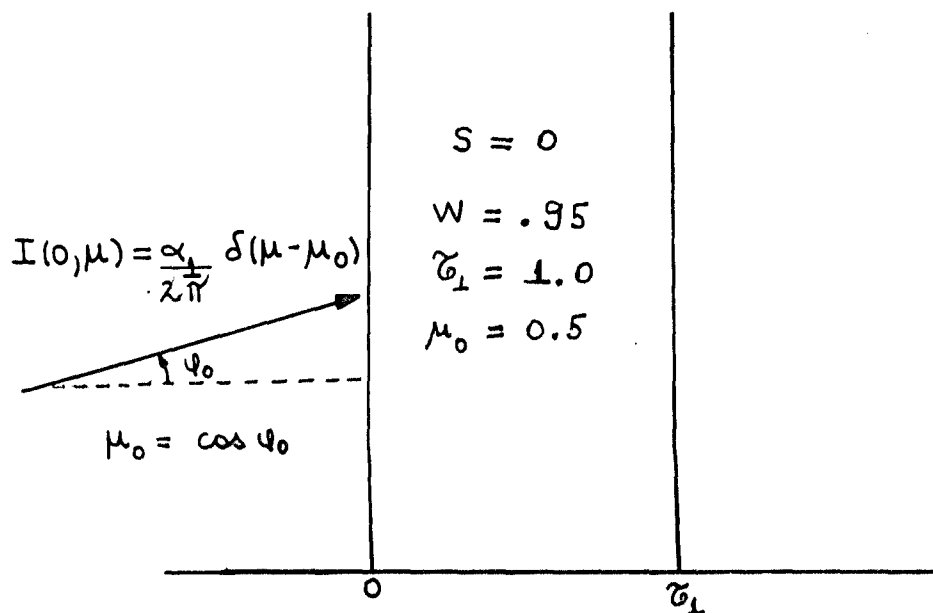


Figura 6 : Geometria do Problema 4.

TABELA 5.5 : Resultados do Problema 4.

L	ALBEDO		FATOR DE TRANSMISSÃO	
	F_4	P_{15}	F_4	P_{15}
4	0.2621	0.2604	0.6322	0.6315
6	0.2224	0.0.2226	0.6667	0.6666
8	0.1963	0.1951	0.6913	0.6921
10	0.1740	0.1737	0.7121	0.7119
15	0.1363	0.1355	0.7471	0.7477
25	0.0918	0.0907	0.6552	0.6549
	F_5	Exato	F_5	Exato
30	0.07757	0.07713	0.6695	0.6700

O outro problema solucionado foi o de uma placa com incidência isotrópica na face esquerda e refletividade ou difusibilidade na face direita (Problema 5). Os dados são apresentados na Tabela 5.6 e a geometria considerada encontra-se na Figura 7 /52/.

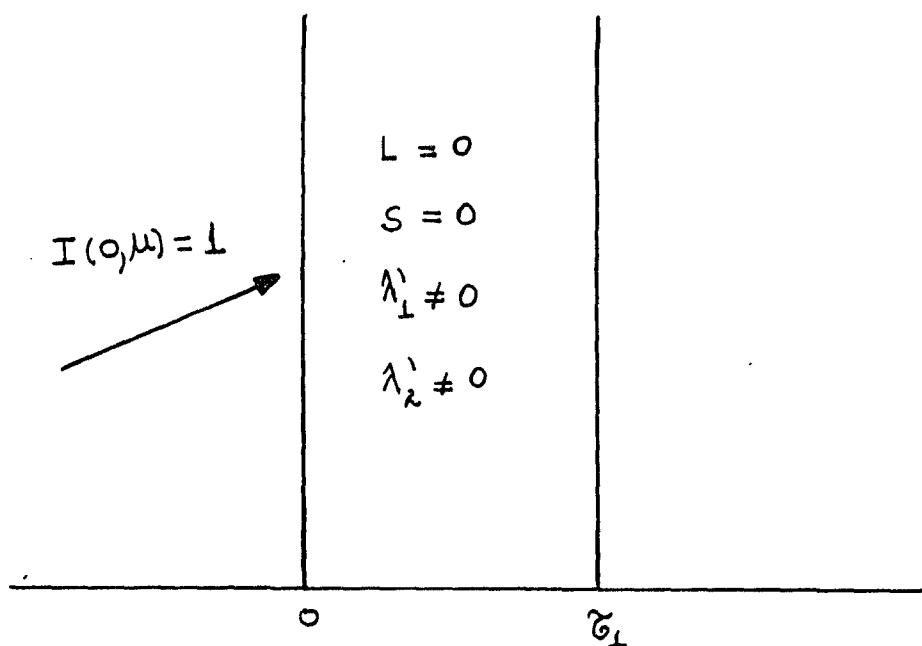


Figura 7 : Geometria do Problema 5.

TABELA 5.6 : Resultados do Problema 5, usando refletividade e difusibilidade na face direita.

τ_1	w	λ'_1	λ'_2	ALBEDO		FATOR DE TRANSMISSÃO	
				F_4	Exato	F_4	Exato
2	0.7	0.5	0.0	0.2721	0.2657	0.0917	0.0880
2	0.8	0.5	0.0	0.3564	0.3527	0.1183	0.1172
2	0.9	0.5	0.0	0.4842	0.4837	0.1702	0.1689
5	0.7	0.5	0.0	0.2607	0.2566	0.0074	0.0070
5	0.8	0.5	0.0	0.3512	0.3420	0.0148	0.0137
5	0.9	0.5	0.0	0.4875	0.4783	0.0406	0.0349
2	0.7	0.0	1.0	0.2831	0.2827	0.0	0.0
2	0.8	0.0	1.0	0.4081	0.3859	0.0	0.0
2	0.9	0.0	1.0	0.5949	0.5626	0.0	0.0
5	0.7	0.0	1.0	0.2586	0.2567	0.0	0.0
5	0.8	0.0	1.0	0.3555	0.3425	0.0	0.0
5	0.9	0.0	1.0	0.4954	0.4818	0.0	0.0

A seguir considerou-se o problema celular (problema 6), também solucionado pelos métodos B & S / 6 / , E & M /19/, L-S-V-K /37/ e MPN-1 /74/ , onde considera-se a célula básica de um reator constituída de 2 regiões, conforme figura 8, onde o combustível é a região 1 e o moderador é a região 2, com uma fonte de neutrons no moderador. Na tabela 5.7 reportou-se fator de desvantagem térmica para meios espalhadores isotrópicos, com $w_1 = 0.55370$ e $w_2 = 0.99163$, e na tabela 5.8 com espalhamento linearmente anisotrópico no moderador.

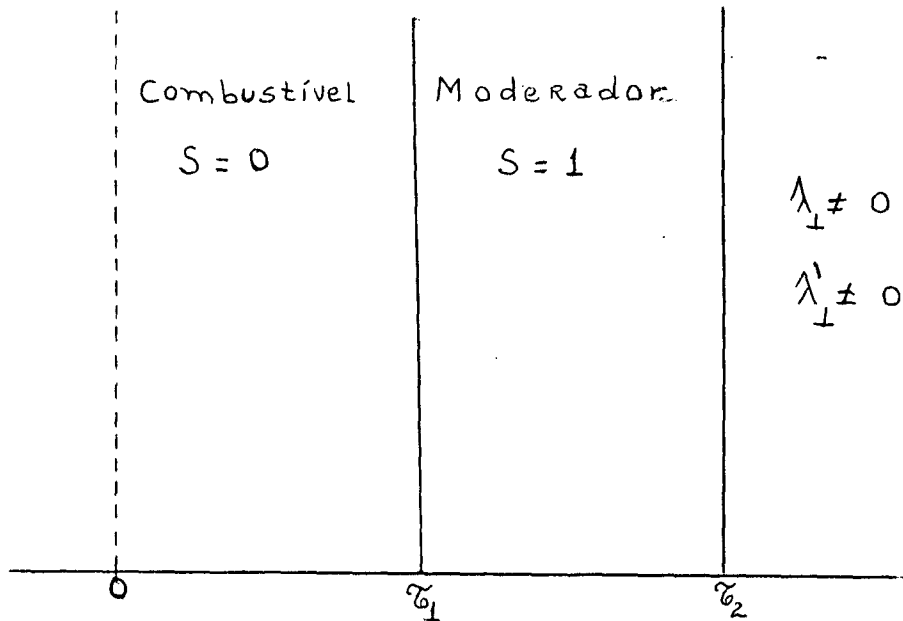


Figura 8 : Geometria do Problema Celular.

TABELA 5.7 : Resultados do F.D.T. para diferentes células.

Método	Célula 1	Célula 2	Célula 3	Célula 4
P-1	1.028	1.113	1.253	1.447
Difusão Assintótica /54/	1.06	1.18	1.34	1.56
A-B-H Modificado /72/	1.08	1.20	1.36	1.58
S-8 /41/	1.090	1.231	1.410	1.632
Teoria T.Integral / 8 /	1.0979	1.2318	1.408	1.629
Ferziger e Robinson /25/	1.094	1.227	1.401	1.623
B & S / 6/	1.0978	1.2317	1.4077	1.6284
F ₆	1.0974	1.2317	1.4075	1.6284

As dimensões para as células da tabela acima são :

Célula 1 :	$\tau_1 = 0.0717$	$\tau_2 = 0.8872$
Célula 2 :	$\tau_1 = 0.1434$	$\tau_2 = 1.7744$
Célula 3 :	$\tau_1 = 0.2150$	$\tau_2 = 2.6615$
Célula 4 :	$\tau_1 = 0.2868$	$\tau_2 = 3.5488$

TABELA 5.8 : Tabela para problema celular

Método	Coef. Anisotrópico ($f_{2,1}$)	Célula 1	Célula 2	Célula 3	Célula 4
B & S	0.0333...	1.0970	1.2283	1.4001	1.6151
F ₄		1.0963	1.2279	1.3999	1.6153
F ₈		1.0968	1.2284	1.3999	1.6152
F ₁₀		1.0969	1.2284	1.3999	1.6152
B & S	0.1	1.0953	1.2215	1.3849	1.5885
F ₄		1.0946	1.2211	1.3848	1.5887
F ₂		1.0951	1.2215	1.3847	1.5885
F ₁₀		1.0952	1.2215	1.3847	1.5885
B & S	0.2	1.0927	1.2113	1.3621	1.5485
F ₄		1.0920	1.2109	1.3620	1.5486
F ₈		1.0925	1.2113	1.3620	1.5485
F ₁₀		1.0926	1.2113	1.3619	1.5485
B & S	0.3	1.0901	1.2010	1.3392	1.5083
F ₄		1.0894	1.2006	1.3391	1.5085
F ₈		1.0899	1.2011	1.3391	1.5083
F ₁₀		1.0900	1.2011	1.3391	1.5083

Finalmente na Tabela 5.9 encontra-se os valores do fator de desvantagem térmica para a célula 4, calculado por vários métodos, e com os coeficientes de expansão da função transferência dados por $f_{2,0} = 1.0$, $f_{2,1} = 0.32362667$ e $f_{2,2} = 0.048856$.

TABELA 5.9 : Resultados para o problema 6.

Caso	MPN-1 P ₁₅	F ₆	E & M	L-S-V-K
Célula 4	1.4984	1.5002	1.4049	1.5002

Após os cálculos requeridos para obtenção das constantes $A(\pm v_{i,\beta})$ e $A(\pm \xi)$, pode-se obter valores para fluxo total e corrente total. Desta forma, nos problemas que se seguem os resultados relacionados serão apenas referentes a fluxo e corrente total.

O primeiro problema, (Problema 7) da série, trata-se de uma placa com incidência isotrópica na face esquerda e espalhamento linearmente isotrópico, como mostrado na Figura 9 e com resultados tabelados na tabela 5.10 /74/ .

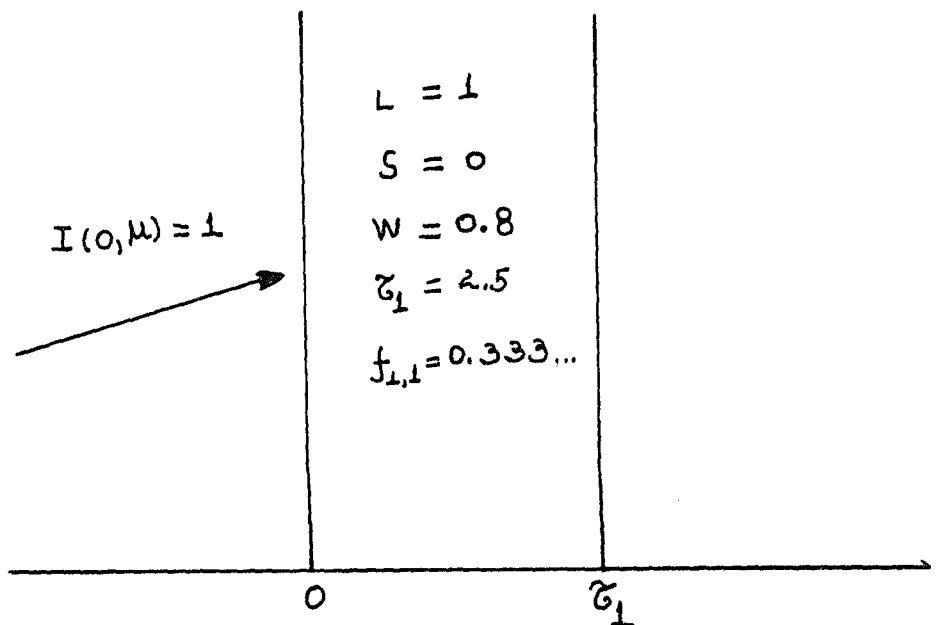


Figura 9 : Geometria do Problema 7.

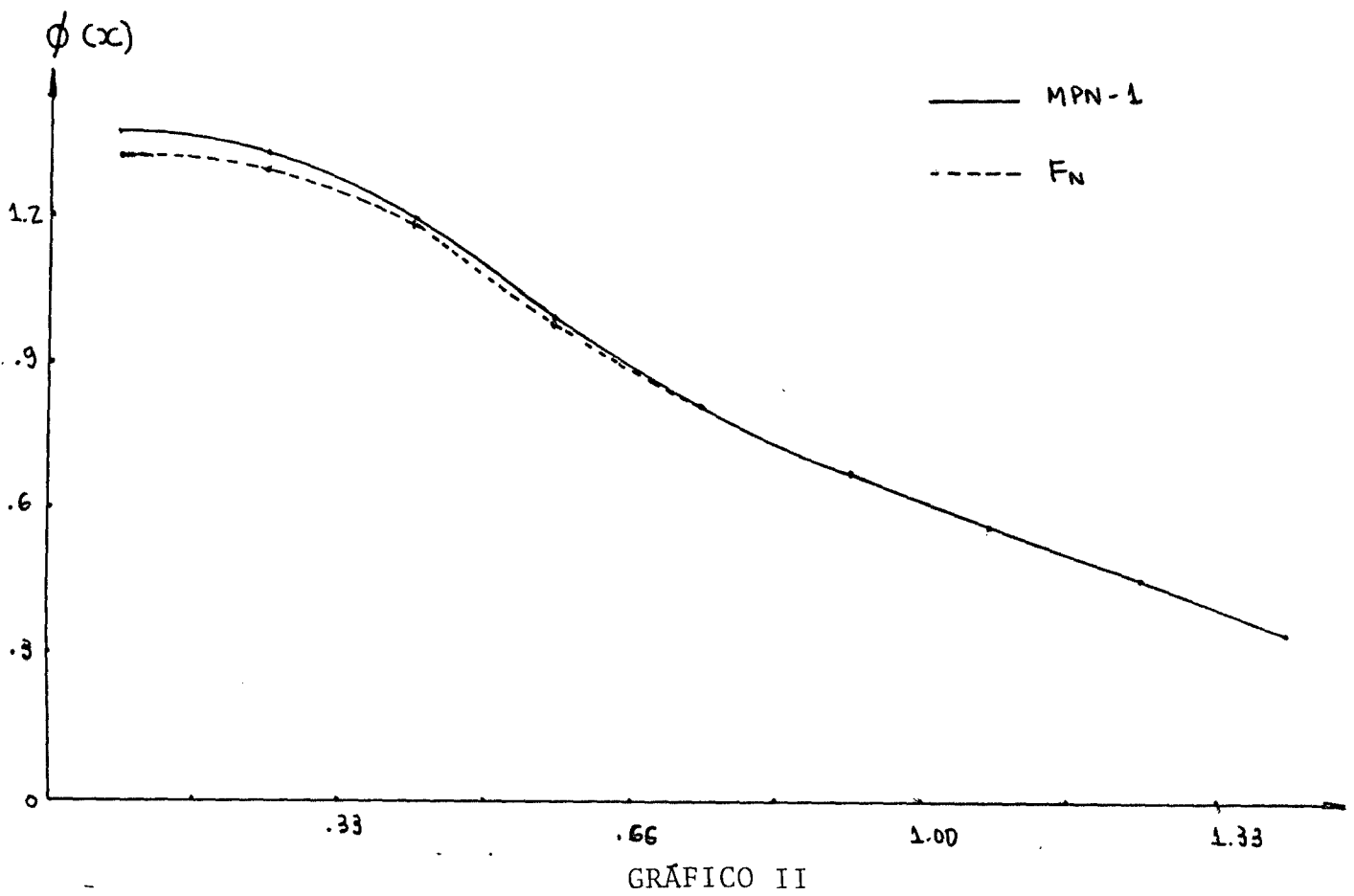
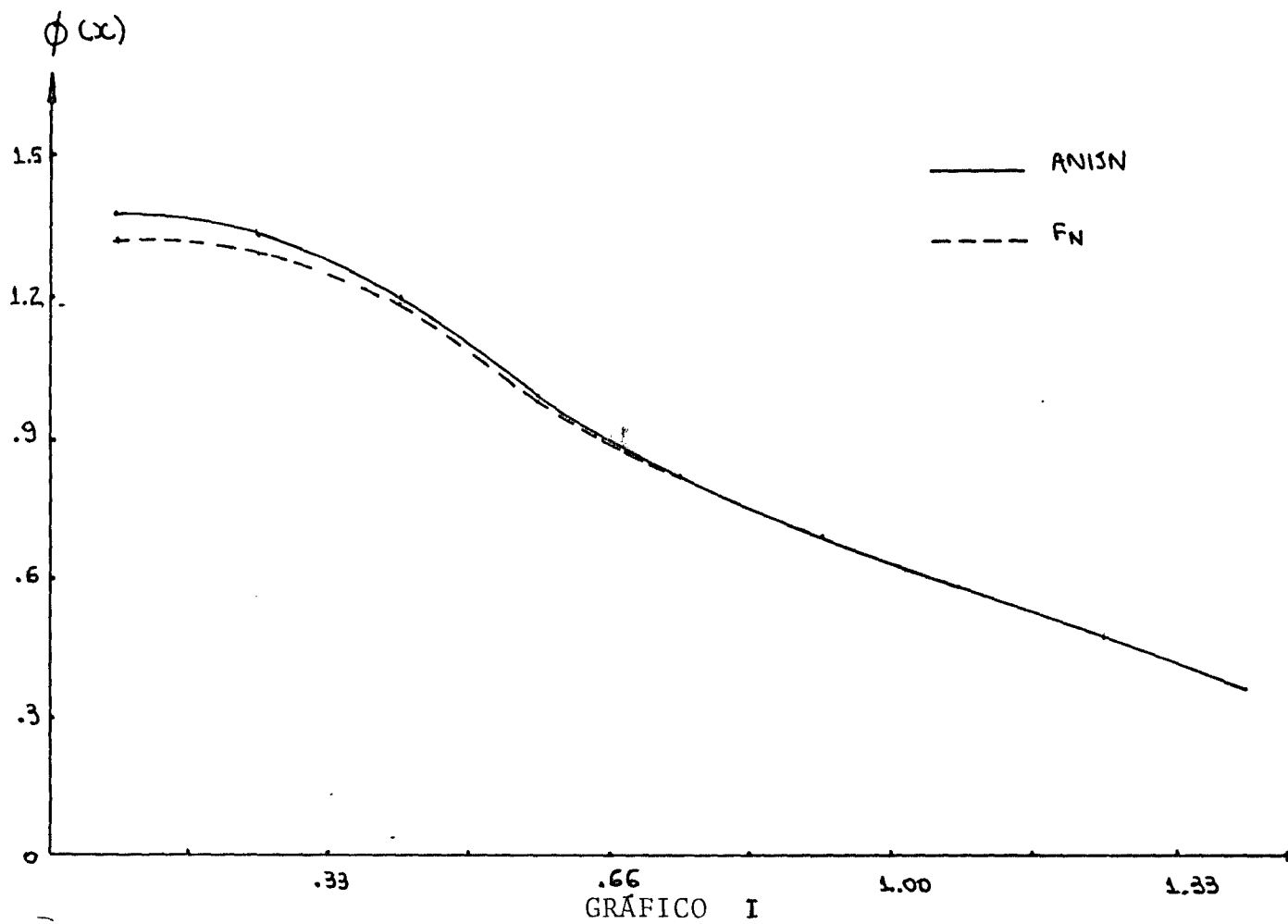
TABELA 5.10 : Resultados do Problema 7.

POSIÇÃO	FLUXO		TOTAL
	MPN-1 (P_{15})	FNAM-1 (F_9)	
0.0	1.3104	1.3117	1.3117
0.5	0.8264	0.8265	0.8265
1.0	0.5747	0.5745	0.5745
1.5	0.4040	0.4003	0.4003
2.0	0.2698	0.2698	0.2698
2.5	0.1516	0.1506	0.1506

O caso seguinte (Problema 8) considerado, foi o de 3 regiões espalhadoras isotrópicas, com uma fonte unitária na região central, conforme ilustrado na Figura 10. Obviamente este problema é simétrico e pode-se solucioná-lo como um problema de duas regiões, impondo-se a condição de reflexão na face de simetria ($X=0$). Os resultados na Tabela 5.11 foram obtidos também pelo código ANISN e pelo MPN-1, cujo comportamento do fluxo total pode ser observado nos gráficos I e II. /74/.

TABELA 5.11 : Resultados do Problema 8.

POSIÇÃO	FLUXO TOTAL		
	MPN-1	ANISN	F_8
1	1.2206	1.2193	1.1732
2	1.1780	1.1780	1.1475
3	1.0736	1.0624	1.0595
4	0.8733	0.8829	0.8720
5	0.7264	0.7267	0.7264
6	0.6120	0.6132	0.6101
7	0.5112	0.5124	0.5129
8	0.4167	0.4180	0.4165
9	0.3206	0.3181	0.3195



O terceiro problema (Problema 9), trata-se de duas regiões espalhadoras isotrópicas, com uma fonte unitária na primeira região, e com incidência isotrópica na face esquerda, como mostrado na Figura 11. Valores de fluxo total e de corrente total encontram-se na Tabela 5.12, bem como o comportamento dessas grandezas é ilustrado no gráfico III . /72/.

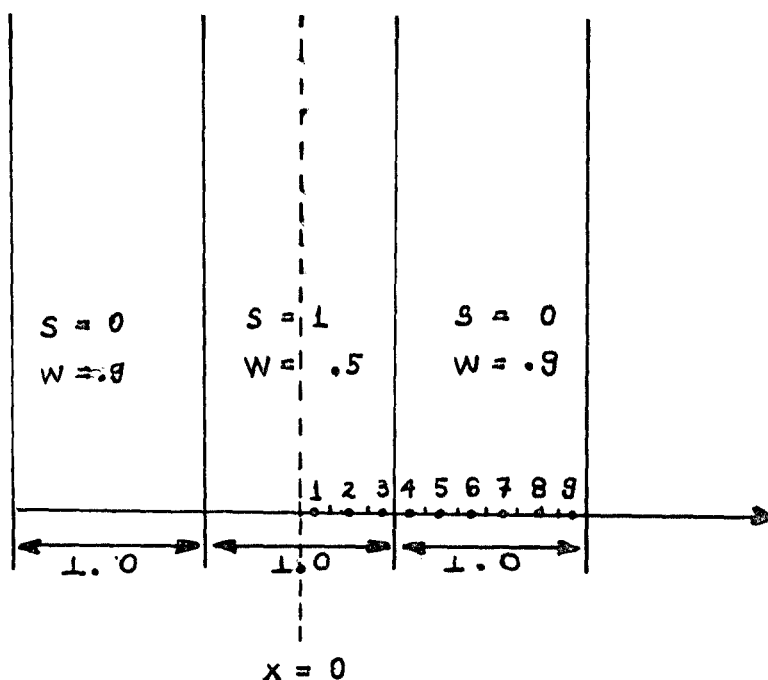
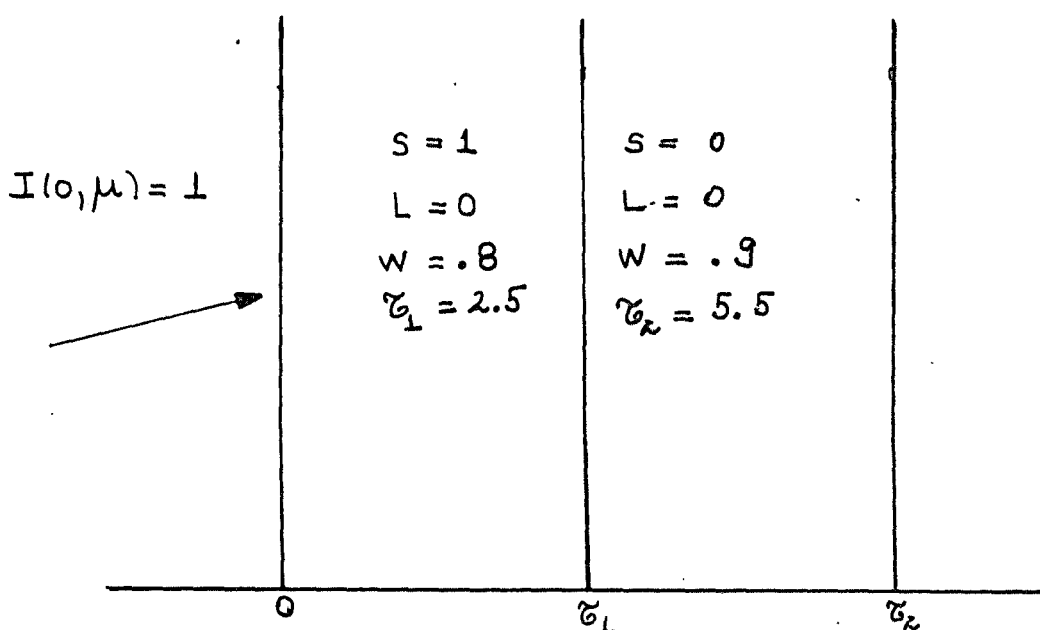


Figura 10 : Geometria do Problema 8.



- Figura 11 : Geometria do Problema 9.

TABELA 5.12 : Resultados para problema com fonte na primeira região.

X	FLUXO TOTAL		CORRENTE TOTAL	
	MPN-1	F ₆	MPN-1	F ₆
0.0	2.7532	2.7436	-0.3803	-0.3799
0.5	3.3679	3.3652	-0.1929	-0.1925
1.0	3.5602	3.5653	-0.0415	-0.0406
1.5	3.5227	3.5118	0.1026	0.1042
2.0	3.2529	3.2267	0.2617	0.2649
2.5	2.5791	2.5794	0.4642	0.4641
3.1	1.7078	1.7079	0.3390	0.3390
3.7	1.1182	1.1187	0.2532	0.2532
4.3	0.7989	0.7989	0.1944	0.1944
4.9	0.5006	0.5006	0.1557	0.1557
5.5	0.2244	0.2230	0.1337	0.1337

A seguir, um problema (Problema 10), de quatro regiões, com diferentes leis de espalhamento em cada uma delas, é ilustrado na Figura 12, onde tem-se incidência monodirecional na face esquerda e superfície livre na face direita; resultados de fluxo e corrente total são tabelados na tabela 5.13, juntamente com dados obtidos pelo MPN-1, e o comportamento do fluxo total pode ser observado no gráfico IV / 72/.

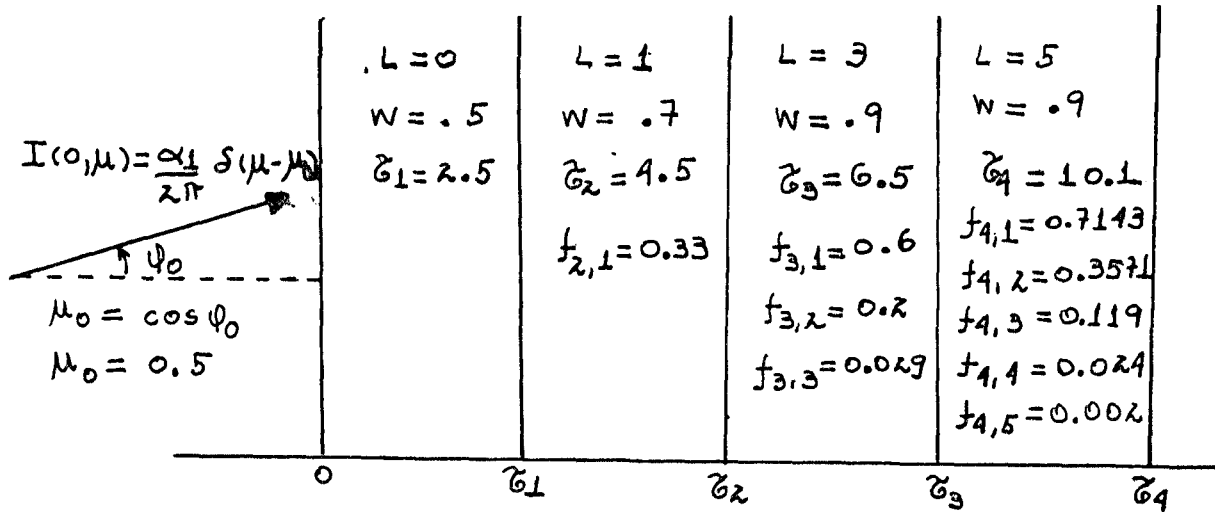


Figura 12 : Geometria do Problema 10.

TABELA 5.13 : Resultados do Problema 10.

X	FLUXO TOTAL		CORRENTE TOTAL	
	MPN-1	F ₆	MPN-1	F ₆
0.0	1.3656	1.3233	0.4226	0.4222
0.5	0.5810	0.6049	0.2025	0.1859
1.0	0.2775	0.2808	0.9974 (-1)	0.8428 (-1)
1.5	0.1340	0.1485	0.5058 (-1)	0.4984 (-1)
2.0	0.6745 (-1)	0.7841 (-1)	0.2645 (-1)	0.2548 (-1)
2.5	0.373 (-1)	0.401 (-1)	0.1391 (-1)	0.1019 (-1)
3.0	0.251 (-1)	0.270 (-1)	0.967 (-2)	0.864 (-2)
3.5	0.162 (-1)	0.182 (-1)	0.681 (-2)	0.550 (-2)
4.5	0.860 (-2)	0.905 (-2)	0.260 (-2)	0.243 (-2)
5.5	0.641 (-2)	0.732 (-2)	0.184 (-2)	0.182 (-2)
6.5	0.463 (-2)	0.490 (-2)	0.129 (-2)	0.126 (-2)
8.0	0.318 (-2)	0.356 (-2)	0.100 (-2)	0.094 (-2)
9.8	0.165 (-2)	0.175 (-2)	0.783 (-3)	0.654 (-3)
10.1	0.128 (-2)	0.138 (-2)	0.761 (-3)	0.632 (-3)

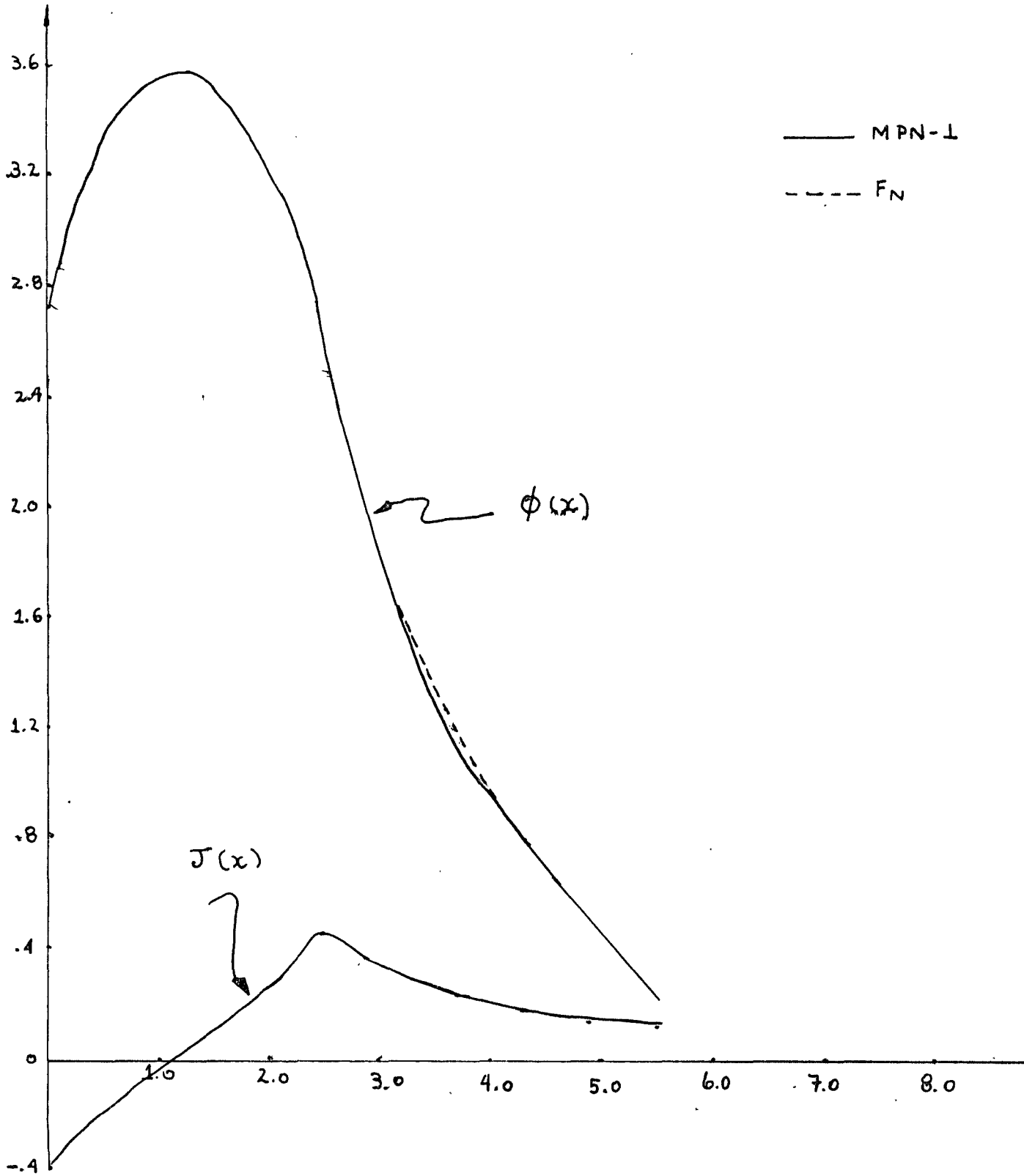
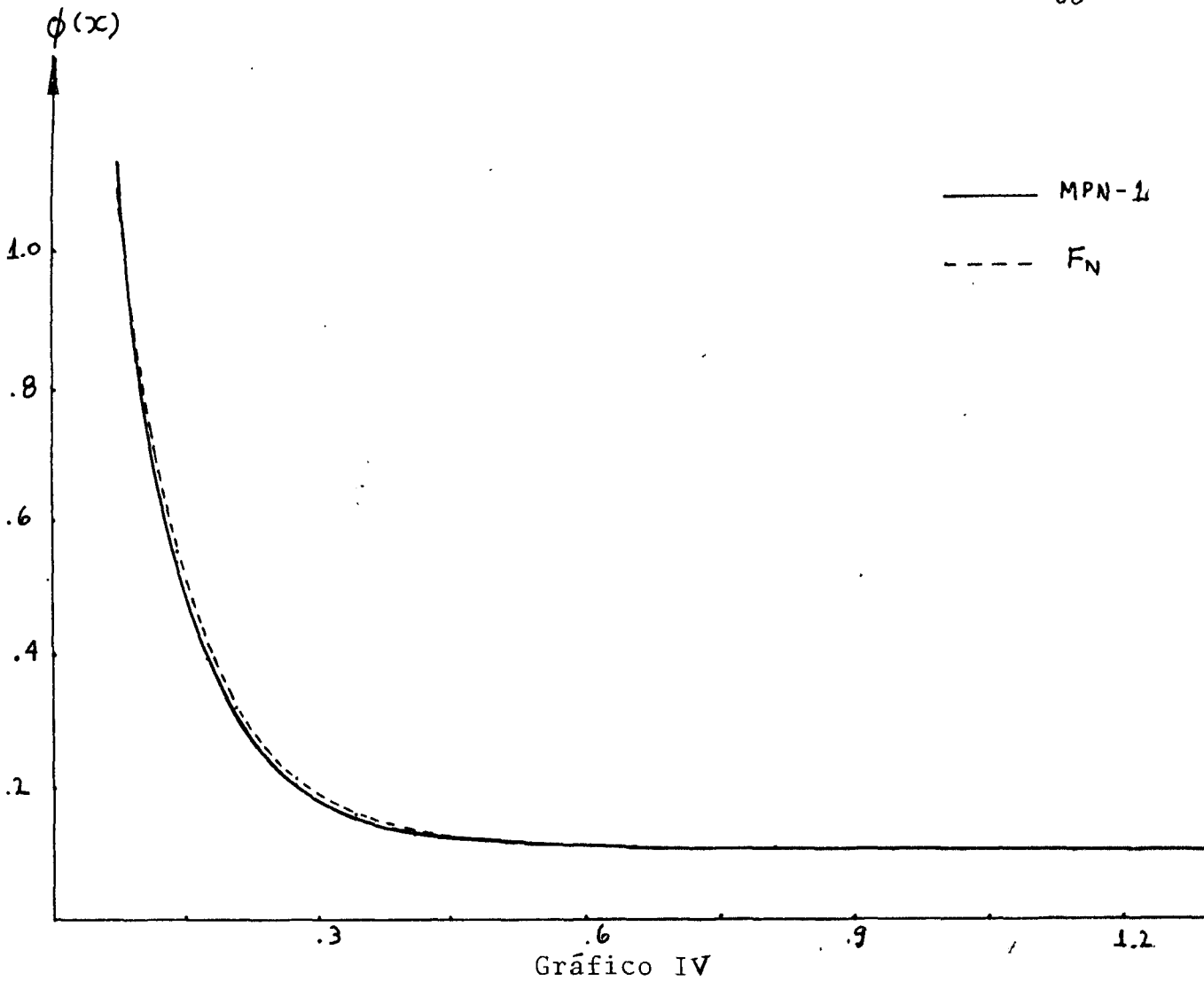


GRÁFICO III



Finalmente, como último problema dessa série foi escolhido um com duas regiões, incidência cossenoidal na face esquerda e superfície livre na face direita. Os resultados encontram-se na Tabela 5.14, onde são comparados com o Método de Regularização, apresentado por Ishiguro /32/. A geometria é mostrada na Figura 13.

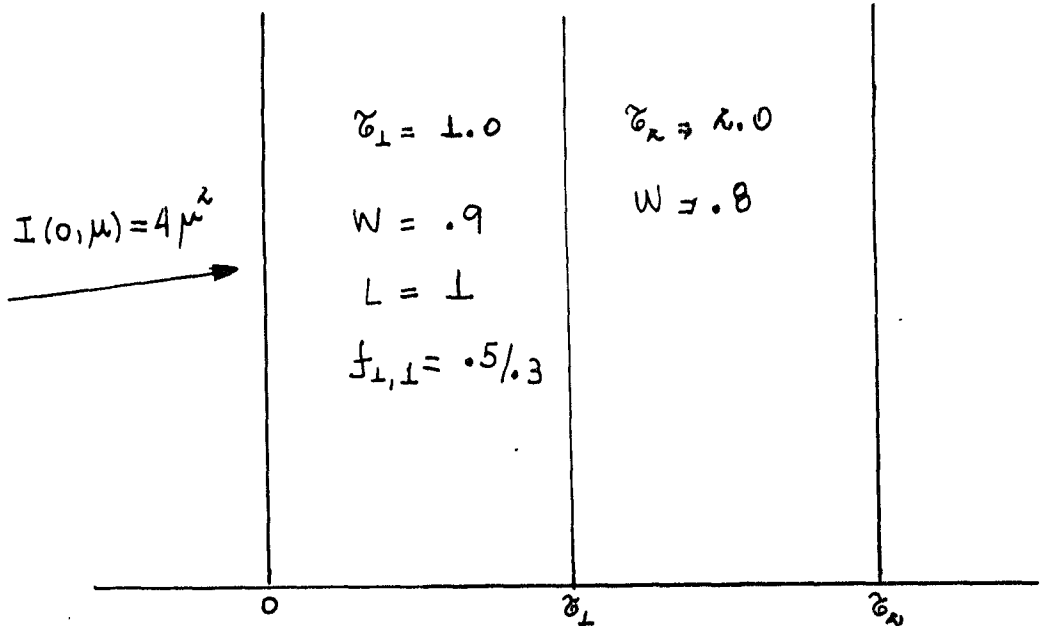


Figura 13 : Geometria do Problema 11.

TABELA 5.14 : Resultados do Problema 11.

FLUXO TOTAL				
X	Caso 1		Caso 2	
	Ishiguro	F_6	Ishiguro	F_6
0.0	2.1129	2.1128	2.0932	2.0932
0.1	2.1924	2.1924	2.1683	2.1687
0.2	2.1605	2.1609	2.1329	2.1329
0.4	2.0167	2.0168	1.9823	1.9821
0.6	1.8331	1.8332	1.7919	1.7919
0.8	1.6350	1.6350	1.5866	1.5866
1.0	1.4221	1.4224	1.3662	1.3662
1.2	1.1846	1.1849	1.1537	1.1537
1.4	0.9832	0.9832	0.9719	0.9719
1.6	0.8009	0.8008	0.8057	0.8056
1.8	0.6286	0.6286	0.6468	0.6468
2.0	0.4389	0.4389	0.4675	0.4675

Caso 1 : $f_{2,1} = 0.0$

Caso 2 : $f_{2,1} = 0.5/3.$

5.2 - Análise de Resultados

Na seção anterior, uma série de problemas foram apresentados com o intuito de demonstrar a confiabilidade do Módulo FNAM-1. A escolha dos problemas foi feita procurando abranger o maior número de casos disponíveis que testassem as várias opções que o programa possui. É evidente que não foram colocados todos os casos testados pelo Módulo, uma vez que não apresentaram diferenças sensíveis de dados de entrada, ou seja, sempre eles poderiam se enquadrar em um dos casos aqui mostrados. Também é necessário salientar que outros problemas, com novas opções, não foram testados devido ao exiguo número de publicações que apresentassem resultados em geometria plana e um grupo de energia.

Com referência a um estudo detalhado de cálculo de erro, quando da comparação com outros métodos, não foi feito, uma vez que seria necessário estudos mais cuidadosos quanto aos resultados; apenas pretendeu-se mostrar que o método F_N , e conseqüentemente o programa FNAM-1, apresenta resultados confiáveis dentro de uma precisão de 5%.

Em todos os problemas selecionados, a escolha dos pontos $F_N(\xi)$ foi realizada através da fórmula:

$$\xi_{j+\kappa-1} = \frac{2j-1}{2(N-\kappa+1)}, \quad j = 1, 2, \dots, (N-\kappa-1)$$

onde usou-se $\xi_\beta = v_{1,\beta}$, $\beta = 0, 1, \dots, \kappa-1$ e os pontos restantes como dados pela eq. (5.1), escolha essa considerada por Maiorino /41/ como a qual converge mais rapidamente com a ordem da aproximação.

Obviamente, como o programa está disponível em duas versões diferentes, uma breve observação deve ser feita quanto ao tempo gasto pela unidade central de processamento (U.C.P.). Para um problema de 4 regiões, com qualquer ordem de anisotropia, onde todos os cálculos anteriormente apresentados foram feitos para uma dada aproximação, o tempo de U.C.P. gasto no IBM/370 é da ordem de 2 minutos, enquanto que

no HB-GCOS/64 gastou-se 10 minutos.

É necessário ainda, ressaltar que os resultados que apresentaram maior erro relativo, foram aqueles os quais fizeram uso da condição de reflexão nos contornos, não sendo ainda possível avaliar se devido a problemas com a estrutura do programa ou se o método utilizado não é tão eficiente nesses casos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com os resultados apresentados no Capítulo V, demonstrou-se que o método F_N apresenta boa precisão, além de ser de fácil generalização. Até o presente momento, o método mostra-se eficiente em geometria plana, com um grupo de energia. Contudo, seria interessante fazer o mesmo procedimento aqui utilizado aplicado a multi-grupos, ou a outras geometrias.

Quanto aos resultados apresentados pelo Módulo, seria necessário que um estudo futuro fosse feito em relação aos erros percentuais apresentados, melhorar o tempo de U.P.C. e testar, ainda, novas opções de condição de contorno ou novos problemas.

Também sugere-se um estudo quanto ao problema de reflexão nos contornos, para estabelecer assim, a total eficiência do método nesses casos.

Em resumo, talvez uma frase de Jaynes (*) possa melhor descrever o estado de arte do Método F_N :

"A introdução de qualquer novo método em ciência introduz um transiente, o qual requer vários anos para se estabilizar. No início ocorrem expectativas e afirmações extravagantes sobre as possibilidades de aplicação do novo método, seguidas de críticas e negativas daqueles que possuíam interesses nos métodos anteriores; ... , Eventualmente, atinge-se um ponto de reavaliação e possivelmente, pode-se então fazer um julgamento objetivo acerca de exatamente o que o método pode e o que não pode contribuir. Este ponto é raramente atingido em menos de 10 anos".

(*) - JAYNES, E.T. Trans. Inform. Theory. IEEE. 14 : 611, 1968.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - ABRAMOWITZ, M. ; STEGUN, I.A. Handbook of mathematical functions. National Bureau of Standards. Wash.D.C., 1964.
- 2 - AMBARZUMIAN, V.A. Diffuse reflection of light by a foggy medium. C.R. Acad. Sci. USSR , Moscou, 38 : 229-232, 1943.
- 3 - BELL, G.I. ; GLASSTONE, S. Nuclear reactor theory. New York, Van Nostrand Reinhold, 1970.
- 4 - BELLMANN, R. ; KALABA, R. ; WING, G.M. Invariant imbedding and neutron transport theory. Journal of Mat. Phys., 1 : 280-308 , 1960.
- 5 - BENOIST, P. ; KAVENOKY, A. A new method of approximation of the Boltzmann equation. N.S. and Eng., 32 : 225 - 232, 1968.
- 6 - BOND, G.R.; SIEWERT, C.E. The effect of linearly anisotropic neutron scattering on disadvantage factor calculation. N.S. and Eng., 35 : 277-282 , 1969.
- 7 - CARLSON, B.G. Solution of transport equation by S_N approximations. Los Alamos, N. Mex., Los Alamos Scientific Laboratory, 1953. (La-1599).
- 8 - CARLVIK, I. Calculations of neutron flux distribution by means of integral transport methods. AE-279, Aktiebolaget Atomenergi, Stockholm , 1967.
- 9 - CASE, K.M. Elementary solutions of transport equation and their applications. Ann. Phys. , New York, 9:1-23 ,1960.

- 10 - CASE, K.M. ; HOFFMANN, F. ; PLACZEK, G. Introduction to the theory of neutron diffusion. Wash. D.C. , Government Printing Office, 1953.
- 11 - CASE, K.M.; ZWEIFEL, P.F. Linear transport theory . Mass., Addison-Wesley, 1967.
- 12 - CHANDRASEKHARS, S. Radiative transfer. London, Oxford University Press, 1950.
- 13 - DAVISON, B. Neutron transport theory, London, Oxford University Press, 1957.
- 14 - DEVAUX, C.; GRANDJEAN, P.; YSHIGURO, Y. : SIEWERT , C.E. On multiregion problems in radiative transfer. Astrophys. Space Sci, 62 : 225-233 , 1979.
- 15 - DEVAUX, C.; SIEWERT, C.E.; YUAN, Y.L. The F_N method for radiative transfer problems without azimuthal symmetry. Comunicação Privada, 1981.
- 16 - DUDERSDAT, J. ; HAMILTON, L.J. Nuclear reactor analysis. New York , N.Y., Wiley, 1976.
- 17 - DUDERSDAT, J. ; MARTIN, W.R. Transport theory. New York, N.Y., Wiley, 1979.
- 18 - DUNN, W.L.; MAIORINO, J.R. On the numerical characteristics of an inverse solution for three-term radiative transfer. J. Quant. R. Transfer, 24 : 203-209, 1980.
- 19 - ECCLESTON, G.W.; McCORMICK, N.J. One speed transport disadvantage factor calculation for general anisotropic scattering. J.Nucl. Energy , 24 : 23-34; 1970.

- 20 - EDDINGTON, A.S. The internal constitution of the stars. London, Cambridge University Press, 1926.
- 21 - ENGINEERING COMPENDIUM ON RADIATION SHIELDING. Shielding fundamental and methods. Vários autores. Berlin , Springer-Verlag , 1968.
- 22 - ENGLE, W.W., Jr. ANISN, a one dimensional discrete ordinates transport code with anisotropic scattering . Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory, Mar.1967. (K-1693).
- 23 - ERDMANN, R.C. ; SIEWERT, C.E. Green's function for the one speed transport equation in spherical geometry. J. Math. Phys., 9 : 81-89 , 1968.
- 24 - FERNANDES, J.E. ; ISHIGURO, Y. A aproximação F_N para a solução de problemas de transporte. São Paulo . IPEN, 1979. (Dissertação de Mestrado).
- 25 - FERZIGER, J.H.; ROBINSON, A. A transport theoretic calculation of the disadvantage factor. Nucl. Sci. Eng. 21 : 382-389 , 1965.
- 26 - GARCIA, R.D.M. ; POMRANING, G.C. ; SIEWERT, C.E. A kinetic theory for the transport of neutral hydrogen atoms in a hydrogen plasma. Submetido para publicação em Plasma Physics , 1980.
- 27 - GARCIA, R.D.M.; SIEWERT, C.E. Multigroup transport theory. Part II : Numerical results. Nucl. Sci. Eng., 78:315-323, 1981.
- 28 - GARCIA, R.D.M.; SIEWERT, C.E. A multiregion calculation in the theory of neutron diffusion. Nucl. Sci. Eng., 76 : 53-77 , 1980.

- 29 - GOLDSTEIN, H. Fundamental aspects of reactor shielding. USA, Addison Wesley, 1959.
- 30 - GRANDJEAN, P. ; SIEWERT, C.E. The F_N method in neutron transport theory. Part II : Applications and numerical results. N.Sci.Eng. , 69 : 161-169 , 1979.
- 31 - HUANG, K. Statistical mechanics . USA, Wiley, 1963.
- 32 - ISHIGURO, Y. Two group neutron transport theory with linearly anisotropic scattering: half range orthogonality and critical slab problem. São Paulo, IEA, Ago. 1973. (IEA-306).
- 33 - ISHIGURO, Y., Multiregion problems in plane geometry and numerical techniques in one group transport theory. São Paulo, IEA. Out 1977. (IEA-491, CEN-AFR 52).
- 34 - ISHIGURO, Y. ; GARCIA, R.D.M. Two media problems in two group neutron transport theory. Nucl. Sci. Eng. 68 , 99-110 , 1978.
- 35 - ISHIGURO, Y.; MAIORINO, J.R. Two half space Milne problem in two group transport theory. Nuc. Sci. Eng., 63 : 507-509 , 1977.
- 36 - KUSCER, I. ; ZWEIFEL, P.F. Time-dependent one speed albedo problem for a semi-infinite medium. J. Math. Phys. 6 : 1125 - 1130 , 1965.
- 37 - LALETIN, N.I. ; SULTANOV, N.V.; VLASOV, Y.A.; KONIEV , S.I. The effect of the anisotropic scattering on the thermal utilization factor. Annals of Nucl. Sci. 1 333-338 , 1974.
- 38 - LAMARSH, J.R. Introduction to nuclear reactor theory. Mass. , Addison-Wesley, 1966.

- 39 - LATHROP, K.D. DTF-IV, a FORTRAN-IV program for solving the multigroup transport equation with anisotropic scattering, 1965. (LA-3373).
- 40 - LOCANTE, J. ; LOWDER, W.M.; ENGHOLM, B.A.; KREGER, W.E. Panel discussion : engineering problems in power reactor shielding. Nucl. Tech. 26 : 496-502, 1975.
- 41 - MAIORINO, J.R. The F_N Method for Solving radiation transport problems. Raleigh, N.C., North Carolina State Univ., 1980 (Ph.D. Thesis).
- 42 - MAIORINO, J.R. The F_N method in radiative transfer and Neutron transport theory. Proceedings of the international topical meeting on advances in mathematical methods for the solution of nuclear engineering problems. 1 : 221, 1981 (Munich).
- 43 - MAIORINO, J.R. SIEWERT, C.E. The F_N method for polarizations studies. Part II : Numerical results J. Quant. Sp. Rad. Trans. 24 : 159-165, 1980.
- 44 - MARK, J.C. The spherical harmonics method I. Atomic Energy Project, Division of Research, National Research, 1957.
- 45 - McCORMICK, N.J.; KUSCER, I. Singular eigenfunction expansion in neutron transport theory. Academic Press, 1973.
- 46 - METCALF, D.R.; ZWEIFEL, P.F. Solution of two-group neutron transport equation. Nucl. Sci. Eng. 33 : 307 - 317, 1968.
- 47 - MILNE, E.A. Radiative equilibrium in the outer layer of a star. Monthly Not. Roy. Ast. Soc. London. 81 ; 361, 1921.

- 48 - MITSIS, G.J. Transport solution to the monoenergetic critical problems. Argonne National Laboratory, Applied Mathematics Division, Argonne, III Office of Technical Services, USA, Wash., DC, 1963 (ANL-6787).
- 49 - MYNATT, F.R. A users manual for DOT, Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant. USAEC Report. (K-1694).
- 50 - NESHAT, K.; MAIORINO, J.R. The F_N Method for solving the critical problem for a slab with a finite reflector. Annals of Nuc. En. 7 : 79-81 , 1980.
- 51 - ONISHI, T. Numerical reactor calculations. Proceedings of a Seminar, Viena. Finite-element solution technique for neutron transport equation , 1 : 629-638, 1972.
- 52 - OZISIK, M.N. Radiative transfer and interaction with conduction and convection. New York, N.Y. Wiley, 1973.
- 53 - PAHOR, S. One Speed neutron transport in slab geometry. Nuc. Sci. Eng. 29 : 248-253 , 1967.
- 54 - POMRANING, G.C.; CLARK, M. A new asymptotic diffusion theory. Nuc. Sci. Eng. 17 : 227-233, 1963.
- 55 - PONTI, A. A test problem solved with ANISN. Newsletter. 17 : 49-57, 1974.
- 56 - REITH, R.J.; SIEWERT, C.E. Two-group neutron transport theory with anisotropic scattering. Nuc. Sci. Eng. 47 : 156 - 162 , 1972.
- 57 - SANDIA LABORATORY. DTF-69 : an improved capability for solution of photon transport problems by the method of discrete ordinates. Sandia Lab.
- 58 - SCHWARSCHILD, K. Uber das gleichgewicht der sonnenatmosphäre. Gessel Wiss. Göttingen, Nachr. Math. Phys., Klasse. 41-53, 1906.

- 59 - SHURE, F. ; NATELSON, M. Anisotropic scattering in half space transport problems. Ann. Phys. 26 : 274-291, 1964.
- 60 - SIEWERT, C.E. On computing eigenvalues in radiative transfer. Aceito para publicação em J. Math. Phys., 1980.
- 61 - SIEWERT, C.E. The F_N method for solving radiative transfer problems in plane geometry. Ast. and Space Sci. 58 : 131-137 , 1978.
- 62 - SIEWERT, C.E.; BENOIST, P. The F_N method in neutron transport theory. Part I : theory and applications . N. Sci. Eng. 69 : 156 - 160 , 1979.
- 63 - SIEWERT, C.E. ; BENOIST, P. Multigroup transport theory, Part I : basic Analysis. N.Sci. Eng. 78 : 311-314 , 1981.
- 64 - SIEWERT, C.E.; GARCIA, R.D.M. Radiative transfer in inhomogeneous atmospheres - Numerical results. Comunicação privada, 1980.
- 65 - SIEWERT, C.E.; GARCIA, R.D.M.; GRANDJEAN, P. A concise and accurate solution for Poiseuille flow in a plane channel. J.Math. Phys. 12 : 2760-2763, 1980.
- 66 - SIEWERT, C.E.; ISHIGURO, Y. Two-group neutron transport theory : half-range orthonormality, normalization integrals, applications and computations J. Nuc. En. 26 : 251-269 , 1972.
- 67 - SIEWERT, C.E.; MAIORINO, J.R. A point source in a finite sphere. J.Quant. Spec. Rad. Transf. 22 : 435-439, 1979.
- 68 - SIEWERT, C.E.; MAIORINO, J.R. The complete solution for the scattering of polarized light in a Rayleigh and isotropically scattering atmosphere. Submetido

para publicação no J. Atm. Sci., 1980.

- 69 - SIEWERT, C.E.; MAIORINO, J.R. The inverse problem for a finite Rayleigh scattering atmosphere. J.Ap. Math. Phys. 31 : 767 - 770 , 1980.
- 70 - SIEWERT, C.E. ; MAIORINO, J.R.; ÖZISIK, M.N. The use of the F_N Method for radiative transfer problems with reflective boundary conditions. J.Quant. Sp. Rad. Trans. 23 : 565-573, 1980.
- 71 - SPANIER, J.; GELBARD, E.M. Monte Carlo principles and neutron transport problems. Mass., Addison-Wesley, 1969.
- 72 - THEYS, M. Integral transport theory of thermal utilization factor in infinite slab geometry. Nuc. Sci. Eng. 7 : 58-63, 1960.
- 73 - WING, G.M. An introduction to transport theory. New York , N.Y., Wiley , 1962.
- 74 - YAMAGUCHI, M.; MAIORINO, J.R. Um módulo de computação para a solução da equação de transporte em multi-regiões através do método P_N . Aceito para publicação no IPEN, 1982.
- 75 - YOSHIMURA, T.; KATSURAGI, S. Multigroup treatment of neutron transport in plane geometry. N.Sci. Eng. 33 : 297-302, 1968.
- 76 - YVON, J. La diffusion macroscopique des neutrons : une méthode d'approximation. J. Nuc. En. 33 : 305-319, 1957.
- 77 - ZELASNY, R. Exact solution of a critical problem for a slab. J. Math. Phys. 2 : 538-542, 1961.

APÊNDICE A

A.1 - Equação de Boltzmann

A fim de melhor situar num contexto maior o problema que nesta dissertação foi abordado, faz-se necessário uma breve explicação acerca da equação utilizada.

O objetivo maior da teoria de transporte é a descrição do comportamento médio de uma população de partículas num meio material, e a obtenção de parâmetros de fenômenos macroscopicamente observáveis a partir da descrição do processo microscópico de transporte. Desta forma, a teoria de transporte é um ramo da Mecânica Estatística. Cumpre destacar que a Mecânica Estatística possui dois ramos distintos; um que trata dos sistemas em equilíbrio (Termodinâmica) e outro dos sistemas em não equilíbrio (Teoria Cinética). Assim sendo, a teoria de transporte se enquadra nos objetivos da teoria cinética, qual seja: o estudo e a derivação de equações que descrevam a distribuição de partículas em várias situações físicas.

Tais "equações cinéticas" são exemplos típicos da equação de Boltzmann para gases diluídos, transporte de nêutrons ou da equação de Vlasov para plasma, salientando-se que um ramo muito restrito da teoria cinética é aquele ligado à solução de tais equações e sua aplicação ao estudo dos processos de transporte ou "equações de transporte". /31/.

No caso particular de partículas não carregadas (nêutrons e fótons), a descrição matemática do processo de transporte assume uma forma linear. Entretanto no caso das partículas poderem interagir entre elas, além de interagirem com o meio no qual o processo de transporte se efetua, a descrição matemática assume uma forma não linear extremamente complexa. O objetivo desta Seção é mostrar que é possível derivar a equação utilizada neste trabalho (linear), a par

tir da equação mais geral (não linear).

A fim de derivar uma forma genérica da equação de transporte, é necessário obter uma expressão exata para a densidade no espaço de fases, caracterizando o processo de perdas ou ganhos de partículas em um certo volume do espaço de fases. Para tal, seja :

$f_i(\underline{r}, \underline{v}_i, t) d^3r d^3v_i$ = função distribuição - provável número de partículas de espécie i , cujas coordenadas de posição variam em d^3r sobre r e de velocidade em d^3v_i sobre v_i , no tempo t .

$\underline{F}_i(\underline{r}, t)$ \equiv forças externas por unidade de massa (aceleração).

Desta forma, com esta definição, tem-se :

$$f_i(\underline{r} + \underline{v}_i dt, \underline{v}_i + \underline{F}_i dt, t + dt) = f_i(\underline{r}, \underline{v}_i, t), \quad (\text{A.1}),$$

e se houver colisões

$$f_i(\underline{r} + \underline{v}_i dt, \underline{v}_i + \underline{F}_i dt, t + dt) = f_i(\underline{r}, \underline{v}_i, t) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right) dt \text{ colisões} \quad (\text{A.2})$$

Assim sendo, para derivar uma expressão para o termo de colisão :

$$\frac{df_i}{dt} = \frac{\partial f_i}{\partial t} + \frac{\partial f_i}{\partial \underline{r}_i} \cdot \underline{v}_i + \frac{\partial f_i}{\partial \underline{v}_i} \cdot \underline{F}_i \quad (\text{A.3}),$$

onde $\nabla_{\underline{r}_i}$ e $\nabla_{\underline{v}_i}$ é o gradiente em relação às coordenadas posição e velocidade, respectivamente, e sendo:

$$\frac{\partial \underline{r}_i}{\partial t} = \underline{v}_i \text{ (velocidade)} \quad , \quad (\text{A.4})$$

$$\frac{\partial \underline{v}_i}{\partial t} = \underline{F}_i \text{ (2.ª lei de Newton)} \quad , \quad (\text{A.5})$$

obtem-se:

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t} \right)_{\text{colisão}} = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_i \cdot \nabla_{\underline{r}} + \underline{F}_i \cdot \nabla_{\underline{v}_i} \right) f_i(\underline{r}, \underline{v}_i, t) \quad . \quad (\text{A.6})$$

Definindo:

$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t} \right)_{\text{colisão}}$ como a taxa na qual a função distribuição de velocidade altera-se através de colisões, pode-se definir:

$\Gamma_i^+ d^3 r d^3 v_i dt =$ número esperado de colisões ocorrendo durante o tempo t e $t + dt$ na qual o estado final está em $d^3 r d^3 v_i$, ao redor de \underline{r} e \underline{v} .

$\Gamma_i^- d^3 r d^3 v_i dt =$ número esperado de colisões ocorrendo durante o tempo t e $t + dt$ no qual o estado inicial está em $d^3 r d^3 v_i$, ao redor de \underline{r} e \underline{v} .

Assim sendo:

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t} \right)_{\text{colisão}} dt = (\Gamma_i^+ - \Gamma_i^-) dt \quad . \quad (\text{A.7})$$

Analisando a dinâmica do processo de colisão e usando as seguintes hipóteses:

- somente colisões binárias são consideradas, ou seja, as partículas interagem somente duas a duas.
- as partículas são consideradas esfericamente simétricas.
- não há correlação entre as posições de duas partículas que colidem (meio amorfo).

Desta forma, pode-se obter uma expressão para o termo de colisão, podendo a eq. (A.6) ser reescrita :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_i \cdot \nabla \underline{r} + \underline{F}_i \cdot \nabla_{\underline{v}_i} \right) f_i(\underline{r}, \underline{v}_i, t) = \\ & = \sum_j \iint (f'_i f'_j - f_i f_j) \sigma(\underline{v}_i, \underline{v}_j / \underline{v}'_i, \underline{v}'_j) d^3 v_j d\Omega, \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

onde $\sigma(\underline{v}_i, \underline{v}_j / \underline{v}'_i, \underline{v}'_j)$ representa a seção de choque diferencial .

E ainda

$$\begin{aligned} f_1 &= f(\underline{r}, \underline{v}_1, t) & , & & f'_1 &= f(\underline{r}, \underline{v}'_1, t) & , \\ f_2 &= f(\underline{r}, \underline{v}_2, t) & , & & f'_2 &= f(\underline{r}, \underline{v}'_2, t) \\ \vdots & & & & \vdots & \end{aligned}$$

Considerando, agora, que haja apenas dois tipos de partículas, ou seja, f_1 e f_2 :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_1 \cdot \nabla_{\underline{r}} + \underline{F} \cdot \nabla_{\underline{v}_1} \right) f_1 = \int d\Omega \int d^3 v_2 (f'_1 f'_2 - f_1 f_2) \cdot \\ & \cdot \sigma(\underline{v}_1, \underline{v}_2 / \underline{v}'_1, \underline{v}'_2) + \int d\Omega \int d^3 v_1 (f'_1 f'_1 - f_1 f_1) \sigma(\underline{v}_1 / \underline{v}'_1) , \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

ou

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_2 \cdot \nabla_r + \underline{F} \cdot \nabla_{v_2} \right) f_2 = \int d\Omega \int d^3 v_1 (f'_2 f'_1 - f_2 f_1) \cdot \\ \cdot \sigma(\underline{v}_2, \underline{v}_1 / \underline{v}'_2, \underline{v}'_1) + \int d\Omega \int d^3 v_2 (f'_2 f'_2 - f_2 f_2) \sigma(\underline{v}_2 / \underline{v}'_2). \end{aligned} \quad (A.10)$$

A.1.1 - Derivação da Equação de Transporte de Neutrons a partir da Equação de Boltzmann.

Para se derivar a equação de transporte de neutrons a partir da equação de Boltzmann é necessário fazer-se algumas hipóteses básicas. Supondo que haja apenas dois tipos de partículas, tais como neutron (f_1) e partículas moderadoras (f_2), assume-se que :

- $f_1 \ll f_2$, ou seja, a densidade de partículas de neutrons é menor que a densidade de partículas moderadoras.
- o moderador está em estado de equilíbrio completo ($f_2 = f_2^M$), onde f_2^M é a distribuição de Maxwell - Boltzmann.
- Não há forças externas, ou seja, $\underline{F} \equiv 0$.

Assim sendo, a equação de Boltzmann torna-se :

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_1 \cdot \nabla_r \right) f_1 = \int d^3 v_1 w_{11} [f'_1 f'_1 - f_1 f_1] + \\ + \int d^3 v_2 w_{12} [f'_1 f'_2 - f_1 f_2] \end{aligned} \quad (A.11)$$

onde w_{ij} refere-se a probabilidade de interação da partícula

la i com j .

Assim, a equação para neutrons torna-se

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + \underline{v}_1 \cdot \nabla_{\underline{r}} + V_n(v_1) \right] f_1 = \int d\underline{v}'_1 \Sigma(\underline{v}'_1 \rightarrow \underline{v}_1) f'_1 \quad , \quad (\text{A.12})$$

pois $f_1 \ll f_2$, $f_1 f_1 \rightarrow 0$ e $f'_1 f'_1 \rightarrow 0$, onde :

$$V_n(v_1) = \int d\underline{v}'_1 \int d\underline{v}'_2 \int d\underline{v}_2 W_{12} f_2^m \quad , \quad (\text{A.13})$$

e

$$\Sigma(\underline{v}'_1 \rightarrow \underline{v}_1) = \int d\underline{v}'_2 \int d\underline{v}_2 W_{12} f_2^m(v'_2) \quad , \quad (\text{A.14})$$

sendo $V_n(v_1)$ a seção de choque total e $\Sigma(\underline{v}'_1 \rightarrow \underline{v}_1)$ a seção de choque de espalhamento.

Definindo

$$\int \underline{v}_1 f(\underline{r}, \underline{v}_1, t) d\underline{v}_1 = \psi(\underline{r}, E_1, \underline{\Omega}, t) \quad , \quad (\text{A.15})$$

($\underline{v}_1 = v_1 \underline{\Omega}$) , com

$$d\underline{v}'_1 = v_1^2 d v'_1 d \underline{\Omega}' = \frac{1}{m} v'_1 dE'_1 d\underline{\Omega}' \quad , \quad (\text{A.16})$$

tem-se

$$\begin{aligned} & \left[\frac{1}{v_1} \frac{\partial}{\partial t} + \underline{\Omega}_1 \cdot \nabla_{\underline{r}} + \Sigma_t(v_1) \right] \psi(\underline{r}, E_1, \underline{\Omega}_1, t) = \\ & = \iint dE'_1 d\underline{\Omega}'_1 (E'_1, \underline{\Omega}'_1 \rightarrow E_1, \underline{\Omega}_1) \psi(\underline{r}, E'_1, \underline{\Omega}'_1, t) \quad . \end{aligned} \quad (\text{A.17})$$

que é a equação final de Boltzmann para partículas não carregadas

gadas.

Supondo, agora, que a equação (A.17) esteja em estado estacionário, e assim não havendo dependência temporal:

$$\begin{aligned} & \left[\underline{\Omega}_1 \cdot \nabla_{\underline{r}} + \Sigma_t(v_1) \right] \psi(\underline{r}, E_1, \underline{\Omega}_1) = \\ & = \iint dE'_1 d\underline{\Omega}'_1 \Sigma(E'_1, \underline{\Omega}'_1 \rightarrow E_1, \underline{\Omega}_1) \psi(\underline{r}, E'_1, \underline{\Omega}'_1) \quad , \quad (A.18) \end{aligned}$$

onde ainda mais uma vez pode-se eliminar o parâmetro energético, supondo-se que a equação final desejada seja monoenergética. Obviamente isto pode ser feito procedendo-se à integração da eq. (A.18) em todo espaço de energia $(0-\infty)$, tornando-se:

$$(\underline{\Omega}_1 \cdot \nabla_{\underline{r}} + \Sigma_t(\underline{\Omega}_1)) \psi(\underline{r}, \underline{\Omega}_1) = \int d\underline{\Omega}'_1 \Sigma(\underline{\Omega}'_1 \rightarrow \underline{\Omega}_1) \cdot$$

$$\cdot \psi(\underline{r}, \underline{\Omega}'_1) \quad (A.19)$$

Expandindo-se a dependência angular em polinômios de Legendre, e supondo-se que a dependência espacial seja apenas em \underline{x} , obtem-se:

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \psi(x, \mu) + \psi(x, \mu) = \frac{w}{2} \sum_{\ell=0}^L (2\ell + 1) f_{\ell} P_{\ell}(\mu) \cdot$$

$$\cdot \int_{-1}^1 P_{\ell}(\mu') \psi(x, \mu') d\mu' \quad , \quad (A.20)$$

a qual é a Equação de Boltzmann linear, monoenergética e em geometria plana.

A.2 - Autovalores

Para a solução dos problemas considerados, pelo método F_N , o cálculo dos autovalores discretos é essencial, desde que este é sempre um ponto em que as equações F_N são válidas. Uma vez que as equações F_N são fáceis de generalizar e resolver, a computação dos autovalores discretos é, talvez, o aspecto mais difícil do método. Sendo assim, nesta seção mostrar-se-ã como essas quantidades são computadas.

Para o modelo de espalhamento isotrópico, os autovalores requeridos são os zeros da função dispersão /60/ :

$$\mathcal{L}(z) = 1 - \frac{1}{2} w z \log \frac{z+1}{z-1}, \quad z \notin (-1,1), \quad (\text{A.21})$$

a qual possui somente um par de zeros /60/. Para $w < 1$, os zeros são reais e para $w > 1$ os zeros da função são imaginários puros.

Para obter-se v_0 , usa-se /60/

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{1-w}} \exp \left[-\frac{1}{\pi} \int_0^1 \theta(t) \frac{dt}{t} \right], \quad (\text{A.22})$$

onde

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left[\frac{w\pi t}{2\lambda(t)} \right], \quad (\text{A.23})$$

$t \in (0,1)$ com

$$\lambda(t) = 1 - w t \tanh^{-1}(t). \quad (\text{A.24})$$

Na tabela 7.1, computou-se alguns valores de $|v_0|$, para espalhamento isotrópico. Todos os autovalores apresentados foram refinados usando-se um esquema iterativo de Newton-Raphson além do uso de 80 pontos de quadratura de Gauss a fim de computar-se as integrais necessárias para ob

ter-se as soluções explícitas dos auto-valores.

TABELA 7.1 : Auto-valores refinados para espalhamento isotrópico.

W	$ v_0 $	W	$ v_0 $
0.20	1.000090887	0.95	2.635148834
0.30	1.002592888	0.96	2.934020561
0.40	1.101458582	0.97	3.374031386
0.50	1.044382034	0.98	4.115520476
0.60	1.110213202	0.99	5.796729451
0.70	1.206804254	0.999	18.264725726
0.80	1.407634309		
0.90	1.903204856		

Para o modelo geral de espalhamento anisotrópico, os auto-valores discretos são os zeros da função dispersão :

$$\Lambda(Z) = 1 - Z \int_{-1}^1 \psi(x) \frac{dx}{Z-x}, \quad (\text{A.25})$$

$Z \in (-1, 1)$ e onde

$$\psi(x) = \frac{w}{2} \sum_{\ell=0}^L (2\ell + 1) f_{\ell} g_{\ell}(x) P_{\ell}(x), \quad \text{é a} \quad (\text{A.26})$$

função característica, com

$$v h_{\ell} g_{\ell}(v) = (\ell+1) g_{\ell+1}(v) + \ell g_{\ell-1}(v), \quad (\text{A.27})$$

$$e \quad g_0(v) = 1 \quad , \quad g_1(v) = (1 - w) v \quad , \quad (\text{A.28 a,b})$$

$$\text{sendo } h_\ell = (2\ell+1) (1 - w f_\ell) \quad , \quad (\text{A.29}),$$

e $P_\ell(x)$ os polinômios de Legendre.

Desta forma, obtem-se :

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(Z) = & 1 + \frac{wZ}{2} \sum_{\ell=1}^L (2\ell + 1) f_\ell g_\ell(Z) \Gamma_\ell(Z) - \\ & - Z \psi(Z) \log \frac{(Z+1)}{(Z-1)} \quad , \quad (\text{A.30}) \end{aligned}$$

com

$$(2\ell + 1) Z \Gamma_\ell(Z) = - 2 \delta_{\ell,0} + (\ell+1) \Gamma_{\ell+1}(Z) + \ell \Gamma_{\ell-1}(Z) \quad , \quad (\text{A.31})$$

sendo :

$$\Gamma_0(Z) = 0 \quad e \quad \Gamma_1(Z) = 2 \quad . \quad (\text{A.32.a.b}).$$

Pode-se mostrar /60/ que $\mathcal{L}(Z)$ possui $(\kappa-1)$ pares de raízes, sendo que o número de pares pode ser determinado por:

$$\kappa = \frac{1}{\pi} \Delta_{0,1} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\pi t \psi(t)}{\lambda(t)} \right) \right] . \quad (\text{A.33})$$

A fim de obter-se os auto-valores discretos, pode-se usar as fórmulas dadas por Siewert /60/. Desta maneira, para $\kappa = 1$, tem-se :

$$v_0^2 = \frac{1}{\Lambda(\infty)} \exp \left[-\frac{2}{\pi} \int_0^1 \theta(t) \frac{dt}{t} \right], \quad \kappa = 1, \quad (\text{A.34})$$

$$\text{com } \theta(t) = \tan^{-1} \left[\frac{\pi t \psi(t)}{\lambda(t)} \right], \quad (\text{A.35})$$

e

$$\Lambda(\infty) = \prod_{\ell=0}^L (1 - w f_\ell). \quad (\text{A.36})$$

Da mesma forma, se $\kappa = 2$ usa-se :

$$v_0^2 = A + (A^2 - B)^{1/2}, \quad \kappa = 2, \quad (\text{A.37})$$

e

$$v_1^2 = A - (A^2 - B)^{1/2}, \quad \kappa = 2, \quad (\text{A.38})$$

onde

$$A = 1 - \frac{1}{\pi} \int_0^1 t \theta(t) dt + \frac{1}{2} \frac{w}{\Lambda(\infty)} \sum_{\ell=0}^L f_\ell B_\ell, \quad (\text{A.39})$$

com

$$(2\ell+1) B_{\ell+1} = h_\ell B_\ell + \frac{(\ell+2)^2}{(2\ell+5)(2\ell+3)} h_\ell W_\ell - \frac{\ell^2}{2\ell-1} W_{\ell-1}, \quad \ell \geq 0, \quad (\text{A.40})$$

$$\text{com } B_0 = \frac{1}{3} \quad \text{e} \quad B_1 = \frac{3}{5} h_0, \quad (\text{A.41.a,b})$$

$$\text{e tamb\~{e}m } (2\ell+1) W_{\ell+1} = h_\ell W_\ell \quad (\text{A.42})$$

$$\text{com } W_0 = 1.$$

E ainda

$$B = \frac{1}{\Lambda(\infty)} \exp \left[-\frac{2}{\pi} \int_0^1 \theta(t) \frac{dt}{t} \right]. \quad (\text{A.43})$$

Finalmente, para o caso em que $\kappa = 3$, tem-se 3 equações :

$$v_0^2 v_1^2 v_2^2 = \frac{1}{\Lambda(\infty)} \exp \left[-\frac{2}{\pi} \int_0^1 \theta(t) \frac{dt}{t} \right], \quad \kappa = 3, \quad (\text{A.44})$$

$$v_0^2 + v_1^2 + v_2^2 = 3 - \theta_1 + \frac{W}{\Lambda(\infty)} \sum_{\ell=0}^L f_{\ell} B_{\ell}, \quad (\text{A.45})$$

e

$$\begin{aligned} - (v_0^2 v_1^2 + v_0^2 v_2^2 + v_1^2 v_2^2) &= 3(1 - \theta_1) + \theta_3 + \frac{1}{2} \theta_1^2 + \\ &+ (3 - \theta_1) \frac{W}{\Lambda(\infty)} \sum_{\ell=0}^L f_{\ell} B_{\ell} - \frac{W}{\Lambda(\infty)} \sum_{\ell=0}^L f_{\ell} C_{\ell}, \end{aligned} \quad (\text{A.46})$$

onde

$$\theta_{\alpha} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 t^{\alpha} \theta(t) dt, \quad (\text{A.47})$$

e

$$(2\ell+1) C_{\ell+1} = h_{\ell} C_{\ell} + \frac{(\ell+2)^2}{(2\ell+5)(2\ell+3)} h_{\ell} T_{\ell} - \frac{\ell^2}{2\ell-1} T_{\ell-1}, \quad (\text{A.48})$$

$$\text{com } T_{\ell} = B_{\ell} + \frac{1}{2\ell+5} \left[\frac{(\ell+3)^2}{2\ell+7} + \frac{(\ell+2)^2}{2\ell+3} \right] W_{\ell}; \quad (\text{A.49})$$

$$C_0 = \frac{1}{5} \quad \text{e} \quad C_1 = \frac{3}{7} h_0. \quad (\text{A.50 . a, b})$$

A fim de demonstrar a precisão das soluções explícitas dadas pelas equações acima para os casos de $\kappa=1, 2$ e 3 , listou-se nas Tabelas 7.2 e 7.3 os auto-valores discretos obtidos para diferentes leis de espalhamento. Na Tabela 7.4 a lei de espalhamento que foi utilizada é dada pela fórmula /41/ ; com $L = 20$:

$$(2\ell+1) f_{\ell}^L = \frac{L+1}{2L} \left[\ell f_{\ell-1}^{L-1} + (2\ell+1) f_{\ell}^{L-1} + (\ell+1) f_{\ell+1}^{L-1} \right] ; \quad \text{com} \quad (\text{A.51})$$

$$f_0^L = 1 \quad \text{e} \quad f_{\ell}^L = 0 \quad \text{se} \quad \ell > L .$$

TABELA 7.2 : (a) lei de espalhamento. (b) Auto-valores Discretos.

ℓ	$(2\ell+1) f$
0	1.00000
1	2.35789
2	2.76628
3	2.20142
4	1.24514
5	0.51215
6	0.16096
7	0.03778
8	0.00667
9	0.00081
10	0.00000

W	v_0	v_1
0.2	1.0630333	-
0.8	2.4371617	1.0519660
0.95	5.347618	1.1490146

TABELA 7.3 : (a) Lei de espalhamento. (b) Auto-Valores Discretos.

ℓ	$(2\ell+1) f_\ell$
0	1.0
1	2.00916
2	1.56339
3	0.67407
4	0.22215
5	0.04725
6	0.00671
7	0.00068
8	0.00005

W	v_0	v_1
0.65	1.548109	-
0.80	2.105221	-
0.95	4.440365	1.00005
0.9999	100.456833	1.001131

TABELA 7.4 : L = 20

W	v_0		v_1		v_2	
	Explícito	Refinado	Explícito	Refinado	Explícito	Refinado
0.1	1.030043	1.030042				
0.5	1.536814	1.536814	1.054989	1.054987		
0.95	7.480699	7.480699	1.019561	1.0195586	1.666787	1.666787

A.3 - Modificação na Computação dos Polinômios $g_\ell(v)$ e das funções $A_\alpha^{(i)}(v)$, $B_\alpha^{(i)}(v)$ para grandes valores de v e dos coeficientes contínuos $A(\pm \xi)$.

A principal dificuldade numérica encontrada nos problemas apresentados no Capítulo IV foi a computação das funções $A_\alpha^{(i)}(v)$ e $B_\alpha^{(i)}(v)$ quando w (número de partículas secundárias) aproxima-se da unidade. De acordo com as equações (4.11) e (4.12.a,b), as auto-funções $g_\ell(v)$ podem ser calculadas através de uma fórmula de recorrência. Entretanto, essas fórmulas não fornecem resultados numéricos que reproduzem seu comportamento correto, quando $|v_{i,1}| > 3$, especialmente para grandes valores de ℓ (onde $v_{i,1}$ denota o maior autovalor), devido a problemas de precisão numérica no computador digital. Assim sendo, para contornar esse problema, e baseando-se no fato que $g_\ell(v_{i,1})$ tende a zero se $v_{i,1}$ tende a infinito, define-se para grandes valores de ℓ , por exemplo $\ell = 30$, as funções $g_\ell^*(v) = 0$ e $g_{\ell-1}^*(v) = 1$, e usando-se a fórmula de recorrência dada pela equação (4.11) de forma inversa, ou seja :

$$\ell g_{\ell-1}^*(v) = v h_\ell g_\ell^*(v) - (\ell+1) g_{\ell+1}^*(v). \quad (\text{A.52})$$

e uma vez que $g_0(v) = 1$, pode-se obter as funções $g_\ell(v)$ através de :

$$g_\ell(v) = \frac{g_\ell^*(v)}{g_0^*(v)} \quad ; \quad \ell = 0, 1, 2 \dots \quad (\text{A.53})$$

Outra dificuldade encontrada, quando w é perto da unidade, é a computação das funções $A_\alpha^{(i)}(v_{\beta,1})$ e $B_\alpha^{(i)}(v_{\beta,1})$ usando a relação de recorrência dada pela equações (4.35) e (4.38). Para superar esse problema computacional, usou-se séries truncadas as quais foram derivadas da definição original das equações de $A_\alpha^{(i)}(v_{i,1})$ e $B_\alpha^{(i)}(v_{i,1})$.

Assim, da definição original de $A_\alpha^{(i)}(v_{i,1})$ e $B_\alpha^{(i)}(v_{i,1})$:

$$A_{\alpha}^{(i)}(v_{i,1}) = \int_0^1 \mu^{\alpha+1} g(v_{i,1}, -\mu) \frac{d\mu}{\mu + v_{i,1}} \quad (\text{A.54})$$

e

$$B_{\alpha}^{(i)}(v_{i,1}) = \int_0^1 \mu^{\alpha+1} g(v_{i,1}, \mu) \frac{d\mu}{\mu - v_{i,1}} \quad (\text{A.55})$$

Desta forma, pode-se expandir $\frac{1}{(\mu \pm v_{i,1})}$ em séries de potência a fim de obter-se , após integração,

$$v_{i,1} A_{\alpha}^{(i)}(v_{i,1}) = \sum_{\ell=0}^L (2\ell + 1) f_{\ell} g_{\ell}(v_{i,1}) (-1)^{\ell} -$$

$$- \frac{1}{v_{i,1}} \Delta_{\alpha+1,\ell} + \frac{1}{v_{i,1}^2} \Delta_{\alpha+2,\ell} - \frac{1}{v_{i,1}^3} \Delta_{\alpha+3,\ell} + \dots \quad (\text{A.56})$$

e

$$v_{i,1} B_{\alpha}^{(i)}(v_{i,1}) = \sum_{\ell=0}^L (2\ell+1) f_{\ell} g_{\ell}(v_{i,1}) \Delta_{\alpha,\ell} + \frac{1}{v_{i,1}} \Delta_{\alpha+1,\ell}$$

$$+ \frac{1}{v_{i,1}^2} \Delta_{\alpha+2,\ell} + \frac{1}{v_{i,1}^3} \Delta_{\alpha+3,\ell} + \dots \quad (\text{A.57})$$

séries essas truncadas em uma determinada ordem conveniente.

Como já discutido no Capítulo IV, o cálculo dos coeficientes contínuos $A(\pm v)$ requeridos na eq. (4.6) implica na resolução de integrais singulares, cujas singularidades devem ser removidas. A fim de ilustrar o procedimento utilizado, seja a seguinte integral :

$$I = \frac{\alpha_1}{2\pi} \int_0^1 \vartheta_i(\xi, \mu_0) \frac{e^{-x/\xi}}{N_i(\xi)} d\xi \quad , \quad (\text{A.58})$$

$$\text{onde } \vartheta_i(\xi, \mu_0) = \frac{1}{2} w_i \xi g_i(\xi, \mu_0) P_V \left(\frac{1}{\xi - \mu_0} \right) + \lambda_i(\xi) \delta(\xi - \mu_0) \quad , \quad (\text{A.59})$$

com $\xi, \mu_0 \in (0, 1)$.

$$\text{Denominando-se } F_i(\xi) = \frac{e^{-x/\xi}}{N_i(\xi)} \quad , \quad (\text{A.60})$$

$$F_i^*(\xi) = F_i(\xi) * \frac{1}{2} w_i \xi g_i(\xi, \mu_0) \quad , \quad (\text{A.61})$$

e

$$F_i^{**}(\xi) = F_i(\xi) \cdot \lambda_i(\xi) \quad , \quad (\text{A.62})$$

inserindo essas equações na eq. (A.58), tem-se :

$$I = \frac{\alpha_1}{2\pi} \left[\int_0^1 F_i^*(\xi) \frac{P_V}{\xi - \mu_0} d\xi + \int_0^1 F_i^{**}(\xi) \delta(\xi - \mu_0) d\xi \right] \quad , \quad (\text{A.63})$$

Pode-se , assim, fazer

$$\int_0^1 F_i^*(\xi) \frac{P_V}{\xi - \mu_0} d\xi = \int_0^1 \frac{F_i^*(\xi) - F_i^*(\mu_0)}{\xi - \mu_0} d\xi + F_i^*(\mu_0) \int_0^1 P \frac{d\xi}{\xi - \mu_0} \quad , \quad (\text{A.64})$$

e sabendo-se que a segunda integral do lado direito da equação pode ser calculada no senso do valor principal de Cauchy:

$$\int_a^b \frac{P}{x-c} dx = \log \frac{b-c}{c-a} , \quad (\text{A.65})$$

obtem-se a forma final para o cálculo da integral da eq. (A.63) :

$$I = \frac{\alpha_1}{2\pi} \int_0^1 \frac{F_i^*(\xi) - F_i^*(\mu_0)}{\xi - \mu_0} d\xi + F_i^*(\mu_0) \log \left(\frac{1 - \mu_0}{\mu_0} \right) + F_i^{**}(\mu_0) , \quad (\text{A.66})$$

lembrando ainda que as funções $N_i(\xi)$ e $g_i(\xi, \mu_0)$ são as explicitadas no Capítulo IV pelas eq. (4.18) e (4.11), respectivamente.

A.4 - Desenvolvimento Analítico das Funções de Interesse no Método F_N .

Nesta seção, algumas considerações sobre quantidades utilizadas no Capítulo IV serão feitas, uma vez que a forma pela qual as constantes $A_\alpha^{(i)}(\xi)$ e $B_\alpha^{(i)}(\xi)$ são apresentadas, um tratamento matemático mais rigoroso se faz necessário.

Sabendo-se que :

$$A_0^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i \xi} \int_0^1 \mu \vartheta_i(-\xi, \mu) d\mu , \quad (\text{A.67})$$

onde

$$\vartheta_i(-\xi, \mu) = \frac{w_i}{2} \xi g_i(-\xi, \mu) \frac{1}{\xi + \mu} , \quad (\text{A.68})$$

$$g_i(-\xi, \mu) = \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell + 1) f_{i,\ell} (-1)^\ell g_{i,\ell}(\xi) P_\ell(\mu) , \quad (\text{A.69})$$

e

$$\mu P_n(\mu) = \frac{1}{2n+1} (n+1) P_{n+1}(\mu) + n P_{n-1}(\mu) , \quad (\text{A.70})$$

com

$$P_0(\mu) = 1 \quad \text{e} \quad P_1(\mu) = \mu . \quad (\text{A.71.a,b})$$

Substituindo-se as eqs. (A.68) , (A.69) e (A.70) na equação (A.67), obtem-se

$$A_o^{(i)}(\xi) = \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) (-1)^\ell f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \int_0^1 P_\ell(\mu) \frac{\mu}{\mu+\xi} d\mu , \quad (\text{A.72})$$

Usando a relação de recorrência dos Polinômios de Legendre (eq. A.70), na equação acima, determina-se :

$$A_o^{(i)}(\xi) = 1 - \frac{2}{w_i} \xi \log \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \psi_i(\xi) + \sum_{\ell=1}^{L_i} f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \pi_\ell(\xi) , \quad (\text{A.73})$$

onde as funções $\psi_i(\xi)$ e $\pi_\ell(\xi)$ são dadas no Capítulo IV.

Para determinar-se $B_o^{(i)}(\xi)$, tem-se

$$B_o^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i \xi} \int_0^1 \theta_i(\xi, \mu) \mu d\mu , \quad (\text{A.74})$$

ou então

$$B_0^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i \xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu + \frac{2}{w_i \xi} \int_0^1 \vartheta_i(-\xi, \mu) \mu d\mu, \tag{A.75}$$

onde a segunda integral da expressão acima pode ser substituída por $A_0^{(i)}(\xi)$.

Desta maneira

$$B_0^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i \xi} \int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu + A_0^{(i)}(\xi), \tag{A.76}$$

onde

$$\int_{-1}^1 \vartheta_i(\xi, \mu) \mu d\mu = \xi(1-w_i), \tag{A.77}$$

ou seja

$$B_0^{(i)}(\xi) = \frac{2}{w_i} - 2 + A_0^{(i)}(\xi). \tag{A.78}$$

Para determinar-se uma expressão geral para $B_\alpha(\xi)$, usa-se a equação de transporte :

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \psi_i(x, \mu) + \psi_i(x, \mu) = \frac{w_i}{2} \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_\ell P_\ell(\mu) g_\ell(\xi) \tag{A.79}$$

e substitui-se

$$\psi_i(x, \mu) = \vartheta_i(\xi, \mu) e^{-x/\xi}. \tag{A.80}$$

Multiplicando-se a eq. (A.79), após a substituição proposta, por $\frac{2}{w_i} \mu^\alpha$ e integrando-se em $\mu \in (0,1)$,

$$B_\alpha^{(i)}(\xi) = \xi B_{\alpha-1}(\xi) - \sum_{\ell=0}^{L_i} (2\ell+1) f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \Delta_{\alpha-1,\ell} \quad (A.81)$$

Da mesma maneira, para conseguir-se uma expressão para $A_\alpha^{(i)}(\xi)$, faz-se :

$$\psi_i(x,\mu) = \vartheta_i(-\xi,\mu) e^{x/\xi} \quad (A.82)$$

e substitui-se em (A.79). Procedendo-se da mesma forma em relação a eq. (A.82), como descrito acima, obtem-se :

$$A_\alpha^{(i)}(\xi) = -\xi A_{\alpha-1}^{(i)}(\xi) + \sum_{\ell=0}^{L_i} (-1)^\ell (2\ell+1) f_{i,\ell} g_{i,\ell}(\xi) \Delta_{\alpha-1,\ell} \quad (A.83)$$

Para gerar a relação de recorrência para $g_n(v)$, é necessário partir-se da equação de transporte linear, monoenergética e em geometria plana. Seja :

$$\mu \frac{\partial}{\partial Z} \psi(Z,\mu) + \psi(Z,\mu) = \frac{w}{2} \int_{-1}^1 \psi(Z,\mu') d\mu' \quad (A.84)$$

onde $Z = \sum_t x$, pode-se solucionar esta equação, propondo se :

$$\psi(Z,\mu) = \sum_{\ell=0}^L \frac{2\ell+1}{4\pi} \vartheta_\ell(Z) P_\ell(\mu) \quad (A.85)$$

Inserindo-se (A.85) em (A.84), obtem-se :

$$\sum_{\ell=0}^L (2\ell+1)\mu P_\ell(\mu) \frac{d}{dz} \vartheta_\ell(Z) + \sum_{\ell=0}^L (2\ell+1) \vartheta_\ell(Z) P_\ell(\mu) = w \vartheta_0(Z) \quad (A.86)$$

Agora usando a relação de recorrência dos Polinômios de Legendre na equação acima, multiplicando tudo por $P_n(\mu)$ e integrando em $(-1,1)$, obtem-se :

$$\ell \frac{d}{dz} \vartheta_{\ell-1}(z) + (\ell+1) \frac{d}{dz} \vartheta_{\ell+1}(z) + (2\ell+1) \vartheta_{\ell}(z) = c \vartheta_{\ell}(z) \delta_{\ell,0} . \quad (\text{A.87})$$

Para solucionar a equação acima, propõe-se :

$$\vartheta_{\ell}(z) = g_{\ell}(v) e^{-x/v} , \quad (\text{A.88})$$

e assim tem-se :

$$v h_{i,\ell} g_{i,\ell}(v) = (\ell+1) g_{i,\ell+1}(v) + \ell g_{i,\ell-1}(v) , \quad (\text{A.89})$$

onde

$$h_{i,\ell} = (2\ell+1) (1 - w_i f_{i,\ell}) , \quad (\text{A.90})$$

A fim de determinar a relação de recorrência dos polinômios $\Pi_{\ell}(\xi)$, basta partir da expressão de $A_0(\xi)$ dada na eq. (A,67), fazendo :

$$\ell=0 , \quad X^{(0)} = f_{i,0} g_{i,0}(\xi) \int_0^1 \frac{\mu}{\mu+\xi} d\mu , \quad (\text{A.91})$$

e resolvendo a integral:

$$X^{(0)} = 1 - \xi \log (1+1/\xi) . \quad (\text{A.92})$$

$$\begin{aligned} \text{Para } \ell = 1 , \quad X^{(1)} = & - 3 \xi f_1 g_1(\xi) \log (1+1/\xi) P_1(\xi) + \\ & + 3 f_1 g_1(\xi) \Pi_1(\xi) , \end{aligned} \quad (\text{A.93})$$

onde

$$\Pi_1(\xi) = \xi - 1/2 \quad . \quad (A.94)$$

Para $\ell = 2$, tem-se :

$$\Pi_2(\xi) = \frac{3}{2} \xi(\xi - 1/2) \quad . \quad (A.95)$$

Assim sendo, usando sempre a relação de recorrência dos Polinômios de Legendre, obtem-se :

$$(2\ell+1) \xi \Pi_\ell(\xi) = (-1)^\ell (2\ell+1) \Delta_{0,\ell} + (\ell+1) \Pi_{\ell+1}(\xi) + \ell \Pi_{\ell-1}(\xi) \quad . \quad (A.96)$$

Por último, é necessário determinar-se a relação de recorrência para os polinômios $\Gamma_\ell(\xi)$. Assim, a partir da expressão :

$$\Lambda(z) = 1 + z \int_{-1}^1 \psi(x) \frac{dx}{x-z} \quad , \quad (A.97)$$

onde

$$\psi(x) = \frac{W}{2} \sum_{\ell=0}^L (2\ell+1) f_\ell g_\ell(x) P_\ell(x) \quad . \quad (A.98)$$

Para $\ell=0$, tem-se :

$$\Lambda(z) = 1 + z \frac{W}{2} f_0 g_0(z) P_0(z) \int_{-1}^1 \frac{dx}{x-z} \quad , \quad (A.99)$$

e resolvendo a integral acima :

$$\Lambda(z) = 1 + z \frac{W}{2} f_0 g_0(z) P_0(z) \log\left(\frac{-1+z}{1+z}\right) \quad \hat{=} \quad (A.100)$$

Para $\ell = 1$:

$$\begin{aligned} \Lambda(z) = & 1 + z \frac{w}{2} f_0 g_0(z) P_0(z) \log\left(\frac{z-1}{z+1}\right) + \\ & + z \frac{3w}{2} f_1 \int_{-1}^1 g_1(x) P_1(x) \frac{dx}{x-z} \quad , \end{aligned} \quad (\text{A.101})$$

ou seja :

$$\Lambda(z) = 1 + z \frac{w}{2} \sum_{\ell=0}^1 f_{\ell} g_{\ell}(z) P_{\ell}(z) \log\left(\frac{z-1}{z+1}\right) + 3 f_1 g_1(z) \cdot 2, \quad (\text{A.102})$$

onde

$$2 = \Gamma_1(z) \quad . \quad (\text{A.103})$$

Para $\ell = 2$:

$$\begin{aligned} \Lambda(z) = & 1 + z \frac{w}{2} \sum_{\ell=0}^2 f_{\ell} g_{\ell}(z) P_{\ell}(z) \log\left(\frac{z-1}{z+1}\right) + \\ & + \sum_{\ell=1}^2 f_{\ell} g_{\ell}(z) (2\ell+1) \frac{3}{2} z \quad , \end{aligned} \quad (\text{A.104})$$

onde

$$\Gamma_2(z) = \frac{3}{2} z. \quad (\text{A.105})$$

Desta maneira, usando as relações de recorrência dos polinômios $g_{\ell}(z)$ e $P_{\ell}(z)$, obtem-se :

$$(2\ell+1) z \Gamma_{\ell}(z) = -\delta_{\ell,0} + (\ell+1) \Gamma_{\ell+1}(z) + \ell \Gamma_{\ell-1}(z). \quad (\text{A.106})$$

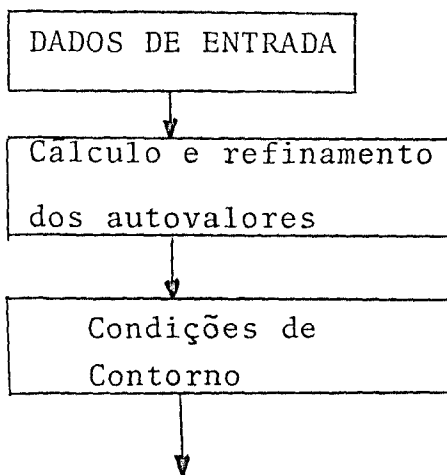
APÊNDICE B

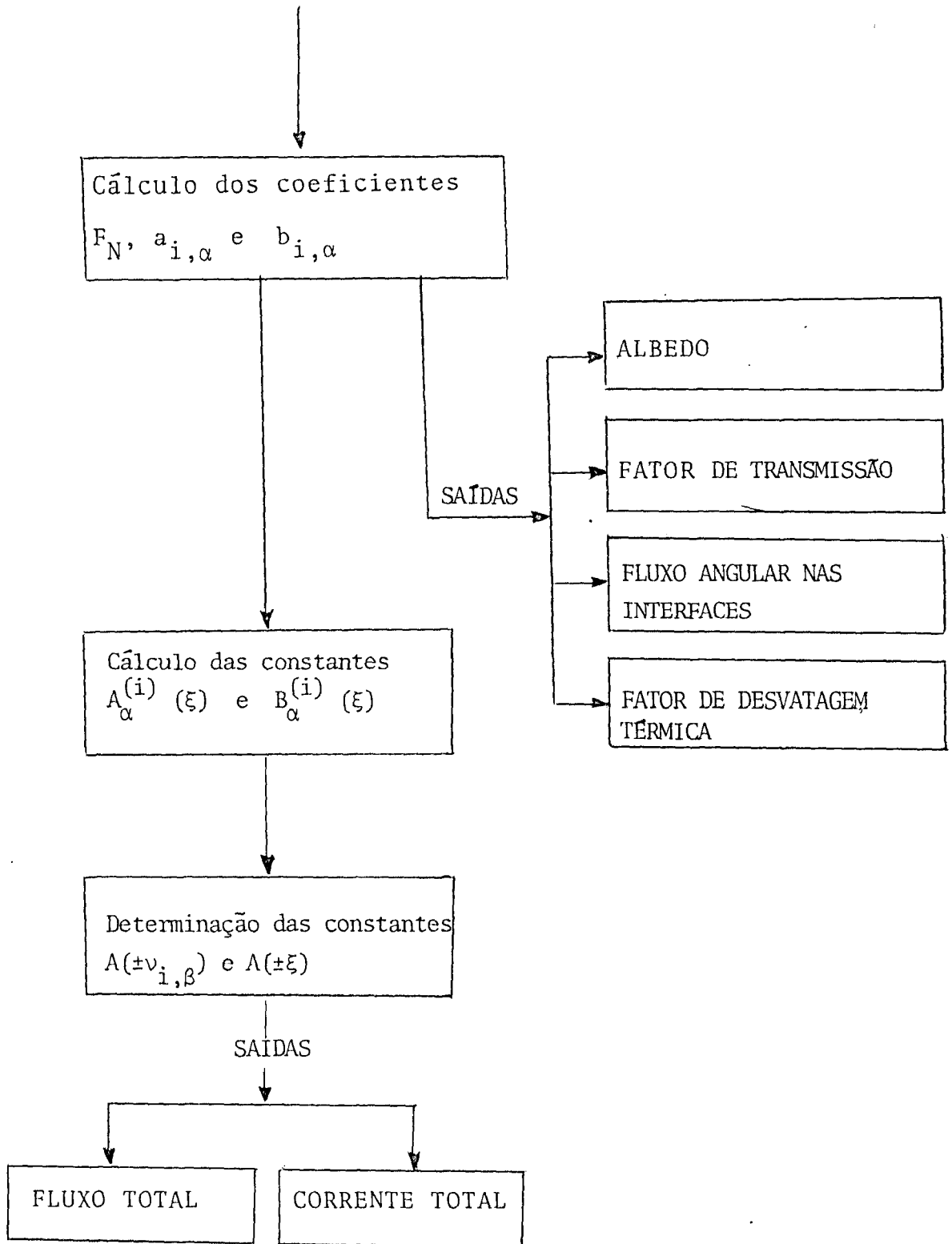
Neste apêndice é apresentado informações referentes ao programa computacional confeccionado. Primeiramente, o diagrama de blocos base do módulo e um manual de instruções para o usuário é mostrado. A seguir, uma listagem completa é anexada, bem como os cartões de controle utilizados para procesar o módulo nas versões IBM 370/155 e HB-GC08/64, nas quais o programa se encontra disponível.

Também problemas previamente selecionados são exibidos, acompanhados de uma listagem contendo os dados de entrada e saída requeridos.

B.1 - Diagrama de Bloco e Dados de Entrada do FNAM-1

Nesta seção apresenta-se de maneira geral, a sequência lógica utilizada no módulo FNAM-1 através de um diagrama de blocos simplificado. Além disso, um manual de instruções para utilização do programa é fornecido, onde procurou-se instruir o usuário de forma lógica e sucinta da maneira mais conveniente de se obter os resultados desejados.

DIAGRAMA DE BLOCO



FLUXOGRAMA DO FNAM-1

Biblioteca de dados a serem gravados em unidade periférica (disco ou fita) os quais são utilizados pela subrotina AMUFN1, a qual calcula os auto-valores. Esses dados devem ser gravados com o nome CP888. BUGGY. LIB , na unidade um.

10	3.141592653589793	520	0.09740839844158459906
20	0.9800	530	0.05850443715242066863
30	0.99800	540	0.01951138325679399765
40	0.999800	550	0.00114495000318694153
50	0.9999800	560	0.00266353358951268167
60	0.99999800	570	0.00418031312469489521
70	0.999999800	580	0.00569092245140319865
80	0.9999999800	590	0.00719290476811731275
90	0.99999999800	600	0.00868394526926085843
100	0.999999999800	610	0.01016176604110306452
110	0.9999999999800	620	0.01162411412079782692
120	0.99999999999800	630	0.01306876159240133929
130	0.999999999999800	640	0.01449350804050907612
140	80	650	0.01589618358372568804
150	0.99955382265163062988	660	0.017274652056269306
160	0.99764986439823768890	670	0.01862681420829903143
170	0.99422754096568827789	680	0.01995061087814199893
180	0.98929130249975553103	690	0.02124402611578200639
190	0.98284857273862907042	700	0.02250509024633246193
200	0.97490914058572779339	710	0.02373188286593010129
210	0.96548508904379925145	720	0.02492253576411549111
220	0.95459076634363490549	730	0.02607523576756511790
230	0.94224276130987267475	740	0.02718822750048638067
240	0.92845987717244579595	750	0.02825981605727686240
250	0.91326310257175765416	760	0.02928836958326784769
260	0.89667557943877068319	770	0.03027232175955798066
270	0.87872256767821382870	780	0.03121017418811470164
280	0.85943140666311109698	790	0.03210049867348777315
290	0.83883147358025527562	800	0.03294193939764540138
300	0.81695413868146347037	810	0.03373321498461152282
310	0.79383271750460544995	820	0.03447312045175392879
320	0.76950242013504137387	830	0.03516052904474759350
330	0.74400029758359727232	840	0.03579439395341605460
340	0.71736518536209988025	850	0.03637374990583597804
350	0.68963764434202760077	860	0.03689771463827600884
360	0.66085989898611980174	870	0.03736549023873049003
370	0.63107577304687196625	880	0.03777636436200139749
380	0.60033062282975174315	890	0.03812971131447763834
390	0.56867126812270978473	900	0.03842499300695942319
400	0.53614592089713193202	910	0.03866175977407646333
410	0.50280411188878498759	920	0.03883965105905196893
420	0.46869661517054447704	930	0.03895839596276953120
430	0.43387537083175609306	940	0.03901781365630665481
440	0.39839340588196922702	950	5
450	0.36230475349948731561	960	-0.500
460	0.32566437074770191462	970	+0.00
470	0.28852805488451185311	980	+0.500
480	0.25095235839227212049		
490	0.21299450285766613257		
500	0.17471229183264681256		
510	0.13616402280914388656		

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USUÁRIO

CARTÃO	NOME	COLUNA	FORMATO	DESCRIÇÃO
1	TITLE	1 - 72	18A4	TITULO DO PROBLEMA
2	NOP	1 - 3	I3	= 0 → rodar somente para a aproximação $N(N_{\max} = 10)$ > 0 → rodar para todos os $N \leq 10$
	NA	4 - 6	I3	ordem de aproximação do método (caso NOP=0)
	K	7 - 9	I3	número de regiões ($K_{\max} = 20$)
3	LM	1 - 72	I3	ordem da lei de espalhamento para cada região (K elementos)
4	LEO	1 - 3	I3	= 0 → o próprio programa calcula os coeficientes da expansão em polinômios de Legendre (não é necessário o Cartão 8).
				> 0 → o usuário deverá fornecer os coeficientes (vide instruções LE)
	LE	4 - 6	I3	Lei de espalhamento da seção choque.
				= 0 → espalhamento isotrópico (não é necessário cartão 8)
				> 0 → Lei de espalhamento igual para todas as regiões (fornecer no cartão 8 apenas para uma região)
				< 0 → lei de espalhamento diferente para as regiões (Obs: caso LEO = 0, fazer LE = 0)
	IE	7 - 9	I3	tipo de condição de contorno na face esquerda
				= 0 → superfície livre ou fluxo incidente (ver cartão 9)

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USUÁRIO

CARTÃO	NOME	COLUNA	FORMATO	DESCRIÇÃO
				> 0 → somente refletividade e/ou difusibilidade (ver cartão 10)
				< 0 → fluxo incidente com reflexão e/ou difusibilidade (ver cartões 9 e 10)
				Obs: caso IE > 0 , fazer NFE = 0
	ID	10-12	I3	tipo de condição de contorno na face direita
				= 0 → superfície livre ou fluxo incidente (ver cartão 11)
				> 0 → somente refletividade e/ou difusibilidade (ver cartão 12) (caso ID > 0, faser NFD=0)
				< 0 → fluxo incidente com refletividade e/ou difusibilidade (ver cartões 11 e 12)
5	W	1-72	6D12.0	numero médio de partículas secundárias (K elementos).
6	S	1-72	6D12.0	fontes externas normalizadas (K elementos)
7	TAU	1-72	6D12.0	espessura ótica (para cada região)
8	F	1-72	6D12.0	coeficientes da expansão em polinômios de Legendre da função de transferência (ver LE do cartão 4)
				(N+1 elementos para cada região, cada região começando com um novo cartão)
9	NFE	1-3	I3	= 0 → superfície livre ou feixe isotropico ($f_0(\mu) = \begin{matrix} N \\ = 1 \end{matrix}$)
				> 0 → incidência cossenoidal ($f_0(\mu) = \sum_{\beta=1}^N \delta \mu^\beta$)
				< 0 → incidência monodirecional ($f_0(\mu) = \frac{\alpha}{2\pi} \delta(\mu - \mu_0)$)

Obs: caso IE > 0 fazer NFE = 0

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USUÁRIO

CARTÃO	NOME	COLUNA	FORMATO	DESCRIÇÃO
	N1	4-6	I3	valor de N_1 ($N_{1\max} = 4$)
	D1	7-16	D10.0	valor de d_1
	D2	17-26	D10.0	valor de d_2
	D3	27-36	D10.0	valor de d_3
	D4	37-46	D10.0	valor de d_4
	FEIX ₁	47-56	D10.0	valor de I_1 ($I_1=0.0$, caso superfície livre)
	COSE	57-66	D10.0	valor de μ_0
10	CF1	1-12	D12.0	valor do coeficiente de reflexão (λ_1)
	CF2	13-24	D12.0	valor do coeficiente de difusibilidade (λ_2)
11	NFD	1-3	I3	=0 + superfície livre ou feixe isotrópico ($f_k(\mu) = I_2$)
				>0 + incidência cossenoidal ($f_k(\mu) = \sum_{j=1}^{N_2} C_j \mu_j$)
				Obs.: caso ID>0, fazer NFD=0
	N2	4-6	I3	valor de N_2 ($N_{2\max} = 4$)
	C1	7-16	D10.0	valor de C_1
	C2	17-26	D10.0	valor de C_2

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USUÁRIO

CARTÃO	NOME	COLUNA	FORMATO	DESCRIÇÃO
	C3	27-36	D10.0	valor de C_3
	C4	37-46	D10.0	valor de C_4
	FEIX2	47-56	D10.0	valor de I_2 ($I_2 = 0.10$, caso superfície livre)
12	CF1L	1-12	D12.0	valor do coeficiente de reflexão (λ_1')
	CF2L	13-24	D12.0	valor do coeficiente de difusibilidade (λ_2')
13	L1	1-3	I3	imprime albedo se > 0
	NP1	4-6	I3	$< 0 \rightarrow$ albedo da face esquerda
				$= 0 \rightarrow$ albedo da face direita
				$> 0 \rightarrow$ albedo das 2 faces
	L2	7-9	I3	imprime fator de transmissão se > 0
	NP2	10-12	I3	$< 0 \rightarrow$ fator de transmissão da face esquerda
				$= 0 \rightarrow$ fator de transmissão da face direita
				$> 0 \rightarrow$ fator de transmissão das duas faces
14	NP3	1-3	I3	imprime fluxo total se > 0
	NP4	4-6	I3	imprime corrente total se > 0

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USUÁRIO

CARTÃO	NOME	COLUNA	FORMATO	DESCRIÇÃO
	NPX	7-9	I3	= 0 → calcula fluxo total e corrente total somente em um ponto "x" dado (vide cartão 15) > 0 → calcula fluxo e corrente total de acordo com o número desejado de divisões de cada região (vide de cartão 15)
15	XP	1-12	D12,0	se NPX = 0 → valor do ponto onde se deseja calcular fluxo ou corrente total
15	ND	1-60	2013	se NPX > 0 → número de divisões (< 20) de cada região, para a impressão do fluxo total e da corrente total (K elementos).
				Obs.: Cartão 15 deve ser fornecido somente se NP3 ou NP4 > 0
16	NP5	1-3	I3	imprime fluxo angular se > 0
	NP6	4-6	I3	imprime o fator de desvantagem térmica (para o caso de células) se > 0
				Obs.: no caso de células, o problema deve ter apenas 2 regiões, onde a região 1 é o combustível de meia espessura ótica TAU(1) e a região 2 é o moderador com espessura TAU (2)

O usuário somente solucionará vários problemas cada problema iniciando com um novo cartão 1.

B.2 - Listagem do Programa e Cartões de Controle

Cartões de Controle Versão IBM 370/155

```

MEMBER NAME  MONTA
// 0010), '*****', TIME=0005, CLASS=A
//*****
//*
//*          MCNTAGEM DE ARQUIVO DA FITA PARA DISCO
//*
//*****
//          EXEC PGM=IEBGENER
//SYSPRINT DD  SYSOUT=A
//SYSIN      DD  DUMMY
//SYSUT1     DD  DSNAME=BUGGY.LIB, LABEL=(1, SL),
//          VOL=(, RETAIN, SER=ITBUGG), UNIT=TAPE, DISP=(OLD, KEEP)
//SYSUT2     DD  DSNAME=CP888.BUGGY.LIB, DISP=(NEW, CATLG),
//          LABEL=RETPD=7, UNIT=SYSEM, VOL=SER=TRAB05,
//          SPACE=(TRK, (10, 5), RLSE)
//*****
//*
//*          MONTAGEM DE MODULO DE CARGA DA FITA PARA DISCO
//*
//*****
//          EXEC PGM=IEBCOPY
//SYSPRINT DD  SYSOUT=A
//ENTRADA   DD  DSNAME=BUGGY.LOAD, LABEL=(2, SL), DISP=(OLD, KEEP),
//          UNIT=TAPE, VOL=SER=ITGUGG
//SAIDA     DD  DSNAME=CP888.BUGGY.LOAD, DISP=(NEW, CATLG),
//          LABEL=RETPD=7, UNIT=SYSEM, VOL=SER=TRAB05,
//          SPACE=(TRK, (40, 20, 1), RLSE)
//SYSIN     DD  *
//          COPY  INDD=ENTRADA, OUTDD=SAIDA
//*

```

```

F*****

```

```

MEMBER NAME  EXEC
// 0070), '*****', TIME=0060, CLASS=K
//*****
//*
//*          CARTOES DE EXECUCAO
//*
//*****
//          EXEC PGM=BUGGY, REGION=1500K, TIME=60
//STEPLIB  DD  DSNAME=CP888.BUGGY.LOAD, DISP=SHR
//FT01F001 DD  DSNAME=CP888.BUGGY.LIB, DISP=SHR
//FT06F001 DD  SYSCUT=A
//FT05F001 DD  *
//          CARTOES DE DADOS
//*

```

Cartões de Controle versão HB-GCOS/64

```

10 $COMM ' JCL DE PREPARACAO PARA A EXECUCAO DO PROGRAMA ' ;
20 $JOB PRE-BUGGY,CLASS=F;
30 $COMP ' MONTAGEM DO MODULO DE CARGA DA FITA PARA DISCO';
40 SEND '*** FITA DRF555 SEM ANEL *****',MAIN;
50 $LNN LM,LIB=DRLM,
60 INFIL=(BUGGY,CARGA,MD=DRF555,DVC=MT/T9,FSN=3),
70 COMMAND='MOVE INFIL:BUGGY;';
80 $COMM ' MONTAGEM DE ARQUIVO DA FITA PARA DISCO ' ;
90 $DALC DRBUG-LIB1;
100 $PASC DRBUG-LIB1,BFAS=(SEQ=(BLKSIZE=3200,RECSIZE=80,RECFORM=FE,NDLREC)),
110 RESIDENT=(SIZE=1),FILESTAT=UNCAT,DVC=MS/M452,INCRSIZE=1;
120 $CREATE INFIL=(CRAC.LIB1,MD=DRF555,DVC=MT/T9,FSN=4),
130 OUTFILE=DRBUG-LIB1,
140 OUTDEF=(RECSIZE=80,BLKSIZE=3200,RECFORM=FE);
150 $ENDJOB;

10 $COMM ' JCL PARA EXECUCAO A PARTIR DO MODULO DE CARGA ' ;
20 $COMM ' ENTRADA DE DADOS PCR CARTAO ' ;
30 $JOB BUGGY,CLASS=C;
40 $INPUT DSL,PRINT;
50 $COMM ' CARTOES COM DADOS DE ENTRADA ' ;
60 $ENDINFUT;
70 $STEP BUGGY,DRLM,OPTIONS='FILE+A 1';
80 $SIZE 700;
90 $ASG FILE+A,DRBUG-LIB1;
100 $ASG H+RD,DSL;
110 SENDSTEP;
120 $ENDJOB;

```

Listagem do Programa

```

000001      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y) , INTEGER*4(I-N)
000002      COMMON/DADO2/CF1,CF2,CFIL,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000003      *DBETA(5),AFC,AFD,FEIX1,FEIX2
000004      COMMON/G1/C(440,88),BI(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000005      COMMON/SAIDAT/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
000006      COMMON/DADO1/HC(20),S(20),W(20),FL(20,31)
000007      COMMON/AP/NPT,NPZ
000008      DIMENSION A(11),H(11),BL(35,35)
000009      DIMENSION T(TLE(18),LM(20))
000010      COMMON/FOCA/FLUX(20),CORR(20)
000011      COMMON/PP/NPA
000012      COMMON/CORR/NO(20)
000013      COMMON/FLUX/XP
000014      DIMENSION WW(8),WT(8)
000015      C  F-AM-1 E UM PROGRAMA QUE RESOLVE A EQUACAO DE TRANSPORTE EM
000016      C  MULTI-REGIOES, COM ESPALHAMENTO ANISOTROPICO, EM GEOMETRIA PLANA, LINEAR
000017      C  E MONOCROMATICO, ATRAVES DO METODO FN.
000018      C
000019      CALL FRPSET(208,256,-1,+1,0,209)
000020      PI = 3.141592653589793
000021      C      CARTAO 1
000022      999  READ(5,100,END=999) (TITLE(I),I=1,18)
000023      100  FORMAT(18A4)
000024      C      CARTAO 2
000025      READ(5,2) NUP,NA,K
000026      2    FORMAT(24I3)
000027      C      CARTAO 3
000028      READ(5,2) (LM(I),I=1,K)
000029      DO 50 I=1,K
000030      NF(I) = LM(I) + 1
000031      C      CARTAO 4
000032      READ(5,2) LEO,LE,IC,IO
000033      C      CARTAO 5
000034      READ(5,3) (W(I),I=1,K)
000035      C      CARTAO 6
000036      READ(5,3) (S(I),I=1,K)
000037      C      CARTAO 7
000038      READ(5,3) (TAU(I),I=1,K)
000039      3    FORMAT(60I2,0)
000040      C
000041      IF(LFO.EQ.0) GO TO 200
000042      IF(LE)44,5,6
000043      44  DO 10 I=1,K
000044      10  READ(5,3) (FL(I,J),J=1,NF(I))
000045      GO TO 125
000046
000047      5    DO 11 I=1,K

```

```

000049      FL(I,J) = 1.00
000049      DO 11 J=2,NF(I)
000050      FL(I,J) = 0.00
000051      GO TO 125
000052      0      REAC(S,3) (FL(I,J),J=1,NF(I))
000053      DO 13 I=2,K
000054      DO 13 J=2,NF(I)
000055      13      FL(I,J) = FL(I,J)
000056      125      GO TO 126
000057      200      CONTINUE
000058      DO 15 M=1,K
000059      N = NF(M)
000060      C      CALCULO OPCIONAL DA FUNCAO F(L)
000061      C
000062      DO 11 J=1,39
000063      HL(I,J) = 1.00
000064      81      CONTINUE
000065      DO 82 I=1,35
000066      DO 82 J=1,35
000067      IF(J.GT.I) BL(J,I)=0.00
000068      82      CONTINUE
000069      NC = 2
000070      222      XNC = DFLOAT(NC-1)
000071      DO 83 I=2,NC
000072      XNS = DFLOAT(I-1)
000073      BL(I,NC) = ((XNC+1.00)/(2.00+XNC)) * ((XNS/(2.00+XNS+1.00)) * BL(
000074      *I-1,NC-1) + BL(I,NC-1) * ((XNS+1.00)/(2.00+XNS+1.00)) * BL(I+1,NC-1))
000075      83      CONTINUE
000076      IF(NC.GT.N) GO TO 2010
000077      NC = NC + 1
000078      GO TO 222
000079      2010     CONTINUE
000080      DO 77 I=1,N
000081      FL(M,I) = HL(I,N)
000082      77      CONTINUE
000083      15      CONTINUE
000084      126     CONTINUE
000085      C      CARTAO 9
000086      READ(S,4) NFE,N1,D1,D2,D3,D4,FEI,X1,COSE
000087      4      FORMAT(2I3,6D10.0)
000088      DETA(1) = 0.00
000089      DETA(2) = 01
000090      DETA(3) = 02
000091      DETA(4) = 03
000092      DETA(5) = 04
000093      C      CARTAO 10
000094      READ(S,3) CF1,CF2
000095      C      CARTAO 11
000096      READ(S,4) NFD,N2,C1,C2,C3,C4,FEI,X2
000097      CJOTA(1) = 0.00
000098      CJOTA(2) = C1
000099      CJOTA(3) = C2
000100      CJOTA(4) = C3
000101      CJOTA(5) = C4
000102      C      CARTAO 12
000103      READ(S,3) CF1L,CF2L
000104      C      CARTAO 13
000105      READ(S,2) L1,NP1,L2,NP2
000106      C      CARTAO 14
000107      READ(S,2) NP3,NP4,NPX
000108      IF(NP3.LE.0.AND.NP4.LE.0)GO TO 156
000109      IF(NPX.GT.0) GO TO 115
000110      C      CARTAO 15
000111      READ(S,3) XP
000112      GO TO 156
000113      C      CARTAO 15
000114      115     READ(S,2) (ND(I),I=1,K)
000115      156     CONTINUE
000116      C      CARTAO 16
000117      READ(S,2) NPS,NP6
000118      C
000119      WRITE(6,140) (TITLE(I),I=1,18)
000120      140     FORMAT('1',1X,18A4)
000121      DO 300 L=1,11
000122      IF(NOP.FQ.0) L=NA+1
000123      NA = L-1
000124      WRITE(6,150) NA,K
000125      150     FORMAT('/',1X,'ORDEM DE APROXIMACAO = ',I2,'/',1X,
000126      *'NUMERO DE REGIOES = ',I2)
000127      DO 150 I=1,K
000128      WRITE(6,170) I
000129      170     FORMAT('/',1X,'REGIAO ',I2)
000130      WRITE(6,180) W(I)
000131      180     FORMAT(1X,'NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = ',D15.8)
000132      WRITE(6,190) S(I)
000133      190     FORMAT(1X,'FONTES EXTERNAS = ',D15.8)
000134      WRITE(6,210) TAU(I)
000135      210     FORMAT(1X,'ESPESURA(LCM) = ',D15.8)
000136      WRITE(6,220)
000137      220     FORMAT(1X,'COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) =')
000138      WRITE(6,2350) (FL(I,J), J=1,NF(I))
000139      2350     FORMAT(6(1X,D15.8))
000140      CONTINUE
000141      WRITE(6,161) CF1,CF2
000142      161     FORMAT('/',1X,'CONDICAO DE CONTORNO DA FACE ESQUERDA',/,1X,
000143      **'REFLETIVA = ',D12.5,'/',1X,'DIFUSA = ',D12.5)

```

```

000144      WRITE(6,162) NFE,N1,D1,D2,D3,D4,FEIX1,COSE
000145 162      FORMAT(//,1X,'CONDICAOES DE CONTORNO - FACE ESQUERDA',/
000146      * ,1X,215,6(2X,D15.8))
000147      WRITE(6,171) CF1L,CF2L
000148 171      FORMAT(//,1X,'CONDICAO DE CONTORNO DA FACE DIREITA',/ ,1X,
000149      * ,REFLETIDA = ',D12.5',/ ,1X,'DIFUSA = ',D12.5)
000150      WRITE(6,172) NFD,N2,C1,C2,C3,C4,FEIX2
000151 172      FORMAT(//,1X,'CONDICAOES DE CONTORNO - FACE DIREITA',/ ,
000152      * ,1X,213,5(2X,D15.8))
000153      IF(.EQ.1) GO TO 221
000154      DO 221 I=2,N
000155      TAU(I) = TAU(I) + TAU(I-1)
000156 221      CONTINUE
000157      N1 = N1 + 1
000158      N2 = N2 + 1
000159      CALL MITSUO(K,L)
000160      IF(L1.GT.0) CALL ALBFD0(K,L)
000161      IF(L2.GT.0) CALL TRANSF(K,L)
000162      IF(NP3.GT.0) CALL FLUXT(K,L)
000163      IF(NP4.GT.0) CALL CORREN(K,L)
000164      IF(NP5.GT.0) CALL FLUXAN(K,L)
000165      IF(NP6.GT.0) CALL FOTE(K,L)
000166      C
000167      IF(.NOP.EQ.0) GO TO 301
000168 300      CONTINUE
000169 301      CONTINUE
000170      GO TO 999
000171 998      STOP
000172      END
000173      SUBROUTINE CORREN(K,L)
000174      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
000175      COMMON/FLUX/XP
000176      COMMON/AREA/VARAL(20),CORDA(20)
000177      COMMON/IX/AD(20,3),BD(20,3)
000178      COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
000179      COMMON/HP/PI
000180      COMMON/DAD01/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
000181      COMMON/DAD02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJTA(5),
000182      * DRETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
000183      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
000184      COMMON/BLOCK2/FORTE,N
000185      COMMON/PAY/XM(100),WM(100)
000186      COMMON/TOCA/FLUX(12),CCORR(12)
000187      COMMON/RX/NFX
000188      COMMON/CORT/ND(20)
000189      DIMENSION XK(21)
000190      C
000191      C  CALCULA E. ESCRIBE CORRENTE TOTAL
000192      M = 20
000193      WRITE(6,111)
000194 111      FORMAT(//,1X,'CORRENTE TOTAL')
000195      XK(1) = XP
000196      IF(.NPX.EQ.0) GO TO 144
000197      XK(1) = 0.00
000198      ND1 = ND(1)
000199      DX = TAU(1)/DFLOAT(ND1)
000200      DO 120 I=1,ND1
000201 120      CORR(I) = 0.00
000202      DO 130 I=1,ND1
000203 130      XK(I+1) = XK(I) + DX
000204 144      IF(.NPX.EQ.0) ND1 = 1
000205      DO 131 J=1,ND1
000206      IF(.NPX.NE.0) XP=XK(J)
000207      CALL COEFD(K,L)
000208      IF(XP.GE.TAU(1)) GO TO 100
000209      W=C(1)
000210      FORTE = S(1)
000211      N=NF(1)
000212      DO 2 I =1,N
000213      F(I)=FL(I,I)
000214 2      CONTINUE
000215      CALL APUFNT(O,K)
000216      FT=C.DD
000217      CALL CORT(K,L)
000218      DO 20 I=1,NZ
000219      Y = RNY(I)
000220      FT=FT+AD(1,I)*Y-UD(1,I)*Y
000221      CONTINUE
000222 131      CORR(J)=(FT+VAHAL(1) - CORDA(1))*(1.00-WC)
000223      WRITE(6,180) J
000224 180      FORMAT(//,1X,'REGIAO',I2)
000225      WRITE(6,190) (XK(J),J=1,ND1)
000226 190      FORMAT(1X,'X',7(11X,F6.2))
000227      WRITE(6,210) (CORR(J),J=1,ND1)
000228 210      FORMAT(1X,'CORRENTE(X)',D15.8,6(2X,D15.8))
000229      IF(.NPX.EQ.0) RETURN
000230 100      XK=X-1
000231      IF(XP.GE.TAU(KK)) GO TO 400
000232      IF(.NPX.NE.0) GO TO 1000
000233      NDK = 1
000234      XK(1) = XP
000235      CALL COEFD(K,L)
000236      DO 200 I=2,KK
000237      I=I-1
000238      IF(XP.GE.TAU(I)) AND(XP.LT.TAU(I+1)) GO TO 250
000239 200      CONTINUE

```

```

000240      250  CONTINUE
000241      WCRW(I)
000242      FONTE = S(I)
000243      N=NF(I)
000244      DO 270 J=1,N
000245      270  F(J)=FL(I,J)
000246      CALL AMUFN1(G,M)
000247      CALL CORT(K,L)
000248      TZ=0.00
000249      DO 40 J=1,NZ
000250      Y = PHY(J)
000251      TZ=TZ+AD(I,J)*Y-BD(I,J)*Y
000252      40  CONTINUE
000253      CORR(1)=(TZ+VAHAL(1) - CORDA(1))*(1.00-WC)
000254      WRITE(6,180) I
000255      WRITE(6,190) XP
000256      WRITE(6,210) CORR(1)
000257      C
000258      RETURN
000259      1000 DO 920 I=2,KK
000260      ND1 = ND(I)
000261      I1 = I-1
000262      XK(I) = TAU(I1)
000263      DO 930 J=1,ND1
000264      930  CORR(J) = 0.00
000265      DX = (TAU(I) - TAU(I1))/DFLOAT(ND1)
000266      DO 940 J=1,ND1
000267      940  XK(J+1) = XK(J) + DX
000268      DO 950 J2=1,ND1
000269      XP=XK(J2)
000270      IF(XP.GE.TAU(KK)) GO TO 400
000271      CALL CGFFD(K,L)
000272      WC = W(I)
000273      FONTE = S(I)
000274      N = NF(I)
000275      DO 970 J=1,N
000276      970  F(J) = FL(I,J)
000277      CALL AMUFN1(G,M)
000278      CALL CORT(K,L)
000279      TZ=0.00
000280      DO 980 J=1,NZ
000281      Y = PHY(J)
000282      TZ = TZ + AD(I,J)*Y - BD(I,J)*Y
000283      980  CONTINUE
000284      CORR(J2)=(TZ + VAHAL(I) - CORDA(I))*(1.00-WC)
000285      950  CONTINUE
000286      WRITE(6,180) I
000287      WRITE(6,190) (XK(J),J=1,ND1)
000288
000289      WRITE(6,210) (CORR(J),J=1,ND1)
000290      920  CONTINUE
000291      400  CONTINUE
000292      WCRW(K)
000293      FONTE=S(K)
000294      N=NF(K)
000295      DO 33 I=1,N
000296      33  F(I)=FL(I,I)
000297      CALL AMUFN1(G,M)
000298      XK(I) = XP
000299      IF(NPX.EQ.0) GO TO 500
000300      ND1 = ND(K)
000301      DO 510 I=1,ND1
000302      510  CORR(I) = 0.00
000303      XP(I) = TAU(KK)
000304      DX = (TAU(K) - TAU(KK))/DFLOAT(ND1)
000305      DO 530 I=1,ND1
000306      530  XK(I+1) = XK(I) + DX
000307      NDK = ND1 + 1
000308      IF(NPY.EQ.0) NDK=1
000309      DO 540 J1=1,NDK
000310      IF(NPX.NE.0) XP=XK(J1)
000311      CALL CGFFD(K,L)
000312      CALL CORT(K,L)
000313      CARG = 0.00
000314      DO 45 J=1,NZ
000315      Y = PHY(J)
000316      CARG=CARG+AD(K,J)*Y-BD(K,J)*Y
000317      45  CONTINUE
000318      540  CORR(J1)=(CARG+VAHAL(K) - CORDA(K))*(1.00-WC)
000319      WRITE(6,180) K
000320      WRITE(6,190) (XK(J),J=1,NDK)
000321      WRITE(6,210) (CORR(J),J=1,NDK)
000322      RETURN
000323      END
000324      SUBROUTINE FLUXT(K,L)
000325      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
000326      COMMON/FLUX/XP
000327      COMMON/HP/TOTAL(20),SOXA(20)
000328      COMMON/IX/AD(20,3),BD(20,5)
000329      COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
000330      COMMON/HP/PI
000331      COMMON/DAD01/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
000332      COMMON/DADG2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSO,TAU(20),N1,N2,CJTA(5),
000333      BETA(5),HFE,HFD,FE1X1,FE1X2
000334      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
000335      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
000336      COMMON/FOCA/FLUX(12),CORR(12)

```

```

000336          COMMON/CORT/ND(20)
000337          COMMON/XX/XPX
000338          DIMENSION XX(21)
000339          C
000340          C   CALCULA E ESCRIBE FLUXO TOTAL
000341          C
000342          WRITE(6,111)
000343          111  FORMAT(/,1X,'FLUXO TOTAL')
000344          XX(1) = XP
000345          IF(NPX.EQ.0) GO TO 144
000346          XX(1) = 0.00
000347          ND1 = ND(1)
000348          DX = TAU(1)/DFLOAT(ND1)
000349          DO 120 I=1,ND1
000350          120  FLUX(I) = 0.00
000351          DO 130 I=1,ND1
000352          130  XX(I+1) = XX(I) + DX
000353          144  IF(NPX.EQ.0) ND1=1
000354          DO 131 J=1,ND1
000355          IF(NPX.NE.0) XP=XX(J)
000356          CALL COEFD(K,L)
000357          IF(XP.GE.TAU(1)) GO TO 100
000358          WC=W(1)
000359          FONTE = S(1)
000360          N=NF(1)
000361          DO 2 I=1,N
000362          2    F(I)=FL(I,I)
000363          CONTINUE
000364          CALL AMUFN1(O,M)
000365          FT=0.00
000366          CALL CONT(K,L)
000367          DO 20 I=1,NL
000368          20  FT = FT+AD(I,I)+BD(I,I)
000369          CONTINUE
000370          131  FLUX(J)=FT+FONTE/(1.00-WC)+SOMA(1)+TOTAL(1)
000371          WRITE(6,190) 1
000372          180  FORMAT(/,1X,'REGIAO',I2)
000373          WRITE(6,190) (XX(J), J=1,ND1)
000374          190  FC=FORMAT(1X,'X',7(11X,F6.2))
000375          WRITE(6,210) (FLUX(I),I=1,ND1)
000376          210  FORMAT(1X,'FLUXO(X)',1X,7(2X,D15.8))
000377          IF(NPX.EQ.0) RETURN
000378          C
000379          100  KK=K-1
000380          IF(XP.GE.TAU(KK)) GO TO 400
000381          IF(NPX.NE.0) GO TO 1000
000382          NDK = 1
000383          XX(1) = XP

000384          CALL COEFD(K,L)
000385          DO 200 I=2,KK
000386          200  I)=I-1
000387          IF(XP.GE.TAU(I)).AND.XP.LT.TAU(I)) GO TO 250
000388          CONTINUE
000389          250  CONTINUE
000390          WC=W(1)
000391          FONTE = S(1)
000392          N=NF(1)
000393          DO 270 J=1,N
000394          270  F(J)=FL(I,J)
000395          CALL AMUFN1(O,M)
000396          CALL CONT(K,L)
000397          TZ=0.00
000398          DO 40 J=1,NL
000399          40  TZ = TZ+AD(I,J)+BD(I,J)
000400          CONTINUE
000401          FLUX(1)=TZ+FONTE/(1.00-WC)+SOMA(1)+TOTAL(1)
000402          WRITE(6,180) 1
000403          WRITE(6,190) XP
000404          WRITE(6,210) FLUX(1)
000405          RETURN
000406          1000 DO 920 I=2,KK
000407          920  ND1 = ND(I)
000408          I1 = I-1
000409          XX(I1) = TAU(I1)
000410          DO 930 J=1,ND1
000411          930  FLUX(J) = 0.00
000412          DX = (TAU(I) - TAU(I1))/DFLOAT(ND1)
000413          DO 940 J=1,ND1
000414          940  XX(J+1) = XX(J) + DX
000415          DO 950 J=1,ND1
000416          950  XP = XX(J2)
000417          IF(XP.GE.TAU(KK)) GO TO 400
000418          CALL COEFD(K,L)
000419          WC = W(1)
000420          FONTE = S(1)
000421          N = NF(1)
000422          DO 970 J=1,N
000423          970  F(J) = FL(I,J)
000424          CALL AMUFN1(O,M)
000425          CALL CONT(K,L)
000426          TZ = 0.00
000427          DO 980 J=1,NL
000428          980  TZ = TZ + AD(I,J) + BD(I,J)
000429          CONTINUE
000430          FLUX(J2) = TZ + FONTE/(1.00-WC) + SOMA(1) + TOTAL(1)
000431          950  CONTINUE

```

```

000432      WRITE(6,180) I
000433      WRITE(6,190) (XK(J),J=1,ND1)
000434      WRITE(6,210) (FLUX(J),J=1,ND1)
000435      520 CONTINUE
000436      460 CONTINUE
000437      XK(1) = XP
000438      IF(NPX.EQ.0) GO TO 500
000439      ND1 = ND(K)
000440      DO 510 I=1,ND1
000441      510      FLX(I) = 0.00
000442      XY(1) = TAU(KK)
000443      DX = (TAU(Y) - TAU(KK))/DFLOAT(ND1)
000444      DO 530 I=1,ND1
000445      530      XY(I+1) = XK(I) + DX
000446      NDK = ND1 + 1
000447      500      IF(NPX.EQ.0) NDK=1
000448      DO 540 J1=1,NDK
000449      CARG = 0.00
000450      WC=W(K)
000451      FONTE=S(K)
000452      N=NF(K)
000453      DO 33 I=1,N
000454      33      F(I)=FL(K,I)
000455      CALL AMUFIN(O,M)
000456      IF(NPX.NE.0) XP=XK(J1)
000457      CALL COEFD(K,L)
000458      CALL CGNT(K,L)
000459      DO 45 J=1,N2
000460      CARG=CARG+AD(K,J)+BD(K,J)
000461      45 CONTINUE
000462      54C      FLLA(J1)=CARG+FONTE/(1.00-WC)+SOMA(K)+TOTAL(K)
000463      WRITE(6,180) K
000464      WRITE(6,190) (XK(J),J=1,NDK)
000465      WRITE(6,210) (FLUX(J),J=1,NDK)
000466      RETURN
000467      END
000468      SUBROUTINE FDTE(K,L)
000469      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
000470      COMMON/G1/C(440,88),BI(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000471      COMMON/DAD01/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
000472      COMMON/DAD02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000473      *DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
000474      C
000475      C      CALCULA E ESCHEVE FATOR DE DESVANTAGEM TERMICA
000476      C
000477      FMI = 0.00
000478      DO 10 I=1,L
000479      I1 = I + L
000480
000481      I2 = I1 + L
000482      FMI = FMI + (CF(I1) - CF(I2))/DFLOAT(I+1)
000483      10 CONTINUE
000484      FM = 1.00/FMI
000485      DELTA = TAU(2) - TAU(1)
000486      AUX = (1.00-W(1))/(1.00-W(2))
000487      CALAN = TAU(1)*AUX
000488      *FDT = CALAN+(-1.00/DELTA + S(2)*FM)
000489      1000 WRITE(6,1000) FDT
000490      FORMAT(//,1X, 'FATOR DE DESVANTAGEM TERMICA = ',023.10)
000491      RETURN
000492      END
000493      SUBROUTINE VALHEDO(K,L)
000494      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y) , INTEGER*4(I-N)
000495      COMMON/G1/C(440,88),BI(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000496      *COMMON/DAD02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000497      *DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
000498      COMMON/RE/PI
000499      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
000500      COMMON/AP/NP1,NP2
000501      CALL ERASET(208,256,-1,+1,0,209)
000502      AA = 0.00
000503      BB = 0.00
000504      ALB = 0.00
000505      ALB = 0.00
000506      C2 = 2.00*PI
000507      C1 = PI+C2
000508      T1 = CF1 + CF2
000509      T2 = CF1L + CF2L
000510      IF(NF1) 1,2,3
000511      1      IF(NFE.EQ.0.AND.FEIX1.EQ.0.00) GO TO 400
000512      GO TO 600
000513      2      IF(NFD.EQ.0.AND.FEIX2.EQ.0.00) GO TO 410
000514      GO TO 610
000515      3      IF(NFD.EQ.0.AND.FEIX2.EQ.0.00) GO TO 420
000516      IF(NFE.EQ.0.AND.FEIX1.EQ.0.00) GO TO 420
000517      600 CONTINUE
000518      C
000519      C      ALREDO NA FACE ESQUERDA
000520      C
000521      DO 100 I=1,L
000522      ALB = ALB + CF(I)/DFLOAT(I+1)
000523      100 CONTINUE
000524      IF(NFE) SC=0.70
000525      50      ALB = ALB+C1*(1.00/PI - T1)
000526      GO TO 150
000527      60      ALB = ALB+C2*(1.00/PI - T1)
000528      GO TO 150

```

```

000528 70 GO 120 J=1,N1
000529 AA = AA + DBETA(J)/DFLOAT(J+1)
000530 12C CONTINUE
000531 ALB = ALB*PI/AA*(1.00/PI - T1)
000532 150 WRITE(6,260) ALB
000533 260 FORMAT(//,1X,'ALBEDO DA FACE ESQUERDA=',D17.9)
000534 IF(NP1.LE.0) RETURN
000535 61C CONTINUE
000536 C
000537 C ALBEDO NA FACE DIREITA
000538 C
000539 DO 110 I=1,L
000540 IZ = 2*(K-1)*L + L + I
000541 ALBE = ALBE + CF(IZ)/DFLOAT(I+1)
000542 110 CONTINUE
000543 IF(NFG) 180,170,180
000544 180 ALBE = ALBE*C1*(1.00/PI-T2)
000545 GO TO 200
000546 170 ALBE = ALBE*C2*(1.00/PI-T2)
000547 GO TO 900
000548 18C DO 140 J=1,N2
000549 BB = BB + CJOTA(J)/DFLOAT(J+1)
000550 140 CONTINUE
000551 ALBE = ALBE*PI/BB*(1.00/PI - T2)
000552 900 WRITE(6,430) ALBE
000553 430 FORMAT(//,1X,'ALBEDO DA FACE DIREITA=',D17.9)
000554 RETURN
000555 40C WRITE(6,700)
000556 70C FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR ALBEDO DA FACE DIREITA')
000557 RETURN
000558 41C WRITE(6,710)
000559 71C FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR ALBEDO DA FACE ESQUERDA')
000560 RETURN
000561 42C WRITE(6,720)
000562 72C FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR ALBEDO NAS DUAS FACES')
000563 RETURN
000564 END
000565 SUBROUTINE TRANSF(K,L)
000566 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y), INTEGER*4(I-N)
000567 COMMON/G1/C(440,88),BI(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000568 COMMON/DB/PI
000569 COMMON/DAD02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,CGSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000570 DBETA(5),NFE,NFD,FL1X1,FE1X2
000571 COMMON/SAIDA1/FN1(11),A(16,16),B(16,16)
000572 COMMON/AP/NP1,NP2
000573 CALL ERHSET(208,256,-1,+1,0,209)
000574 AA = 0.00
000575 BB = 0.00

TRANS = 0.00
TP = 0.00
C2 = 2.00*PI
C1 = PI*C2
T1 = CF1 + CF2
T2 = CF1L + CF2L
IF(NP2) 1,2,3
1 IF(NFD.EQ.0.AND.FE1X2.EQ.0.00) GO TO 400
GO TO 600
2 IF(NFE.EQ.0.AND.FE1X1.EQ.0.00) GO TO 410
GO TO 610
3 IF(NFD.EQ.0.AND.FE1X1.EQ.0.00) GO TO 420
IF(NFE.EQ.0.AND.FE1X2.EQ.0.00) GO TO 420
CONTINUE
61C FATOR DE TRANSMISSAO NA FACE DIREITA
C DO 110 I=1,L
IZ = 2*(K-1)*L + L + I
TRANS = TRANS + CF(IZ)/DFLOAT(I+1)
11C CONTINUE
IF(NFE)50,60,70
50 TRANS = TRANS*C1*(1.00/PI - T2)
GO TO 150
60 TRANS = TRANS*C2*(1.00/PI - T2)
GO TO 150
70 DO 120 J=1,N1
AA = AA + DBETA(J)/DFLOAT(J+1)
12C CONTINUE
TRANS = TRANS*PI/AA*(1.00/PI - T2)
150 WRITE(6,310) TRANS
000603 31C FORMAT(//,1X,'FATOR DE TRANSMISSAO DA FACE DIREITA=',D17.9)
000604 IF(NP2.LE.0) RETURN
000605 60C CONTINUE
000606 C FATOR DE TRANSMISSAO NA FACE ESQUERDA
000607 DO 220 I=1,L
000608 TR = TR + CF(I)/DFLOAT(I+1)
000609 22C CONTINUE
IF(NFD)230,240,250
000610 23C TR = TR*C1*(1.00/PI - T1)
000611 GO TO 300
000612 24C TR = TR*C2*(1.00/PI - T1)
000613 GO TO 300
000614 250 DO 270 J=1,N2
000615 BB = BB + CJOTA(J)/DFLOAT(J+1)
000616 27C CONTINUE
000617 TR = TR/BB*PI*(1.00/PI - T1)
000618 30C WRITE(6,160) TR
000619 160 FORMAT(//,1X,'FATOR DE TRANSMISSAO DA FACE ESQUERDA=',D17.9)
000620 RETURN

```

```

000624 400 WRITE(6,510)
000625 500 FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR O FATOR DE TRANSMISSAO DA
000626 *FACE ESQUELDA')
000627 RETURN
000628 410 WRITE(6,510)
000629 510 FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR O FATOR DE TRANSMISSAO DA
000630 *FACE DIREITA')
000631 RETURN
000632 420 WRITE(6,520)
000633 520 FORMAT(//,1X,'NAO E POSSIVEL CALCULAR O FATOR DE TRANSMISSAO NAS
000634 *DUAS FACES')
000635 RETURN
000636 END
000637 SUBROUTINE FLUXAN(K,L)
000638 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
000639 COMMON/G1/C(440,58),H1(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000640 COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000641 *BETA(5),NFE,HFD,FEIX1,FEIX2
000642 DIMENSION AC(20),BC(20)
000643 DIMENSION XR(21),FMI(21),TJ(21,21)
000644 C
000645 C CALCULO DE FLUXO ANGULAR NAS INTERFACES
000646 C
000647 WRITE(6,730)
000648 730 FORMAT(//,48X,' FLUXO ANGULAR NAS INTERFACES ',/)
000649 X(1) = 0.00
000650 DO 100 I=1,K
000651 X(I+1) = TAU(I)
000652 100 CONTINUE
000653 DX = 0.100
000654 FMI(1) = -1.00
000655 DO 200 J=1,20
000656 FMI(J+1) = FMI(J) + DX
000657 200 CONTINUE
000658 K1 = K + 1
000659 DO 611 J=1,21
000660 DO 611 I=1,21
000661 TJ(I,J) = 0.000
000662 DO 10 I=1,K1
000663 10 TJ(1,1) = 0.00
000664 TJ(1,1) = CF(1)
000665 I3 = I+1
000666 TJ(2,1) = CF(I3)
000667 IF(K.EQ.1) GO TO 111
000668 KK = K-1
000669 DO 12 I=1,KK
000670 I1 = 2*(I-1)*L + 2*L + 1
000671 I2 = I+1
000672 12 TJ(I2,1) = CF(I1)
000673 IJ = 2*(K-1)*L+L+1
000674 K1 = K+1
000675 TJ(K1,1) = CF(IJ)
000676 111 CONTINUE
000677 C CALCULO DO FLUXO ANGLLAR PARA MI NEGATIVO
000678 DO 21 J=1,10
000679 FD = 0.000
000680 DO 20 I=1,L
000681 I1 = I-1
000682 FD = CF(I)*(FMI(J)+I1)+FD
000683 20 CONTINUE
000684 TJ(1,J) = FD
000685 21 CONTINUE
000686 IF(K.EQ.1) GO TO 222
000687 DO 24 J=1,10
000688 KK = K-1
000689 DO 25 I=1,KK
000690 K1 = I+1
000691 FD = 0.000
000692 DO 26 I2=1,L
000693 I3 = I2-1
000694 IM = 2*(I-1)*L + L + I2
000695 26 FD = FD+CF(IM)*(FMI(J)+I3)
000696 TJ(K1,J) = FD
000697 25 CONTINUE
000698 24 CONTINUE
000699 222 CONTINUE
000700 C CALCULO DO FLUXO ANGLLAR PARA MI POSITIVO
000701 DO 31 J=12,21
000702 FP = 0.000
000703 DO 30 I=1,L
000704 I1=I+L
000705 I2=I-1
000706 FP = FP+CF(I1)*(FMI(J)+I2)
000707 30 CONTINUE
000708 TJ(2,J) = FP
000709 31 CONTINUE
000710 IF(K.EQ.1) GO TO 333
000711 DO 35 J=12,21
000712 DO 34 I=1,KK
000713 FP = 0.000
000714 DO 37 M=1,L
000715 I1 = 2*(I-1)*L + 2*L + M
000716 I2 = M-1
000717 IJ = I+1
000718 37 FP = FP+CF(I1)*(FMI(J)+I2)
000719 TJ(IJ,J) = FP

```

```

000720 36 CONTINUE
000721 35 CONTINUE
000722 DC 40 J=12,21
000723 FP = 0.000
000724 DO 41 I=1,L
000725 I1 = 2*(I-1)*L + L + I
000726 I2 = I-1
000727 K1 = K+1
000728 41 FP = FP+CF(I1)+(FMI(J))*I2
000729 TJ(I,J) = FP
000730 40 CONTINUE
000731 33 CONTINUE
000732 WRITE(6,400) (FMI(I),I=1,11)
000733 400 FORMAT(7X,'X',9X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,
000734 *3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,
000735 *3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,/)
000736 *I = I+1
000737 WRITE(6,700) (XK(I),(TJ(I,J),J=1,11),I=1,K)
000738 700 FORMAT(1PD13.4,2X,11D17.4,/)
000739 WRITE(6,600) (FMI(I),I=1,21)
000740 600 FORMAT(11,7X,'X',9X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,
000741 *3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,
000742 *3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,3X,'MI=',F5.2,/)
000743 WRITE(6,700) (XK(I),(TJ(I,J),J=1,21),I=2,K1)
000744 METRO:
000745 END
000746 SUBROUTINE MITSUO(K,L)
000747 CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
000748 C SUPRCLIMA MITSUO
000749 C
000750 C FINALIDADE - CALCULAR OS VALORES DAS CONSTANTES A E B DA
000751 C APROXIMACAO FN
000752 C DADOS DE ENTRADA
000753 C N - GRAU DE ANISOTROPIA
000754 C WC - NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS
000755 C F - COEFICIENTES DA LEI DE ESPALHAMENTO
000756 C SI - TERMO DE FONTE
000757 C K - NUMERO DE REGIOES
000758 C L - ORDEM DA APROXIMACAO + 1
000759 C
000760 C DADOS DE SAIDA
000761 C CONSTANTES A E B
000762 C
000763 C SUBROTINAS REQUERIDAS
000764 C AALFA
000765 C SPAMA1
000766 C CCFE1
000767 C CCFE2
000768 C CCFU1
000769 C CCFU2
000770 C CAR11
000771 C CAR12
000772 C USOU=SE DUPLA PRECISAO
000773 C
000774 C ORIENTADOR - DR. JOSE RUBENS MAIORINO
000775 C PROGRAMADOR - ELIZABETH DULLEY
000776 C IPEN - SAO PAULO - BRASIL (1981)
000777 C
000778 CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
000779 C
000780 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y), INTEGER*4(I-N)
000781 INTEGER*4 IC,INZ
000782 COMMON/BLK1/WC,F(65)
000783 COMMON/DADO1/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
000784 COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
000785 *DBETA(5),NFE,NFO,FEIX1,FEIX2
000786 COMMON/SAIDA1/FMI(11),A(16,16),B(16,16)
000787 COMMON/BLK2/FONTE,N
000788 COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
000789 COMMON/G1/C(440,88),RI(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
000790 DIMENSION A1(11),B1(11)
000791 CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
000792 LL = L-1
000793 EPS = 1.00-12
000794 IS = 2
000795 NZM = 1
000796 LK1 = 2*L*K
000797 LK2 = 6*L
000798 IF = LK1
000799
000800 C
000801 C CALCULO PARA UMA REGIAO
000802 C
000803 WC = W(1)
000804 FONTE = S(1)
000805 N = NF(1)
000806 DO 10 IL=1,N
000807 F(IL) = FL(1,IL)
000808 10 CONTINUE
000809 2076 FORMAT(40X,D22.15)
000810 DO 98 I=1,LK1
000811 DO 98 J=1,LK2
000812 C(I,J) = 0.00
000813 98 CONTINUE
000814 L1 = 2*L
000815 CALL AMUFN1(1,M)

```

```

000815 CALL AALFA(L)
000817 IF(K.GT.1) GO TO 160
000818 CALL CCE2(K,L,B1)
000819 CALL CCE1(K,L,A1)
000820 DO 100 I=1,L
000821 Y = FHI(I)
000822 DO 110 J=1,L
000823 C(I,J) = -CF1*A(I,J) - (CF2/DFLOAT(J+1))*A(I,1) + B(I,J)
000824 *-CF1*B(I,J)
000825 IC(I,J) = J
000826 J1 = L + J
000827 C(I,J1) = A(I,J)*DEXP(-TAU(1)/Y) - (CF2L/DFLOAT(J+1))*B(I,1)
000828 IC(I,J1) = J1
110 CONTINUE
000829 INZ(I) = L1
000830 BI(I) = A1(I)
000831 IT = L + 1
000832 DO 140 J=1,L
000833 C(I1,J) = A(I,J)*DEXP(-TAU(1)/Y) - CF1*B(I,J)*DEXP(-TAU(1)/Y) -
000834 *(CF2/DFLOAT(J+1))*B(I,1)*DEXP(-TAU(1)/Y)
000835 IC(I1,J) = J
000836 J1 = L + J
000837 C(I1,J1) = B(I,J) - (CF2L/DFLOAT(J+1))*A(I,1) - CF1*A(I,J)
000838 IC(I1,J1) = J1
140 CONTINUE
000839 INZ(I1) = L1
000840 BI(I1) = B1(I)
100 CONTINUE
000841 GO TO 1000
160 CONTINUE
C
C CALCULO PARA DUAS REGIOES
C
DO 170 I=1,L
Y = FHI(I)
DO 180 J=1,L
C(I,J) = CF1*A(I,J) + (CF2/DFLOAT(J+1))*A(I,1) - B(I,J)
IC(I,J) = J
J1 = L + J
C(I,J1) = B(I,J)*DEXP(-TAU(1)/Y)
IC(I,J1) = J1
J2 = 2*L + J
C(I,J2) = -A(I,J)*DEXP(-TAU(1)/Y)
IC(I,J2) = J2
180 CONTINUE
INZ(I) = 3*L
CALL CCFE1(K,L,A1)
BI(I) = A1(I)

I1 = L + 1
DO 190 J=1,L
C(I1,J) = (CF1*B(I,J) + CF2*B(I,1)/DFLOAT(J+1) - A(I,J))*
DEXP(-TAU(1)/Y)
IC(I1,J) = J
J1 = L + J
C(I1,J1) = A(I,J)
IC(I1,J1) = J1
J2 = 2*L + J
C(I1,J2) = -B(I,J)
IC(I1,J2) = J2
190 CONTINUE
INZ(I1) = 3*L
CALL CCFE2(K,L,B1)
BI(I1) = B1(I)
170 CONTINUE
K1 = K-1
IF(K.EQ.2) GO TO 250
C
C CALCULO PARA REGIOES INTERMEDIARIAS
C
DO 200 KK=2,K1
W = W(KK)
FOITE = S(KK)
H = HF(KK)
DO 210 IL=1,N
F(IL) = FL(KK,IL)
210 CONTINUE
CALL AMUFI(1,M)
CALL AALFA(L)
CALL CAR11(K,L,KK,A1)
CALL CAR12(Y,L,KK,H1)
KK2 = 2*(KK-1)*L
KK1 = 2*(KK-2)*L
TK = TAU(KK) - TAU(KK-1)
DO 220 I=1,L
Y = FHI(I)
DX = DEXP(-TK/Y)
I1 = KK2 + 1
DO 230 J=1,L
C(I1,J) = -H(I,J)
IC(I1,J) = KK1 + L + J
J1 = L + J
C(I1,J1) = A(I,J)
IC(I1,J1) = KK1 + 2*L + J
J2 = 2*L + J
C(I1,J2) = B(I,J)*DX
IC(I1,J2) = KK1 + 3*L + J

```

```

000912          J3 = 3*L + J
000913          C(I1,J3) = -A(I,J)*DX
000914          IC(I1,J3) = KK1 + 4*L + J
000915 250      CONTINUE
000916          INZ(I1) = 4*L
000917          B1(I1) = A1(I)
000918          I2 = KK2 + L + I
000919          DO 240 J=1,L
000920          C(I2,J) = -A(I,J)*DX
000921          IC(I2,J) = KK1 + L + J
000922          J1 = L + J
000923          C(I2,J1) = B(I,J)*DX
000924          IC(I2,J1) = KK1 + 2*L + J
000925          J2 = 2*L + J
000926          C(I2,J2) = A(I,J)
000927          IC(I2,J2) = KK1 + 3*L + J
000928          J3 = 3*L + J
000929          C(I2,J3) = -B(I,J)
000930          IC(I2,J3) = KK1 + 4*L + J
000931 240      CONTINUE
000932          INZ(I2) = 2*L
000933          B1(I2) = B1(I)
000934 220      CONTINUE
000935 200      CONTINUE
000936 250      CONTINUE
000937      C
000938      C CALCULO PARA REGIAO K
000939      C
000940      WC = W(K)
000941      FONTE = S(K)
000942      N = NF(K)
000943      DO 260 I1=1,N
000944          F(I1) = FL(K,I1)
000945 260      CONTINUE
000946          CALL AMUEN1(1,M)
000947          CALL AALFA(L)
000948          CALL CCF1(K,L,A1)
000949          CALL CCF2(K,L,B1)
000950          KK2 = 2*(K-1)*L
000951          KK1 = 2*(K-2)*L
000952          TK = TAU(K) - TAU(K-1)
000953          DO 270 I=1,L
000954              Y = F(I1)
000955              DX = DEXP(-TK/Y)
000956              I1 = KK2 + I
000957              DO 280 J=1,L
000958                  C(I1,J) = B(I,J)
000959                  IC(I1,J) = KK1 + L + J
000960
000961                  J1 = L + J
000962                  C(I1,J1) = -A(I,J)
000963                  IC(I1,J1) = KK1 + 2*L + J
000964                  J2 = 2*L + J
000965                  C(I1,J2) = (A(I,J) - CF1L*B(I,J) - (CF2L*B(I,1)/DFLOAT(J+1)))
000966                      *DX
000967                  IC(I1,J2) = KK1 + 3*L + J
000968 280      CONTINUE
000969          INZ(I1) = 3*L
000970          B1(I1) = B1(I)
000971          I2 = KK2 + L + I
000972          DO 290 J=1,L
000973              C(I2,J) = A(I,J)*DX
000974              IC(I2,J) = KK1 + L + J
000975              J1 = L + J
000976              C(I2,J1) = -B(I,J)*DX
000977              IC(I2,J1) = KK1 + 2*L + J
000978              J2 = 2*L + J
000979              C(I2,J2) = B(I,J) - CF1L*A(I,J) - (CF2L*A(I,1)/DFLOAT(J+1))
000980              IC(I2,J2) = KK1 + 3*L + J
000981 290      CONTINUE
000982          INZ(I2) = 3*L
000983          B1(I2) = A1(I)
000984 270      CONTINUE
000985 1000     CONTINUE
000986 1020     FORMAT(12(1X,E10.3))
000987 1040     FORMAT(20(1X,14))
000988      CALL SPAMA(LK1,EPS,IS,NZM,IF)
000989      RETURN
000990      END
000991      SUBROUTINE SPAMA(N,EPS,IS,NZM,IF)
000992      C
000993      C SOLUCAO DE UM SISTEMA DE EQUACOES ALGEBRICAS AX=B,
000994      C ATRAVES DO METODO DE ELIMINACAO DE GAUSS, APLICANDO
000995      C TECNICAS PARA MATRIZES ESPARSAS.
000996      C
000997      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
000998      INTEGER*4 IC,INZ,IX,IY,I2
000999      DIMENSION IX(440),IY(440),I2(440)
001000      COMMON/G1/A(440,88),B(440),X(440),IC(440,88),INZ(440)
001001      CALL EPSSET(208,256,-1,+1,0,209)
001002      C
001003      DO 1 I=1,N
001004          IY(I)=1
001005          I2(I)=1
001006          IF(NZM.EQ.1) GO TO 205
001007      C ABRANC DOS ELEM. DE A EM ORDEM CRESCENTE.
001008      DO 200 I=1,N

```

```

001008      J1=1
001009      I=1
001010      N2=INZ(I)
001011      IF(N2 .EQ. 1) GO TO 200
001012      204 DO 201 J=J1,N
001013          DO 202 K=1,K=NZ
001014              IF(1/(I,K1) .EQ. J) GO TO 203
001015      202 CONTINUE
001016      201 CONTINUE
001017      203 IAUX=1/(I,K)
001018          IC(I,K)=IC(I,K1)
001019          IC(I,K1)=IAUX
001020          AUX=A(I,K)
001021          A(I,I)=A(I,K1)
001022          A(I,K1)=AUX
001023          IK=I+1
001024          IF(IK .GE. N2) GO TO 200
001025          J1=J+1
001026          GO TO 204
001027      200 CONTINUE
001028      NZ=1
001029      C LET. DA TOL DO SISTEMA.
001030      205 AM=A(I,1)
001031          DO 206 I=1,N
001032              NZ=INZ(I)
001033              DO 206 K=1,NZ
001034                  IF(DABS(AM) .GE. DABS(A(I,K))) GO TO 206
001035                  AM=A(I,K)
001036      206 CONTINUE
001037          TOL=EPS*DABS(AM)
001038          IF(15 .EQ. 2) GO TO 2
001039          N1=N-1
001040          DO 10 K2=1,N1
001041              I=1Z(K2)
001042              L=1
001043              IX(1)=0
001044              AM=0.000
001045              N2=K2+1
001046              IF(N2 .GT. N) N2=N
001047              DO 11 J1=K2,N2
001048                  J=J1/J1
001049                  IF(1/(J,1) .NE. K2) GO TO 11
001050                  L=L+1
001051                  IX(L)=IX(1)+1
001052                  IX(L)=J
001053                  IF(DABS(A(J,1)) .LE. DABS(AM)) GO TO 11
001054                  AM=A(J,1)
001055                  NJ=J
001056      11 CONTINUE
001057          IF(DABS(AM) .GT. TOL) GO TO 12
001058          GO TO 101
001059      2  N1=N-1
001060          DO 20 I2=1,N1
001061              I=1Z(I2)
001062              L=1
001063              IX(1)=0
001064              N2=I+1
001065              IF(N2 .GT. N) N2=N
001066              DO 21 J1=I2,N2
001067                  J=1Z(J1)
001068                  IF(1/(J,1) .NE. I2) GO TO 21
001069                  L=L+1
001070                  IX(L)=IX(1)+1
001071                  IX(L)=J
001072      21 CONTINUE
001073          NJ=IX(2)
001074          IF(DABS(A(NJ,1)) .GT. TOL) GO TO 12
001075      22  NZ=IX(1)+1
001076          DO 23 K=2,NZ
001077              NJ=IX(K)
001078              IF(DABS(A(NJ,1)) .GT. TOL) GO TO 15
001079      23 CONTINUE
001080          NJ=IX(2)
001081      101 IS=-1
001082          IF(IX(1) .EQ. 0) GO TO 150
001083      12  IF(NJ .EQ. 1) GO TO 14
001084      C YUDARICA DE LINHAS.
001085      15 CONTINUE
001086          DO 16 K=12,N
001087              IF(1Z(K) .EQ. NJ) GO TO 17
001088      16 CONTINUE
001089      17  IZ(K)=I
001090          IZ(12)=NJ
001091          J=IX(1)+1
001092          GO 18 K=2,J
001093          IF(IX(K) .EQ. NJ) GO TO 19
001094      18 CONTINUE
001095      19  IX(K)=IX(2)
001096          IX(2)=NJ
001097          I=NJ
001098      14  A1=A(I,1)
001099          A(I,1)=0.000
001100          B(1)=B(I)/A1
001101          NZ=INZ(I)
001102          DO 24 K=1,NZ
001103      24  A(I,K)=A(I,K)/A1

```

```

001104 C OPERACOES DE ELIMINACAO.
001105 NM=IA(1)+1
001106 IF(NM .GE. 3) GO TO 25
001107 IF(IS .EQ. 2) GO TO 20
001108 GO TO 10
001109 25 DO 40 L=3,NM
001110 I1=IA(L)
001111 A2=A(I1,1)
001112 A(I1,1)=0.000
001113 NZ=INZ(I1)
001114 IF(NZ .GT. 1) GO TO 57
001115 C DESLOCAMENTO DE ELEMENTOS NUMA LINHA.
001116 IF(INZ(I1) .EQ. 1) GO TO 56
001117 K3=INZ(I1)-1
001118 DO 303 K4=1,K3
001119 IC(I1,K4)=IC(I1,K4+1)
001120 A(I1,K4)=A(I1,K4+1)
001121 303 CONTINUE
001122 INZ(I1)=INZ(I1)-1
001123 GO TO 56
001124 57 NN=IC(I1,NZ)
001125 NZ1=INZ(I1)
001126 IF(IC(I1,NZ1) .GT. NN) NN=IC(I1,NZ1)
001127 DO 50 K=12,NN
001128 50 X(K)=0.000
001129 IF(NZ1 .EQ. 1) GO TO 55
001130 DO 51 K1=2,NZ1
001131 K=IC(I1,K1)
001132 X(K)=A(I1,K1)
001133 51 CONTINUE
001134 55 GO 52 K1=2,NZ
001135 X=IC(I1,K1)
001136 X(K)=X(K)-A2*A(I1,K1)
001137 52 CONTINUE
001138 K1=0
001139 INZ(I1)=INZ(I1)-1
001140 DO 53 K=12,NN
001141 IF(X(K) .EQ. 0) GO TO 53
001142 Y1=K1+1
001143 A(I1,K1)=X(K)
001144 IC(I1,K1)=K
001145 53 CONTINUE
001146 INZ(I1)=K1
001147 56 B(I1)=B(I1)-A2*B(I)
001148 IF(INZ(I1) .GT. NZM) NZM=INZ(I1)
001149 40 CONTINUE
001150 IF(IS .EQ. 1) GO TO 10
001151 20 CONTINUE

001152 DO 10 33
001153 10 CONTINUE
001154 C SUBSTITUICAO REGRESSIVA.
001155 33 J=IZ(N)
001156 NZ=INZ(J)
001157 DO 30 K=1,NZ
001158 IF(IC(J,K) .NE. 0) GO TO 32
001159 30 CONTINUE
001160 GO TO 101
001161 32 B(J)=B(J)/A(J,K)
001162 DO 90 J=2,N
001163 IB=N-J+1
001164 J1=IZ(IB)
001165 NZ=INZ(J1)
001166 IF(IC(J1,NZ) .EQ. 0) GO TO 90
001167 DO 90 K=1,NZ
001168 IA=IC(J1,K)
001169 J1=IZ(IA)
001170 B(J1)=B(J1)-A(J1,K)*B(I)
001171 90 CONTINUE
001172 DO 94 I=1,N
001173 J=IZ(I)
001174 K=IZ(J)
001175 94 X(I)=B(K)
001176 150 RETURN
001177 END
001178 SUBROUTINE CCE1(K,L,A1)
001179 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001180 COMMON/BB/PI
001181 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
001182 COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001183 COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001184 *DMETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001185 COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),U(16,16)
001186 COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
001187 DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001188 CALL ERKSET(208,256,-1,+1,0,209)
001189 C
001190 IF(NFD) 50,60,70
001191 50 DO 10 I=1,L
001192 FI = 0.00
001193 DO 11 J=1,N
001194 FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(FNI(I),J)*POLEG(COSD,J)
001195 FI = FI*0.5DD/(FNI(I)-COSD)
001196 FI = FI*(DEXP(-TAU(1)/FNI(I))-DEXP(-TAU(1)/COSD))
001197 14 GI =FI/PI
001198 A2(I) = GI + CF2*0.5DD*A(1,1)*DEXP(-TAU(K)/COSD)/PI
001199 10 CONTINUE

```

```

001250      GO TO 150
001251      DO 61 I=1,L
001252      A2(I) = FEIX2*B(I,1)*DEXP(-TAU(1)/FNI(1))
001253      CONTINUE
001254      GO TO 150
001255      DO 71 I=1,L
001256      FI = 0.00
001257      DO 72 J=1,N2
001258      FI = FI + CJOTA(J)*A(I,J)
001259      CONTINUE
001260      A2(I) = FI*DEXP(-TAU(1)/FNI(1))
001261      CONTINUE
001262      IF(4FEV 230,250,500
001263      C
001264      C   CALCULO DA PARCELA QUE CONTEM INCIDENCIA DA FACE ESQUERDA
001265      C
001266      DO 16 I=1,L
001267      FI = 0.00
001268      DO 15 J=1,N
001269      JK = J + 1
001270      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(FNI(1),J)*POLEG
001271      *
001272      *   (COSF,J)
001273      *   FI = FI*0.500/(FNI(1)+COSE)
001274      *   A3(I) = -FI*(DEXP(-TAU(1)/FNI(1)-TAU(1)/COSE)-1.00)/PI
001275      *   A3(I) = A3(I) + CF2L*C.SDU*B(I,1)*DEXP(-TAU(1)/COSE-TAU(1)/FNI(1)
001276      *)/PI
001277      CONTINUE
001278      GO TO 500
001279      C
001280      DO 17 I=1,L
001281      A3(I) = +FEIX1*A(I,1)
001282      CONTINUE
001283      GO TO 500
001284      C
001285      DO 19 I=1,L
001286      FI = 0.00
001287      DO 20 J=1,N1
001288      FI = FI + DBETA(J)*A(I,J)
001289      CONTINUE
001290      A3(I) = FI
001291      CONTINUE
001292      C
001293      DO 21 I=1,L
001294      A1(I) = (FONTE/WC)*(1.00-DEXP(-TAU(1)/FNI(1)))
001295      A1(I) = A1(I) - A2(I) + A3(I)
001296      CONTINUE
001297      RETURN
001298      END

001299      SUBROUTINE CCE2(K,L,A1)
001300      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001301      DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001302      COMMON/BB/PI
001303      COMMON/BLOCK1/WC,F(55)
001304      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001305      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001306      COMMON/SAIDA2/RNY(3),N2
001307      COMMON/GADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,CGSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001308      *DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001309      CALL ERASET(208,256,-1,1,0,209)
001310      IF(NFD) 50,60,70
001311      DO 10 I=1,L
001312      Y = FNI(1)
001313      FI = 0.00
001314      COSD1=-COSD
001315      IF(Y.EQ.COSD1)GO TO 44
001316      DO 11 J=1,N
001317      JK = J + 1
001318      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSD
001319      *,J)
001320      CONTINUE
001321      FI = FI*0.500/(Y+COSD)
001322      FI = -FI*(DEXP(-TAU(1)/Y)*TAU(1)/COSD) - 1.00)/PI
001323      GO TO 45
001324      FI=FI+((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSD,J)*POLEG(COSD,J)
001325      FI=(FI+.500*TAU(1)/(COSD**2))/PI
001326      A3(I) = FI + DEXP(-TAU(K)/COSD)*CF2*B(I,1)/(2.00*PI)*DEXP(-TAU(1
001327      *)/Y)
001328      CONTINUE
001329      GO TO 500
001330      C
001331      DO 61 I=1,L
001332      A3(I) = FEIX2*A(I,1)
001333      CONTINUE
001334      GO TO 500
001335      C
001336      DO 71 I=1,L
001337      FI = 0.00
001338      DO 72 J=1,N2
001339      FI = FI + CJOTA(J)*A(I,J)
001340      A3(I) = FI
001341      CONTINUE
001342      C
001343      IF(NFE) 200,250,300
001344      DO 13 I=1,L
001345      Y = FNI(1)
001346      GI = 0.00

```

```

001344      11      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(FNI(I),J)*POLEG(COSD,J)
001345      FI = FI*0.500/(FNI(I)-COSD)
001346      FI = FI*(DEXP(-TAU(1)/FNI(I) + TAU(1)/COSD) - 1.00)
001347      GO TO 14
001348      12      DO 13 J=1,N
001349      13      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSD,J)*POLEG(COSD,J)
001350      FI = FI*0.500*TAU(1)/(COSD**2)
001351      14      GI = FI*DEXP(-TAU(K)/COSD)/PI
001352      A2(I) = -GI - CF2*0.500*A(I,1)*DEXP(-TAU(K)/COSD)/PI
001353      10      CONTINUE
001354      GO TO 150
001355      100     DO 18 I=1,L
001356      18      A2(I) = 0.00
001357      150     IF(NFE) 200,250,300
001358      C
001359      C      CALCULO DA PARCELLA QUE CONTEM INCIDENCIA DA FACE ESQUERDA
001360      C
001361      200     DO 16 I=1,L
001362      FI = 0.00
001363      DO 15 J=1,N
001364      JK = J + 1
001365      15      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(FNI(I),J)*POLEG
001366      (COSE,J)
001367      FI = FI*0.500/(FNI(I)+COSE)
001368      A3(I) = FI*(DEXP(-TAU(1)/FNI(I)-TAU(1)/COSE)-1.00)/PI
001369      16      CONTINUE
001370      GO TO 500
001371      C
001372      250     DO 17 I=1,L
001373      A3(I) = -FEIX1*A(I,1)
001374      17      CONTINUE
001375      GO TO 500
001376      C
001377      300     DO 19 I=1,L
001378      FI = 0.00
001379      DO 20 J=1,N1
001380      FI = FI + DBETA(J)*A(I,J)
001381      20      CONTINUE
001382      A3(I) = -FI
001383      19      CONTINUE
001384      C
001385      500     DO 21 I=1,L
001386      A1(I) = -(FONTE/WC)*(1.00-DEXP(-TAU(1)/FNI(I)))
001387      A1(I) = A1(I) - A2(I) + A3(I)
001388      21      CONTINUE
001389      RETURN
001390      END
001391      SUBROUTINE CCFE2(K,L,A1)

001296      IF(Y.EQ.COSE) GO TO 14
001297      DO 15 J=1,N
001298      GI = GI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
001299      GI = GI*(0.500/(Y-COSE))*DEXP(-TAU(1)/Y)-DEXP(-TAU(1)/COSE))
001300      GO TO 16
001301      C
001302      14      GI = GI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSE,J)*POLEG(COSE,J)
001303      GI = GI*0.500*TAU(1)*DEXP(-TAU(1)/COSE)/(COSE**2)
001304      16      A2(I) = +GI/PI
001305      13      CONTINUE
001306      GO TO 600
001307      C
001308      250     DO 20 I=1,L
001309      Y = FNI(I)
001310      A2(I) = +FEIX1*B(I,1)*DEXP(-TAU(1)/Y)
001311      20      CONTINUE
001312      GO TO 600
001313      C
001314      300     DO 21 I=1,L
001315      FI = 0.00
001316      Y = FNI(I)
001317      DO 22 J=1,N1
001318      FI = FI + DBETA(J)*B(I,J)
001319      A2(I) = +FI*DEXP(-TAU(1)/Y)
001320      22      CONTINUE
001321      600     DO 23 I=1,L
001322      A1(I) = (FONTE/WC)*(1.00 - DEXP(-TAU(1)/FNI(I)))
001323      A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001324      23      CONTINUE
001325      RETURN
001326      END
001327      SUBROUTINE CCFE1(K,L,A1)
001328      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z), INTEGER*4(I-N)
001329      COMMON/HP/PI
001330      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
001331      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001332      COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001333      DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001334      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001335      COMMON/SAIDA2/RNY(3),N2
001336      DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001337      C
001338      CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
001339      IF(NFD.GE.0) GO TO 100
001340      DO 10 I=1,L
001341      FI = 0.00
001342      IF(FNI(I).EQ.COSD) GO TO 12
001343      DO 11 J=1,N

```

```

001372      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001373      DIMENSION A1(11),A2(11),A3(11)
001374      COMMON/BB/PI
001375      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
001376      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001377      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001378      COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
001379      COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001400      DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001401      CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
001402      IF(NFD.GE.0) GO TO 100
001403      DO 10 I=1,L
001404      Y = FNI(I)
001405      FI = 0.00
001406      DO 11 J=1,N
001407      JK = J + 1
001408      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSD
001409      ,J)
001410      11 CONTINUE
001411      FI = FI+0.500/(Y+COSD)*DEXP(-TAU(K)/COSD)
001412      FI = FI*(DEXP(-TAL(1)/Y + TAU(1)/COSD) - 1.00)/PI
001413      A3(I) = FI - DEXP(-TAU(K)/COSD)*CF2*B(I,1)/(2.00*PI)*DEXP(-TAU(1
001414      +)/Y)
001415      10 CONTINUE
001416      GO TO 500
001417      100 DO 12 I=1,L
001418      A3(I) = 0.00
001419      C
001420      500 IF(NFE) 200,250,300
001421      200 DO 13 I=1,L
001422      Y = FNI(I)
001423      GI = 0.00
001424      IF(Y.EQ.COSE) GO TO 14
001425      DO 15 J=1,N
001426      GI = GI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
001427      GI = GI*(0.500/(Y-COSE))*(DEXP(-TAU(1)/Y)-DEXP(-TAU(1)/COSE))
001428      GO TO 16
001429      C
001430      14 GI = GI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSE,J)*POLEG(COSE,J)
001431      GI = GI+0.500*TAU(1)*DEXP(-TAU(1)/COSE)/(COSE**2)
001432      A2(I) = -GI/PI
001433      13 CONTINUE
001434      GO TO 600
001435      C
001436      250 DO 20 I=1,L
001437      Y = FNI(I)
001438      A2(I) = -FEIX1*B(I,1)*DEXP(-TAU(1)/Y)
001439      20 CONTINUE

001440      GO TO 600
001441      C
001442      300 DO 21 I=1,L
001443      FI = 0.00
001444      Y = FNI(I)
001445      DO 22 J=1,N1
001446      FI = FI + DBETA(J)*B(I,J)
001447      A2(I) = -FI*DEXP(-TAU(1)/Y)
001448      21 CONTINUE
001449      600 DO 23 I=1,L
001450      A1(I) = -(FONTE/WC)*(1.00 - DEXP(-TAU(1)/FNI(I)))
001451      A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001452      23 CONTINUE
001453      RETURN
001454      END
001455      SUBROUTINE CAR1(K,L,KK,A1)
001456      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001457      DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001458      COMMON/BB/PI
001459      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
001460      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001461      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001462      COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001463      DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001464      COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
001465      CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
001466      TK = TAL(KK) - TAU(KK-1)
001467      IF(NFE.GE.0) GO TO 100
001468      DO 10 I=1,L
001469      FI = 0.00
001470      Y = FNI(I)
001471      GO 11 J=1,N
001472      JK = J + 1
001473      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J
001474      )
001475      FI = FI+0.500/(Y+COSE)
001476      A2(I) = -FI*(DEXP(-TAU(KK-1)/COSE)-DEXP(-TK/Y - TAU(KK)/COSE))
001477      10 CONTINUE
001478      GO TO 300
001479      100 DO 12 I=1,L
001480      A2(I) = 0.00
001481      C
001482      300 IF(NFD.GE.0) GO TO 200
001483      DO 13 I=1,L
001484      FI = 0.00
001485      Y = FNI(I)
001486      IF(Y.EQ.COSD) GO TO 14
001487      DO 15 J=1,N

```

```

001454 15      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSD,J)
001457      FI = FI*0.500/(Y-COSD)
001490      FI = FI*DEXP((-TK/Y + TAU(KK)/COSD) - DEXP(TAU(KK-1)/COSD))
001491      GO TO 16
001492 14      DO 17 J=1,N
001493 17      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSD,J)*POLEG(COSD,J)
001494      FI = FI*0.500*TK*DEXP(-TAU(KK-1)/COSD)/(COSD**2)
001495 16      GI = FI*DEXP(-TAU(KK)/COSD)/PI
001496      A3(I) = -GI
001497 13      CONTINUE
001498      GO TO 500
001499 200     DO 20 I=1,L
001500 20      A3(I) = 0.00
001501 500     DO 21 I=1,L
001502      A1(I) = -(FONTE/WC)*(1.00-DEXP(-TK/FNI(I)))
001503      A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001504 21      CONTINUE
001505      RETURN
001506      END
001507      SUBROUTINE CAR12(K,L,KK,A1)
001508      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001509      DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001510      COMMON/BI/PI
001511      COMMON/HLOCK1/WC,F(65)
001512      COMMON/HLOCK2/FONTE,N
001513      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001514      COMMON/SAIDA2/FNY(3),N2
001515      COMMON/GALO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001516      *DELTA(5),HFE,HFD,FE1X1,FE1X2
001517      CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
001518      TK = TAU(KK) - TAU(KK-1)
001519      IF(HFE.GE.0) GO TO 100
001520      DO 10 I=1,L
001521      FI = 0.00
001522      Y = FNI(I)
001523      IF(Y.EQ.COSE) GO TO 12
001524      DO 11 J=1,N
001525 11      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
001526      FI = FI*(0.500/(Y-COSE))*DEXP((-TK/Y-TAU(KK-1)/COSE)-DEXP(-TAU
001527      *KK)/COSE))
001528      GO TO 13
001529 12      DO 14 J=1,N
001530 14      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSE,J)*POLEG(COSE,J)
001531      FI = FI*0.500*TK*DEXP(-TAU(KK)/COSE)/(COSE**2)
001532 13      A2(I) = -FI/PI
001533 10      CONTINUE
001534      GO TO 200
001535 100     DO 15 I=1,L
001536      A2(I) = 0.00
001537 15      CONTINUE
001538      C
001539 200     IF(NFD.GE.0) GO TO 300
001540      DO 16 I=1,L
001541      FI = 0.00
001542      Y = FNI(I)
001543      DO 17 J=1,N
001544      JK = J + 1
001545 17      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(
001546      *COSD,J)
001547      FI = FI*0.500/(Y + COSD)*DEXP(-TAU(KK)/COSD)
001548      FI = FI*(DEXP(-TK/Y + TAU(KK-1)/COSD)-DEXP(TAU(KK)/COSD))
001549      A3(I) = FI/PI
001550 16      CONTINUE
001551      GO TO 500
001552 300     DO 18 I=1,L
001553 18      A3(I) = 0.00
001554      C
001555      C
001556 500     DO 20 I=1,L
001557      A1(I) = -(FONTE/WC)*(1.00 - DEXP(-TK/FNI(I)))
001558      A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001559 20      CONTINUE
001560      RETURN
001561      END
001562      SUBROUTINE CCFD1(K,L,A1)
001563      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001564      DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001565      COMMON/HLOCK1/WC,F(65)
001566      COMMON/BI/PI
001567      COMMON/HLOCK2/FONTE,N
001568      COMMON/SAIDA1/FNI(11),A(16,16),B(16,16)
001569      COMMON/SAIDA2/FNY(3),N2
001570      COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001571      *DELTA(5),HFE,HFD,FE1X1,FE1X2
001572      CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)
001573      TK = TAU(KK) - TAU(KK-1)
001574      IF(K.EQ.1) TK=TAU(KK)
001575      IF(HFE.GE.0) GO TO 100
001576      DO 10 I=1,L
001577      Y = FNI(I)
001578      FI = 0.00
001579      IF(Y.EQ.COSE) GO TO 12
001580      DO 11 J=1,N
001581 11      FI = FI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
001582      FI = FI*(0.500/(Y-COSE))*DEXP((-TK/Y-TAU(KK-1)/COSE)-DEXP(-TAU(KK)
001583      *KK)/COSE))

```

```

001594          GO TO 13
001595      12      DC 14 J=1,N
001596          FI = FI + DFL0AT(2*J-1)*F(J)*GFUN(COSE,J)*POLEG(COSE,J)
001597      14      CONTINUE
001598          FI = FI+0.500*TK*DEXP(-TAU(K)/COSE)/(COSE**2)
001599      13      A2(I) = (-FI + CF2L*0.500*A(I,1))/PI
001590      10      CONTINUE
001591          GO TO 200
001592      100     DO 15 I=1,L
001593          A2(I) = 0.00
001594      15      CONTINUE
001595      C
001596      200     IF(NFD) 250,300,350
001597      250     DC 16 I=1,L
001598          FI = 0.00
001599          Y = FNI(I)
001600          DO 17 J=1,N
001601          JK = J + 1
001602      17      FI = FI + ((-1.00)**JK)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COS
001603          D,J)
001604          FI = FI+0.500/(Y+COSE)*(DEXP(-TK/Y - TK/COSE) - 1.00)
001605          A3(I) = -FI/PI
001606      16      CONTINUE
001607          GO TO 500
001608      300     DC 18 I=1,L
001609          A3(I) = FEIX2*A(I,1)
001610      18      CONTINUE
001611          GO TO 500
001612      350     DO 21 I=1,L
001613          FI = 0.00
001614          GO 22 J=1,N2
001615      22      FI = FI + CJOTA(J)*A(I,J)
001616          A3(I) = FI
001617      21      CONTINUE
001618      C
001619      500     DO 23 I=1,L
001620          A1(I) = (FONTE/WC)*(1.00 - DEXP(-TK/FNI(I)))
001621          A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001622      23      CONTINUE
001623          RETURN
001624          END
001625          SUBROUTINE CCFD2(K,L,A1)
001626          IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z) , INTEGER*4(I-N)
001627          DIMENSION A2(11),A3(11),A1(11)
001628          COMMON/BP/PI
001629          COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
001630          COMMON/BLOCK2/FONTE,N
001631          COMMON/SAIDAT/FNI(11),A(16,16),B(16,16)

001632          COMMON/SAIDAZ/RNY(3),A2
001633          COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
001634          *DBETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
001635          CALL ERRSET(202,256,-1,+1,0,209)
001636          TK = TAU(K) - TAU(K-1)
001637          IF(K.EQ.1) TK = TAU(K)
001638          IF(NFE.GE.0) GO TO 100
001639          DO 10 I=1,L
001640          FI = 0.00
001641          Y = FNI(I)
001642          DO 11 J=1,N
001643          JK = J + 1
001644      11      FI = FI + ((-1.00)**J)*DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE
001645          ,J)
001646          FI = FI+0.500/(Y + COSE)
001647          FI = FI*(DEXP(-TAU(K-1)/COSE)-DEXP(-TAU(K)/COSE -TK/Y))
001648          A2(I) = (FI + CF2L*0.500*DEXP(-TK/Y)*B(I,1))/PI
001649      10      CONTINUE
001650          GO TO 150
001651      100     DO 12 I=1,L
001652          A2(I) = 0.00
001653      12      CONTINUE
001654      C
001655      150     IF(NFD) 200,250,300
001656      200     DO 13 I=1,L
001657          A3(I) = 0.00
001658      13      CONTINUE
001659          GO TO 500
001660      250     DO 14 I=1,L
001661          A3(I) = FEIX2*B(I,1)*DEXP(-TK/FNI(I))
001662      14      CONTINUE
001663          GO TO 500
001664      300     DO 15 I=1,L
001665          FI = 0.00
001666          DO 16 J=1,N2
001667          FI = FI + CJOTA(J)*B(I,J)
001668          A3(I) = FI*DEXP(-TK/FNI(I))
001669      15      CONTINUE
001670      C
001671      500     DO 18 I=1,L
001672          A1(I) = (FONTE/WC)*(1.00 - DEXP(-TK/FNI(I)))
001673          A1(I) = A1(I) + A2(I) + A3(I)
001674      18      CONTINUE
001675          RETURN
001676          END
001677          SUBROUTINE AMUFN1(IP,M)
001678          CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
001679          C      SUBECTINA AMUFN 1 - CALCULA O NUMERO DE AUTOVALORES DISCRE

```

```

001620 C E COMPUTA OS AUTOVALORES
001621 C
001622 C DESCRICAC DOS PARAMETROS
001623 C DADOS DE ENTRADA
001624 C WC - NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS
001625 C IP - CODIGO PARA ESCREVER (IP=0) OU NAO (IP=1) OS AUTOVALO
001626 C II - CODIGO PARA LEITURA (0) OU CALCULO (1) DA FUNCAO F
001627 C N - GRAU DE ANISOTROPIA
001628 C F - COEFICIENTES DA LEI DE ESPALHAMENTO
001629 C
001630 C X - PONTOS DE QUADRATURA (0,1)
001631 C W - PESOS DE QUADRATURA (0,1)
001632 C M - NUMERO DE PONTOS DE QUADRATURA
001633 C
001634 C DADOS DE SAIDA
001635 C NZ - NUMERO DE AUTOVALORES
001636 C RNY - AUTOVALOR DISCRETO CALCULADO
001637 C
001638 C FUNCOES REQUERIDAS PARA OS CALCULOS
001639 C PCLEG - POLINOMIO DE LEGENDRE DE GRAU N
001640 C GFUN - POLINOMIO DE GRAU N
001641 C HFUN - NUMERO DE GRAU N
001642 C
001643 C USOU-SE DUPLA PRECISAO, TECNICA NUMERICA (NEWTON RAPHSON, INTE
001644 C GRACAO DE GAUSS)
001645 C
001646 C PROGRAMADOR - ELIZABETH DULLEY
001647 C ORIENTADOR - DR JOSE PUEBES MAIORINO
001648 C IFEA - SAO PAULO - BRASIL (1981)
001649 C
001650 C
001651 C
001652 C
001653 C
001654 C
001655 C
001656 C
001657 C
001658 C
001659 C
001660 C
001661 C
001662 C
001663 C
001664 C
001665 C
001666 C
001667 C
001668 C
001669 C
001670 C
001671 C
001672 C
001673 C
001674 C
001675 C
001676 C
001677 C
001678 C
001679 C
001680 C
001681 C
001682 C
001683 C
001684 C
001685 C
001686 C
001687 C
001688 C
001689 C
001690 C
001691 C
001692 C
001693 C
001694 C
001695 C
001696 C
001697 C
001698 C
001699 C
001700 C
001701 C
001702 C
001703 C
001704 C
001705 C
001706 C
001707 C
001708 C
001709 C
001710 C
001711 C
001712 C
001713 C
001714 C
001715 C
001716 C
001717 C
001718 C
001719 C
001720 C
001721 C
001722 C
001723 C
001724 C
001725 C
001726 C
001727 C
001728 C
001729 C
001730 C
001731 C
001732 C
001733 C
001734 C
001735 C
001736 C
001737 C
001738 C
001739 C
001740 C
001741 C
001742 C
001743 C
001744 C
001745 C
001746 C
001747 C
001748 C
001749 C
001750 C
001751 C
001752 C
001753 C
001754 C
001755 C
001756 C
001757 C
001758 C
001759 C
001760 C
001761 C
001762 C
001763 C
001764 C
001765 C
001766 C
001767 C
001768 C
001769 C
001770 C
001771 C
001772 C
001773 C
001774 C
001775 C

```

E COMPUTA OS AUTOVALORES

DESCRICAC DOS PARAMETROS

DADOS DE ENTRADA

WC - NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS

IP - CODIGO PARA ESCREVER (IP=0) OU NAO (IP=1) OS AUTOVALO

II - CODIGO PARA LEITURA (0) OU CALCULO (1) DA FUNCAO F

N - GRAU DE ANISOTROPIA

F - COEFICIENTES DA LEI DE ESPALHAMENTO

DADOS DE SAIDA

NZ - NUMERO DE AUTOVALORES

RNY - AUTOVALOR DISCRETO CALCULADO

FUNCOES REQUERIDAS PARA OS CALCULOS

PCLEG - POLINOMIO DE LEGENDRE DE GRAU N

GFUN - POLINOMIO DE GRAU N

HFUN - NUMERO DE GRAU N

USOU-SE DUPLA PRECISAO, TECNICA NUMERICA (NEWTON RAPHSON, INTE

GRACAO DE GAUSS)

PROGRAMADOR - ELIZABETH DULLEY

ORIENTADOR - DR JOSE PUEBES MAIORINO

IFEA - SAO PAULO - BRASIL (1981)

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y), INTEGER*4(I-N)
REAL*4 RE4
*COMMON/KEY/AM(100),WM(100)
COMMON/DM/PI
COMMON/LOCK1/WC,F(65)
COMMON/BLOCK2/FONTE,H
COMMON/SAIDA2/RNY(3),NZ
DIMENSION GAMA(52,300),H(52),GE(52,300),FI(300),P(52,300),EPS(12)
*BL(31,31),FAMNDA(300),FIT(300),FUNC(300),FKAPA(300),FINT(80),
*X(80),X(80),ARG(100),GG(400),RNS(3),BK(55),WK(55),
*TK(55),CK(55),TETA(3),FLT(100),XDT(80),XGT(80),WGT(80),XT(400),
*XT(400),GT(400,55),PG(400,55)
CALL ERRSET(208,256,-1,+1,0,209)

```

DADOS DE ENTRADA

REWIND 1

READ(1,501) PI

LN=12

HEAD(1,502) (EPS(I),I=1,NN)

CALCULO DO NUMERO DE AUTO VALORES

```

100 H(1) = 1.00 - WC
T = C.00
DT = 1.00-2
I = 1
5 GAMA(1,I) = 0.00
GAMA(2,I) = 2.00
GE(1,I) = 1.00
GE(2,I) = (1.00-WC)*T
P(1,I) = 1.00
P(2,I) = T
S1=0.00
C
*IT = II-1
IF(N.EQ.1) IT=1
DO 6 L=1,IT
C1 = 2.00*DFLOAT(L) + 1.00
C2 = DFLOAT(L)+1.00
C3 = -DFLOAT(L)
GAMA(L+2,I) = (C1*T*GAMA(L+1,I) + C3*GAMA(L,I))/C2
H(L+1) = C1*(1.00 - WC*F(L+1))
GE(L+2,I) = ((C3*GE(L,I) + T*H(L+1)+GE(L+1,I))/C2
F(L+2,I) = (C1*T*P(L+1,I) + C3*P(L,I))/C2
K=L-1
C5 = 2.00*DFLOAT(K) + 1.00
S1 = S1 + C5*P(L,I)*GE(L,I)*F(L)
6 CONTINUE
S2 = 0.00
N = N-1
IF(N.EQ.1) M=1
DO 7 L=1,M
C6 = 2.00*DFLOAT(L) + 1.00
S2 = S2 + C6*F(L+1)*GE(L+1,I)*GAMA(L+1,I)
7 CONTINUE
FI(1) = WC*0.500*S1
FIT(1) = FI(1)*T*PI
FAMNDA(1) = 1.00 + WC*T*0.500*S2 + T*FI(1)*DLOG((1.00-T)/(1.00+T
*))
FUNC(1) = DATA2(FIT(1),FAMNDA(1))
IF(1.EQ.1) GO TO 8
DIF = DABS(FUNC(1)-FUNC(I-1))
IF(DIF.GT.1.00) FUNC(1)=FUNC(I) + 2.00*PI
FYAPA(1) = FUNC(1)/PI
8
C IF( T .GT. EPS(1) ) DT=1.0-3

```

```

001224       XGT(J) = ((HGT-AGT)/2.00)*X(J) + ((AGT+BGT)/2.00)
001225       WGT(J) = ((BGT-AGT)/2.00)*W(J)
001226 14 CONTINUE
001227       DO 15 J=1,M
001228           XT = XT+1
001229           XT(XT) = XGT(J)
001230           WT(XT) = WGT(J)
001231 15 CONTINUE
001232 13 CONTINUE
001233       NT = M*ADDT
001234 C
001235 C       CALCULO DE UM AUTO-VALOR
001236 C
001237       FLI = 1.00
001238       DO 16 L=1,N
001239           FLI = FLI*(1.00-WC*F(L))
001240       FLI = DABS(FLI)
001241 16 CONTINUE
001242       DO 17 I=1,M
001243           Y = XM(I)
001244           S1 = 0.00
001245           DO 18 J=1,N
001246               S1 = S1 + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(Y,J)
001247 18 CONTINUE
001248           FI(I) = (WC/2.00)*S1
001249           IF(N.GT.1) GO TO 19
001249           FI(I) = WC*0.500
001251 19 S2 = 0.00
001252           IF(N.EQ.1) GO TO 20
001253           DO 21 J=2,N
001254               S2 = S2 + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*GAM(Y,J)
001255 21 CONTINUE
001256 20 FLI(I) = 1.00 + 0.500*WC*Y*S2 + Y*FI(I)*DLOG((1.00-Y)/(1.00+Y))
001257           AUX = Y*PI*FI(I)
001258           ARG(I) = DATAN2(AUX,FLI(I))
001259           IF(I.EQ.1) GO TO 17
001260           DIF = DABS(ARG(I)-ARG(I-1))
001261           IF(DIF.GT.1.00) ARG(I) = ARG(I)+2.00*PI
001262 17 CONTINUE
001263       DO 22 I=1,NT
001264           Y = X1(I)
001265           PG(I,1) = 1.00
001266           PG(I,2) = Y
001267           GT(I,1) = 1.00
001268           GT(I,2) = HFUN(1)*Y
001269           DO 23 J=3,N
001270               K = J-1
001271               GT(I,J) = (Y*HFUN(J-1)*GT(I,J-1) - DFLOAT(K-1)*GT(I,J-2))/
001272
001272           IF( T . GT . EPS(2) ) DT=1.0-4
001273           IF( T . GT . EPS(3) ) DT=1.0-5
001274           IF( T . GT . EPS(4) ) DT=1.0-6
001275           IF( T . GT . EPS(5) ) DT=1.0-7
001276           IF( T . GT . EPS(6) ) DT=1.0-8
001277           IF( T . GT . EPS(7) ) DT=1.0-9
001278           IF( T . GT . EPS(8) ) DT=1.0-11
001279           IF( T . GT . EPS(9) ) DT=1.0-12
001280           IF( T . GT . EPS(10) ) DT=1.0-13
001281           IF( T . GT . EPS(11) ) DT=1.0-14
001282           IF( T . GT . EPS(12) ) GO TO 9
001283           I = I + 1
001284           T=T*DT
001285           GO TO 5
001286 9 CONTINUE
001287       NZ=IDINT(FKAPA(1)+0.500)
001288 C
001289 C       M = NUMERO DE PONTOS USADOS NA QUADRATURA GAUSSIANA
001290 C
001291       READ(1,503) M
001292       NM = M/2
001293       READ(1,504) (X(M-I+1),I=1,NM)
001294       READ(1,504) (W(M-I+1),I=1,NM)
001295 C
001296       DO 10 I=1,NM
001297           X(I) = -X(M-I+1)
001298           W(I) = W(M-I+1)
001299 10 CONTINUE
001300       GB = 1.00
001301       AA = 0.00
001302 C
001303       DO 11 I=1,M
001304           XM(I) = ((BH-AA)/2.00)*X(I) + ((BB+AA)/2.00)
001305           WM(I) = ((BB-AA)/2.00)*W(I)
001306 11 CONTINUE
001307 C
001308       READ(1,505) NDT
001309       XDT(1) = -1.00
001310       XDT(NDT) = 1.00
001311       NDT2=NDT-2
001312       IF(NDT.EQ.2) GO TO 12
001313       READ(1,506) (XDT(I+1),I=1,NDT2)
001314 12 XDDT = NDT-1
001315       KT = 0
001316       DO 13 I=1,NDDT
001317           AGT = XDT(I)
001318           BGT = XDT(I+1)
001319       DO 14 J=1,M

```

```

001572      *          DFLOAT(K)
001573      PG(I,J) = (Y*DFLOAT(2*K-1)*PG(I,J-1) - DFLOAT(K-1)*PG(I,J-2
001574      ))/DFLOAT(K)
23      CONTINUE
          SG = 0.00
          DO 24 J=1,N
          SG = SG + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GT(I,J)*PG(I,J)
24      CONTINUE
          GG(I) = SG
22      CONTINUE
          SI = 0.00
          DO 25 I=1,M
          SI = SI + ARG(I)*WM(I)/XM(I)
25      CONTINUE
          IF(N2.NE.1) GO TO 260
          I3 = DEXP(-SI/PI)/DSQRT(FLI)
          RNS(1) = I3
          IF(IP.EQ.0) GO TO 300
          WRITE(6,601) RNS(1)
          GO TO 300
C
C          CALCULO DE DOIS AUTO - VALORES
C
260      BK(1) = 1.00/3.00
          BK(2) = (5.00/5.00)*(1.00-WC)
          WK(1) = 1.00
          WK(2) = 1.00 - WC
          GO 26 I=3,N
          WK(I) = (1.00 - WC*F(I-1))*WK(I-1)
26      CONTINUE
          DO 27 I=3,N
          I = I-1
          AUX1 = (DFLOAT(K+1)**2)/(DFLOAT(2*K+1)*DFLOAT(2*K+3))
          AUX2 = (DFLOAT(K-1)**2)/(DFLOAT(2*K-1)*DFLOAT(2*K-3))
          BK(I) = (1.00 - WC*F(I-1))*BK(I-1) + AUX1*WK(I)-AUX2*WK(I-2)
27      CONTINUE
          SL = 0.00
          DO 28 I=1,N
          SL = SL + F(I)*BK(I)
          CONTINUE
28      IF(N2.EQ.3) GO TO 29
          H = ((DEXP(-SI/PI))**2)/FLI
          SII = 0.00
          DO 30 I=1,M
          SII = SII + XM(I)*ARG(I)*WM(I)
30      CONTINUE
          A = 1.00 - SII/PI + WC*SL/(2.00*FLI)
          RNS(1) = A + DSQRT(A**2-B)

001920      RNS(1) = DSQRT(RNS(1))
001921      RNS(2) = A - DSQRT(A**2-B)
001922      RNS(2) = DSQRT(RNS(2))
001923      IF(IP.EQ.0) GO TO 300
001924      WRITE(6,602) RNS(1) , RNS(2)
001925      GO TO 300
C
C          CALCULO DE TRES AUTO - VALORES
C
29      DO 31 IT=1,3
          S = 0.00
          DO 32 IS=1,M
          S = S + ARG(IS)*WM(IS)*XM(IS)**IT
32      CONTINUE
          TETA(IT) = S*2.00/PI
31      CONTINUE
          DO 33 K=1,N
          KR = K-1
          AUX = DFLOAT(KR+3)**2/DFLOAT(2*KR+7) + DFLOAT(KR+2)**2/
          DFLOAT(2*KR+3)
          TK(K) = HK(K) + AUX*WK(K)/DFLOAT(2*KR+5)
33      CONTINUE
          CK(1) = 1.00/5.00
          DO 34 I=1,N
          K = I-1
          AU1 = DFLOAT(K+2)**2/(DFLOAT(2*K+5)*DFLOAT(2*K+3))
          AU2 = DFLOAT(K)**2/DFLOAT(2*K-1)
          IF(1.EQ.1) GO TO 35
          TAUX = AU2*TK(I-1)
          GO TO 36
35      TAUX = 0.00
36      CK(I+1) = (HFUN(I)*CK(I) + AU1*HFUN(I)*TK(I) - TAUX)/
          DFLOAT(2*K+1)
34      CONTINUE
          SLC = 0.00
          DO 37 I=1,N
          SLC = SLC + F(I)*CK(I)
37      CONTINUE
          AO = DEXP(-2.00*SI/PI)/FLI
          SO = 3.00 - TETA(1) + WC*SL/FLI
          AO = -AO
          HO = -BO
          CO = 3.00*(TETA(1)-1.00) - TETA(3) - 0.500*TETA(1)**2 + (TETA(1)-
          *3.00)*WC*SL/FLI + WC*SLC/FLI
          CO = -CO
          G = CO/3.00 - (1.00/9.00)*BO**2
          R = (HO*CO - 3.00*AO)/6.00 - (1.00/2.701)*BO**3
          AUX = 0**3 + R**2

```



```

002044      I P L I C I T   R E A L * K ( A - H , 0 - Y ) , I N T E G E R * 4 ( I - N )
002045      C O M M O N / B L O C K 1 / W C , F ( 6 5 )
002046      C O M M O N / E P / P I
002047      C O M M O N / B L O C K 2 / F O N T E , N
002048      C O M M O N / S A I D A 1 / F N I ( 1 1 ) , A ( 1 6 , 1 6 ) , B ( 1 6 , 1 6 )
002049      C O M M O N / S A I D A 2 / R N Y ( 3 ) , N Z
002070      D I M E N S I O N   G S ( 5 2 ) , G F ( 1 7 , 5 2 ) , X A ( 5 2 ) , Y A ( 5 2 ) , T E R M ( 5 2 ) , T B R M ( 5 2 )
002071      C A L L   E R R S E T ( 2 0 8 , 2 5 6 , - 1 , + 1 , 0 , 2 0 9 )
002072      F N I ( 1 ) = R N Y ( 1 )
002073      I F ( K . E Q . 1 )   G O   T O   4
002074      I L = 1
002075      I F ( N Z . L T . 2 )   G O   T O   3
002076      F N I ( 2 ) = R N Y ( 2 )
002077      I F ( K . E Q . 2 )   G O   T O   4
002078      I L = 2
002079      I F ( N Z . L T . 3 )   G O   T O   3
002080      F N I ( 3 ) = R N Y ( 3 )
002081      I F ( K . E Q . 3 )   G O   T O   4
002082      I L = 3
002083      C
002084      C   F O R M U L A   P A R A   C A L C U L A R   O S   A U T O V A L O R E S   C O N T I N U O S
002085      C
002086      3      M 1 = K - 1
002087      D O   5   I = 1 , K 1
002088      F N I ( I L + I ) = D F L O A T ( 2 * I - 1 ) / D F L O A T ( 2 * K 1 )
002089      5      C O N T I N U E
002090      4      C O N T I N U E
002091      J L B = N + 1
002092      D O   3 5 5   K L = J L B , 5 2
002093      3 5 5   F ( K L ) = 0 . 0 0
002094      D O   3 1 5   J = 1 , K
002095      Y = F N I ( J )
002096      D O   3 1 6   I = 1 , N
002097      G F ( J , I ) = G F U N ( Y , I )
002098      3 1 6   C O N T I N U E
002099      3 1 5   C O N T I N U E
002100      I F ( F N I ( 1 ) . G T . 3 . 0 0 0 )   G O   T O   4 0 1
002101      G O   T O   4 0 0
002102      4 0 1   G S ( 4 2 ) = 0 . 0 0
002103      G S ( 4 1 ) = 1 . 0 0
002104      D O   3 3 3   J = 1 , 4 0
002105      K S = 4 1 - J
002106      K R = K S - 1
002107      3 3 3   G S ( K S ) = ( F N I ( 1 ) * H F U N ( K S + 1 ) * G S ( K S + 1 ) - D F L O A T ( K R + 2 ) * G S ( K S + 2 ) ) /
002108      * D F L O A T ( K R + 1 )
002109      G F ( 1 , 1 ) = 1 . 0 0
002110      D O   3 3 4   I = 2 , 4 2
002111      G F ( 1 , I ) = G S ( I ) / G S ( 1 )

002112      3 3 4   C O N T I N U E
002113      4 0 0   J 1 = 1
002114      D O   6   J = J 1 , K
002115      S L = 0 . 0 0
002116      S C = 0 . 0 0
002117      Y = F N I ( J )
002118      I F ( N . E Q . 1 )   G O   T O   2 0
002119      D O   7   I = 2 , N
002120      S L = S L + D F L O A T ( 2 * I - 1 ) * F ( I ) * G F ( J , I ) * F P I ( Y , I )
002121      7      C O N T I N U E
002122      D O   8   I = 1 , N
002123      S C = S C + D F L O A T ( 2 * I - 1 ) * F ( I ) * G F ( J , I ) * P O L E G ( Y , I )
002124      8      C O N T I N U E
002125      G O   T O   2 1
002126      2 0   S C = 1 . 0 0
002127      2 1   A ( J , 1 ) = 1 . 0 0 - Y * S C + D L O G ( 1 . 0 0 + 1 . 0 0 / Y ) + S L
002128      B ( J , 1 ) = 2 . 0 0 / W C - 2 . 0 0 + A ( J , 1 )
002129      6      C O N T I N U E
002130      D O   9   L = 1 , K
002131      K 1 = K + 5
002132      D O   1 0   J = 2 , K 1
002133      Y = F N I ( L )
002134      J 2 = J - 1
002135      S D = 0 . 0 0
002136      S F = 0 . 0 0
002137      D O   1 1   M = 1 , H
002138      M 1 = M - 1
002139      S D = S D + D F L O A T ( 2 * M - 1 ) * F ( M ) * G F ( L , M ) * D E L T A ( J 2 , M )
002140      S F = S F + D F L O A T ( 2 * M - 1 ) * ( ( - 1 . 0 0 ) ** M 1 ) * F ( N ) * G F ( L , M ) * D E L
002141      T A ( J 2 , M )
002142      1 1   C O N T I N U E
002143      A ( L , J ) = - Y * A ( L , J 2 ) + S F
002144      B ( L , J ) = Y * B ( L , J 2 ) - S D
002145      1 0   C O N T I N U E
002146      9      C O N T I N U E
002147      I F ( F N I ( 1 ) . G T . 3 . 0 0 0 )   G O   T O   3 5 0 0
002148      G O   T O   3 0 0 0
002149      3 5 0 0   D O   3 0 0 1   I = 1 , 5 0
002150      S X = 0 . 0 0
002151      S Y = 0 . 0 0
002152      D O   3 0 0 2   J = 1 , N
002153      S Y = S Y + F ( J ) * G F ( 1 , J ) * D E L T A ( I , J ) * D F L O A T ( 2 * J - 1 )
002154      S X = S X + F ( J ) * G F ( 1 , J ) * D E L T A ( I , J ) * D F L O A T ( 2 * J - 1 ) * ( - 1 ) **
002155      ( J - 1 )
002156      3 0 0 2   C O N T I N U E
002157      Y A ( I ) = S Y
002158      3 0 0 1   X A ( I ) = S X
002159      D O   3 0 0 5   J = 1 , 1 6

```



```

002256      J2 = J-1
002257      SD = 0.00
002258      SF = 0.00
002259      GO 11 I=1,N
002260      M1 = I-1
002261      SD = SD + DFL0AT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*DELTA(J2,I)
002262      SF = SF + DFL0AT(2*I-1)*((-1.00)**M1)*F(I)*GFUN(Y,I)*DELTA(J2,I)
002263  11  CONTINUE
002264      A1(K,J) = -Y*A1(K,J2) + SF
002265      B1(K,J) = Y*B1(K,J2) - SD
002266  10  CONTINUE
002267  9   CONTINUE
002268      RETURN
002269      END
002270      SUBROUTINE CONT(K,L)
002271      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
002272      REAL*4 RE4
002273      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
002274      COMMON/PI/PI
002275      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
002276      COMMON/MAY/XM(100),WM(100)
002277      COMMON/G1/C(440,88),H1(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
002278      COMMON/DAC01/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
002279      COMMON/DAC02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
002280      *DELTA(5),HFE,HFD,FEIX1,FEIX2
002281      COMMON/SAIDA1/FIN(11),A(16,16),B(16,16)
002282      COMMON/AUX/A1(100,16),B1(100,16)
002283      COMMON/FLUX/XP
002284      COMMON/TAPEA/VARAL(20),CORDA(20)
002285
002286  C
002287  C   CALCULO DOS COEFICIENTES CONTINUOS
002288      M=FC
002289      RE4 = COSE
002290      IC0SE = IFIX(RE4)
002291      IF(XP.GE.TAU(1)) GO TO 100
002292      WC = W(1)
002293      FONTE = S(1)
002294      N = NF(1)
002295      DO 10 IL=1,N
002296      F(IL) = FL(1,IL)
002297  10  CONTINUE
002298      CALL BALFA(L,N)
002299      T = 0.00
002300      DO 20 I=1,M
002301      Y = XM(I)
002302      AUST = XP/Y
002303      IF(AUST.GT.172.00) GO TO 20
002304      SZ = 0.00
002305
002306      DO 22 J=1,L
002307      SZ = SZ + CF(J)*((CF1*01(I,J)+CF2*M1(I,1)/
002308      *DFL0AT(J+1)-A1(I,J))
002309      CONTINUE
002310  22  T = T + ISZ*DEXP(-AUST)*Y*Y*WC*0.500*WM(I)/FIN(Y)
002311  20  CONTINUE
002312      TERMO1 = T
002313      T2 = 0.00
002314      DO 30 I=1,M
002315      Y = XM(I)
002316      X2 = XP/Y
002317      IF(X2.GT.172.00) GO TO 30
002318      T2 = T2 + Y*Y*DEXP(-X2)*WM(I)/FIN(Y)
002319  30  CONTINUE
002320      TERMO2 = (FONTE/2.00)*T2
002321      IF(NFE) 40,50,60
002322  40  TT = 0.500/PI
002323      XT = XP/COSE
002324      IF(XT.GT.172.00) GO TO 41
002325      IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 41
002326      F1 = DEXP(-XT)*0.500*WC*COSE*COSE
002327      F1 = F1/FIN(COSE)
002328      GO TO 42
002329  41  F1 = 0.00
002330  42  SS = 0.00
002331      DO 43 I=1,N
002332      DS = SS + DFL0AT(2*I-1)*F(I)*GFUN(COSE,I)*POLEG(COSE,I)
002333      F1 = F1+SS
002334      IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 44
002335      IF(XT.GT.172.00) GO TO 44
002336      F2 = DEXP(-XT)*FLAM(COSE)/FIN(COSE)
002337      GO TO 45
002338  44  F2 = 0.00
002339  45  AM = 0.00
002340      TEF = 0.00
002341      DO 46 J=1,M
002342      Y = XM(J)
002343      DT = XP/Y
002344      SS = 0.00
002345      IF(DT.GT.172.00) GO TO 46
002346      DO 47 I=1,N
002347      SS = SS + DFL0AT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*POLEG(COSE,I)
002348      DS = WC*Y*Y/FIN(Y)*0.500
002349      DS = DS+SS
002350      TEF = TEF + (DS*DEXP(-DT)-F1)/(Y-COSE)*WM(J)
002351  46  CONTINUE
002352      IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 48
002353      TERMO = TEF + F1*0LOG(1.00/COSE-1.00) + F2

```

```

002400      SU#2 = CM*WC*0.500
002401      IF(NFE.GE.0) GO TO 90
002402      SL = G.00
002403      ST = 0.00
002404      DO 95 I=1,M
002405      Y = XM(I)
002406      Y1 = -Y
002407      XZ = TAU(1)/Y + TAU(1)/COSE - XP/Y
002408      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 95
002409      TC = G.00
002410      DO 96 J=1,N
002411      TD = TD + DFLOAT(2+J-1)*F(J)*GFUN(Y1,J)+POLEG(COSE,J)
002412  96 CONTINUE
002413      SL = SL+TD*DEXP(-XZ)*Y*Y*WM(I)/((-FIN(Y))*(COSE + Y))
002414      ST=ST+Y*Y*WM(I)+DEXP(-XZ)*B1(I,1)*CF2L/(-FIN(Y))
002415  95 CONTINUE
002416      SUB5 = 0.2500/PI*WC*ST
002417      SUB3 = 0.2500/PI*WC*SL
002418      GO TO 97
002419      SUB3 = G.00
002420      SUB5 = 0.00
002421  97 IF(NFD.GT.0) GO TO 98
002422      AD = 0.00
002423      DO 99 I=1,M
002424      Y = XM(I)
002425      Y1 = -Y
002426      XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002427      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 99
002428      AD = AD+DEXP(-XZ)*Y*Y*WM(I)*D1(I,1)/(-FIN(Y))
002429  99 CONTINUE
002430      SUB#4 = FEIX2*WC*0.500*AD
002431      GO TO 105
002432  98 FT = 0.00
002433      DO 106 I=1,M
002434      Y = XM(I)
002435      Y1 = -Y
002436      XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002437      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 106
002438      FZ = 0.00
002439      DO 107 J=1,N2
002440      FZ = FZ + CJOTA(J)*D1(I,J)
002441      FT = FT + FZ*Y*Y*WM(I)+DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))
002442  106 CONTINUE
002443      SUB4 = FT*WC*0.500
002444  105 CORDA(1) = SUB1 + SUB2 + SUB3 - SUB4 - SUB5
002445      IF(N.EQ.1) RETURN
002446  C
002447  C      CALCULO PARA DUAS REGIOES

```

```

002352      GO TO 49
002353  48 TERMO = TEF + F2
002354  49 TERMO3 = TERMO*TT
002355      GO TO 70
002356  50 SM = 0.00
002357      DO 55 I=1,M
002358      Y = XM(I)
002359      XZ = XP/Y
002360      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 55
002361      SM = SM + Y*Y*DEXP(-XZ)*B1(I,1)*WM(I)/FIN(Y)
002362  55 CONTINUE
002363      TERMO3 = SM*WC*0.500*FEIX1
002364      GO TO 70
002365  60 ST = 0.00
002366      DO 65 I=1,M
002367      Y = XM(I)
002368      XZ = XP/Y
002369      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 65
002370      SZ = 0.00
002371      DO 67 J=1,N1
002372      SZ = SZ + DHETA(J)*D1(I,J)
002373      ST = ST + SZ*Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/FIN(Y)
002374  65 CONTINUE
002375      TERMO3 = ST*WC*0.500
002376  70 VARAL(1) = TERMO1 + TERMO3 - TERMO2
002377      SM = 0.00
002378      DO 80 I=1,M
002379      Y = XM(I)
002380      Y1 = -Y
002381      XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002382      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 80
002383      SM = SM + DEXP(-XZ)*Y*Y*WM(I)/(-FIN(Y))
002384  80 CONTINUE
002385      SUB1 = (FONTE/2.00)*SM
002386      CM = G.00
002387      DO 85 I=1,M
002388      Y = XM(I)
002389      Y1 = -Y
002390      XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002391      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 85
002392      SZ = 0.00
002393      DO 87 J=1,L
002394      J1 = J + L
002395      SZ = SZ+CF(J1)*(A1(I,J)-CF1L*B1(I,J)-
002396      *CF2L*B1(I,1)/DFLOAT(J+1))
002397  87 CONTINUE
002398      CM = CM + SZ*DEXP(-XZ)*WM(I)*Y*Y/(-FIN(Y))
002399  85 CONTINUE

```

```

002444 C
002447 DO 110 J=1,M
002450 Y = XM(J)
002451 XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002452 Y1 = -Y
002453 T2 = 0.00
002454 DO 115 J=1,L
002455 AM = 0.00
002456 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 110
002457 J1 = J + L
002458 J2 = J1 + L
002459 AM = AM + CF(J2)*A1(I,J) - CF(J1)*A1(I,J)
002460 115 CONTINUE
002461 T2 = T2 + AM*DEXP(-XZ)*Y*Y*WM(J)/(-FIN(Y))
002462 110 CONTINUE
002463 SU06=WC*0.500+T2
002464 COPDA(1) = SU01 + SU06 +SUB3
002465 IF(XP.LT.TAU(1)) RETURN
002466 100 IF(X.EQ.2) GO TO 900
002467 KK = K-1
002468 DO 201 I=2,KK
002469 WC = W(I)
002470 FONTE = S(I)
002471 H = H(I)
002472 DO 210 IL=1,H
002473 F(IL) = FL(I,IL)
002474 210 CONTINUE
002475 I1 = I - 1
002476 IF(XP.GE.TAU(I1).AND.XP.LT.TAU(I)) GO TO 202
002477 201 CONTINUE
002478 202 IF(XP.GT.TAU(KK)) GO TO 900
002479 CALL HALFA(L,N)
002480 M1 = J-1
002481 IF(HFE.GE.0) GO TO 290
002482 SL = 0.00
002483 GO 220 J=1,M
002484 Y = XM(J)
002485 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002486 XT = XP/COSE - TAU(M1)/COSE
002487 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 220
002488 IF(XT.GT.172.00) GO TO 220
002489 DO = 0.00
002490 DO 230 JL=1,H
002491 DO = DO + DFLOAT(JL*2-1)*F(JL)*GFUN(COSE,JL)*POLEG(COSE,JL)
002492 230 CONTINUE
002493 SS = 0.00
002494 DO 240 J1=1,H
002495 240 SS = SS + DFLOAT(2*J1+1)*F(J1)*GFUN(Y,J1)*POLEG(COSE,J1)

002496 IF(ICOSE.EQ.1)GO TO 220
002497 SL=SL+(DEXP(-XZ)/FI(Y)+WC*Y*Y*SS-DEXP(-XT)*WC*COSE*COSE
002498 +DO/FIN(COSE))/(Y-COSE)*WM(J)
002499 220 CONTINUE
002500 SL = SL*0.2500+DEXP(-TAU(M1)/COSE)/PI
002501 IF(ICOSE.EQ.1) GO TO 291
002502 TS = DO*COSE*WC*0.500+DEXP(-XT)/FIN(COSE)*DLOG(1.00/COSE-1.00)
002503 TM = DEXP(-XT)/FIN(COSE)*FLAM(COSE)
002504 TS = TS*COSE*DEXP(-TAU(M1)/COSE)*0.500/PI
002505 TM = TM*DEXP(-TAU(M1)/COSE)*0.500/PI
002506 GO TO 242
002507 291 TS = 0.00
002508 TM = 0.00
002509 292 TERM01 = TM + SL + TS
002510 GO TO 250
002511 290 TERM01 = 0.00
002512 C
002513 250 TIT = 0.00
002514 DO 260 J=1,M
002515 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002516 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 260
002517 TIT = TIT + Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/FIN(Y)
002518 260 CONTINUE
002519 TERM03 = TIT*(FONTE/2.00)
002520 C
002521 BE = 0.00
002522 DO 270 J=1,M
002523 Y = XM(J)
002524 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002525 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 270
002526 MY = 0.00
002527 DO 280 J1=1,L
002528 I1 = 2*(M1-1)*L + 2*L + J1
002529 I2 = 2*(M1-1)*L + L + J1
002530 MY = MY + CF(I1)*B1(J,J1) - CF(I2)*A1(J,J1)
002531 280 CONTINUE
002532 BE = BE + Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/FIN(Y)*MY
002533 270 CONTINUE
002534 TERM02 = BE*WC*0.500
002535 VARAL(I) = TERM02 - TERM03 +TERM01
002536 C
002537 F3 = 0.00
002538 DO 310 J=1,M
002539 Y = XM(J)
002540 YZ = -Y
002541 XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002542 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 310
002543 F4 = 0.00

```

```

002544      DO 320 J=1,L
002545          I1 = 2*(I-1)*L + 2*L + J1
002546          I2 = 2*(I-1)*L + L + J1
002547      F4 = F4 + CF(I1)*A1(J,J1) - CF(I2)*B1(J,J1)
002548 320 CONTINUE
002549      F3 = F3 + F4*Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/(-FIN(Y))
002550 310 CONTINUE
002551      SUB1 = F3*WC*0.500
002552          XF = 0.00
002553      DO 330 J=1,M
002554          Y = XM(J)
002555          YZ = -Y
002556          XZ = TAU(I)/Y - XP/Y
002557          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 330
002558          XF = XF + Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/(-FIN(Y))
002559 330 CONTINUE
002560      SUB2 = XF*(FONTE/2.00)
002561          IF(.NFE.GE.0) GO TO 400
002562          TUB = 0.00
002563      DO 340 J=1,M
002564          Y = XM(J)
002565          YZ = -Y
002566          XZ = TAU(I)/Y - XP/Y
002567          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 340
002568          SZ = 0.00
002569      DO 350 J1=1,N
002570          S2 = S2 + DFLOAT(2*J1-1)*F(J1)*GFUN(YZ,J1)*POLEG(COSE,J1)
002571 350 CONTINUE
002572          TUB = TUB + Y*Y*S2*DEXP(-XZ)*WM(J)/((-FIN(Y))*(Y+COSE))
002573 340 CONTINUE
002574          SUB3 = TUB*WC*0.2500/PI*DEXP(-TAU(I)/COSE)
002575          GO TO 390
002576      SUB3 = 0.00
002577      C
002578 390 CORDA(I) = SUB3 + SUB2 + SUB1
002579      RETURN
002580      C
002581      C REGIAO K
002582      C
002583 400 XL = W(K)
002584          FONTE = S(K)
002585          N = NF(K)
002586      DO 800 IL=1,N
002587          F(IL) = FL(K,IL)
002588 800 CONTINUE
002589          CALL BALFA(L,N)
002590          KK = K-1
002591          ST = 0.00
002592
002593      DO 810 J=1,M
002594          Y = XM(I)
002595          XZ = XP/Y - TAU(KK)/Y
002596          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 810
002597          ST = ST + Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/FIN(Y)
002598 810 CONTINUE
002599          TERMO1 = ST*(FONTE/2.00)
002600          IF(.NFE.GE.0) GO TO 810
002601          XT = XP/COSE - TAU(KK)/COSE
002602          DT = 0.500/PI
002603          IF(XT.GT.172.00) GO TO 860
002604          IF(ICOSE.EQ.1) GO TO 855
002605          ETE = DT*FLAM(COSE)*DEXP(-XT-TAU(KK)/COSE)/FIN(COSE)
002606          GO TO 856
002607      C
002608 856 SM = 0.00
002609      DO 852 I=1,N
002610          SM = SM + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(COSE,I)*POLEG(COSE,I)
002611 852 CONTINUE
002612          IF(ICOSE.EQ.1) GO TO 863
002613          TIT = SM*DT*0.500*COSE*DEXP(-TAU(KK)/COSE)*WC*DLOG(1.00/COSE
002614          *-1.00)/FIN(COSE)*COSE
002615          GO TO 864
002616 863 TIT = 0.00
002617 864 TIT = TIT*DEXP(-XT)
002618 860 CONTINUE
002619      C
002620          TD = 0.00
002621      DO 853 I=1,N
002622          Y = XM(I)
002623          X1 = XP/COSE - TAU(KK)/COSE
002624          X2 = XF/Y - TAU(KK)/Y
002625          IF(X2.GT.172.00) GO TO 853
002626          IF(X1.GT.172.00) GO TO 853
002627          IF(ICOSE.EQ.1) GO TO 872
002628          DZ = COSE/FIN(COSE)
002629          SS = 0.00
002630      DO 980 J=1,N
002631          SS = SS + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
002632 980 CONTINUE
002633          GO TO 874
002634 872 DZ = 0.00
002635 874 TD = TD + (DEXP(-X2)/FIN(Y)*Y*Y*SS - DZ*DEXP(-XT)*SM)*WM(I)/(Y-COSE)
002636 853 CONTINUE
002637          TERMO = TD*WC*0.500*DT*DEXP(-TAU(KK)/COSE)
002638          TERMO2 = ETE + TIT + TERMO
002639          GO TO 850

```

```

002640      810      FFM02 = 0.00
002641      850      TM = 0.00
002642      DO 870 I=1,M
002643      Y = XM(I)
002644      XZ = XP/Y - TAU(KK)/Y
002645      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 870
002646      F3 = 0.00
002647      DO 871 J=1,L
002648      I1 = 2*(KK-1)*L + 2*L + J
002649      I2 = 2*(KK-1)*L + L + J
002650      F3 = F3 + CF(I1)*B1(I,J) - CF(I2)*A1(I,J)
002651      871      CONTINUE
002652      TM = TM + F3*Y*Y*DEXP(-XZ)/FIN(Y)*WM(I)
002653      870      CONTINUE
002654      TERM03 = TM*WC*0.500
002655      C
002656      VARAL(K) = TERM02 + TERM03 - TERM01
002657      C
002658      C
002659      ST = 0.00
002660      DO 910 I=1,M
002661      Y = XM(I)
002662      YZ = -Y
002663      XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
002664      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 910
002665      SF = ST + DEXP(-XZ)*WM(I)/(-FIN(Y))*Y*Y
002666      910      CONTINUE
002667      SUB1 = (FONTE/2.00)*ST
002668      CC = 0.00
002669      DO 920 I=1,M
002670      Y = XM(I)
002671      YZ = -Y
002672      XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
002673      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 920
002674      CZ = 0.00
002675      DO 925 J=1,L
002676      J1 = 2*(K-1)*L + L + J
002677      CZ = CZ + CF(J1)*A1(I,J) -
002678      *CF2L*B1(I,J)/DFLOAT(J+1)
002679      925      CONTINUE
002680      CC = CC + CZ*Y*Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/(-FIN(Y))
002681      920      CONTINUE
002682      SUB2 = CC*WC*0.500
002683      IF(NFE.GE.0) GO TO 940
002684      SM = 0.00
002685      ST = 0.00
002686      DO 930 I=1,M
002687      Y = XM(I)
002688      YZ = -Y
002689      XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
002690      XT = TAU(K)/COSE
002691      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 930
002692      IF(XT.GT.172.00) GO TO 930
002693      F1 = 0.00
002694      DO 935 J=1,N
002695      F1 = F1 + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(YZ,J)*POLEG(COSE,J)
002696      935      CONTINUE
002697      SM = SM + Y*Y*DEXP(-XZ-XT)*F1*WM(I)/((-FIN(Y))*(Y+COSE))
002698      ST = ST + CF2L*Y*WM(I)*DEXP(-XZ-XT)/(-FIN(Y))*B1(I,1)
002699      **Y
002700      930      CONTINUE
002701      SUB3 = WC*0.2500/PI*(SM-ST)
002702      GO TO 950
002703      940      SUB3 = 0.00
002704      950      IF(NFD.GT.0) GO TO 960
002705      TT = 0.00
002706      DO 955 I=1,M
002707      Y = XM(I)
002708      YZ = -Y
002709      XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
002710      IF(YZ.GT.172.00) GO TO 955
002711      TT = TT + Y*Y*WM(I)*DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))*B1(I,1)
002712      955      CONTINUE
002713      SUB4 = TT*FEIX2*WC*0.500
002714      GO TO 970
002715      960      UT = 0.00
002716      DO 965 I=1,M
002717      Y = XM(I)
002718      YZ = -Y
002719      XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
002720      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 965
002721      DM = 0.00
002722      DO 967 J=1,N2
002723      DM = DM + CJOTA(J)*B1(I,J)
002724      967      CONTINUE
002725      UT = UT + DM*WM(I)*Y*Y*DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))
002726      965      CONTINUE
002727      SUB4 = UT*WC*0.500
002728      C
002729      970      CORDA(K) = SUB1 + SUB2 + SUB3 - SUB4
002730      RETURN
002731      END
002732      SUBROUTINE CONT(K,L)
002733      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
002734      REAL*4 RE4
002735      COMPCN/BL0CK1/WC,F(65)

```

```

002734 COMMON/HP/PI
002737 COMMON/BLCK2/FONTE,N
002739 COMMON/MAY/XM(100),WM(100)
002739 COMMON/G1/C(440,88),B1(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
002740 COMMON/DAD01/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
002741 COMMON/DAD02/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSO,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
002742 *DHETA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
002743 COMMON/SAIDA1/FI(11),A(16,16),B(16,16)
002744 COMMON/AUX/A1(100,16),B1(100,16)
002745 COMMON/FLUX/XP
002746 COMMON/BM/TOTAL(20),SOMA(20)
002747 C
002748 C CALCULO DOS COEFICIENTES CONTINUOS
002749 *M=BC
002750 RE4 = COSE
002751 IC0SE = IFIX(RE4)
002752 IF(1/P.GL.TAU(1)) GO TO 100
002753 WC = W(1)
002754 FONTE = S(1)
002755 N = NF(1)
002756 DO 10 IL=1,N
002757 F(IL) = FL(1,IL)
002758 10 CONTINUE
002759 CALL HALFA(L,N)
002760 T = 0.00
002761 DO 20 I=1,M
002762 Y = XM(I)
002763 AUST = XP/Y
002764 IF(AUST.GT.172.00) GO TO 20
002765 SZ = 0.00
002766 DO 22 J=1,L
002767 SZ=SZ+CF(J)*(CF1*B1(I,J)+CF2*B1(I,1))/
002768 *DFLOAT(J+1)-A1(I,J))
002769 22 CONTINUE
002770 T = T + SZ*DEXP(-AUST)*Y*WC*0.500*WM(I)/FIN(Y)
002771 20 CONTINUE
002772 TERMO1 = T
002773 T2 = 0.00
002774 DO 30 I=1,M
002775 Y = XM(I)
002776 XZ = XP/Y
002777 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 30
002778 T2 = T2 + Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/FIN(Y)
002779 30 CONTINUE
002780 TERMO2 = (FONTE/2.00)*T2
002781 IF(NFE) 40,50,60
002782 40 TT = 0.500/PI
002783 X1 = XP/COSE
002784 IF(X1.GT.172.00) GO TO 41
002785 IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 41
002786 F1 = DEXP(-X1)*0.500*WC*COSE
002787 F1 = F1/FIN(COSE)
002788 GO TO 42
002789 41 F1 = 0.00
002790 42 SS = 0.00
002791 DO 43 I=1,N
002792 SS = SS + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(COSE,I)*POLEG(COSE,I)
002793 F1 = F1+SS
002794 IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 44
002795 IF(X1.GT.172.00) GO TO 44
002796 F2 = DEXP(-X1)*FLAM(COSE)/FIN(COSE)
002797 GO TO 45
002798 44 F2 = 0.00
002799 45 AM = 0.00
002800 TEF = 0.00
002801 DO 46 J=1,M
002802 Y = XM(J)
002803 DT = XP/Y
002804 SS = 0.00
002805 IF(DT.GT.172.00) GO TO 46
002806 DO 47 I=1,N
002807 SS = SS + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*POLEG(COSE,I)
002808 DS = WC*Y/FIN(Y)*0.500
002809 DS = DS+SS
002810 TEF = TEF + (DS*DEXP(-DT)-F1)/(Y-COSE)*WM(J)
002811 46 CONTINUE
002812 IF(IC0SE.EQ.1) GO TO 48
002813 TERMO = TEF + F1*ULOG(1.00/COSE-1.00) + F2
002814 GO TO 49
002815 48 TERMO = TEF + F2
002816 49 TERMO3 = TERMO+TT
002817 GO TO 70
002818 50 SM = 0.00
002819 DO 55 I=1,M
002820 Y = XM(I)
002821 XZ = XP/Y
002822 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 55
002823 SM = SM + Y*DEXP(-XZ)*B1(I,1)*WM(I)/FIN(Y)
002824 55 CONTINUE
002825 TERMO3 = SM*WC*0.500+FEIX1
002826 GO TO 70
002827 60 ST = 0.00
002828 DO 65 I=1,M
002829 Y = XM(I)
002830 XZ = XP/Y
002831 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 65

```

```

002232          SZ = (1.00)
002233          DO 67 J=1,N1
002234          SZ = SZ + DBETA(J)*B1(I,J)
002235          ST = ST + SZ*Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/FIN(Y)
002236          65          CONTINUE
002237          TERM03 = ST*WC*0.500
002238          70          TOTAL(1) = TERM01 + TERM02 - TERM03
002239          SM = 0.00
002240          DO 80 I=1,M
002241          Y = XM(I)
002242          Y1 = -Y
002243          XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002244          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 80
002245          SM = SM + DEXP(-XZ)*Y*WM(I)/(-FIN(Y))
002246          80          CONTINUE
002247          SUB1 = (FORTF/2.00)*SM
002248          CM = 0.00
002249          DO 85 I=1,M
002250          Y = XM(I)
002251          Y1 = -Y
002252          XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002253          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 85
002254          SZ = 0.00
002255          DO 87 J=1,L
002256          J1 = J + L
002257          SZ = SZ + CF(J1)*(A1(I,J)-CF1L*B1(I,J)-
002258          *CF2L*B1(I,1)/DFLOAT(J+1))
002259          87          CONTINUE
002260          CM = CM + SZ*DEXP(-XZ)*WM(I)*Y/(-FIN(Y))
002261          85          CONTINUE
002262          SUB2 = CM*WC*0.500
002263          IF(CFF.GF.0) GO TO 90
002264          SL = 0.00
002265          ST = 0.00
002266          DO 95 I=1,M
002267          Y = XM(I)
002268          Y1 = -Y
002269          XZ = TAU(1)/Y + TAU(1)/COSE - XP/Y
002270          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 95
002271          TO = 0.00
002272          DO 96 J=1,N
002273          TO = TO + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y1,J)*POLEG(COSE,J)
002274          96          CONTINUE
002275          SL = SL + TO*DEXP(-XZ)*Y*WM(I)/((-FIN(Y))+(COSE + Y))
002276          ST = ST + Y*WM(I)*DEXP(-XZ)*B1(I,1)*CF2L/(-FIN(Y))
002277          95          CONTINUE
002278          SUB5 = 0.2500/PI*WC*ST
002279          SUB3 = 0.2500/PI*WC*SL

002280          GO TO 97
002281          90          SUM3 = 0.00
002282          SUM5 = 0.00
002283          97          IF(NFD.GT.0) GO TO 98
002284          AD = 0.00
002285          DO 99 I=1,M
002286          Y = XM(I)
002287          Y1 = -Y
002288          XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002289          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 99
002290          AD = AD + DEXP(-XZ)*Y*WM(I)*B1(I,1)/(-FIN(Y))
002291          99          CONTINUE
002292          SUB4 = FEXP2*WC*0.500*AD
002293          GO TO 105
002294          98          FT = 0.00
002295          DO 106 I=1,M
002296          Y = XM(I)
002297          Y1 = -Y
002298          XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002299          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 106
002300          FZ = 0.00
002301          DO 107 J=1,N2
002302          FZ = FZ + CJOTA(J)*B1(I,J)
002303          FT = FT + FZ*Y*WM(I)*DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))
002304          106          CONTINUE
002305          SUB6 = FT*WC*0.500
002306          105          SOMA(1) = SUB1 + SUB2 + SUB3 - SUB4 - SUB5
002307          IF(K.EQ.1) RETURN
002308          C
002309          C          CALCULO PARA DUAS REGIOES
002310          C
002311          DO 110 I=1,M
002312          Y = XM(I)
002313          XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
002314          Y1 = -Y
002315          TZ = 0.00
002316          DO 115 J=1,L
002317          AM = 0.00
002318          IF(XZ.GT.172.00) GO TO 110
002319          J1 = J + L
002320          J2 = J1 + L
002321          AM = AM + CF(J2)*A1(I,J) - CF(J1)*B1(I,J)
002322          115          CONTINUE
002323          TZ = TZ + AM*DEXP(-XZ)*Y*WM(I)/(-FIN(Y))
002324          110          CONTINUE
002325          SUB6 = WC*0.500*TZ
002326          SOMA(1) = SUB1 + SUB6 + SUB3
002327          IF(XP.LT.TAU(1)) RETURN

```

```

002922 100 IF(A,EG.2) GO TO 900
002923 KK = K-1
002924 DO 201 I=2, KK
002925 WC = W(I)
002926 FONTE = S(I)
002927 N = NF(I)
002928 DO 210 IL=1, N
002929 F(IL) = FL(I, IL)
002930 210 CONTINUE
002931 I1 = I - 1
002932 IF(XP,GE,TAU(I1).AND,XP,LT,TAU(I)) GO TO 202
002933 201 CONTINUE
002934 202 IF(XP,GT,TAU(KK)) GO TO 900
002935 CALL CALFA(L,N)
002936 M1 = I-1
002937 IF(NFE,GE,0) GO TO 290
002938 SL = 0.00
002939 DO 220 J=1, M
002940 Y = XM(J)
002941 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002942 XT = XP/COSE - TAU(M1)/COSE
002943 IF(XZ,GT,172.00) GO TO 220
002944 IF(XT,GT,172.00) GO TO 220
002945 DD = 0.00
002946 DO 230 JL=1, N
002947 230 CONTINUE
002948 SS = 0.00
002949 DO 240 J1=1, N
002950 240 SS = SS + DFLOAT(2*J1-1)*F(J1)*GFUN(Y,J1)*POLEG(COSE,J1)
002951 IF(COSE,LE,1) GO TO 220
002952 SL = SL + (DEXP(-XZ)/FIN(Y)*WC*Y*SS - DEXP(-XT)*WC*COSE*DD/
002953 *FIN(COSE))/(Y-COSE)*WM(J)
002954 220 CONTINUE
002955 SL = SL*0.2500*DEXP(-TAU(M1)/COSE)/PI
002956 IF(COSE,EQ,1) GO TO 291
002957 TS = DD*COSE*WC*0.500*DEXP(-X1)/FIN(COSE)*DLOG(1.00/COSE-1.00)
002958 TP = DEXP(-XT)/FIN(COSE)*FLAM(COSE)
002959 TS = TS*DEXP(-TAU(M1)/COSE)*0.500/PI
002960 TM = TP*DEXP(-TAU(M1)/COSE)*0.500/PI
002961 GO TO 292
002962 291 TS = 0.00
002963 TM = 0.00
002964 292 TERM01 = TM + SL + TS
002965 GO TO 250
002966 290 TERM01 = 0.00
002967 C
002968 250 TIT = 0.00
002969 DO 260 J=1, M
002970 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002971 IF(XZ,GT,172.00) GO TO 260
002972 TIT = TIT + Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/FIN(Y)
002973 260 CONTINUE
002974 TERM03 = TIT*(FONTE/2.00)
002975 C
002976 BE = 0.00
002977 DO 270 J=1, M
002978 Y = XM(J)
002979 XZ = XP/Y - TAU(M1)/Y
002980 IF(XZ,GT,172.00) GO TO 270
002981 MY = 0.00
002982 DO 280 J1=1, L
002983 I1 = 2*(M1-1)*L + 2*L + J1
002984 I2 = 2*(M1-1)*L + L + J1
002985 MY = MY + CF(I1)*B1(J,J1) - CF(I2)*A1(J,J1)
002986 280 CONTINUE
002987 BE = BE + Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/FIN(Y)*MY
002988 270 CONTINUE
002989 TERM02 = BE*WC*0.500
002990 TOTAL(I) = TERM02 - TERM03 + TERM01
002991 C
002992 F3 = 0.00
002993 DO 310 J=1, M
002994 Y = XM(J)
002995 YZ = -Y
002996 XZ = TAU(I)/Y - XP/Y
002997 IF(XZ,GT,172.00) GO TO 310
002998 F4 = 0.00
002999 DO 320 J1=1, L
003000 I1 = 2*(I-1)*L + 2*L + J1
003001 I2 = 2*(I-1)*L + L + J1
003002 F4 = F4 + CF(I1)*A1(J,J1) - CF(I2)*B1(J,J1)
003003 320 CONTINUE
003004 F3 = F3 + F4*Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/(-FIN(Y))
003005 310 CONTINUE
003006 SUB1 = F3*WC*0.500
003007 XF = 0.00
003008 DO 330 J=1, M
003009 Y = XM(J)
003010 YZ = -Y
003011 XZ = TAU(I)/Y - XP/Y
003012 IF(XZ,GT,172.00) GO TO 330
003013 XF = XF + Y*DEXP(-XZ)*WM(J)/(-FIN(Y))
003014 330 CONTINUE
003015 SUB2 = XF*(FONTE/2.00)
003016 IF(NFE,GE,0) GO TO 400

```

```

003024      T00 = 0.00
003025      DO 340 J=1,M
003026          Y = X*(J)
003027          YZ = -Y
003028      XZ = TAU(1)/Y - XP/Y
003029      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 340
003030      SZ = 0.00
003031      DO 350 J1=1,N
003032      SZ = SZ + DFLOAT(2*J1-1)*F(J1)*GFUN(YZ,J1)*POLEG(COSE,J1)
003033 350      CONTINUE
003034      T01 = T00 + Y*SZ*DEXP(-XZ)*WM(J)/((-FIN(Y))*(Y+COSE))
003035 340      CONTINUE
003036      SUB3 = T01*WC*0.2500/PI*DEXP(-TAU(1)/COSE)
003037      GO TO 390
003038 400      SUB3 = 0.00
003039      C
003040 390      SOMA(1) = SUB3 + SUB2 + SUB1
003041      RETURN
003042      C
003043      C      REGIAO      K
003044      C
003045 700      WC = W(Y)
003046      FONTE = S(K)
003047      N = NF(K)
003048      DO 800 IL=1,L
003049      F(IL) = FL(K,IL)
003050 800      CONTINUE
003051      CALL FALFA(L,N)
003052      YY = K-1
003053      ST = 0.00
003054      DO 801 I=1,M
003055      Y = X*(I)
003056      XZ = Y/Y - TAU(KK)/Y
003057      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 801
003058      ST = ST + Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/FIN(Y)
003059 801      CONTINUE
003060      TERMO1 = ST*(FONTE/2.00)
003061      IF(AFLE.GE.0) GO TO 810
003062      XT = XP/COSE - TAU(KK)/COSE
003063      DT = 0.5000/PI
003064      IF(XT.GT.172.00) GO TO 860
003065      IF(ICCOSE.FQ.1) GO TO 855
003066      ETE = DT*FLAM(COSE)*DEXP(-XT-TAU(KK)/COSE)/FIN(COSE)
003067      GO TO 856
003068 855      ETE = 0.00
003069      C
003070 850      SM = 0.00
003071      DO 852 I=1,N
003072      SM = SM + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(COSE,I)*POLEG(COSE,I)
003073 852      CONTINUE
003074      IF(ICCOSE.EQ.1) GO TO 863
003075      TIT = SM*DT*0.5000*COSE*DEXP(-TAU(KK)/COSE)*WC*OLOG(1.00/COSE)
003076      *-1.00)/FIN(COSE)
003077      GO TO 864
003078 863      TIT = 0.00
003079 864      TIT = TIT*DEXP(-XT)
003080 860      CONTINUE
003081      C
003082      TO = 0.00
003083      DO 870 I=1,M
003084      Y = X*(I)
003085      XT = XP/COSE - TAU(KK)/COSE
003086      XZ = Y/Y - TAU(KK)/Y
003087      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 853
003088      IF(XT.GT.172.00) GO TO 853
003089      IF(ICCOSE.EQ.1) GO TO 872
003090      DZ = COSE/FIN(COSE)
003091      SS = 0.00
003092      DO 880 J=1,N
003093      SS = SS + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
003094 880      CONTINUE
003095      GO TO 874
003096 872      DZ = 0.00
003097 874      TO = TO*(DEXP(-XZ)/FIN(Y)*Y*SS-DZ*DEXP(-XT)*SM)*WM(I)/(Y-COSE)
003098 853      CONTINUE
003099      TERMO2 = TO*WC*0.5000*DT*DEXP(-TAU(KK)/COSE)
003100      IERMO2 = ETE + TIT + TERMO2
003101      GO TO 850
003102 810      TERMO2 = 0.00
003103 850      TM = 0.00
003104      DO 870 I=1,M
003105      Y = X*(I)
003106      XZ = Y/Y - TAU(KK)/Y
003107      IF(XZ.GT.172.00) GO TO 870
003108      FJ = 0.00
003109      DO 871 J=1,L
003110      I1 = 2*(KK-1)*L + 2*L + J
003111      I2 = 2*(KK-1)*L + L + J
003112      FJ = FJ + CF(I1)*B1(1,J) - CF(I2)*A1(1,J)
003113 871      CONTINUE
003114      TM = TM + FJ*Y*DEXP(-XZ)/FIN(Y)*WM(I)
003115 870      CONTINUE
003116      IERMO3 = TM*WC*0.5000
003117      C
003118      TOTAL(K) = IERMO2 + IERMO3 - IERMO1
003119      C

```

```

003120 C
003121 ST = 0.00
003122 DO 910 I=1,M
003123 Y = XM(I)
003124 YZ = -Y
003125 XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
003126 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 910
003127 ST = ST + DEXP(-XZ)*WM(I)/(-FIN(Y))*Y
003128 910 CONTINUE
003129 SUPT = (FONTE/2.00)*ST
003130 CC = 0.00
003131 DO 920 I=1,M
003132 Y = XM(I)
003133 YZ = -Y
003134 XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
003135 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 920
003136 CZ = 0.00
003137 DO 925 J=1,L
003138 JT = 2*(K-1)*L + L + J
003139 CZ = CZ + CF(JT)*(A1(I,J) - CF1L*B1(I,J) -
003140 *CF2L*B1(I,J)/DFLOAT(J+1))
003141 925 CONTINUE
003142 CC = CC + CZ*Y*DEXP(-XZ)*WM(I)/(-FIN(Y))
003143 920 CONTINUE
003144 SUB2 = CC*WC+0.500
003145 IF(NFE.GE.0) GO TO 940
003146 SM = 0.00
003147 ST = 0.00
003148 DO 930 I=1,M
003149 Y = XM(I)
003150 YZ = -Y
003151 XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
003152 XT = TAU(K)/COSE
003153 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 930
003154 IF(XT.GT.172.00) GO TO 930
003155 F1 = 0.00
003156 DO 935 J=1,N
003157 F1 = F1 + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(YZ,J)*POLEG(COSE,J)
003158 935 CONTINUE
003159 SM = SM + Y*DEXP(-XZ-XT)*F1*WM(I)/((-FIN(Y))*(Y+COSE))
003160 ST = ST + CF2L*Y*WM(I)*DEXP(-XZ-XT)/(-FIN(Y))*B1(I,1)
003161 930 CONTINUE
003162 SUB3 = WC*0.2500/PI*(SM-ST)
003163 GO TO 950
003164 940 SUB3 = 0.00
003165 950 IF(NFD.GT.0) GO TO 960
003166 TT = 0.00
003167 DO 955 I=1,M
003168 Y = XM(I)
003169 YZ = -Y
003170 XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
003171 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 955
003172 TT = TT + Y*WM(I)*DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))*B1(I,1)
003173 955 CONTINUE
003174 SUB4 = TT*FEIX2*WC*0.500
003175 GO TO 970
003176 960 UT = 0.00
003177 DO 965 I=1,M
003178 Y = XM(I)
003179 YZ = -Y
003180 XZ = TAU(K)/Y - XP/Y
003181 IF(XZ.GT.172.00) GO TO 965
003182 DM = 0.00
003183 DO 967 J=1,N2
003184 DM = DM + CJOTA(J)*B1(I,J)
003185 967 CONTINUE
003186 UT = UT + DM*WM(I)*Y*DEXP(-XZ)/(-FIN(Y))
003187 965 CONTINUE
003188 SUB4 = UT*WC*0.500
003189 C
003190 970 SCMA(Y) = SUB1 + SUB2 + SUB3 - SUB4
003191 RETURN
003192 END
003193 SUBROUTINE COEFD(K,L)
003194 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
003195 COMMON/SAIDA1/FN1(1),A(16,16),H(16,16)
003196 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003197 COMMON/BLOCK2/FONTE,N
003198 COMMON/SAIDA2/RNY(5),NZ
003199 COMMON/G1/C(440,8),D1(440),CF(440),IC(440,88),INZ(440)
003200 COMMON/DADO1/NF(20),S(20),W(20),FL(20,31)
003201 COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSE,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(5),
003202 *ORCTA(5),NFE,NFD,FEIX1,FEIX2
003203 COMMON/EP/PI
003204 COMMON/FLUX/XP
003205 COMMON/IX/AD(20,3),BD(20,3)
003206 C
003207 C
003208 C CALCULO DOS COEFICIENTES DISCRETOS
003209 C
003210 C
003211 WC=WC(1)
003212 FONTE = S(1)
003213 N = NF(1)
003214 DO 10 IL=1,N
003215 F(IL) = FL(1,IL)

```

```

003254      41      SC = SC + (A1 + A2 - A(MM,1))*CF(I)
003255      SC = SC*W*Y+0.500
003256      FC = F*Y
003257      AD(1,MM) = (RZERO(Y,MM) + SC - (FONTE/2.00)*Y)/FM
003258      AD(1,MM) = AD(1,MM)*DEXP(-XP/Y)
003259      SD = 0.00
003260      DO 42 I=1,L
003261      I1 = I+L
003262      I2 = 2*L + 1
003263      42      SD = SD + A(MM,1)*CF(I2) - B(MM,1)*CF(I1)
003264      SU = SU+0.500*WC*Y+DEXP(-TAU(1)/Y)
003265      T = 0.00
003266      IF(NFE.GE.0) GO TO 100
003267      DO 45 J=1,N
003268      J1 = J+1
003269      45      T = T + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)*((-1.00)**J1)
003270      T = T*WC*Y/(4.00*PI*(Y + COSE))*DEXP(-TAU(1)/COSE-TAU(1)/Y)
003271      100     ED(1,MM) = T + SD + (FONTE/2.00)*Y*DEXP(-TAU(1)/Y)
003272      FC = F*Y
003273      ED(1,MM) = ED(1,MM)/FM
003274      ED(1,MM) = ED(1,MM)*DEXP(+XP/Y)
003275      40     CONTINUE
003276      C
003277      IF(Y.EQ.2) GO TO 750
003278      C
003279      FK = Y - 1
003280      DO 110 M1=2,KK
003281      I1 = M1-1
003282      WC = W(M1)
003283      FONTE = S(M1)
003284      N = NF(M1)
003285      DO 50 IL=1,N
003286      50      F(IL) = FL(M1,IL)
003287      CALL ARUFN1(0,M)
003288      CALL AALFA(L)
003289      DO 130 IA=1,NZ
003290      Y = F*Y(IA)
003291      C1 = 0.00
003292      DO 140 I=1,L
003293      J1 = 2*(I1-1)*L + L + I
003294      J2 = 2*(I1-1)*L + 2*L + I
003295      140     C1 = C1 + B(IA,1)*CF(J2) - A(IA,1)*CF(J1)
003296      C1 = C1*WC*Y*DEXP(+TAU(1)/Y)*0.500
003297      T = 0.00
003298      IF(NFE.GE.0) GO TO 300
003299      SD = 0.00
003300      DO 150 J=1,N
003301      JK = J+1
003302      10     CONTINUE
003303      CALL ARUFN1(0,M)
003304      CALL AALFA(L)
003305      IF(Y.GT.1) GO TO 700
003306      DO 15 MM=1,NZ
003307      Y = W*Y(MM)
003308      SM = 0.00
003309      DO 20 IA=1,L
003310      A1 = CF1+B(MM,IA)
003311      A2 = CF2*B(MM,1)/DFLOAT(IA+1)
003312      SM = SM + (A1 + A2 - A(MM,IA))*CF(IA)
003313      20     CONTINUE
003314      SM = SM*WC*Y+0.500
003315      FC = F*Y
003316      AD(1,MM) = (RZERO(Y,MM) + SM - (FONTE/2.00)*Y)/FM
003317      AD(1,MM) = AD(1,MM)*DEXP(-XP/Y)
003318      SD = 0.00
003319      DO 30 I=1,L
003320      IA = L+I
003321      B1 = CF1L*B(MM,1)
003322      B2 = CF2L*B(MM,1)/DFLOAT(I+1)
003323      SD = SD + (A(MM,1) - B1 - B2)*CF(IA)
003324      30     CONTINUE
003325      SD = SD*WC*Y+0.500*DEXP(-TAU(1)/Y)
003326      SUB = 0.00
003327      IF(NFE.GE.0) GO TO 80
003328      TK = DEXP(-TAU(1)/COSE - TAU(1)/Y)
003329      GI = 0.00
003330      DO 31 J=1,N
003331      J1 = J + 1
003332      31      GI = GI + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)*((-1.00)**
003333      *J1)
003334      GI = GI*WC*Y/(4.00*PI*(Y + COSE))*TK
003335      FI = CF2L*TK*B(MM,1)*WC*Y/(4.00*PI)
003336      SUB = GI - FI
003337      ED(1,MM) = SUB + SD - ((FONTE/2.00)*Y + TUM(Y,MM))*DEXP(-TAU(1)/Y)
003338      FC = F*Y
003339      ED(1,MM) = ED(1,MM)/FM
003340      ED(1,MM) = ED(1,MM)*DEXP(+XP/Y)
003341      15     CONTINUE
003342      RETURN
003343      C
003344      700     DO 40 KP=1,KZ
003345      SC=0.00
003346      Y = W*Y(MM)
003347      DO 41 I=1,L
003348      A1 = CF1+B(MM,1)
003349      A2 = CF2*B(MM,1)/DFLOAT(I+1)

```

```

003312 150 SD = SD + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
003313 SD = SD*WC*Y*DEXP(-TAU(1)/COSE + TAU(1)/Y)
003314 T = SD/(4.00*PI*(Y - COSE))
003315 C
003316 300 AD(M1,IA) = C1 + T - (FONTE/2.00)*Y*DEXP(+TAU(1)/Y)
003317 FN = +FX(Y)
003318 AD(M1,IA)=AD(M1,IA)/FN*DEXP(-XP/Y)
003319 C2 = 0.00
003320 DO 100 I=1,L
003321 J3 = 2*(M1-1)*L + L + I
003322 J4 = 2*(M1-1)*L + 2*L + I
003323 160 C2 = C2 + A(IA,I)*CF(J4) - H(IA,I)*CF(J3)
003324 C2 = C2*WC*Y*0.500*DEXP(-TAU(M1)/Y)
003325 G = 0.00
003326 IF(NFE.GE.0) GO TO 200
003327 SS = 0.00
003328 DO 170 J=1,N
003329 J1 = J+1
003330 170 SS = SS + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)*((-1.00)**
003331 *J1)
003332 SS = SS*WC*Y*DEXP(-TAU(M1)/Y - TAU(M1)/COSE)
003333 G = SS/(4.00*PI*(Y+COSE))
003334 200 BD(M1,IA) = C2 + G + (FONTE/2.00)*Y*DEXP(-TAU(M1)/Y)
003335 FM = -FX(Y)
003336 BD(M1,IA)=BD(M1,IA)/FM*DEXP(+XP/Y)
003337 130 CONTINUE
003338 110 CONTINUE
003339 C
003340 750 WC = WCF)
003341 FONTE = S(K)
003342 N = NF(K)
003343 DO 400 IL=1,M
003344 400 F(IL) = FL(K,IL)
003345 CALL AMUFN1(O,M)
003346 CALL AALFACL)
003347 DO 410 MM=1,MZ
003348 Y = R4Y(MM)
003349 S1 = 0.00
003350 DO 420 I=1,L
003351 KK = K - 1
003352 J1 = 2*(KK-1)*L + L + I
003353 J2 = 2*(KN-1)*L + 2*L + I
003354 420 S1 = S1 + B(MM,I)*CF(J2) - A(MM,I)*CF(J1)
003355 S1 = S1*WC*Y*0.500*DEXP(+TAU(KK)/Y)
003356 T = 0.00
003357 IF(NFE.GE.0) GO TO 470
003358 SC = 0.00
003359 DO 430 J=1,N
003360 JX = J+1
003361 430 SC = SC + DFLOAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)
003362 SC = SC*WC*Y*DEXP(-TAU(KK)/COSE + TAU(KK)/Y)
003363 T = SC/(4.00*PI*(Y - COSE))
003364 470 AD(K,MM) = S1 + T - (FONTE/2.00)*Y*DEXP(+TAU(KK)/Y)
003365 FN = +FX(Y)
003366 AD(K,MM)=AD(K,MM)/FN*DEXP(-XP/Y)
003367 C
003368 C3 = 0.00
003369 DO 480 I=1,L
003370 J = 2*(K-1)*L + L + I
003371 A1 = CF1L*B(MM,I)
003372 A2 = CF2L*B(MM,I)/DFLOAT(I+1)
003373 480 C3 = C3 + (A(MM,I) - A1 - A2)*CF(J)
003374 C3 = C3*WC*Y*0.500*DEXP(-TAU(K)/Y)
003375 G = 0.00
003376 IF(NFE.GE.0) GO TO 1000
003377 GM = 0.00
003378 DO 490 J=1,N
003379 TM = DEXP(-TAU(K)/COSE - TAU(K)/Y)
003380 J1=J+1
003381 490 GM = GM + DFLCAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(COSE,J)*((-1.00)**
003382 *J1)
003383 GM = GM*WC*Y/(4.00*PI*(Y + COSE))*TM
003384 FI = CF2L*TM*B(MM,I)*WC*Y/(4.00*PI)
003385 G=GM-FI
003386 C
003387 1000 UD(Y,MM) = G + C3 - (-(FONTE/2.00)*Y + TUM(Y,MM))*DEXP(-TAU(K)/Y)
003388 FM = -FX(Y)
003389 UD(Y,MM)=UD(Y,MM)/FM*DEXP(+XP/Y)
003390 410 CONTINUE
003391 RETURN
003392 END
003393 FUNCTION TUM(Y,MM)
003394 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
003395 COMMON/D4002/CF1,CF2,CF1L,CF2L,CCSE,CCSD,TAU(ZO),N1,N2,CJGTA(S),
003396 *DHETA(S),NFE,NFD,FE1X1,FE1X2
003397 COMMON/SAIDA2/R4Y(3),N2
003398 COMMON/HLOCK2/FONTE,N
003399 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003400 COMMON/SAIDA1/FN1(11),A(16,16),B(16,16)
003401 C
003402 IF(NFD) 10,20,30
003403 10 TUM = 0.00
003404 RETURN
003405 C
003406 20 TUM = FE1X2*B(MM,1)
003407 TUM = TUM*WC*Y*0.500

```

```

003407 RETURN
003408 C
003409 30 S1 = 0.00
003410 DO 31 J=1,N2
003411 S1 = S1 + CJOTA(J)*H(MM,J)
003412 TUM = S1*WC*Y*0.500
003413 RETURN
003414 END
003415 FUNCTION RZERO(Y,MM)
003416 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
003417 COMMON/DADO2/CF1,CF2,CF1L,CF2L,COSF,COSD,TAU(20),N1,N2,CJOTA(S),
003418 DBETA(S),AFE,HFO,FEIX1,FEIX2
003419 COMMON/SAIDA2/HNY(3),N2
003420 COMMON/BLOCK2/FONTE,N
003421 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003422 COMMON/SAIDAT/FHI(11),A(16,16),B(16,16)
003423 COMMON/HP/PI
003424 C
003425 IF(AFE) 10,20,30
003426 RZERO = 0.00
003427 10 DO 11 J=1,N
003428 JK = J + 1
003429 11 RZERO = RZERO + DFLCAT(2*J-1)*F(J)*GFLN(Y,J)*POLEG(CCSE,J)
003430 RZERO = RZERO*0.2500/(PI*(Y - COSE))*WC*Y
003431 RETURN
003432 C
003433 20 RZERO = FEIX1*H(MM,1)*WC*Y*0.500
003434 RETURN
003435 C
003436 30 RZERO = 0.00
003437 DO 31 I=1,N1
003438 RZERO = RZERO + DBETA(I)*H(MM,I)
003439 RZERO = RZERO*Y*WC*0.500
003440 RETURN
003441 END
003442 FUNCTION FLAM(Y)
003443 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
003444 COMMON/BLOCK2/FONTE,N
003445 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003446 C
003447 SM = 0.00
003448 DO 1 I=1,N
003449 SM = SM + DFLCAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*POLEG(Y,I)
003450 SM = SM*WC*0.500
003451 IF(N.EQ.1) GO TO 20
003452 SL = 0.00
003453 DO 2 I=1,N
003454 SL = SL + DFLCAT(2*I + 1)*F(I)*GFUN(Y,I)*GAM(Y,I)
003455 SL = SL*WC*0.500
003456 20 FLAP = SL + 1.00 + Y*SM*LOG((1.00-Y)/(1.00+Y))
003457 RETURN
003458 END
003459 FUNCTION FIN(Y)
003460 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Y)
003461 COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003462 COMMON/BLOCK2/FONTE,N
003463 COMMON/HP/PI
003464 C
003465 S = 0.00
003466 DO 1 J=1,N
003467 S = S + DFLCAT(2*J-1)*F(J)*GFUN(Y,J)*POLEG(Y,J)
003468 S = S*WC*0.500
003469 FIN = Y*((FLAM(Y)**2) + ((PI*Y)**2)*(S**2))
003470 RETURN
003471 END
003472 FUNCTION DELTA(K,N)
003473 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003474 DIMENSION DELT(55)
003475 DELT(1) = 1.00/DFLOAT(K+1)
003476 DELT(2) = 1.00/DFLOAT(K+2)
003477 M = N-2
003478 IF(M.EQ.0) GO TO 1
003479 DO 2 I=1,M
003480 DELT(I+2) = ((1.00+DFLOAT(K-1)-DFLOAT(I-1))/(4.00+DFLOAT(K-1)
003481 **DFLOAT(I-1)))*DELT(I)
003482 DELTA = DELT(N)
003483 RETURN
003484 END
003485 FUNCTION FPI(Y,N)
003486 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003487 DIMENSION PI(55)
003488 PI(1)=1.00
003489 PI(2)=Y-0.500
003490 IF(N.LE.2) GO TO 1
003491 DO 2 I=3,N
003492 K = I-1
003493 A1 = DFLCAT(2*K-1)*Y*PI(K)
003494 A2 = -DFLOAT(K-1)*PI(K-1)
003495 A3 = +DFLOAT(2*K-1)*((-1.00)**(I-1))*DELTA(1,K)
003496 PI(I)=(A1 + A2 + A3)/DFLOAT(K)
003497 2 FPI = PI(N)
003498 RETURN
003499 END
003500 FUNCTION POLEG(Y,N)
003501 IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003502

```

```

003504      DIMENSION PE(55)
003505      PE(1)=1.00
003506      PE(2)=Y
003507      IF(N.LE.2) GO TO 1
003508      DO 2 I=3,N
003509      K=I-1
003510      PE(I)=(Y+DFLOAT(2*K-1)*PE(I-1)-DFLOAT(K-1)*PE(I-2))/DFLOAT(K)
003511      2      POLEG=PE(N)
003512      1      RETURN
003513      END
003514      FUNCTION GFUN(Y,N)
003515      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003516      DIMENSION G(65)
003517      IF(Y.LT.5.00) GO TO 3
003518      G(42) = 0.00
003519      G(41) = 1.00
003520      DO 5 J=1,40
003521      KS = 41 - J
003522      KR = KS - 1
003523      5      G(KS) = (Y*HFUN(KS+1)+G(KS+1) - DFLOAT(KR+2)+G(KS+2))/DFLOAT
003524      *(KR+1)
003525      GFUN = G(N)/G(1)
003526      RETURN
003527      3      CONTINUE
003528      G(1)=1.00
003529      G(7)=HFUN(1)*Y
003530      IF(N.LE.2) GO TO 1
003531      DO 2 I=3,N
003532      K=I-1
003533      G(I)=(Y+HFUN(I-1)*G(I-1)-DFLOAT(K-1)*G(I-2))/DFLOAT(K)
003534      2      GFUN=G(N)
003535      1      RETURN
003536      END
003537      FUNCTION GAM(Y,N)
003538      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003539      DIMENSION GA(55)
003540      GA(1)=0.00
003541      GA(2)=2.00
003542      IF(N.LE.2) GO TO 1
003543      DELTA=0.00
003544      IF(N.EQ.1)DELTA=1.00
003545      DO 2 I=3,N
003546      K=I-1
003547      GA(I)=(DFLOAT(2*K-1)*Y+GA(I-1)+2.00*DELTA-DFLOAT(K-1)*GA(I-2))/
003548      *DFLOAT(K)
003549      1      GAM=GA(N)
003550      RETURN
003551      END
003552      FUNCTION HFUN(N)
003553      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003554      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003555      HFUN=DFLOAT(2*N-1)*(1.00-WC*F(N))
003556      RETURN
003557      END
003558      FUNCTION FX(Y)
003559      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z),INTEGER*4(I-N)
003560      COMMON/BLOCK1/WC,F(65)
003561      COMMON/BLOCK2/FONTE,N
003562      SA = 0.00
003563      DO 6 I=2,N
003564      SA = SA + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*GAM(Y,I)
003565      6      CONTINUE
003566      SH = 0.00
003567      DO 7 I=1,N
003568      SH = SH + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*POLEG(Y,I)
003569      7      CONTINUE
003570      SC = 0.00
003571      DO 8 I=2,N
003572      SC = SC + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*DGAMA(Y,I)
003573      8      CONTINUE
003574      SD = 0.00
003575      DO 9 I=2,N
003576      SD = SD + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*DGFUN(Y,I)*GAM(Y,I)
003577      9      CONTINUE
003578      SE = 0.00
003579      DO 10 I=1,N
003580      SE = SE + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*DOLEG(Y,I)
003581      10      CONTINUE
003582      SF = 0.00
003583      DO 11 I=1,N
003584      SF = SF + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*POLEG(Y,I)*DGFUN(Y,I)
003585      11      CONTINUE
003586      FDI = WC*0.500*(SE + SF)
003587      DFLAM=WC*0.500*(SA+Y*SC+Y*SD)-WC*0.500*SH*(DLOG((Y+1.00)/(Y-1.00))
003588      *Y+2.00/(Y+2-1.00))-FDI*Y*DLOG((Y+1.00)/(Y-1.00))
003589      SM = 0.00
003590      DO 12 I=1,N
003591      SM = SM + DFLOAT(2*I-1)*F(I)*GFUN(Y,I)*POLEG(Y,I)
003592      12      CONTINUE
003593      FX = 0.500*WC*(Y**2)+SM+DFLAM
003594      RETURN
003595      END
003596      FUNCTION DGAMA(Y,N)
003597      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
003598      DIMENSION DG(33)

```

```

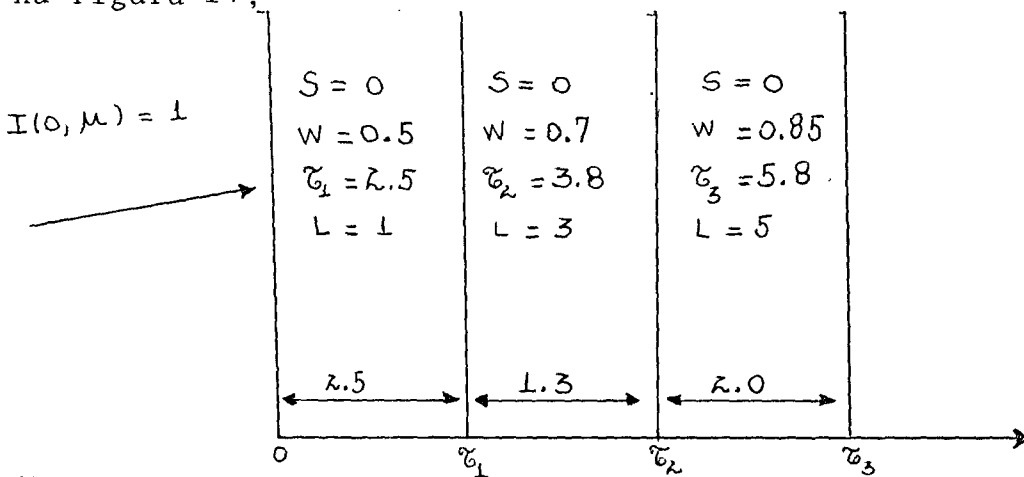
003600          DG(1) = 0.00
003601          DG(2) = 0.00
003602          IF(N.LE.2) GO TO 1
003603          DO 2 I=3,N
003604             K = I-1
003605             DG(I) = (DFLOAT(2*K-1)*Y*DG(I-1) + DFLOAT(2*K-1)*GAM(Y,I-1) -
003606             *DFLOAT(K-1)*DG(I-2))/DFLOAT(K)
003607          2      CONTINUE
003608          1      DG(A) = DG(N)
003609          RETURN
003610          END
003611          FUNCTION DGFUN(Y,N)
003612          IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
003613          DIMENSION DGF(33)
003614          DGF(1) = 0.00
003615          DGF(2) = HFUN(1)
003616          IF(N.LE.2) GO TO 1
003617          DO 2 I=3,N
003618             K = I-1
003619             DGF(I) = (HFUN(I-1)*(Y*DGF(I-1) + GFUN(Y,I-1)) -
003620             *DGF(I-2))/DFLOAT(K)
003621          2      CONTINUE
003622          1      DGF(N) = DGF(N)
003623          RETURN
003624          END
003625          FUNCTION DOLEG(Y,N)
003626          IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
003627          DIMENSION DO(33)
003628          DO(1) = 0.00
003629          DO(2) = 1.00
003630          IF(N.LE.2) GO TO 1
003631          DO 2 I=3,N
003632             K = I-1
003633             DO(I) = (DFLOAT(2*K-1)*(Y*DO(I-1) + POLEG(Y,I-1)) -
003634             *DO(I-2))/DFLOAT(K)
003635          2      CONTINUE
003636          1      DOLEG = DO(N)
003637          RETURN
003638          END

```

B.3 - Problemas Amostra e Resultados Obtidos

A fim de ilustrar o correto procedimento na utilização do módulo, dois problemas amostras foram selecionados com o intuito de facilitar a compreensão do manual de instruções.

O Problema 1.B refere-se a tres regiões de espessuras óticas τ_1, τ_2 e τ_3 com incidência isotrópica na face esquerda e superfície livre na face direita, como ilustrado na Figura 14.



Obs.: Os coeficientes f_{ℓ} são calculados pelo programa.

Figura 14: Geometria do Problema 1.B.

O Problema 2.B considerado é uma célula básica de um reator constituído de duas regiões, o combustível (região 1) e o moderador (região 2), com uma fonte de neutrons no moderador, conforme ilustrado na Figura 15. Além disso, considerou-se espalhamento isotrópico para a 1ª região.

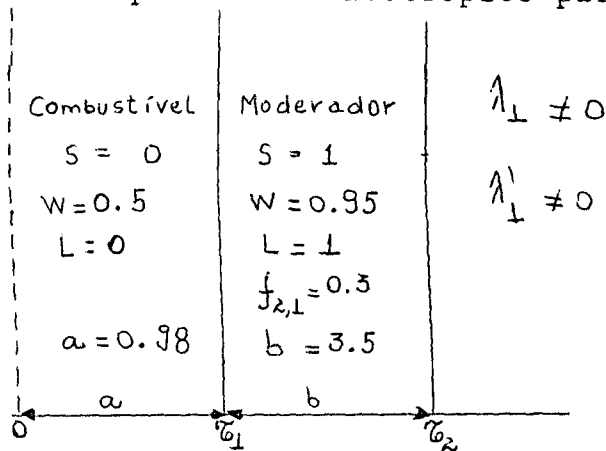


Figura 15: Geometria do Problema 2.B .

Dados de entrada dos Problemas 1 e 2

10	PROBLEMA	AMOSTRA	1						
20	0	6	3						
30	1	3	5						
40	0	-2	0	0					
50	0.500			0.700		0.8500			
60	0.00								
70	2.500			1.300		2.00			
80	0	0	0.00		0.00		0.00	1.00	0.00
90	0.00			0.00					
100	0	0	0.00		0.00		0.00	0.00	
110	0.00			0.00					
120	1	-1	1	0					
130	1	1	1						
140	5	5	4						
150	0	0							

10	PROBLEMA	AMOSTRA	2						
20	0	7	2						
30	0	1							
40	1	-2	1	1					
50	0.500			0.9500					
60	0.00			1.00					
70	0.9800			3.500					
80	1.00								
90	1.00			.300					
100	0	0	0.00		0.00		0.00	0.00	0.00
110	1.00			0.00					
120	0	0	0.00		0.00		0.00	0.00	
130	1.00			0.00					
140	0	0	0	0					
150	0	0	1						
160	1	1							
170	0	1							

Dados de saída dos Problemas 1 e 2

PROBLEMA AMOSTRA 1

ORDEM DE APROXIMACAO = 6
NUMERO DE REGIOES = 3REGIAO 1
NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = 0.500000000+00
FONTES EXTERNAS = 0.000000000+00
ESPESSURA(LCM) = 0.250000000+01
COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) =
0.100000000+01 0.333333333+00REGIAO 2
NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = 0.700000000+00
FONTES EXTERNAS = 0.000000000+00
ESPESSURA(LCM) = 0.130000000+01
COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) =
0.100000000+01 0.600000000+00 0.200000000+00 0.285714290-01REGIAO 3
NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = 0.850000000+00
FONTES EXTERNAS = 0.000000000+00
ESPESSURA(LCM) = 0.200000000+01
COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) =
0.100000000+01 0.714285710+00 0.357142860+00 0.119047620+00 0.238095240-01 0.216450220-02CONDICAO DE CONTORNO DA FACE ESQUERDA
REFLETIDA = 0.000000+00
DIFUSA = 0.000000+00CONDICAO DE CONTORNO - FACE ESQUERDA
0 0 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.100000000+01 0.000000CONDICAO DE CONTORNO DA FACE DIREITA
REFLETIDA = 0.000000+00
DIFUSA = 0.000000+00CONDICAO DE CONTORNO - FACE DIREITA
0 0 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00
AUTOVALORES,

CSI(1) = 0.1117518401657640+01

AUTOVALORES REFINADOS

CSI(1) = 0.1117516994123040+01
AUTOVALORES,

CSI(1) = 0.1592016963789070+01

AUTOVALORES REFINADOS

CSI(1) = 0.1592015310963580+01
AUTOVALORES,

CSI(1) = 0.2588071805738470+01

AUTOVALORES REFINADOS

CSI(1) = 0.2588071527132600+01

ALBEDO DA FACE ESQUERDA = 0.1042454280+00

FATOR DE TRANSMISSAO DA FACE DIREITA = 0.1707949510-01

FLUXO TOTAL

REGIAO 1	2.00	0.50	1.00	1.50	2.00
X					
FLUXO(X)	0.120330900+01	0.558821030+00	0.317339970+00	0.188842930+00	0.115162950+00
REGIAO 2	2.50	2.76	3.02	3.28	3.54
X					
FLUXO(X)	0.787855510-01	0.670498350-01	0.571263800-01	0.487688520-01	0.418046240-01
REGIAO 3	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
X					
FLUXO(X)	0.398011250+01	0.305482650-01	0.249278640-01	0.196668720-01	0.136341660-01

CORRENTE TOTAL

REGIAO 1					
x	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00
CORRENTE (x)	0.465598200+00	0.265153670+00	0.159076340+00	0.973476640-01	0.601631440-01
REGIAO 2					
x	2.50	2.76	3.02	3.28	3.54
CORRENTE (x)	0.373204290-01	0.316455500-01	0.268135850-01	0.226931790-01	0.191695430-01
REGIAO 3					
x	3.80	4.30	4.80	5.30	5.80
CORRENTE (x)	0.328310410-01	0.135590220-01	0.114809700-01	0.981031240-02	0.853965050-02

PROBLEMA AMOSTRA 2

ORDEM DE APROXIMACAO = 7
 NUMERO DE REGIOES = 2

REGIAO 1
 NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = 0.500000000+00
 FONTES EXTERNAS = 0.000000000+00
 ESPESSURA(LCM) = 0.980000000+00
 COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) -
 0.100000000+01

REGIAO 2
 NUMERO DE PARTICULAS SECUNDARIAS = 0.950000000+00
 FONTES EXTERNAS = 0.100000000+01
 ESPESSURA(LCM) = 0.350000000+01
 COEFICIENTES DE EXPANSAO F(0).....F(N) -
 0.100000000+C1 0.300000000+00

CONDICAO DE CONTORNO DA FACE ESQUERDA
 REFLETIDA = 0.100000+01
 DIFUSA = 0.000000+00

CONDICOES DE CONTORNO - FACE ESQUERDA
 0 0 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000

CONDICAO DE CONTORNO DA FACE DIREITA
 REFLETIDA = 0.100000+01
 DIFUSA = 0.000000+00

CONDICOES DE CONTORNO - FACE DIREITA
 0 0 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00 0.000000000+00
 AUTOVALORES,

CSI(1) = 0.1044383551489810+01

AUTOVALORES REFINADOS

CSI(1) = 0.1044382033760830+01
 AUTOVALORES,

CSI(1) = 0.3115674137791550+01

AUTOVALORES REFINADOS

CSI(1) = 0.3115671062426840+01

FATOR DE DESVANTAGEM TERMICA = 0.29185183100+01